

**ESTOQUE DE CARBONO EM UMA JAZIDA
REVEGETADA NO DISTRITO FEDERAL: GERAÇÃO DE
CRÉDITOS DE CARBONO**

LUCINÉIA DA SILVA SOUSA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

BRASÍLIA (DF). FEVEREIRO/2010.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**ESTOQUE DE CARBONO EM UMA JAZIDA REVEGETADA NO
DISTRITO FEDERAL: GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO**

**LUCINÉIA DA SILVA SOUSA
ORIENTADOR: Profº Dr. RODRIGO STUDART CORRÊA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
PUBLICAÇÃO: EFL/DM 140/2010**

BRASÍLIA (DF). FEVEREIRO/2010.

LUCINÉIA DA SILVA SOUSA

**ESTOQUE DE CARBONO EM UMA JAZIDA REVEGETADA NO DISTRITO
FEDERAL: GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.**

Dissertação aprovada junto ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Banca examinadora:

Prof^o Dr. Rodrigo Studart Corrêa
Orientador – UnB

Prof^o Dr. Ben Hur Marimon Junior
Membro Titular – UNEMAT

Prof^o Dr. John Du Vall Hay
Membro Titular – UnB

Prof^o Dr. Ildeu Soares Martins
Membro Suplente – UnB

Brasília-DF, 23 de fevereiro de 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA

Sousa, Lucinéia da Silva

Estoque de Carbono em uma Jazida Revegetada no Distrito Federal: Geração de Créditos de Carbono/ Lucinéia da Silva Sousa; orientação de Rodrigo Studart Corrêa – Brasília/DF, 2010.

xiv, 97p., 210 x 297 mm(ENE/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal, 2010.

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. Revegetação. | 2. Áreas mineradas. |
| 3. Estrato arbóreo e herbáceo. | 4. Créditos de carbono. |
| 5. Equações alométricas. | |
| I. EFL/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, L.S. **Estoque de Carbono em uma Jazida Revegetada no Distrito Federal: Geração de Créditos de Carbono**. Brasília: Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Publicação PPG EFL.DM.140/2010. Universidade de Brasília. 97p. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucinéia da Silva Sousa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Estoque de Carbono em uma Jazida Revegetada no Distrito Federal: Geração de Créditos de Carbono.

GRAU: Mestre ANO: 2010.

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. A autora reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Lucinéia da Silva Sousa

E-mail: eng_lucineia@hotmail.com

“Sei que meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele o oceano seria menor”. (Madre Teresa).

Ao querido Bruno, com quem compartilhei os momentos de angústias do mestrado e algumas aventuras da vida.

Aos meus pais e irmãos, por serem fonte inesgotável de compreensão e amor.

Aos queridos Alex Bruno e Fabiane Lima (*in memoriam*) por me incentivarem a conhecer o Cerrado.

A professora Jeanine Maria Felfili (*in memoriam*) por ter me apresentado o Cerrado de uma maneira tão apaixonante.

Aos pesquisadores da Amazônia por acreditarem em seus “caboclos” de pós-graduação permitindo que eles possam, como um pássaro, voar cada vez mais longe, descobrindo novos horizontes e agregando conhecimento.

Aos colegas do mestrado (turma de 2008) por conseguirem fazer pesquisa, mesmo nas condições mais precárias e, ainda assim, obterem resultados de qualidade.

Às amigas e especiais, Cristiane Ferreira e Luciana Freitas.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Laurivaldo e Conceição, por acompanharem, sempre de longe, todos os meus passos e juntamente com meus irmãos me apoiarem durante toda a vida.

Ao Rodrigo Studart Corrêa, meu orientador, pela confiança depositada, conselhos e ensinamentos compartilhados e por “embarcar” na idéia desafiadora de uma cabocla teimosa como eu.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pela concessão da bolsa de estudo e ao Decanato de Pesquisa e Pós-graduação – DPP, pelo recurso financeiro concedido para minhas análises de C vegetal.

Aos professores Dr. Ben Hur Marimon Junior, Dr. John Du Vall Hay e Dr. Ildeu Soares Martins, por aceitarem compor minha banca examinadora e colaborar com meu trabalho.

Ao professor Mundayatan Haridasan pela colaboração, além de ter gentilmente cedido a estrutura do laboratório de solos, disponibilizando o apoio técnico da Mara Rúbia que com sua paciência incondicional pode me ensinar, muito obrigado!

Aos professores Augusto Franco e Cristiane Ferreira, por disponibilizar e emprestar equipamentos e materiais de seu laboratório, pelo uso da impressora (fez toda diferença). Meu agradecimento ainda é maior por você, Cris, pela sua ajuda incondicional em todos os momentos e em todas as horas. Não encontro palavras para te agradecer.

Ao professor Ildeu Soares Martins e Lúcio José Vivaldi, pela paciência e disponibilidade no ensino e esclarecimento de meu delineamento e análises estatísticas de meus dados.

Aos professores Christopher William Fagg e Jeanine Maria Felfili (*in memoriam*) pelo empréstimo das estufas e pelas discursões de corredores que tanto me ajudaram.

Ao pessoal da secretaria do EFL, Frederico Ribeiro e Paula Cristina Fonseca Pereira, pela paciência, compreensão e confiança, me ajudando na parte logística do meu projeto nos feriados e finais de semana. Você também Alcione. Muito obrigado!

À Universidade de Brasília, pela moradia e pelo alimento. Porque, sem estas duas condições primordiais, teria sido tudo mais difícil.

À toda turma da Colina (bloco K), pelos momentos de descontração e contentamento. Em especial as meninas de 2008 (Luciana Moraes de Freitas, Ligia Meres Valadão e Juliana Silvestre Silva) e também as que vieram em 2009 (Lurdineide de Araújo Barbosa e Zélia da Paz Pereira). O companheirismo e as alegrias de vocês foram indispensáveis para aliviar a saudade de casa e para fortalecer nossa amizade.

Ao trio mais querido de dendrologia: Carolina Rizzi Starr, Juliana Martins e Larissa Amorim. Carô, por ter me ajudado desde o início, sendo receptiva na minha chegada a Brasília, com o campo e pelas nossas baladinhas de “chacoalhar”; Ju, não tenho palavras pra agradecer por tudo o que fizeste por mim, para que meu trabalho andasse; e Lari, tua ajuda no campo foi tudo de bom! Espero que a amizade perdure e os encontros e almoços também! Valeu meninas!

À professora Rosana Martins por permitir que eu invadissem seu laboratório “quase” todo dia e pelos estagiários de 2009 do laboratório de sementes, pela ajuda braçal com as minhas amostras e pela descontração durante esta parte do trabalho. Isso fez com que tudo ficasse melhor.

Aos queridos: Wglevison Alegre Souza, Mariana Medeiros Martins e a Beatriz Garcia Nascimento pela ajuda no campo e pela amizade conquistada.

À Maura Rejane Araújo Mendes e à Ani Cátia Giotto pelas trocas de idéias, pelo companheirismo e pela amizade.

Ao pessoal da república do frango (Bruna, Cibele, Carol, Cris, Douglas, Priscila e Jonatas) por me receberem tão bem e com tanta alegria lá no comecinho de Brasília. Sou grata!

À Deus por mais uma fase vencida!

RESUMO

A atividade agropecuária, seguida em menor extensão pelo extrativismo e mineração, são as principais atividades responsáveis pelas alterações ambientais na região do Cerrado. A revegetação surge como uma das estratégias de conservação que visa mudar o quadro preocupante das áreas mineradas do Cerrado. O objetivo desta pesquisa foi de estimar o estoque de carbono orgânico em uma jazida de cascalho revegetada do Distrito Federal e seu potencial para a geração de créditos de carbono. A área de estudo está localizada na rodovia DF-130, km 8,5, região administrativa do Paranoá (DF). O experimento consistiu em doze módulos com plantio de seis espécies arbóreas em cada um, com tratamento de substrato sub-solado e coberto com uma leguminosa rasteira o *Stylosanthes sp.* As seis espécies arbóreas são: abiu (*Pouteria ramiflora*), barú (*Diperyx alata* Vog), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee & Lang). O estoque de carbono orgânico das espécies arbóreas foi estimado por equações alométricas. O carbono no solo foi medido pelo método Walkley & Black. Nas herbáceas, tanto no compartimento aéreo como na raiz, o carbono orgânico foi medido pelo método de oxidação a quente conforme Manual do Ministério da Agricultura. A área da cascalheira degradada pela extração de cascalho esta sendo recuperada. A concentração de carbono na camada herbácea (parte aérea e raiz) da jazida revegetada após cinco anos de desenvolvimento é maior do que a quantidade existente no compartimento parte aérea das pastagens naturais do Cerrado. O total de carbono fixado pela revegetação na parte aérea das arbóreas, solo, parte aérea e raízes de herbáceas foi de 282,6 t CO₂ ha⁻¹, significando para o mercado de créditos o valor monetário de US\$ 5.652,00. O custo do projeto de revegetação ficou em torno de US\$ 3.900,00. Pode-se abater o custo de revegetação com créditos de C e se obterem 31% de lucro, possibilitando que este seja um trabalho de grande importância aos projetos do MDL.

Palavras chaves: revegetação, áreas mineradas, estrato arbóreo e herbáceo, créditos de carbono e equações alométricas.

RÉSUMÉ

L'activité agricole, suivie dans une moindre mesure de l'extraction et l'exploitation minière, sont les principales activités responsables des éventuelles modifications de l'environnement dans le cerrado. La revegetation émerge comme l'une des stratégies de conservation visant à changer la situation préoccupante des zones minées du Cerrado. L'objectif de cette étude était d'estimer le stock de carbone organique dans un réservoir de gravier remise en végétation du District fédéral et de son potentiel pour générer des crédits carbone. La zone d'étude est située sur la route DF-130, km 8,5, région administrative de Paranoá (DF), comprend un réservoir de gravier. L'expérience consistait à douze modules avec la plantation de six espèces d'arbres dans chaque traitement du substrat avec sous-solage et recouvert d'une légumineuse rampante le *Stylosanthes sp.* Les six espèces d'arbres sont les suivants: abiu (*Pouteria ramiflora*), barú (*Diperyx alata* Vog), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee & Lang). Le stock de carbone organique des espèces d'arbres ont été estimés par des équations allométriques. Le carbone dans les sols a été mesurée par la méthode Walkley & Black. Dans les herbes, à la fois dans le compartiment aérien comme dans la racine, le carbone organique a été mesurée par la méthode d'oxydation chaud conformément à le Manuel du Ministère de l'Agriculture. La zone de la mine dégradés par l'extraction de gravier est en tran de récupéré. La concentration de carbone dans la couche d'herbacées (partie aérienne et les racines) du réservoir remis en végétation après cinq ans de développement est supérieur au montant existants dans le compartiment des la partie aérienne de las pâturages naturels dans le Cerrado. La quantité totale de carbone séquestrée par le reboisement dans les pousses d'arbres, le sol, les partie aérienne et les racines d'herbe était 282,61 tonnes de CO₂ ha⁻¹ année⁻¹, signifie pour le marché du crédit à la valeur monétaire de US\$ 5.652,00. Le coût du projet de recuperation du couvert végétal était d'environ US\$ 3.900,00. Le coût de la revégétation peut être déduit avec des crédits de C et se obtenir 31% des bénéfices, ce qui lui permettant d'être un travail de grande importance pour les projets MDL.

Mots clés: recuperation de la couverture végétale, les zones minées et la strate herbacée, les crédits de carbone et les équations allométriques.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	4
HIPÓTESES	4
REFERÊNCIAS	5
Capítulo 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
Efeito Estufa.....	7
Ciclo do carbono.....	8
Mudanças climáticas e o cenário político atual.....	8
O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e os Créditos de Carbono.....	10
Estoque de carbono nos diferentes compartimentos da floresta.....	12
Carbono do solo.....	12
Carbono das raízes.....	13
Carbono do estrato herbáceo.....	14
Carbono da parte aérea das arbóreas.....	15
Taxas de fixação de carbono na vegetação.....	16
Emissões e remoções de CO ₂ em florestas nativas e plantadas do Brasil.....	16
Florestas nativas.....	16
Florestas plantadas.....	18
Biomassa e estoque de carbono.....	20
Importância da revegetação de áreas mineradas no Cerrado.....	21
Importância do espaçamento nos plantios.....	22
Degradação de solos pela mineração.....	24
Aspectos legais vigentes sobre RAD em minerações de jazidas de cascalho.....	25
Referências Bibliográficas.....	27
Capítulo 2 – ESTOQUE DE CARBONO DO SUBSTRATO DE UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA NO DISTRITO FEDERAL PARA GERACAO DE CREDITOS DE CARBONO	37
Introdução.....	37
Material e Métodos.....	38
Resultado e Discussão.....	40
Considerações Finais.....	43
Referências Bibliográficas.....	44
Capítulo 3 – SEQUESTRO DE CARBONO PELO ESTRATO HERBÁCEO DE UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA COM <i>Stylosanthes sp</i> NO CENTRO-OESTE	47
Introdução.....	47
Material e Métodos.....	48
Resultado e Discussão.....	51
Considerações Finais.....	55
Referências Bibliográficas.....	56
Capítulo 4 – ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO DA PARTE AÉREA DE SEIS ESPÉCIES ARBOREAS, ESTABELECIDAS EM UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA NO DISTRITO FEDERAL	61
Introdução.....	61
Material e Métodos.....	63

Resultado e Discussão.....	67
Considerações Finais	73
Referências Bibliográficas.....	74
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
ANEXO A	78
ANEXO B	83

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Procedimentos da coleta de solo no campo (n = 48).....	39
Figura 2.2 – Estoque de carbono no solo na camada de 0-20 cm nos três períodos de monitoramento: Dez/2003 (substrato exposto), Fev./2004 (substrato recém revegetado) e Jul./2009 (substrato após 5 anos da revegetação).....	41

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Disposição das parcelas no campo com a cobertura herbácea no início e final da revegetação da jazida de cascalho no DF.....	49
Figura 3.2 - Procedimentos de coleta da parte aérea da cobertura herbácea no campo (n = 48).....	50
Figura 3.3 - Quantidade de C (t CO ₂ .ha ⁻¹) fixado nos diferentes compartimentos (raiz e parte aérea) das herbáceas.....	52

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Vista da área da jazida minerada mostrando a cava lavrada (2 – 3 m de profundidade) no DF.....	63
Figura 4.2 - Croqui de um módulo experimental da área da jazida de cascalho, com distribuição das seis espécies arbóreas diferentes.....	64
Figuras 4.3. Estoque do carbono orgânico acumulado (tC ha ⁻¹ .ano ⁻¹), por espécies.....	68
Figura 4.4 – Fixação de CO ₂ em cinco espécies nativas do Cerrado utilizadas na revegetação de uma jazida de cascalho no Distrito Federal.....	70
Figura 4.5 - Fixação de C em equivalente t CO ₂ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹ pelos diferentes compartimentos na revegetação de uma jazida de cascalho no DF.....	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1.1 – Principais gases causadores do Efeito Estufa.....	7
Tabela 1.2 - Valores líquidos de emissões e remoções por sumidouros de CO ₂ . (MCT, 2008).....	18

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 – Equações alométricos testados para extração do coeficiente angular.....	65
Tabela 4.2 - Equações alométricas testadas para estimar a biomassa acima do solo das espécies arbóreas instaladas no Cerrado e na área da jazida de cascalho revegetada na DF 130, Brasília-DF.....	66

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACAVE - Associação Brasileira de Florestas Renováveis
CERs - Certificados de Emissões Reduzidas
CI- Conservação Internacional
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP - Conferências das Partes (*Conferences of the Parties*)
CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DPP – Decanato de Pesquisa e Pós-graduação da UnB
EFL – Engenharia Florestal
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
FAPEAM – Fundação de Amparo  Pesquisa do Estado do Amazonas
GEE – Gases de Efeito Estufa
GTA – Grupo de Trabalho Amazônico
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF - Instituto Estadual de Florestas do estado de Minas Gerais
IPCC - Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*)
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
ONGs – Organizações não governamentais
OPPAALC - Observatório de Políticas Públicas Ambientais da América Latina e Caribe
PNF - Plano Nacional de Floresta
PRAD - Plano de Recuperação de áreas Degradadas
RECOR - Reserva Ecológica do IBGE
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
SNPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SIAD - Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento no Cerrado
UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, superado em área apenas pela Amazônia. Abriga nascentes de rios como o São Francisco, Paraguai e Paraná e ocupa 21% do território nacional, sendo considerado a última fronteira agrícola do planeta (BORLAUG, 2002).

No bioma Cerrado, além das taxas de desmatamento serem historicamente superiores às da floresta Amazônica o esforço de conservação deste bioma é muito inferior: apenas 2,2% da área do Cerrado se encontra legalmente protegida contra 49% da Amazônia. Diversas espécies animais e vegetais estão ameaçadas de extinção e estima-se que 20% das espécies ameaçadas ou endêmicas não ocorram nas áreas legalmente protegidas (KLINK & MACHADO, 2005). Por sua riqueza o cerrado é considerado um dos *hotspots* de biodiversidade do mundo, ou seja, uma região gravemente ameaçada e que abriga uma enorme diversidade de espécies. Só de plantas, são pelo menos 6,6 mil, mas algumas estimativas apontam mais de 10 mil (OPPAALC, 2008).

Os dados referentes a esse bioma são preocupantes: desde 1960, cerca de 50% do bioma foi ocupado por atividades econômicas como a pecuária, o plantio de soja, algodão, milho e, mais recentemente, de cana-de-açúcar. Muitos defensores do Cerrado alertam que ele pode desaparecer em breve, caso não seja dada a devida atenção a este bioma. Estudos da organização não-governamental Conservação Internacional (CI-Brasil) indicam que o Cerrado deve desaparecer até 2030 (GTA, 2005).

Dos 204 milhões de hectares originais, 57% já foram completamente destruídos e a metade das áreas remanescentes estão bastante alteradas, podendo não mais servir à conservação da biodiversidade (JOSÉ, 2009). A taxa anual de desmatamento no bioma, que abrange oito estados brasileiros e se mescla com a Amazônia no Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e Maranhão, são alarmantes, chegando a 1,5% ou três milhões de hectares/ano (GTA, 2005).

As principais ameaças à biodiversidade do Cerrado são: 1) os processos erosivos do solo, 2) a degradação dos diversos tipos de vegetação pela extração de madeira e lenha e, 3) a invasão biológica causada por gramíneas de origem africana. O uso do fogo para a abertura de áreas virgens e para estimular o rebrotamento das pastagens também é prejudicial, embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo. Estudos experimentais na escala ecossistêmica e modelos de simulação ecológica demonstraram

que mudanças na cobertura vegetal alteram a hidrologia e afetam a dinâmica e os estoques de carbono no ecossistema (KLINK & MACHADO, 2005).

Com relação às mudanças do clima, as informações não são nada animadoras. O desmatamento no bioma responde por um terço das emissões brasileiras. Além disso, grande parte da madeira é convertida em carvão para abastecer siderúrgicas, resultando em maior emissão de CO₂. Como impactos do aquecimento global, o Cerrado pode registrar perda de espécies da fauna e da flora, e substituição da cobertura arbórea nativa por gramíneas e herbáceas. A destruição da vegetação tornou-se um fato tão corriqueiro que recuperar áreas degradadas é trabalho cada vez mais importante e urgente. Segundo Ribeiro & Schiavini (1998), a atividade agropecuária, seguida em menor extensão pelo extrativismo e mineração, são as principais atividades responsáveis pelas alterações ambientais na região do Cerrado.

Áreas mineradas, via de regra, são áreas degradadas, pois, em função dos danos causados, tem sido eliminada ou drasticamente reduzida sua capacidade de regeneração natural (SILVA, 2006). Em termos de reserva e fluxos de energia e carbono em áreas mineradas, os estudos sobre biomassa acima, e especificamente abaixo do solo, tornam-se imprescindíveis, pois alguns estudos mostram que as suposições sobre o cerrado ser uma “floresta de cabeça para baixo”, parecem estar bastante fundamentadas. Lugo & Morris (1982) mostram que no processo de sucessão de uma floresta tropical úmida as plantas competindo por luz desenvolvem rapidamente folhas e ramos em detrimento das raízes, sendo que a floresta adulta apresenta uma biomassa aérea duas vezes maior que a biomassa subterrânea.

Ainda em se tratando de reserva de energia, os latossolos do cerrado acumulam em seus microagregados uma quantidade de energia química quase três vezes maior que a energia existente na vegetação, viva e morta (ABDALA, 1993). Isso ressalta mais uma vez a importância do direcionamento de pesquisas para os níveis do subsolo (ABDALA, 1993). Os serviços ambientais da floresta, tais como a manutenção da biodiversidade, a ciclagem de água e o armazenamento de carbono valem muito mais para a sociedade humana do que os usos da terra que substituem a floresta, mas atualmente estão faltando mecanismos para converter estes valores em fluxos monetários (FEARNSIDE, 2007).

A questão do acúmulo de carbono em forma de CO₂ na atmosfera e, conseqüentemente, a elevação da temperatura global tem sido motivo de preocupação mundial. É cada vez mais premente a ação de medidas compensatórias, como a reabilitação e revegetação de áreas degradadas que possam funcionar como estocadoras de carbono,

com o intuito de convertê-los em créditos de carbono e/ou criar Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) como forma de compensar os danos causados ao ambiente.

Mesmo com esse quadro preocupante, poucas ações estão voltadas para o Cerrado. Apenas em setembro de 2008 o Ministério do Meio Ambiente adotou o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento no Cerrado (SIAD). De acordo com dados levantados pelo sistema, entre 2003 e 2007, possivelmente o desmatamento no bioma atingiu o equivalente a 16 cidades do tamanho do Rio de Janeiro (ANDI, 2009). O monitoramento e os dados obtidos são ferramentas importantes para que os pesquisadores possam projetar tendências futuras de desmatamento e elaborar estratégias de conservação adequadas e preventivas. Os projetos de revegetação surgem para suprir a necessidade em recuperar áreas degradadas por atividades de mineração com espécies nativas (ABNT, 1998).

No Cerrado, poucos são os estudos sobre estimativa de estoque de carbono (CESAR, 1980; CAVALCANTE, 1978; BATMANIAN, 1983; KAUFFMAN, CUMMINGS & WARD, 1994; REZENDE, 2002). Portanto, é importante o desenvolvimento de estudos visando a obtenção de estimativas precisas do estoque de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação. Em vista do exposto e da carência de estudos de fixação de carbono em áreas degradadas que estão sendo revegetadas no bioma Cerrado, neste trabalho foi abordada a possibilidade econômica de gerar créditos de carbono por meio do reflorestamento como um importante aspecto relacionado à recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração.

O sucesso do projeto em questão irá contribuir para solução de problemas em um nível mais amplo, uma vez que se visa uma metodologia de fácil aplicação/medição e que poderá ser utilizada em áreas degradadas nos diversos ecossistemas brasileiros.

Para uma melhor apresentação do trabalho, a dissertação foi estruturada em cinco capítulos, conforme apresentado a seguir:

Capítulo 1: “Revisão Bibliográfica”, no qual foram abordados aspectos relacionados ao aquecimento global, políticas relacionadas às mudanças climáticas e estoque de carbono em florestas;

Capítulo 2: “Estoque de carbono do substrato de uma jazida de cascalho revegetada no Distrito Federal para geração de créditos de carbono”, no qual foram abordados aspectos relacionados à quantificação do C no substrato, após a revegetação.

Capítulo 3: “Sequestro de carbono pelo estrato herbáceo de uma jazida de cascalho revegetada com *Stylosanthes spp*, no Centro-Oeste, Brasil”; onde foi abordada a quantificação do C em todos seus compartimentos;

Capítulo 4: “Estimativas do estoque de carbono da parte aérea de seis espécies arbóreas, estabelecidas em uma jazida de cascalho revegetada do Distrito Federal”, no qual foi estimada a quantidade de C fixado pelas espécies por meio de equações alométricas.

OBJETIVOS

Geral

Estimar o estoque de carbono orgânico em uma jazida revegetada do Distrito Federal e seu potencial para a geração de créditos de carbono.

Específicos

- Mensurar os estoques de carbono orgânico da área da cascalheira nos diferentes compartimentos (parte aérea, substrato e raiz);
- Valorar o estoque de carbono encontrado na área revegetada;

HIPÓTESES

O estoque de carbono orgânico em uma jazida revegetada é significativo para gerar créditos no mercado de créditos de carbono.

Os estoques de carbono encontrados nas diferentes parcelas podem ser convertidos em Certificados de Redução de Emissões - CREs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G. C. Análise energética de um cerrado e sua exploração por atividade de carvoejamento rústico. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia)105p. Brasília: UnB,1993.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Projeto NBR 13030, Brasil, 1998.
- Andi – Agência de Notícias dos Direitos da Infância. Mudanças Climáticas. Informações e reflexões para um jornalismo contextualizado. 2009. Disponível em: <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/779> Consultado em 12.02.2010.
- Batmanian, G. J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia) 78p. Brasília: UnB, 1983.
- Borlaug, N.E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. **In:** R. Bailey (ed.). Global warming and other eco-myths. pp. 29-60. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA. 2002.
- Cavalcante, L.H. Efeitos das cinzas resultantes da queima sobre a produtividade do estrato herbáceo-subarbustivo do cerrado de Emas, SP. 219p. **Tese** (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- Cesar, H.L. Efeitos da queima e cobrte sobre a vegetação de um campo sujo na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia) 59p. Universidade de Brasília, Brasília. 1980.
- Fearnside, P. M. Serviços Ambientais como Base para o Uso Sustentável de Florestas Tropicais na Amazônia Brasileira. Contribuição para: S. Buenafuente (ed.) Amazônia: riquezas naturais e sustentabilidade sócio-ambiental. **Editora da Universidade Federal de Roraima**, Boa Vista, Roraima, 2007.
- GTA – Grupo de Trabalho Amazônico de Tocantins. Noticias Embrapa cenargen. Disponível em: <http://www.cenargen.embrapa.br/cenargenda/noticia2005/gta290305.pdf>. Acesso em 11.09.2009.
- José, A. C. Novas tecnologias podem auxiliar na conservação e uso sustentável do Cerrado. Com Ciência. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. SBPC. 2009. Disponível em: <http://WWW.comciencia.br/comciencia/?section=8&edição=42&ide=509> Acesso em 12.02.2010.
- Kauffman, J.B.;Cummings, D.L.; Ward, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along vegetation gradient in the Brazilian cerrado. Journal of Ecology, London, v.82, p.519-531, 1994
- Klink, C.A.; Machado, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**. Volume 1, N°1. 2005.

- Lugo, A. E. and Morris, G. L. Los Sistemas Ecológicos y la Humanidad. **Monografía**. No. 23, Serie de Biología, Organization of American States, Washington, D.C. 1982.
- OPPAALC – Observatório de Políticas Públicas Ambientais da América Latina e Caribe. Bioma em pé rende US\$ 20 bi. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=39208>. Acesso em 13 de setembro de 2009.
- Ribeiro, J.F.; Schiavini, I. Recuperação de matas de galeria: integração entre oferta ambiental e biologia das espécies. **In**: Ribeiro, J.F. (ed.). Cerrado matas de galeria. Planaltina: **EMBRAPA-CPAC**, p.137-153. 1998.
- Rezende, A.V. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. **Tese** (Doutorado) 243p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- Silva, L.C.R. Desenvolvimento de espécies arbóreas em área degradada pela mineração sob diferentes tratamentos de substrato. **Monografia**. Brasília:UnB.79p.2006.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Efeito estufa

A energia solar atinge a superfície terrestre e é reemitida para a atmosfera, onde é absorvida por traços de gases que não deixam que o calor escape, processo chamado de efeito estufa. Esse fenômeno é natural, existe independente da ação do homem e é responsável por manter a Terra aquecida. Caso não houvesse o efeito estufa, a Terra seria cerca de 33 °C mais fria, pois atualmente a sua temperatura média do planeta é de 15 °C e o solo terrestre irradia energia na forma de radiação eletromagnética, na faixa do infravermelho, com distribuição espectral próxima a de um corpo negro a -18 °C, que seria a temperatura da atmosfera sem o efeito estufa (TOLENTINO E ROCHA, 1998).

A atmosfera terrestre é composta basicamente por nitrogênio (≅ 78 %), oxigênio (≅20 %) e por traços de gases. Entretanto, processos naturais e provocados pelo homem alteram a concentração de alguns traços de gases, como os agentes causadores de efeito estufa (GEE) (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Principais gases causadores do Efeito Estufa (adaptado de KRUPA,1997).

Gás	Principal Fonte antrópica	Principal Fonte Natural	Tempo de vida na atmosfera	Taxa de aumento anual	Contribuição relativa ao efeito estufa antrópico
Gás Carbônico (CO ₂)	Combustíveis fósseis, desflorestamento	Balanço na natureza	50-200 anos	0,50%	60%
Metano (CH ₄)	Cultivo de arroz, pecuária, combustíveis fósseis, queima de biomassa	Terrenos alagados	10 anos	0,90%	15%
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Fertilizantes, conversão do uso da terra	Solos e Florestas Tropicais	150 anos	0,30%	5%
Clocofluorcarbonetos (CFCs)	Refrigeradores, aerossóis, processos industriais	-	60 - 100 anos	4%	12%
Ozônio (O ₃)	Hidrocarbonetos (com Nox), queima de biomassa	Hidrocarbonetos	semanas a meses	0,5 - 2,0%	8%
Monóxido de Carbono (CO)	Combustíveis fósseis, queima de biomassa	Oxidação de Hidrocarbonetos	meses	0,7 - 1,05%	-
Vapor de água (H ₂ O)	Conversão do uso da terra, irrigação.	Evapotranspiração	dias	-	-

As concentrações dos GEE na atmosfera não são constantes, pois possuem tempo de vida e quantidades emitidas diferentes. O principal agente do efeito estufa é o dióxido

de carbono (CO₂), pois a sua permanência da atmosfera é bem maior que a dos outros gases (TOLENTINO E ROCHA, 1998; CARDOSO et al., 2001). O aquecimento global (aumento da temperatura média do planeta) é a intensificação do efeito estufa causada principalmente pela queima de combustíveis fósseis e pelos desmatamentos, uma vez que estas atividades emitem GEEs.

Ciclo do carbono

Os quatro principais compartimentos de carbono na Terra são: os oceanos, a atmosfera, as formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e os ecossistemas terrestres compostos pela biota e pelo solo. Constata-se que o maior compartimento de carbono na Terra é o oceano (38.000Gt), seguido do compartimento das formações geológicas (5.000 Gt) (MACHADO, 2005).

O compartimento de carbono do solo (2500 Gt) é o maior nos ecossistemas terrestres (aproximadamente 4 vezes o compartimento de carbono da vegetação e 3,3 vezes o carbono da atmosfera) e é constituído pelo carbono orgânico (1500 Gt) e mineral (1000 Gt). O carbono orgânico representa o equilíbrio entre o carbono adicionado ao solo pela vegetação e o perdido para as águas profundas e, finalmente, para os oceanos via lixiviação como carbono orgânico dissolvido (0,4 Gt) ou para atmosfera via atividade microbiana como dióxido de carbono em solos aerados ou metano em solos saturados com água. Entretanto, pouco se sabe sobre os valores precisos de perdas de carbono do solo na atmosfera (MACHADO, 2005).

Segundo Berner e Lasaga (1989), Heinrich e Hergt (1990) e Pacheco e Helene (1990), o total de carbono na Terra encontra-se em torno de 416 Gt, estando 99,95% deste carbono estocado em compostos inorgânicos e 0,05% em compostos orgânicos. Os compostos inorgânicos são encontrados nas camadas geológicas e sedimentos oceânicos, na forma de carbonatos e bicarbonatos. Já os compostos orgânicos são encontrados na biomassa marinha, terrestre, detritos orgânicos, no solo e também nos sedimentos e detritos orgânicos dos oceanos. Dos compostos orgânicos, estima-se que 2/3 se encontram em forma fóssil (turfa, petróleo e gás) e 1/3 na matéria orgânica do solo, na água e na biomassa viva (BOINA, 2008).

Mudanças climáticas e o cenário político atual

O aumento da concentração de gases na atmosfera terrestre, provenientes de atividades antrópicas, tem levado à intensificação do efeito estufa natural e, em

consequência, às mudanças climáticas globais. Fenômenos como temperaturas extremas, secas, inundações e furacões têm sido observados cada vez com maior frequência em todo o globo em regiões nas quais não costumavam ocorrer (RIBEIRO, 2007).

Na Amazônia, que em 2005 enfrentou a sua pior seca em décadas, deixando comunidades sem água e sem comida, houve um aumento de 300% nas queimadas no mês de setembro. Chuvas intensas no início de 2006 provocaram enchentes que inundaram as casas de milhares de ribeirinhos.

No período de 2004 a 2006, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina enfrentaram a maior estiagem dos últimos 50 anos. Picos de temperaturas extremas também vêm sendo observados com mais frequência. A perda foi de 8,5 milhões de toneladas de grãos (soja, milho e feijão), com um prejuízo recorde de R\$ 3,64 bilhões e 451 municípios em situação de emergência ou estado de calamidade. Um aumento de 1° C a 3° C nas temperaturas mínimas já foi registrado em todas as regiões de Santa Catarina, provocando a diminuição e o rigor das geadas e do frio do inverno, e aumentando a sensação térmica de extremo calor no verão.

No final de agosto de 2005, um tornado deixou um rastro de destruição em Muitos Capões, no nordeste do Rio Grande do Sul, arrasando cerca de 70% da cidade. No mesmo dia, o furacão Katrina destruiu Nova Orleans, nos Estados Unidos. Cientistas alertam que fenômenos como esses podem ser mais frequentes em um planeta mais quente, inclusive na costa brasileira.

Ondas inéditas ocorreram no Rio de Janeiro, alterações na dinâmica das correntes marítimas e dos ventos mudaram a direção nas ondas na Baía de Guanabara e nas proximidades do aeroporto Santos Dumont. Um processo de erosão acentuado é observado periodicamente em praias como Macumba e Arpoador (RJ), com risco de colapso dos calçadões. Na Ponta da Joatinga, no extremo da Barra da Tijuca (RJ), desaparecem 800 metros lineares de praia por ano devido às enxurradas intensas. Recife (PE) perdeu 2 metros de praias em apenas 10 anos.

As pancadas de chuva estão mais intensas e ocorrendo também fora de época no Rio de Janeiro. A chegada mais frequente de pingüins no início do inverno nas praias do Rio é um indicador das mudanças nas correntes oceânicas. O derretimento das geleiras vai elevar o nível do mar e trazer graves problemas às cidades do litoral brasileiro (GREENPEACE, 2006).

Apesar das mudanças climáticas globais já serem estudadas por cientistas desde o início do século XX, apenas na década de 80 é que elas foram inseridas na agenda política

internacional. A criação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), em 1988, e a entrada em vigor na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*), em 1994, representaram os primeiros passos na busca pelo entendimento da questão climática e na proposição de reduções de emissões de gases estufa em nível global.

A partir de 1992 deram-se início às Conferências das Partes (*Conferences of the Parties – COP*), que é o órgão supremo de tomada de decisão da CQNUMC, e cujas reuniões ocorrem anualmente. Dentre todas as COPs que ocorreram, a de maior destaque foi a COP 3, em 1997, responsável pela elaboração do Protocolo de Quioto, que entrou em vigor apenas em fevereiro de 2005.

O Protocolo de Quioto prevê que as emissões de gases de efeito estufa sejam reduzidas, em média, a 5,2% abaixo dos níveis de 1990 (ano de inventário dos gases), no período de 2008 a 2012, que corresponde ao primeiro período de compromisso. Os países (Partes) que ratificaram o Protocolo foram divididos em países Anexo I, que correspondem aos países desenvolvidos e Não Anexo I que correspondem aos países em desenvolvimento. No primeiro período de compromisso, apenas os países do Anexo I possuem metas de redução de emissão.

Por outro lado a 15ª COP (realizada em Copenhague dezembro/2009) encerrou-se de forma frustrante, sem nenhum acordo ou negociação entre as partes. Não foram estabelecido metas para redução de gases do efeito estufa para o segundo período de compromisso (2012 à 2020). Com isso, a tentativa de fechar um texto que permitisse que os países, principalmente os desenvolvidos, fossem cobrados internacionalmente pelo cumprimento das metas ficará para 2010, quando está marcada a nova reunião no México.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e os Créditos de Carbono

Objetivando-se facilitar o cumprimento das metas de redução das emissões dos países do Anexo I, o Protocolo de Quioto trouxe como inovação os mecanismos de flexibilização, que possibilitam que a redução ou remoção das emissões de gases de efeito estufa possam ser realizadas além de suas fronteiras nacionais. Esses mecanismos englobam o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Dentre eles, apenas o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo permite a participação de países do não-Anexo I, como o Brasil.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism – CDM*) é uma proposta brasileira que prevê que um país do Anexo I poderá implementar um projeto em um país do não-Anexo I, como forma de gerar créditos de carbono, que poderão ser usados diretamente para abater suas metas ou negociados no mercado de créditos de carbono.

Créditos de Carbono são papéis comercializados no mercado internacional, entre os países que têm metas a cumprir (Anexo B) e os que não têm (Não anexo B), ou seja, os países desenvolvidos (Anexo A) possuem quotas de redução das emissões, e os países em desenvolvimento (Anexo B), como o caso do Brasil, não possuem quotas de redução das emissões. O sistema tem a vantagem de permitir que cada empresa estabeleça seu próprio ritmo de adequação às leis ambientais. Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias. Os créditos de carbono já estão sendo comercializados com antecedência no mercado, mesmo que ainda não haja uma regulamentação de preços. O preço atual da tonelada de CO₂ esta na faixa de 20,00 dólares americanos vivenciando um momento de pico (SANQUETTA, 2008).

A participação em um projeto no MDL está sujeita a alguns critérios de elegibilidade, tais como promover o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro e contribuir para o objetivo final da CQNUMC. No primeiro período de compromisso, na categoria de projetos de remoção de emissões, apenas o florestamento e reflorestamento são atividades consideradas elegíveis.

Nesse contexto, as florestas têm sua importância destacada, já que elas constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres e funciona como sumidouros de carbono, o que corrobora com a sua inclusão em projetos no MDL. Entretanto, a fim de que se possa avaliar o potencial para a geração de créditos de carbono, é de fundamental importância que se proceda à quantificação do carbono que elas estocam.

A quantificação do carbono fixado na biomassa florestal, dos diferentes biomas brasileiros, é uma ferramenta geradora de dados primários de informação, que podem vir a ser usados na proposição de projeto no âmbito do MDL.

No Brasil, manter os biomas remanescentes em pé e reflorestar as áreas degradadas de cada bioma brasileiro pode resultar num bom rendimento em créditos de carbono. O cerrado, por exemplo, pode render no mínimo US\$ 20 bilhões em crédito de carbono; segundo estudo conduzido pelo Estado, pelas ONGs Conservação Internacional – CI e The Nature Conservancy, além da Universidade Federal de Goiás (OPPAALC,2008). Tais créditos seriam na forma de conservar o Cerrado remanescente e o reflorestamento.

Estoque de Carbono nos diferentes compartimentos das florestas

Os ecossistemas florestais apresentam elevada contribuição para a imobilização de C, de acordo com Persson (1978) e McClaugherty et al. (1982), citados por Vogt e Bloomfield (1991). As plantas fixam carbono por meio da equação da fotossíntese, retirando gás carbônico da atmosfera e água do solo, emitindo oxigênio e capturando carbono na sua biomassa por meio do seu crescimento apical e radial. Esse processo se dá na presença de luz e sob a ação da clorofila das plantas.

Aproximadamente 15% do reservatório de carbono atmosférico é fixado anualmente pela fotossíntese através das plantas terrestres. Assim, qualquer alteração nesta taxa de fixação como resultado da mudança global ambiental poderá ter um impacto significativo na taxa de CO₂ atmosférico (WILLIAMS et al, 1997). As árvores estão entre os seres vivos com a maior capacidade de armazenar carbono em sua biomassa devido ao seu porte avantajado, à sua longevidade e à possibilidade de crescerem em maciços. Por isso as florestas são consideradas como sumidouros de carbono e o reflorestamento aceito como meio efetivo de capturar o gás carbônico da atmosfera poluída (SANQUETTA, 2004).

O acúmulo de carbono em uma floresta se dá em todos os seus compartimentos: folhagem, galhos, fuste, raízes, serapilheira ou material caído (incluindo folheto e madeira morta) e também na camada orgânica do solo. Todos esses compartimentos são passíveis de cômputo em quantificações para formulação de projetos florestais de MDL.

Carbono do solo

Muitos autores têm estimado o estoque de carbono de 0-30 ou 0-50 cm de profundidade em solos tropicais. Pode-se argumentar que essa é a camada de maior atividade de micro e macrorganismos (COSTA, 2005). Além disso, essa camada é a que recebe maiores adições de resíduos das plantas nativas ou cultivadas, bem como a adição de fertilizantes e corretivos. Seu contato com a atmosfera é maior e mais intenso. Todavia, os solos tropicais são muito profundos, principalmente Latossolos e Argissolos. Esse é um argumento muito importante para que os Latossolos sejam computados no estoque de carbono, especialmente nos solos tropicais profundos (COSTA et al.2005).

Szakács (2003) estudou a potencialidade de seqüestrar carbono em solos arenosos de Cerrado sob pastagem e encontrou valores de 22,41 t ha⁻¹ no pasto mais degradado, 12,81 t ha⁻¹ no pasto significativamente degradado e de 7,7 t ha⁻¹ no Pasto moderadamente degradado, a diferença nos estoques são diretamente ligadas ao manejo.

Rangel e Silva (2007) encontraram um estoque de Carbono Orgânico (CO) em áreas de reflorestamento com pinus ($30,60 \text{ t ha}^{-1}$) sob latossolo, maior do que o eucalipto ($26,27 \text{ t ha}^{-1}$) e o determinado na área de mata nativa ($16,20 \text{ t ha}^{-1}$) na profundidade de 10-20 cm do solo. O estoque de CO nas áreas de reflorestamento com pinus e eucalipto esteve próximo ou acima dos valores encontrados no sistema de mata nativa.

Fernandes et al. (1999) ao conduzir um estudo visando avaliar as alterações de CO de um Podzol Hidromórfico decorrentes da introdução de *Brachiaria decumbens* Stapf. Prain, em área de cerrado no Pantanal Mato-Grossense, constatou uma redução significativa de 32% ($4,7 \text{ g de C/dm}^3$) no conteúdo de C no solo. Novaes Filho et al. (2007) obteve estoques médios de carbono na camada de 0,20 m de $10,5 \text{ g/kg}$ em microbacia sob floresta primária.

Na região amazônica, a estimativa do estoque de carbono tem sido feita em diferentes locais, com resultados muito variados. Melo (2003), por exemplo, estimou o estoque de carbono nos solos do Estado do Acre, encontrando variações de 30 a 36 t.ha^{-1} em Argissolos e 33 a 42 t.ha^{-1} em Latossolos, na profundidade de 0-0,30 m. Variações semelhantes foram verificadas por Neill et al. (1997) em alguns municípios de Rondônia, onde o estoque de carbono na camada de 0-0,30 m do solo variou de $32,30 \pm 3,20 \text{ t.ha}^{-1}$ (Nova Vida) a $62,00 \pm 2,30 \text{ t.ha}^{-1}$ (Porto Velho).

Em solos sob Cerrado, na região Central do Brasil, estudos mostraram que os estoques de C foram maiores no Sistema Plantio Direto (SPD) no Cerradão, onde os valores médios variaram entre 75 a 88 t ha^{-1} somente nas camadas superficiais (até 30 cm), valores maiores aos encontrados por Corazza et al. (1999), que utilizou os estoques de áreas com vegetação típica de Cerrado (*sensu stricto*), mas estão próximos aos valores reportados por Siqueira Neto et al. (2004) em estudos realizado na região de Sinop (MT) sob Cerradão (SIQUEIRA NETO, 2006).

Carbono das raízes

A produção de raízes pode representar até 50% da produtividade primária local, sendo este um dos caminhos principais pelo qual o carbono entra no solo (VOGT, 1991; IPCC, 1999). Assim, sua produção e substituição impactam diretamente o ciclo biogeoquímico do carbono em ecossistemas florestais (MATAMALA *et al.*, 2003). Estudos que quantificam a partição de carbono da planta e sua dinâmica no componente subterrâneo podem servir para melhor entender a ciclagem do carbono e os modelos de seqüestro (BLOCK et al., 2006)

De acordo com Rylter (1997), as raízes finas das plantas constituem um dos principais meios para acessar os recursos do solo, sendo que seu comprimento e número são indicadores da capacidade de absorção de nutrientes. As raízes finas são mais abundantes no horizonte orgânico e camada de serrapilheira, onde se concentra de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes (EHRENFELD *et al.*, 1992), das quais 50-80% são compostas por biomassa morta (VOGT *et al.*, 1986), resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas (HENDRICK e PREGITZER, 1993).

A produção de raízes finas é muito importante no processo de substituição das partes vivas da planta, interferindo tanto no incremento de biomassa, como na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (VOGT *et al.*, 1986; McCLAUGHERTY *et al.*, 1985). Usman *et al.* (1999), pesquisadores de florestas nativas temperadas, observaram que a produção de raízes finas, em dois anos de avaliação, foi de 53-80% e 58-75% do sistema radicular para *Quercus leucotrichophora* A. Camus Ex. Bahadur e *Pinus roxburghii* Sarg. As raízes finas menores que 2 mm contribuem com 25-80% do acúmulo total de carbono anualmente no solo (FREITAS *et al.*, 2008).

Rodin (2004), ao determinar de que forma a biomassa subterrânea e sua distribuição e a dinâmica de raízes finas variam entre os distintos ecossistemas do Cerrado e uma pastagem plantada com *Brachiaria brizantha*, concluiu que a conversão de ecossistemas nativos em pastagens plantadas altera substancialmente o estoque de biomassa subterrânea, com perda entre 70 a 87% da biomassa grossa, dependendo da densidade da vegetação lenhosa do ecossistema nativo. A pastagem também altera a distribuição da biomassa subterrânea, que se torna mais superficial.

Carbono do estrato herbáceo

Silva (2006) acompanhou o desenvolvimento de espécies arbóreas em área degradada pela atividade mineira sob diferentes tratamentos de substratos, verificou que o estabelecimento da cobertura herbácea com *Stylosanthes* spp. possibilitou, dois anos após o plantio, um incremento no teor de matéria orgânica no substrato da ordem de $13,83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

O mesmo autor recomenda, ainda, que as práticas implementadas, com destaque para o estabelecimento de cobertura herbácea, devem ser recomendadas em projetos que visem à recuperação de áreas mineradas. Deve-se, entretanto, aprofundar a investigação quanto à escolha das espécies arbóreas, bem como manter acompanhamentos em longo prazo, para que se avalie a efetiva sustentabilidade do processo de recuperação.

Stape et al (2007) obteve $92 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em um plantio de restauração com vegetação original (pastagem de *Brachiaria decumbens*). Shunke et al. (2004) em pastagens pura de *Brachiaria decumbens* e consorciada com cv. Campo Grande com idade de cinco anos, estabelecida no Cerrado, detectaram na camada superficial do solo (10cm) valores de C orgânico acima de $12,1 \text{ t ha}^{-1}$. Nos cerrados, o acúmulo de C no solo sob pastagens de braquiária bem manejada está entre $1 \text{ e } 2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CORAZZA et al, 1999). Tarré et al. (2001) citado por Shunk et al. (2004), também encontrou esta tendência para as condições da Mata Atlântica e mostrou ainda que a presença de uma leguminosa (*Desmodium ovalifolium*) na pastagem de *Brachiaria humidicola* dobrou a taxa de acumulação de C no solo. No caso, houve um acúmulo anual de C de $0,66 \text{ t ha}^{-1}$ em pastagens de *B. humidicola* pura e $1,17 \text{ t ha}^{-1}$ quando consorciada com *Desmodium ovalifolium*, uma diferença de 56,4% a mais no consórcio.

Carbono da parte aérea das arbóreas

Brown e Lugo (1982) reportaram que o carbono contido na biomassa da parte aérea das árvores localizadas nos trópicos varia de 20 a 269 tC ha^{-1} . Delaney et al. (1997), em estudos realizados em cinco diferentes áreas na Venezuela, concluíram que o carbono estocado na biomassa aérea para árvores maiores de 10 cm de diâmetro à altura do peito varia desde 70 t C ha^{-1} nas áreas florestais muito secas, até 179 t C.ha^{-1} em áreas de floresta com alta umidade. Segundo os autores, em áreas muito secas, o carbono na biomassa das árvores com diâmetro menor que 10 cm esta entre $0,7 \text{ a } 1,0 \text{ tC.ha}^{-1}$, ou 1,5% do carbono contido nas árvores maiores que 10 cm de diâmetro.

Velasco e Higuchi (2009) obtiveram $145,26 \text{ tC.ha}^{-1}$ da parte aérea das plantas em um plantio com espécies nativas para recuperação de uma mata ciliar às margens do Rio Pinheiro (SP). Vasconcelos e Luizão (2004) reportaram que a biomassa aérea de uma floresta tropical úmida foi estimativa em 324 tC.ha^{-1} (HIGUCHI et al.1998), menor do que em outras florestas tropicais na África e na Ásia. Os teores médios de carbono são menores nas folhas (39%) do que nos galhos finos (47%), grossos e troncos (48%) (BIONTE, 1997). Pinto et al. (2005) ao levantar dados de inventário em uma área de florestas nas proximidades da BR-174, Manaus-Boa Vista, encontrou estoques médios de biomassa seca e carbono de 321 t ha^{-1} e 160 tC ha^{-1} . Segundo Higuchi e Carvalho Jr. (1994), dezenove espécies amazônicas, em Manaus, tiveram uma média aritmética de teor de carbono da base do tronco de 48,5% e do topo de 48,2%. Segundo os autores, estes valores, estão próximos das estimativas de teor de carbono contidas na literatura pertinente, de 50%.

Taxas de fixação de carbono na vegetação

A fixação de carbono ou seqüestro de carbono pela vegetação, refere-se a processos de absorção e armazenamento de CO₂ atmosférico, com intenção de minimizar seus impactos no ambiente, já que se trata de um gás de efeito estufa (GEE). A finalidade desse processo é conter e reverter o acúmulo de CO₂ atmosférico, visando a diminuição do efeito estufa (RENNER, 2004).

Aproximadamente 15% do reservatório de carbono atmosférico é fixado anualmente pela fotossíntese através das plantas terrestres. Assim, qualquer alteração nesta taxa de fixação, como resultado da mudança global ambiental, poderá ter um impacto significativo na taxa de CO₂ atmosférico (WILLIAMS *et al.*, 1997).

Lima et al. (2007) se reporta a estimativas de seqüestro de carbono de 41 espécies nativas em que as espécies que demonstraram maior capacidade de retenção do carbono foram o Jequitibá (49,50 tC ha e 19,43 tC ha e a Canela-preta (16,70 tC ha). A absorção média das espécies nativas é de 2,59 tC ha ano (LIMA et al.; 2007).

Maia (2003), estudando por um período de três anos o balanço de energia e fluxo de carbono em uma área de cerrado *sensu stricto* que sofreu queima acidental, localizado na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), em Brasília, observou que a vegetação teve um acúmulo de carbono líquido anual que variou de 1,2 tC.ha⁻¹ a 1,5 tC.ha⁻¹. Segundo o mesmo autor, o carbono da biomassa aérea total encontrada foi de 14,5 t.ha⁻¹, e esta se manteve estável durante os três anos. A maior parte desta biomassa estava concentrada no estrato arbóreo (9,16 t.ha⁻¹), enquanto que o estrato rasteiro representou 37% da biomassa total.

May et al. (2005) identificou 11,5 mil ha de áreas com potencial para Sistemas Agroflorestais (SAF's) na área de influência da Usina Termo Elétrica (UTE) Eletrobolt, no município de Seropédica (RJ) para avaliar a estocagem de carbono em um reflorestamento de 2,5. No reflorestamento, as 34 espécies nativas plantadas exibiram a fixação estimada entre 0,9 e 3,4 tC ha ano. Nas 80 árvores de SAF, mediu-se um estoque acumulado de 7,5 t C/ha.

Emissões e remoções de CO₂ em florestas nativas e plantadas no Brasil

Florestas nativas

As florestas no Brasil têm um enorme potencial para serem peças chaves no desenvolvimento nacional sustentável. As florestas naturais e plantadas do país provêm produtos e serviços de diversas cadeias produtivas, incluindo madeira e móveis, papel e

celulose, tinturas e corantes, alimentos, chapas de fibra, óleos, resinas e elastômeros, fármacos, cosméticos, carvão, energia, ecoturismo, estoque e captura de carbono, além de proteção de mananciais (PASSOS et al., 2007).

Segundo o Plano Nacional de Floresta – PNF (2004), em 2002, a produção de papel e celulose, madeira sólida de plantações, madeira nativa (em especial, da Amazônia) e produtos não-madeireiros no Brasil responderam por cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB), 7% das exportações e geraram cerca de 6,7 milhões de empregos diretos e indiretos.

No âmbito do segmento de florestas nativas, o PNF tem com um dos objetivos centrais ampliar de forma significativa as áreas de bom manejo florestal. Especificamente, estabelecer a meta de adicionar 15 milhões de hectares de florestas nativas em produção sustentável de modo a abastecer 30% da indústria florestal do Brasil. Além disso, o PNF adotou a meta de que cerca de um terço dessa produção florestal nativa tenha origem em florestas sociais, tais como florestas sob domínio da agricultura familiar, comunitária ou extrativista em biomas como Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (VERISSIMO, 2005).

Nas florestas nativas, o principal segmento é o setor madeireiro que opera na Amazônia Legal. Embora tenha uma participação menor na economia florestal, a extração de produtos não-madeireiro (frutos, óleos, fármacos, resinas, etc.) contribui de forma significativa para geração de renda e emprego nas comunidades tradicionais, principalmente na Amazônia. A exploração e o processamento industrial de madeira na Amazônia brasileira, é uma das principais atividades econômicas. Em 2004, essa atividade gerou uma receita bruta de US\$2,3 bilhões (VERISSIMO, 2005). As mais de 3.100 madeireiras extraíram 24,5 milhões de metros cúbicos de madeira em tora (cerca de 6,3 milhões de árvores), o que representa 80% da produção de madeira nativa do Brasil (VERISSIMO, 2005).

O uso de espécies nativas (em plantios mistos) seja para recuperação de solos degradados ou exploração de madeira surge como uma alternativa para projetos que objetivam fixar carbono, pois, estas espécies além de proporcionar melhorias na estrutura do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes, promovem também condições ecofisiológicas favoráveis ao maior crescimento das plantas (PRADO JR, 2008).

Em estudos referentes aos valores líquidos de emissões e remoções por sumidouros de CO₂, realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT (2008), associadas à mudança de uso da terra no Brasil, por bioma para o período 1988-1994, obtiveram-se os resultados apresentados a seguir (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Valores líquidos de emissões e remoções por sumidouros de CO₂. (MCT, 2008).

Bioma	Emissões causadas pelo deflorestamento bruto (TgC ano ⁻¹)*	Remoção decorrente do processo de regeneração (TgC ano ⁻¹)	Emissões por fonte e remoções por sumidouros (TgC ano ⁻¹)
Amazônia	151,7	34,9	116,9
Cerrado	67,1	15,7	51,5
Caatinga			10
Pantanal	10,3	7,5	2,8
Mata Atlântica	11,8	11,3	0,5

*1 Tg corresponde a 10⁶ t

Para o Bioma Amazônia, o resultado representa a diferença entre a emissão causada pelo deflorestamento bruto, 151,7 TgC ano⁻¹, e a remoção decorrente do processo de regeneração 34,9 TgC ano⁻¹. Para o bioma Caatinga, não foi detectados valores referentes a remoções por sumidouros.

Segundo relatório do MCT (2008), as emissões líquidas de CO₂ causadas pelas mudanças de uso da terra em todo o Brasil foram estimadas em 722 TgC ano⁻¹, para cada ano do período 1988-1994.

O bioma Amazônia foi responsável pela maior emissão média líquida de CO₂ no período (429 TgC ano⁻¹), representando 59% das emissões líquidas totais. O bioma Cerrado foi o segundo mais relevante com emissão média líquida de 189 Tg CO₂ ano⁻¹, representando 26% das emissões líquidas totais. Os biomas Mata Atlântica, Caatinga e Pantanal contribuíram em menor escala: respectivamente, 41 Tg CO₂ ano⁻¹, 36 Tg CO₂ ano⁻¹ e 27 Tg CO₂ ano⁻¹. Estimou-se que as remoções anuais de CO₂ resultantes do processo de regeneração em todos os biomas considerados (exceto Caatinga) representaram 22% da emissão anual bruta de CO₂, totalizando 920 Tg CO₂.

Florestas plantadas

Machado e Pinheiro (1991) relataram que, em se tratando de atividades de reflorestamento incentivadas no Brasil, foram plantados, até o ano de 1991, cerca de 3,5 milhões de hectares, sendo predominantes os gêneros de Eucalyptus e Pinus com 80% desse total. Deste montante, o setor de papel e celulose participava com 31% e o de carvão vegetal para siderurgia com 33%.

De acordo com Salomão (1993), em 1993 o Brasil tinha um total de 6,6 milhões de hectares de reflorestamentos, e a área ocupada com o gênero Eucalyptus estava próxima a

3 milhões de hectares. Reis et al. (1994) citaram que a área reflorestada no Brasil era de cerca de 6,5 milhões de hectares e que 43% desta área estava situada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

As publicações citadas acima apresentam divergências, mostrando parte da realidade brasileira. As florestas plantadas por pequenos proprietários e produtores independentes, muitas vezes não fazem parte dos registros das áreas ocupadas com florestas plantadas de uso industrial (BOINA, 2008).

Os levantamentos realizados por Faria (1997) apontaram a existência de valores acima de 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, até 1994, somente no estado de Minas Gerais, valores muito acima dos apresentados nas citações anteriores. Os dados apresentados por este autor foram obtidos junto às entidades que possuem informações sobre florestas plantadas nas esferas estadual, regional e municipal. Dentre estas, citam-se a Associação Brasileira de Florestas Renováveis - ABRACAVE, o Instituto Estadual de Florestas – IEF do estado de Minas Gerais e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Estimativas do carbono fixado pelas com florestas do gênero *Pinus* descrito pelo relatório do MCT (2008) apresentam valores totais de 1990 e 1994 iguais a 3,04 milhões de toneladas de carbono, que é o valor da mudança de estoque de carbono fixado no período. As florestas plantadas estiveram em processo de aumento de fixação de carbono para o período analisado, indicando que as florestas de *Pinus* para uso industrial fixaram mais carbono do que foi colhido na forma de madeira.

O processo de estimativa para o gênero *Eucalyptus* descrito pelo relatório do MCT (2008) entre os valores totais de 1990 e 1994 iguais a 40,70 milhões de toneladas de carbono, é o valor da mudança de estoque de carbono fixado no período. A estimativa mostra também que essa floresta esteve em processo de aumento de fixação de carbono no período analisado, indicando que as florestas plantadas de eucaliptos, para uso industrial, fixaram mais carbono do que foi colhido na forma de madeira.

Conforme já observado para o gênero *Pinus*, verifica-se também para o gênero *Eucalyptus* que o tronco foi a parte que apresentou os maiores valores de carbono fixado, em torno de 65%, enquanto a contribuição da parte da árvore composta pela copa e raiz foi de cerca de 35% dos valores estimados para o carbono fixado. É possível que essa porcentagem seja ainda mais expressiva em função do pouco conhecimento da contribuição do sistema radicular da planta.

Segundo o MCT (2008), as florestas plantadas de uso industrial apresentaram uma mudança total de estoque positiva de 43,74 milhões de toneladas de carbono fixadas no Brasil, no período de 1990 a 1994, sendo a contribuição estimada do gênero *Pinus* de 3, 04 milhões de toneladas e do gênero *Eucalyptus* de 40, 70 milhões de toneladas de carbono fixadas.

Biomassa e estoques de carbono

Biomassa e estoque/liberação de carbono das diferentes frações da vegetação são parâmetros de cálculo configurados em uma única base de interpretação porque são fortemente associados. Estes parâmetros ainda são considerados fatores chave na estimativa da emissão de partículas e gases do efeito estufa pela queima de biomassa (LIOUSSE *et al.*,1997). Várias pesquisas vêm se detendo na determinação destes parâmetros para tipos de vegetação aberta em diversas partes do mundo. O maior número de estudos esta concentrado na África devido à grande presença de savanas por todo o continente (CRUTZEN & ANDREAE, 1990; SCHOLE, 1995, *apud* BARBOSA, 2001).

No Brasil, entretanto, este tipo de abordagem vêm recebendo maiores atenções apenas recentemente, pois os grupos de investigações investiam mais esforços nos aspectos descritivos destas paisagens abertas. Os destaques atuais são encontrados nos cerrados do centro-oeste brasileiro. A seqüência evolutiva seguiu pelas áreas de (1) ecologia geral, composição, estrutura e descrições dos diferentes eco-tipos (COUTINHO, 1976, 1978, 1982; CESAR, 1980; EITEN, 1982, 1986), se aprofundando mais nos (2) efeitos do fogo nos substratos arbóreo e rasteiro, para entender o ciclo de nutrientes ou os fatores que afetavam a manutenção das paisagens (BATMANIAN, 1983; OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 1989; PIVELLO & COUTINHO, 1992) e, finalmente, (3) fluíram na ampliação da discussão dos impactos ecológicos e climáticos da emissão de gases pela queima da biomassa nestes sistemas abertos (WARD *et al.*, 1992; KAUFFMAN *et al.*, 1994; MIRANDA *et al.*, 1996a; MIRANDA *et al.*, 1996b; SILVA *et al.*, 1996; SATO & MIRANDA, 1996; ABDALA *et al.*, 1998; CASTRO & KAUFFMAN, 1998).

Especificamente para o Cerrado, poucos trabalhos têm sido encontrados na literatura a respeito de estocagem de biomassa em áreas degradadas por atividade mineira que foram revegetadas, denotando a importância de mais pesquisas neste campo. Trabalhos têm sido realizados utilizando-se estimativas de volume e biomassa em diferentes partes das árvores e em compartimentos das florestas, as quais são convertidas em quantidades de carbono por fatores de conversão. Em outras palavras, a quantidade de carbono estocada nas

florestas normalmente é obtida de forma indireta (COOPER, 1983; BROWN & LUGO, 1984; BROWN *et al.*, 1986; SCHROEDER, 1992), principalmente devido ao custo elevado para determinação direta da quantidade de carbono nos diferentes compartimentos da floresta. Assim sendo, torna-se necessário desenvolver ou utilizar metodologias que possibilitem obter estimativas da quantidade de carbono em diferentes partes das árvores e, conseqüentemente, em diferentes compartimentos da floresta (SOARES e OLIVEIRA, 2002).

Importância da revegetação de áreas mineradas no Cerrado

O conceito de revegetação, florestamento e reflorestamento foram retirados da categoria conhecida como *Land Use, Land-Use Change and Forestry* (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta), que trata dos potenciais sumidouros, fontes e reservatórios relacionados às atividades agropecuárias e florestais, dentro do Protocolo de Quioto (TSUKAMOTO FILHO, 2003). Suas definições são descritas abaixo:

a) **Revegetação** – “É uma atividade induzida diretamente pelo homem para aumentar os estoques de C em determinados locais por meio do estabelecimento de vegetação que cubra uma área mínima de 0,05 hectare e não se enquadre nas definições de florestamento e reflorestamento”.

b) **Florestamento** – “É a ação direta do homem na conversão de terras que não tenham sido florestadas por um período de no mínimo 50 anos para terras florestadas por plantação, semeadura e/ou ação humana promovendo semeadura natural”.

c) **Reflorestamento** – “É a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada mas convertida em terra não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989”.

Segundo Lyle (1987) a revegetação é uma prática que favorece novo uso econômico do solo em áreas que não sejam de preservação permanente, e resulta em aspectos mais agradáveis do ponto de vista estético. Dentro de um programa de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD), a revegetação é um dos procedimentos mais utilizados para se atingir seus objetivos.

No Distrito Federal a reconstrução dos solos de áreas mineradas por meio da revegetação tem sido uma das técnicas mais visadas pela recuperação de áreas degradadas.

A grande demanda por pedra, cascalho, areia e argila usados na construção de prédios, estradas, barragens e obras de engenharia diversas, na capital e cidades satélites, deixou extensas áreas desprovidas de cobertura vegetal, expostas às intempéries climáticas e em diferentes estágios de degradação na década de 50 com as obras de construção de Brasília (LEITE *et al.*; 1992).

Em uma área alterada, seja pela mineração ou outras atividades antrópica, buscam-se ações de recuperação ou revegetação economicamente compatíveis com os recursos disponíveis e que não inviabilizem o projeto a ser desenvolvido. O benefício final, mesmo não podendo ser contabilizado em termos financeiros, precisa ser relevante a fim de se justificar a mobilização de investimentos (PEREIRA, 1997).

A preocupação com o plantio de espécies arbóreas nativas apóia-se no interesse de se realizar um enriquecimento vegetal que possa se aproximar da paisagem original da área antes da intervenção antrópica, já que optar simplesmente pela sucessão natural implicaria num longo tempo de espera. As espécies envolvidas deverão estar adaptadas às condições locais e possuírem bom potencial de sobrevivência. O acompanhamento inicial do crescimento destas árvores irá fornecer dados importantes com relação a esta adaptabilidade, bem como ao comportamento frente a diferentes tratamentos usados no plantio em diferentes solos (PEREIRA, 1997).

Em áreas operacionais da mineração, incluindo margens de cavas, áreas de disposição de rejeitos, locais de estocagem de material, instalações de beneficiamento, oficinas, escritórios e construções, a revegetação pode, muitas vezes, ser feita com outras espécies, até mesmo as exóticas, e depende da reabilitação planejada e dos objetivos de uso da área após o encerramento da mineração (ALMEIDA e SANCHEZ, 2005).

Importância do espaçamento nos plantios

Dentre as principais práticas silviculturais, a escolha do espaçamento de plantio merece grande atenção, por apresentar uma série de implicações, tanto do ponto de vista tecnológico quanto econômico e silvicultural. A escolha do espaçamento adequado tem como objetivo proporcionar para cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Entretanto, outro aspecto a ser considerado é com relação à proteção do solo que depende do tempo necessário para o fechamento do dossel. Com o fechamento mais rápido do dossel, a proteção do solo, é obtida mais cedo, diminuindo os riscos de degradação, principalmente naqueles locais onde a declividade, o tipo de solo e o clima favorecem a erosão (BOTELHO, 1997).

A recomendação dos espaçamentos não deve ser generalizada e rígida para cada espécie e local. Considerações especiais devem ser feitas quanto ao hábito de crescimento da espécie, à qualidade do sítio, aos tratos silviculturais, à sobrevivência esperada e aos aspectos econômicos, dentre outros (BERNARDO, 1995), além da forma de crescimento do sistema radicular, da parte aérea e da fertilidade do solo (BOTELHO, 1997).

De modo geral, recomenda-se plantar de 1.110 a 2.700 mudas por hectare, utilizando-se espaçamentos como 3x3m, 3x2,5m, 3x2m, 2,5x2m, 1,5x3m, 2x2m e 1,5x2,5m. Souza (2002), ao comparar espaçamentos variando entre 3x2 e 3x5m, demonstrou que os menores espaçamentos promoveram um fechamento mais rápido do dossel e, conseqüentemente, uma menor necessidade de tratos de manutenção devido à menor invasão de gramíneas competidoras. O autor não recomenda o uso de espaçamentos 3x4 ou 3x5m no modelo de plantio com 50% de espécies clímax e 50% de espécies pioneiras, com grupos ecológicos em linhas intercaladas.

Moreira (2002) observou em plantio com 100% de espécies pioneiras utilizando espaçamento 3 x 3m, que a área recuperada dispensa tratos culturais após 12 meses da implantação do experimento, pois há o fechamento do dossel.

Stape et al (2007) obteve taxas médias de seqüestro de 116 gC m⁻² ano⁻¹ por efeito do espaçamento 3 x 2 e 3 x 1 em um plantio de restauração com espécies nativas. Bernardo (1995) verificou que a espécie *Eucalyptus camaldulensis* foi mais eficiente em converter energia em madeira que as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, nos espaçamentos 3 x 1,5 m, 3 x 3 m e 4 x 3 m, aos 41 meses de idade. Vale lembrar que quanto maior a biomassa de madeira maior será a quantidade de C fixado e maior a eficiência da planta em seqüestrar CO₂.

Reis et al. (1994) estudaram o seqüestro de C em plantações de eucalipto e verificaram que, com aumento da idade, mais precisamente a partir do ano 10, a fixação de C foi maior no espaçamento 3 x 2 m quando comparado ao sistema agrossilvipastoril que utiliza espaçamento maior. No caso do espaçamento 3 x 3 m, os autores verificaram que a quantidade de C fixado foi 6,79% maior que no sistema agrossilvipastoril aos dez anos de idade, em função da maior quantidade de C na raiz (0,81 toneladas a mais). O espaçamento 3 x 2 m fixou mais C que o espaçamento 3 x 3 m, o que ocorreu devido à necessidade da planta em também produzir biomassa na folha e na raiz por causa da competição entre plantas. Com a planta produzindo maior quantidade de folha, tem-se, conseqüentemente, um acréscimo maior na produção de serrapilheira.

Degradação do solo pela mineração

A degradação ambiental é um problema que vem preocupando a humanidade. Nas últimas décadas, registrou-se na região Centro-Oeste grandes mudanças no uso da terra. Extensas áreas com vegetação nativa foram substituídas por outras, deixando vastas áreas com solos expostos e degradados. É chamada de área perturbada aquela que sofreu algum distúrbio, geralmente de causa antrópica, que alterou suas características naturais, porém manteve sua habilidade de recuperação biótica (CARPENEZZI *et al.*, 1990). Dentre as atividades mais degradantes, está a mineração. A atividade mineradora é responsável por produzir impactos econômicos e ecológicos. Ela remove totalmente a camada fértil do solo, determinando a perda da biodiversidade, a interferência nos recursos hídricos, além da brusca alteração na paisagem (ARAUJO, 2006).

As medidas adotadas para a recuperação destas áreas algumas vezes são inócuas, pois, apesar da utilização de técnicas e procedimentos eficientes, a aplicação destas técnicas em situações distintas pode não trazer os resultados esperados (SEITZ, 1996). A recuperação natural de áreas mineradas é, em geral, muito lenta devido a retirada da cobertura do solo e exposição do regolito. Em alguns casos o processo de degradação agrava-se com a intensificação da erosão e aparecimento de voçorocas. A recuperação de solos degradados pela mineração, além de ser uma exigência da legislação ambiental brasileira vigente, é apontada como uma das ações necessárias à racionalização do uso da terra e melhoria da qualidade ambiental. As áreas mineradas podem ser recuperadas para atividades agropecuárias, florestais, recreativas, bem como para a conservação da flora e fauna silvestres (GRIFFITH, 1981).

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 Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

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 e 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. As vantagens da regeneração da floresta tropical e da recuperação de terras degradadas surgem do incremento mais rápido da biomassa florestal nas regiões tropicais, devido às temperaturas mais altas e mais estáveis e os índices de

chuva altos e regulares que promovem o crescimento mais rápido das árvores (REZENDE *et al.*, 2001).

Morretes (1992) ressalta que os problemas referentes à regeneração natural ou artificial de áreas degradadas seriam muito menores se fossem conhecidos os fatores ambientais e a biologia das espécies das áreas consideradas. A falta de conhecimento da ecologia das plantas nativas do cerrado restringe seu emprego em programas de recuperação de áreas degradadas. Os conhecimentos básicos de biologia reprodutiva dos cerrados associados à correção das restrições físicas e químicas do solo ao crescimento de plantas são importantes na definição de metodologias de recuperação de áreas degradadas (HAY & MOREIRA, 1992.; LEITE *et al.*; 1994).

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 (ARAÚJO, 2006). Verifica-se o não cumprimento da legislação pela maioria dos empreendimentos minerários. Diversas técnicas ou metodologias podem ser utilizadas para recuperar estas áreas. A escolha da metodologia mais adequada vai determinar o sucesso ou não da intervenção. Os métodos de recuperação descritos nos PRADs muitas vezes são feitos de forma incompatíveis com a realidade, talvez por falta de ferramentas adequadas de fiscalização por parte dos órgãos ambientais competentes. As soluções técnicas para recuperar essas áreas esbarram na falta de metodologias apropriadas e nas condições ecológico-econômico-sociais de cada região. Desta forma, existe a necessidade de desenvolver tecnologias e procedimentos que orientem o processo de recuperação das áreas degradadas por mineração no Distrito Federal.

Aspectos legais vigentes sobre RAD em minerações de jazidas de cascalho

Os principais instrumentos legais que prevêm a conservação, preservação, mitigação e controle dos impactos advindos da exploração de cascalho, são citados a seguir.

A recuperação do ambiente degradado pela mineração em geral esta prevista na Constituição Brasileira de 1988, em seu Artigo 225, capítulo 2º, o que já havia sido mencionado na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6938/81). O Decreto N° 97.632/89 regulamentou a recuperação de áreas degradadas pela mineração.

A instalação, funcionamento e ampliação de empreendimentos que utilizem os recursos naturais e causem sua degradação, dependem do prévio licenciamento ambiental. Isso faz com que o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais sejam

instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente. Essa política preconiza que, quando do licenciamento ambiental, seja exigida a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA. Como parte do licenciamento ambiental foram criadas as seguintes licenças: Prévia, de Instalação e de Operação, para as diferentes fases do licenciamento. O licenciamento ambiental de empreendimentos que envolvem a extração mineral foi especificado através das Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N°s 09 e 10/90, que editam normas específicas para esse fim. Os critérios básicos e diretrizes gerais para a apresentação de EIA/RIMA são estabelecidos na Resolução CONAMA 01/86.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M. & Eiten, G. Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology** 2:11-23.1998.
- Almeida, R.O.P.O.; Sánchez,L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **R.Árvore**, v.29, n.1, p.47-54,Viçosa-MG.2005.
- 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. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2006.
- Batmanian, G. J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. 78p. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia). Brasília: UnB, 1983.
- Berner, R.A.; Lasaga, A.C. Modeling the geochemical carbon cycle. **Scientific American**, v.3, 260p.1989.
- Bernardo, A.L. Crescimento e Eficiência nutricional de *Eucalyptus spp.* Sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em ciências florestais), Universidade Federal de Viçosa, 102p.1995.
- Bionte. Biomassa e Nutrientes Florestais. Relatório Final INPA/DFID. Manaus, 345p. 1997.
- Block, R. M. A.; Van Rees, K. C. J.; Knight, J. D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. **Agroforestry Systems**, v. 67, p. 73- 84, 2006.
- Botelho, S. A.; Faria, J. M. R.; Furtine Neto, A. E.; Resende, A. V. Implantação de florestas de proteção. UFLA/FAEPE, Lavras. 81p.1997. (T. acadêmicos).
- Boina, A. Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa.Viçosa,MG. 2008.
- Brown, S. and A. E. Lugo. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. **Science** 223:1290-1293. 1984.
- Brown, S. and A. E. Lugo. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. **Biotrópica** 14: 161-187. 1982.
- Brown, S.; Lugo, A. E.; Chapman, J. Biomass of tropical tree plantations and its implication for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forest Research**, v.13, p.390-394, 1986.

- Cardoso, A.N.; Saminêz, T.C.; Vargas, M.A. Fluxo de gases traços de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos do Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 17, Embrapa Cerrados, Brasília,DF,Brasil, 2001.
- Carpanezzi, A.A.; Costa, L.G.S.; Kageyama, P.Y.; Castro, C.F.A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. **In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais...** São Paulo: SBS, v.3, p.216-221. 1990.
- Castro-Neves, B. M. Efeito de queimadas em áreas de cerrado *stricto sensu* e na biomassa de raízes finas. **Tese de Doutorado**.82p. Brasília:UnB, 2007.
- Castro, E.A.de.; Kauffman, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. Cambridge university Press. **Journal of Tropical Ecology**. v.14, p.263-283.1998.
- Cesar, H.L. Efeitos da queima e cobertura sobre a vegetação de um campo sujo na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. 59p. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia) Universidade de Brasília, Brasília. 1980.
- Cooper, C. F. Carbon storage in managed forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v.13, n.1, p.155-165, 1983.
- Corazza, E.J.; Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Gomes, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.
- Corrêa, R. S. Recuperação de áreas degradadas por ação antrópica na APA do Descoberto. 1995.
- Corrêa, R.S.; Silva, L.C.R.; Melo Filho, B. Evolução da diversidade de espécies e da cobertura vegetal em uma área minerada em processo de recuperação no cerrado do Distrito Federal: contribuição da fauna. **In: Simpósio Nacional e Congresso Latino-Americano de Recuperação de Áreas Degradadas**, 6., 2005, Curitiba. Anais... Curitiba:.. SOBRADE (trabalhos voluntários orais), 2005.
- Corrêa, R. S. **Uso** da compostagem e da vermicompostagem para produção de biossólido e controle de helmintos no lodo de esgoto da ETE-Brasília Norte. **In: 3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**, 2004, Brasília. Tecnologia Ambiental, Trabalhos Completos, Resíduos Sólidos. Brasília : UCB, 2004.
- Costa, L.M.da; Oliveira, A. P. de; Guedes, I.M.R.; Schaefer, C.E.G.R; Santos, R.F.dos; Soares, R.A. O papel do solo no ciclo do carbono. Viçosa. 2005. Em [<http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=O+papel+do+solo+no+ciclo+do+carbono&start=40&sa=N>] Consultado em 30.11.2009.
- Coutinho, L. M. Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do cerrado. **Tese de Livre Docência**, Universidade de São Paulo. São Paulo.1976.

- Coutinho, L. M. O conceito de cerrado. **Rev. Brasileira de Botânica**, 1: 17-23.1978.
- Coutinho, M. M. A. A atividade na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio São Bartolomeu, DF: uma visão ecológica-humana. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia-UnB). Brasília, DF.113p. 1988.
- Coutinho, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. *In*: Huntley,B.J ; Walker,B.H. (eds.), **Ecology of Tropical Savannas** (Ecological Studies 42). Springer, New York. pp. 273-291.1982.
- Crutzen, P. J.; Andreae, M. O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, 250: 1669-1678.1990.
- Delaney, M.; Brown, S.; Lugo, A.E.; Torres-Lezama,A. and Quitero, N.B. The distribution organic carbon in major components of forests locate in five life zones of Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, 19:697-708.1997.
- Ehrenfels, J.; Kaldor, E.; Parmelee, R. W. Vertical distribution of roots along a soil toposequence in the New Jersey Pinelands. **Canadian Journal of Forest Research**, v.22, p.1929-1936, 1992.
- Eiten, G. Brazilian "savannas". *In*: B. J. Huntley ; B. H. Walker (eds.), Ecology of Tropical Savannas (Ecological Studies, vol. 42), Springer-Verlag, Berlim, Alemanha. pp. 25-47.1982.
- Eiten, G. The use of the term "savanna".Tropical Ecology [TROP.ECOL.].Vol.ée, nº1, pp.10-23.1986.
- Eiten, G. The use of the term "savanna". Tropical Ecology, 27-10-23.1986. *In*: Barbosa, R. I. Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de doutorado INPA/UA.236pág.2001.
- Faria, G.E.de.; Paiva, A.O. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n.1, p.59.2007.
- Fernandes, F.A.; Cerri, C.C.; Fernandes, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1943-1951.1999.
- Freitas, T.A.S.; Barroso, D.G., Carneiro,J.G.A. Dinâmica de raízes de espécies arboreas: visão da literatura. **Ciências Florestal**, v.18,n.1,p.133-142, jan-mar. Santa Maria.2008.
- Greenpeace. Mudanças do clima, mudanças de vidas. Como o aquecimento global já afeta o Brasil. 2006.
- Griffith, J.J. Recuperação conservacionista de superfícies mineradas – Uma revisão de literatura. Viçosa, S. I. F. **Boletim Técnico**, n.2,51p.1981.

- GTA – Grupo de Trabalho Amazônico de Tocantins. Noticias Embrapa cenargen. Disponível em:<http://www.cenargen.embrapa.br/cenargenda/noticias2005/gta290305.pdf> Acesso em 11.09.2009.
- Hay, J. D. & Moreira, A. O. Biologia Reprodutiva. **In:** B.F. de S; Dias (Coord.) Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e Conservação dos Recursos Naturais. **Funatura**, Brasília, DF. 1992.
- Heinrich, D.; Hergt, M. Dtv-Atlas zur Oekologie. **Muenchen:Deutscher Taschenbuch Verlag**, 286p.1990.
- Hendrick, R.; Pregitzer, K. The dynamics of fine root length, biomass and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. **Canadian Journal of Forest Research**, v.23,p.2507-2520,1993.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, 28 (2): 153-165. 1998.
- Higuchi, N.; Carvalho Jr.J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies da Amazônia. **In:** Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. **Anais...** Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro.p.125-154.1994.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006.
- IPCC. The science of climate change. **Cambridge:** Cambridge University Press, 1999. 572p
- Kauffman, J.B.Cummings, D.L.; Ward, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, London, v.82,p.519-531, 1994.
- Krupa, S.V. Global climate change:Process and products – An overview – Environ monitor assess, vol 46, n°s 1-2,pp.73-88,1997.
- Laurance, W. F. et al. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v.118, p.127-138, 1999.
- Leite, L. L.; Martins, C. R. & Haridasan, M. Efeito da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. P. 527-534. **In:** Anais do I Simpósio Sul – Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Foz do Iguaçu, PR. 1994.
- Leite, L. L.; Martins, C. R. & Haridasan, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. p. 392-399. **In: Anais do Simpósio Nacional sobre**

Recuperação de Áreas Degradadas realizado em 2-29 de outubro de 1992 em Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba.520p. 1992.

- Lioussé, C.; Dulac, F.; Cachier, H.; Tanré, D. Remote sensing of carbonaceous aerosol production by African savannas biomass burning. *Journal of Geophysical Research*, 102(D5): 5895-5911.1997.**In: BARBOSA, R. I.** Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de doutorado INPA/UA.236pág.2001.
- Lima, L.M.T.; Reginato,G.A.; Bartholomeu,D.B. Levantamento de estimativas de absorção de carbono por florestas nativas e comerciais no Brasil.2007. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/DanielaBacchi03.pdf>.Consultado em 16.01.2010.
- Luizão, F.J. & Vasconcelos, H.L., 2004. Floresta Tropical Úmida (Manaus). Disponível em http://www.icb.ufmg.br/~peld/port_site01.pdf. Consultado em 15/01/2010.
- Lyle, E. Surface mine reclamation manual. Cap.7-9, p.62-94.New York: Elsevier. 1987.
- Machado,L.M.G.; Pinheiro,M.R.M.M. O setor florestal brasileiro relatório nacional. **In: II ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL**.Curitiba, 1991.
- Machado, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Embrapa Solos. Quim. Nova*, v.28, n.2, p.328-334, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000200026. Acesso em 15 jan.2010.
- Maia, J.M.F. Balanço de energia e fluxo de carbono em uma área de cerrado que sofreu queima acidental. **Tese** de doutorado. Ecologia, UnB, Brasília, DF.2003.
- Matamala, R.; González-Meler, M. A.; Jastrow, J. D.; Norby, R. J.; Schlesinger, W. H. Impacts of Fine Root Turnover on Forest NPP and Soil C Sequestration Potential. **Science**, v.302, p.1385-1387, 2003.
- May, P.H.; Bohrer, C.B.; Tanizaki, K.;Dubois, J.C.L.; Landi, M.P.M.; Campagnani, S.; Oliveira Neto, S.N.; Vinha,V.G. Sistemas agroflorestais e reflorestamentos para captura de carbono e geração de renda.2005.Disponível em <http://www.slideshare.net/ProjetoBr/sistemas-agroflorestais-e-reflorestamento-para-captura-de-carbono-e-renda>.Consultado em 10/01/2010.
- Melo, A.C.G. ; Sousa, H. ; Contieri, W.A.; Malicial, L.C. Biomassa, fixação de carbono e estrutura da vegetação de cerrado em restauração aos seis anos,Assis, SP. *Ver.Inst.Flor. São Paulo*, v.21, n.1, p.73-78, jun.2009.
- Melo, A. W. F. Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

- Miranda, H. S.; Rocha e Silva, E. P.; Miranda, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. *In:* H. S. Miranda; C. H. Saito ; B. F. S. Dias (org.), Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga. Universidade de Brasília, Brasília (DF). pp. 1-10. (**Anais do Simpósio “Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais”** - III Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996). 1996 a.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Lloyd, J.; Grace, J.; McIntyre, J.A.; Meir, P.; Riggan, P.; Lockwood, R. ; BRASS, J. Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu strictu in central Brasil. *In:* J.H.C. Gash; C.A. Nobre; J.M. Roberts ; R.L. Victoria (eds.), **Amazonian Deforestation and Climate**. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp. 353-363. 1996b.
- Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas. Brasília: MCT/FBDS, 2002. 46 p. (Relatório de referência do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa).
- Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Inventario de Emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: MCT/FBDS, 86 p.2008.
- McClagherty, C.A.; Aber, J.D. and Melillo, J.M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. **Ecology** 63:1481-1490. 1982.
- McClagherty, C. A.; Aber, J. D.; Melillo, J. M. Decomposition dynamics of fine roots in forested ecosystems. **Oikos**, v.42, p.378-386, 1985.
- Morretes, B.L. Potencialidades e restrições da regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. *In:* **Anais do Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**. Curitiba, PR. p. 8-16. 1992.
- Moreira, M.A. Modelos de plantios de florestas mistas para recomposição de mata ciliar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2002.
- Neill, C.; Melillo, J.; Steudler, P.A.; Cerri, C.C.; Moraes, J.F.L.; Piccolo, M.C. and Brito, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, 7(4):1216-1225, 1997.
- Novaes Filho, J.P.; Selva, E.C.; Couto, E.G.; Lehmann, J.; Johnson, M.S.; Riha, S.J. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia meridional. *Revista Árvore*, v.31, n.1. Jan/Fev.2007.
- Oliveira-Filho, A. T.; Shepherd, G. J.; Martins, F. R.; Stubblebine, W. H. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 5: 413-431.1989. *In:* **BARBOSA**, R. I. Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de doutorado INPA/UA. 236 pág.2001.

- OPPAALC – Observatório de Políticas Públicas Ambientais da América Latina e Caribe. Bioma em pé rende US\$ 20 bi.2008. Disponível em:<http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=39208>. Acesso em 13.09.2009.
- Pacheco, M.R.S. ; Helene, M.E.M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos Avançados USP**, v.9, p.204-220, 1990.
- Passos, R.R.; Ruiz, H.A.; Cantarutti, R.B.; Mendonça, E. de S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1109-1118, 2007.
- Pereira, P.S.F.S. Plantio de quatro espécies leguminosas arbóreas em uma área de cerrado no Distrito Federal, Brasil. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia) Brasília-DF. 1997.
- Persson, H. Root dynamics in a young Scots pine stand in Central Sweden. **Oikos**, 30, 508-519.1978.
- Pivello, V. R.; Coutinho, L. M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, 8: 487-497.1992. **In:** BARBOSA, R. I. Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de doutorado INPA/UA.236pág.2001.
- PNF – Programa Nacional de Florestas. Ministério do Meio Ambiente.Governo do Brasil.2004.
- Portal São Francisco. Em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-efeito-estufa/aquecimento-global-7.php>. Consultado em 29/01/2010.
- Prado Jr.; N. Brasil avança no plantio de coníferas e exóticas. 2008. Disponível em: <http://inovabrasil.blogspot.com/2008/02/brasil-avana-no-plantio-de-conferas-e.html>. Consultado em 10.01.2010.
- Pinto, F.R.; Souza, C.R.; Santos, J.; Lima, A.J.N.; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Higuchi, N. Análise Fitossociológica e estimativas de biomassa e carbono em uma floresta primária na Região de Manaus (Am).2005.Disponível em <http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/446a.pdf>. Consultado em 16/01/2010.
- Rangel, O.J.P. & Silva, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1609-1623, 2007.
- Renner, R. 2004. Seqüestro de carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2004/d387_0560-M.pdf. Consultado em 10.01.2010.
- Reis, G.G. ; Valente,O.F. ; Fernandes, H.A.C. Seqüestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; Emissao x

seqüestro de CO₂. Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. **Anais...**Rio de Janeiro, 1994.

Rezende, D.; Merlin, S.; Santos, M. Seqüestro de Carbono: uma experiência concreta. **Instituto Ecológica**. 2001.

Rezende, A.V. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. 243p. **Tese** (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

Ribeiro, M.S. Os créditos de carbono e seus efeitos contábeis. **Anais do Congresso Anpcont – Associação Nacional dos Programas de Pós- Graduação em Ciências Contábeis**. Gramado, RS, Brasil, 1. 2007.

Ribeiro, J.F.; Schiavini, I. Recuperação de matas de galeria: integração entre oferta ambiental e biologia das espécies. **In:** Ribeiro, J.F. (ed.). Cerrado matas de galeria. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.137-153. 1998.

Rodin, P. Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em uma pastagem plantada no cerrado do Brasil Central. UnB. **Dissertação** (Mestrado UnB), 89 pág. 2004.

Rylter, R. M. Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows. **Thesis** (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997.

Salomão, C.C. Eucalipto – vilão ou herói? Planta exótica. **Revista Silvicultura**. Ano XIII. N°50.p.23.1993.

Sanquetta, C. R.; Azevedo, C. P. de.; Silva, J. N. M.; Machado, S. A.Efeito da exploração de madeira e dos tratamentos silviculturais no agrupamento ecológico de espécies. **Floresta**, v.38, n.1, jan/mar.Curitiba,PR.2008.

Sanquetta, C. R.; Balbinot, R; Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.2° Simpósio Latino Americano sobre Fixação de Carbono. Metodologias Curitiba, 205p,2004.

Sato, M. N., and H. S. Miranda. 1996. Mortalidade de Plantas Lenhosas do Cerrado após duas queimas prescritas. Pages 204-207 *in* VIII Simpósio sobre o Cerrado - Proceedings 1st International Symposium on Tropical Savannas. R. C. Pereira & L. C. B. Nasser (eds.). **EMBRAPA-CPAC**, Planaltina, DF.1996.

Scholes, R. J. Greenhouse gas emissions from vegetation fires in Southern Africa. Environmental Monitoring and Assessment, 38: 169-179.1995.**In:** BARBOSA, R. I. Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de doutorado INPA/UA.236pág.2001.

Schroeder, P. Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. **Forest Ecology and Management**, v.50, p.31-41, 1992.

- Seitz, A.S. As potencialidades da regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. Curso de atualização em áreas degradadas. 111.p.29-44. Curitiba, PR. 1996.
- Shunke, R.M. ; Silva, J.M.da ; Barros, J.V.de ; Mello, E.V.de ; Arce, L. D. Estoques de carbono em pastagens de Braquiaria consorciada com leguminosa. (2004). Disponível em: <http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/RozamSchunkeFertibio2004.pdf>. Consultado em 22.01.2010.
- Silva, L.C.R. Desenvolvimento de espécies arbóreas em área degradada pela mineração sob diferentes tratamentos de substrato. **Monografia**. Brasília: UnB.79p.2006.
- Silva, J. F. Biodiversity and Stability in Tropical Savannas. *In*: O. T. Solbrig, E. Medina; J. F. Silva (eds.), Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes – A Global Perspective. Springer-Verlag. Berlim-Heidelberg, Alemanha. pp. 161-171.1996.
- Silva, L.C.R. Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado. **Dissertação** (Mestrado – UnB). 168 pág.2007.
- Siqueira Neto, M. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO). **Tese** de doutorado. CENA. Piracicaba-SP.2006.
- Siqueira Neto, M.; Perrin, A.S.; Pavei, M.A.; Piccolo, M.C.; Bernoux, M.; Scopel, E.; Douzet, J.M.; Seguy, L.; Bouzinac, S.; Cerri, C.E.P.; Cerru, C.C. Estoques de carbono em solos cultivados e floresta na transição Cerrado – Amazônia em Sinop (MT). *In*: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água – Manejo Integrado a Ciência do Solo na Produção de Alimentos, Santa Maria, **Anais**. 2004.
- Soares, C.P.B.S.; Oliveira, M.L.R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de arvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.26, n., p.533-539, 2002.
- Stape, J.L.; Gandara, F.;Santos, J.D.; Gusson, E.;Campo, O.C.; Sixel, R.M.M. Taxas iniciais de seqüestro de carbono em área de restauração florestal são dependentes dos sistemas de imaplantação e manejo adotados? *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. Caxambu,MG.2007.
- Szakács, G. G. J. Seqüestro de carbono nos solos – avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi – Piracicaba/SP.126p.**Dissertação** (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.2003.
- Tarré, R.; Macedo, R.; Cantaruti, R.B.; et al. The effect of the presence of legume on *Brachiaria humidicola* pasture. *Plant and Soil*, v.234, p.15-26,2001.**In**: Shunke, R.M.; Silva, J.M.da ; Barros, J.V.de ; Mello, E.V.de ; Arce, L. D. Estoques de carbono em pastagens de Braquiaria consorciada com leguminosa. (2004). Disponível em:<http://www.cnpq.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/RozamSchunkeFertibio2004.pdf>. Consultado em 22/01/2010.
- Tolentino, M. e Rocha, R.C.F. A química no efeito estufa. **Química e Sociedade**, nº8, pp.10-14, Brasil. 1998.

- TsukamotoSUKAMOTO FILHO, A.A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa. MG. 2003.
- Usman, S.; Singh, S. P.; Rawat, Y. S. Fine root productivity and turnover in two Evergreen Central Himalayan forest. **Annals of Botany**, v.84, p.87-94, 1999.
- Verissimo, A. Estratégia e Mecanismos Financeiros para Florestas Nativas do Brasil. FAO.2005. Disponível em <http://www.fao.org/forestry/12074-3-0.pdf>. Consultado em 16/01/2010.
- Velasco, G.D.N.; Higuchi,N. Estimativa de seqüestro de carbono em mata ciliar: projeto POMAR, São Paulo (SP).**Ambiência**, v.5,n.1,p.135-141. Jan/Abr.Guarapuava, PR.2009.
- Vogt, K.A.; Bloomfield, J. Tree root turnover and senescence. **In**: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (Eds.) **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, p.287-308. 1991.
- Vogt, K. A. Carbon budgets of temperate forest ecosystems. **Tree Physiology**, v.9, p.69-86, 1991.
- Vogt, K. A.; Grier, C. C.; Vogt, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. **Advances in Ecological Research**, v.15, p.303-377, 1986.
- Ward, D.E.; Sussot, R.A.; Kauffman, J.B.; Babbitt, R.E.; Cummings, D.L.; Dias, B.; Holben, B.N.; Kauffman,Y.J.; Rasmussen, R.A.; Setzer, A.W. Smoke and fire characteristics for Cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment. **Journal of Geophysical Research**, 97(D13): 14601-14619.1992.
- Williams, M., Rastetter, E.B., Fernandes, D.N., Goulden, M.L., Shaver, G.R. and Johnson, L.C. Predicting gross primary in terrestrial ecosystems. **Ecological Applications**, 7 (3): 882-894. 1997.

ESTOQUE DE CARBONO DO SUBSTRATO DE UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA NO DISTRITO FEDERAL PARA GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, têm-se avolumado as evidências de que o clima da Terra está ficando não só cada vez mais quente, como cada vez mais instável. Recordes contrastantes de calor e frio, seca e inundações, entre outros fenômenos climáticos, vêm sendo verificados em regiões diversas do globo, incluindo o Brasil (FERNANDES *et al.*, 2007).

No Brasil, o desmatamento e as atividades agrícolas são os principais fatores de degradação dos solos. As obras de engenharia (estradas, ferrovias, barragens) e as atividades de mineração a céu aberto sensibilizam mais a população de modo geral por serem atividades altamente impactantes. O solo, um dos compartimentos funcionais do ecossistema, é importante como reservatório, tanto pelas taxas de reciclagem baixa, quanto pela quantidade de C, que equivale a aproximadamente 1,5 vezes a da biomassa vegetal (SOMBROEK *et al.*, 1993).

É de consenso científico mundial que as florestas são importantes para o equilíbrio de carbono global, pois armazenam nas árvores e no solo mais carbono do que existe atualmente na atmosfera (HOUGHTON, 1994). Do total do carbono existente na Terra, aproximadamente 1,5, 35 e 63,5% encontram-se, respectivamente, na atmosfera, ecossistemas terrestres e oceanos (NOGUEIRA JR.; 2000). O sequestro de carbono no solo compreende o C fixado via fotossíntese e incorporado nas frações estáveis (MOS), somado aos gases do efeito estufa (N₂O e CH₄) (BERNOUX *et al.*, 2006). Entretanto, as pesquisas ainda não são conclusivas sobre o acúmulo de C em áreas mineradas que passaram ou estão passando pelo processo de recuperação.

Segundo Lal (1995a) alguns trabalhos têm indicado que os solos tropicais podem desempenhar papel importante como depósito de CO₂ da atmosfera, reduzindo o efeito estufa. Entretanto, na região dos cerrados, além das queimadas, que libera grande quantidade de CO₂ para a atmosfera, há uma apreciável atividade de uso do solo (culturas

anuais, pastagens e reflorestamento), que também é responsável pela perda de C do solo (CORAZZA, 1997).

Os solos de Cerrado caracterizam-se por serem altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural, conseqüência de sua pobreza em nutrientes necessários para as plantas. A vegetação nativa do Cerrado cresce sobre solos ácidos, pobres em bases tocáveis, principalmente o cálcio (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

No bioma Cerrado as classes de solos mais comuns são o latossolo, areia quartzosa e os solos litólicos, cobrindo aproximadamente 56%,20% e 9% da região, respectivamente (HARIDASAN, 2007). Muito se tem discutido sobre os problemas relacionados à recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração no Distrito Federal, e principalmente tem se especulado sobre os estoques de carbono nestas áreas quando revegetadas para fins de créditos no mercado de carbono. Contudo, ainda não existem estudos suficientes para comprovar estatisticamente esta tendência no Distrito Federal. É fundamental que trabalhos neste sentido sejam realizados visando, além da recuperação de ecossistemas degradados, a contribuição para o mercado de créditos de carbono.

Este trabalho teve como objetivo quantificar o estoque de carbono do substrato de uma jazida revegetada do Distrito Federal e seu potencial para a geração de créditos de carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo situa-se em uma jazida de cascalho localizada na DF-130, km 8,5 das DF-250/130, entroncamento com a DF 250, Região Administrativa do Paranoá - DF (15°45'25,67"S e 47°39'21,77"W). Trata-se de uma jazida de cascalho que foi parcialmente explorada em 2000, com uma profundidade aproximada de cava de 2 – 3 m. A área apresentava um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico como solo original, e relevo plano a suave-ondulado (SPERA *et al.*, 2003) (Foto 3.1).

Em 2003, a superfície exposta pela mineração sofreu subsolagem cruzada e 200 g m⁻² de calcário dolomítico, 65 g m⁻² da fórmula NPK (04:14:08), 20 g m⁻² de FTE BR-12 e 4 L m⁻² de composto de lixo urbano foram incorporados ao substrato por meio de uma grade de discos. A área foi semeada com *Stylosanthes* spp para formação do estrato herbáceo. A escolha do *Stylosanthes* spp foi feita por ser uma espécie nativa do Cerrado e apresenta sementes disponíveis e viáveis no mercado. A área foi capinada com roçadeiras costais no início e no final das estações chuvosas, por dois anos consecutivos (2004 e

2005). Desde então, até a coleta de amostras em julho de 2009, o estrato herbáceo foi deixado à sucessão.

Covas de 60 cm de largura x 80 cm de comprimento x 40 cm de profundidade (180 L) foram escavadas no espaçamento de 4 x 4 metros, alcançando uma densidade de 62 árvores ha⁻¹ para implantação de seis espécies arbóreas: curiola (*Pouteria ramiflora*), barú (*Diperyx alata* Vog), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee & Lang). Foram plantados seis indivíduos por espécie. A adubação das covas e da camada de substrato foi calculada em função de recomendações comumente adotadas em PRAD para áreas de exploração de cascalho: 4L m⁻² de composto de lixo urbano; 200 g de calcário dolomítico; 250 g da fórmula NPK (04:14:08) e 20 g m⁻² de FTE BR-12 (fonte de micronutrientes). A incorporação foi feita com enxada a uma profundidade de 10 cm.

Coleta das amostras de substratos

Amostras de substrato revegetado fora coletadas de acordo com o Método dos Quadrados (FRANGI *et al.*, 1980; BATMANIAN, 1983; NEIVA, 1990), que consiste no lançamento aleatório de um quadrado de 1m x 1m no centro do qual é coletado o solo na profundidade de 0 a 20cm com uso de uma pá. Foram coletadas 48 amostras em uma área de 1.152m²(Figura 2.1).



Figura 2.1 – Procedimentos da coleta de solo no campo (n = 48).

Determinação do estoque de C do solo

O C orgânico total (CO) foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal, segundo método modificado de Walkley & Black (1934). O estoque de C foi calculado a partir dos teores de C com a densidade do solo para a camada amostrada (NEILL *et al.*, 1997; BERNOUX *et al.*, 1998a), a partir da expressão:
$$\text{EstC} = \frac{CO \times Ds \times e}{10},$$

Onde EstC é o estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹); CO é o teor de C orgânico total (g kg⁻¹); Ds é a densidade do solo média da profundidade (kg dm⁻³), determinada a partir de amostras indeformadas, segundo Blake & Hartge (1986); e é a espessura da camada considerada (cm). Foi considerada a espessura de 20 cm no presente trabalho.

Análise estatística

Para análise dos dados foi utilizada a estatística descritiva simples, de forma comparativa, e apresentado por meio dos gráficos. Foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon (MARTINS, 2006) aos dados, para amostras dependentes, sendo analisado com significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e nível de confiança de 95% (TRIOLA, 1999).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Carbono orgânico do substrato:

O substrato da jazida minerada apresentava 19,1 t C.ha⁻¹ nos primeiros 20 cm do solo, antes dos trabalhos de revegetação – subsolagem, incorporação de composto e fertilizante e semeadura. Dois meses após a semeadura de *Stylosanthes* spp, o substrato apresentava 23,9 t C.ha⁻¹ (ARAUJO, 2006) (Figura 2.2).

O teor de C-orgânico do substrato em julho de 2009 era de 29,0 t C.ha⁻¹. Dessa forma, o desenvolvimento do estrato herbáceo resultou na incorporação de 9,9 t C.ha⁻¹ aos primeiros 20 cm do substrato após cinco anos. Brown & Lugo (1990) encontraram valores de concentração de carbono em área de mata tropical em Porto Rico de 63-81 t C.ha⁻¹ nos primeiros 25 cm do solo, valores superiores aos encontrados por Diniz (2008) em área de mata nativa em Angra dos Reis, RJ (68,1 – 77,8 t C.ha⁻¹ a 0,30 cm do solo).

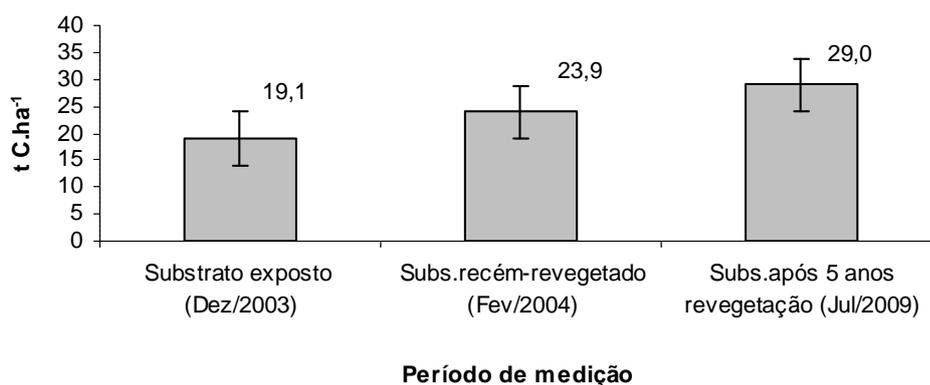


Figura 2.2 – Estoque de carbono no substrato da camada de 0-20 cm nos três períodos de coleta.

De acordo com Costa *et al.*(1998), em áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas (PA)no Brasil, o retorno ao teor original de C do solo levaria em torno de dez anos com revegetação espontânea ou reflorestamento. Neste estudo, após cinco anos, os teores de C tem sido importante para recuperação por meio da revegetação da jazida.

Observamos que após cinco anos da semeadura do *Stylosanthes* spp o C-org. do substrato apresentou 17 % de incremento em relação a primeira medição (Fev/2004) após a incorporação da fonte de matéria orgânica nos primeiros 20 cm do solo. BROSSARD et al. (1997) reportaram valores entre 226 e 297 t C.ha⁻¹ em solos do Cerrado, dos quais 30 a 50 t C.ha⁻¹ correspondiam à presença de carvões. Metade do C estava armazenando nos primeiros 50 cm de solo.

O tratamento do substrato e revegetação contribuíram para o aumento do estoque de C orgânico na área estudada. Schiavo (2005) avaliou a qualidade da matéria orgânica em cava de extração de argila com vegetação espontânea (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) e revegetada com *Acácia mangium* Willd, *Sesbania virgata* (Cav.) Pers e *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. O autor verificou que *A. mangium* promoveu aumento no estoque de carbono, bem como do caráter fulvático da matéria orgânica do substrato da cava em relação à vegetação espontânea.

Os resultados do presente trabalho foram corroborados pelo teste de Wilcoxon, que indicou diferença no estoque de carbono na área minerada antes e após ela ser revegetada ($p < 0,05$). Este estudo sugere que a revegetação foi efetiva no aumento de C-org no substrato.

Em um estudo de avaliação do impacto da atividade de mineração em duas cronossequências com diferentes estratégias (revegetação) de reabilitação, em substrato minerado de bauxita, em que o C-orgânico foi um dos atributos medidos, Carneiro *et al.* (2008) verificaram um aumento significativo de C do solo nos ambientes revegetados com gramíneas. As gramíneas são plantas que possuem a capacidade de se estabelecerem rapidamente, formando um sistema radicular abundante, ampliando o efeito rizosférico, facilitando assim o fluxo de C fotoassimilado para solo (via rizodeposição) e posteriormente pela produção de necromassa. As espécies semeadas na jazida deste estudo (*Stylosanthes* spp) são leguminosas. Porém, sucessão no local durante quase seis anos resultou na dominância de gramíneas no estrato herbáceo da jazida.

O desenvolvimento do sistema radicular, as ervas e o fluxo de C fotoassimilado para o substrato revegetado contribuem para a estruturação do mesmo (CARNEIRO et al., 2008). Dessa forma, a perda de C-orgânico ocasionada pela remoção do horizonte superficial do solo mostra-se reversível com o desenvolvimento da vegetação no local. Paiva e Faria (2007) encontraram os maiores teores de C nas camadas de 20-40 cm de profundidade em solos sob Cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (3,49 %). Estes autores atribuíram esse resultado, em parte à ciclagem e rizodeposição das raízes de espécies vegetais presente no bioma Cerrado, que apresentam uma elevada biomassa subterrânea diante da aérea (HARIDASAN, 2000).

Resck et al (2005) obteve um estoque de carbono no solo de 66,5 Mg C ha⁻¹ em uma área sobre latossolo vermelho (0-60m) e de 67,9 Mg C ha⁻¹ em solos sob manejo de plantio direto no Distrito Federal.

Shrestha & Lal (2008), estimaram que a recuperação de áreas degradadas pode assegurar anualmente o seqüestro de 16 Tg de C-CO₂ (1 Tg = 10¹² gramas), com taxas que podem variar de 0,1 a 3,1 t ha⁻¹ano⁻¹ e de 0,7 a 4,0 t ha⁻¹ para áreas de gramíneas e de florestas, respectivamente.

Considerando que a área da jazida que fora revegetada possuía um estoque 19,1 t C.ha⁻¹, e que esta mesma área, ao ser revegetada, elevou esse valor para 29,0 t C.ha⁻¹, um aumento de 9,9 t C.ha⁻¹, armazenados nos primeiros 20 cm do solo do substrato revegetado.

Considerando ainda que em 1 t de C-orgânico equivale a 3,67 t CO₂eq e que o valor de 1 t de CO₂eq custa hoje no mercado de créditos de carbono US\$ 20(CENAMO, 2004), o montante de C-orgânico estocado no substrato da jazida revegetada apresenta o valor

monetário de dois mil, cento e vinte e oito dólares norte americanos (US\$ 2.128,00) por hectare.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tratamentos do substrato que antecederam a semeadura de *Stylosanthes spp*, tais como incorporação de uma fonte de matéria orgânica e adubação química, aumentaram em 25% o estoque de carbono orgânico no substrato. Após cinco anos de desenvolvimento do estrato herbáceo, a concentração de carbono orgânico aumentou em mais de 20%, totalizando 29 tC ha⁻¹. Esse montante é suficiente para gerar 106,43 t CO₂ no mercado de créditos de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, 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. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2006.
- Batmanian, G. J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. 78p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Brasília: UnB, 1983.
- Bernoux, M., Arrouays, D., Cerri, C., Bourennane, H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, New Brunswick, v.163, b.12, p.941-951. 1998 a.
- Bernoux, M.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P.; Siqueira Neto, M.; Meta Y, A.; Perrin, A.S.; Scopel, E.; Razafimbelo, T.; Blavet, D.; Piccolo, M.C.; Pavei, M.; Milne, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v.26, p. 1-8, 2006.
- Blake, G.R.; Hartge, K.H. Bulk density. **In:** Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.363-375.
- Beinroth, F.H.; Vasquez, M.A., Snyder, V.A.; Reich, P.F., Alegria, L.R.P. Factors controlling carbon sequestration in tropical soils: A case study of Puerto Rico. Puerto Rico University Press. 35p. 1996.
- Brossard, M.; Lopes Assad, M. L.; Chapuis, L.; Barcellos, A. O. Estoques de carbono em solos sob diferentes fitofisionomias de cerrados. **In:** Leite, L. L & Saito, C. H. (Org.). Contribuição ao Conhecimento Ecológico do Cerrado - Trabalhos Seleccionados do 3º Congresso de Ecologia do Brasil (Brasília, 6-11/10/1996). Brasília: UnB, 1997, pp 272-277.
- Brown, S. & Lugo, A.E. Manejo agroflorestal para recuperação de áreas degradadas via-a-vis seqüestro de carbono, armazenamento de água no solo, valoração econômica e ambiental. 137p. Seropédica, RJ: EMBRAPA – CNPAB, 2003-2005.
- Carneiro, M.A.C.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S. & Soares, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:621-632, 2008.
- Cenamo, M.C. Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono CEPEA, São Paulo, Brasil, 2004.
- Chmora, S.N.; Mokronosov, A.T. The global increase of CO₂ in the atmosphere: Adaptive strategies in plants. **R. Journal of Plant Physiology**, v.41, n.5, p 679-685, 1994.
- Corazza, E. J. Caracterização da material orgânica nos perfis de latossolo do Distrito Federal. **Dissertação** (Mestrado) – UnB. Brasília – DF. 1997.

- Costa, E.S.; Luizão, R.C. & Luizão, F.J. Soil microbial biomass and organic carbon in reforested sites degraded by bauxite mining in the Amazon. *Adv. Geocol.*, 31:443-40, 1998.
- Diniz, A.R. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas: potencial de seqüestro de carbono. **Monografia** – UFRRJ. Seropédica. Rio de Janeiro, 2008.
- Fernandes, T.J.G.; Soares, C.P.B.; Jacovine, L.A.G. e Alvarenga, A. de P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.657-665, 2007.
- Frangi, J.L.; Ronco, M.G.; Sanches, N.E.; Vicare, R. L.; Rovetta, G.S. Efecto del fuego sobre la composición y dinámica de la biomasa de un pastizal de Sierra de la Ventana (Bs.Ss., Argentina). **Darwiniana**, Buenos Aires, V.22, N.4, p.565-585, 1980.
- Haridasan, M. Solos. **In:** Felfili, J.M.; Rezende, A.V.; Silva Junior, M.C. (Org.). Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos da Chapada dos Veadeiros; Brasília: Ed. Universidade de Brasília, p.27-43, 2007.
- Haridasan, M. Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegeta.* 12:54-64. 2000.
- Houghton, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: Armazenamento e emissões atuais. **In:** SEMINARIO EMISSAO X SEQUESTRO DE CO₂: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, p.87-91. 1994.
- Lal, R.; Kimble, J. & Stewart, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. **In:** Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E. & Stewart, B.A. eds. Soil management and greenhouse effect. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, p.1-7. 1995 a.
- Leite, L.L., Martin, C.R. & M. Haridasan. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. p. 392-399. **In:** Anais do Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. 1992 em Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba. 520p. 1992.
- Malavolta, E.; Kliemann, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: Potafós, 136p. 1985.
- Martins, G.A. Estatística Geral e Aplicada. Editora Atlas S.A. 3eds. São Paulo. 2006.
- Mello, S.L. de M. Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. 79p. Dissertação (M.Sc.). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.
- Neill, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v.7, n.4, p.1216-1225, 1997.

- Neiva, J. N. M. Crescimento e valor nutritivo de pastagens nativas submetidas ou não ao tratamento de queima. **Dissertação** (Mestrado). 97p. Lavras:ESAL,1990.
- Nogueira Junior, L.R. Atividades agrícolas e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da mata atlântica. **Dissertação** (Mestrado).ESALQ/USP.Piracicaba-SP.2000.
- Paiva, A.O.; Faria, G.E.de.Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. v.1, n.1,p.59,2007.
- Resck, D.V.S. O potencial de seqüestro de carbono em sistemas de produção de grãos sob plantio direto no Cerrado. In: Simpósio sobre Plantio Direto e Meio Ambiente: Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água, 1. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP/Itaipu Nacional, p.72-80. 2005.
- Schiavo, J.A. Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acácia mangium*, *Sesbanis virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*. 117f. **Tese** (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2005.
- Spera,S.T.; Reatto, A.; Correia, J.R.; Martins, E.S.; Bloise, G.L.F.; Silva, A.V. Solos e Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Olaria, DF. Comunicado Técnico Embrapa Cerrados. Brasília – DF. 2003.
- Shresta, R.K.; Lal, R. Matéria Orgânica em solos de Áreas Degradadas. **In:** Santos, G. A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O.(Eds.) Fundamentos de Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, p. 495-520, 2008.
- Sombroek, W. G. et al. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.
- Triola, M.F. Introdução à Estatística. Rio de Janeiro: LTC, 7ª edição, tradução de Alfredo de Farias, 1999.
- Volkoff, B.;Cerri,C.C. Húmus em solo da floresta Amazônica na região do Rio Madeira. **R.bras.Ci. Solo**, 5 (1): 15-21. 1981.
- Walkley, A.; Black, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29-38, 1934.

SEQUESTRO DE CARBONO PELO ESTRATO HERBÁCEO DE UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA COM *Stylosanthes spp.* NO CENTRO-OESTE, BRASIL.

INTRODUÇÃO

No Distrito Federal (DF) a revegetação de áreas mineradas tem sido uma das técnicas mais praticadas para a Recuperação de Áreas Degradadas (RAD). A grande demanda por pedra, cascalho, areia e argila usados na construção de prédios, estradas, barragens e obras de engenharia diversas, na capital e cidades satélites, deixou extensas áreas desprovidas de cobertura vegetal, exposta às intempéries climáticas e em diferentes estágios de degradação na década de 50 com as obras de construção de Brasília (LEITE *et al.*; 1992).

Em áreas mineradas a resiliência do ecossistema precisa ultrapassar limites e níveis mais intensos de degradação. Neste caso, é necessária, uma intervenção antrópica (aplicações de modelos) para que sejam superados impedimentos existentes à recuperação natural do ecossistema, possibilitando o retorno da área a um estado estável permanente (ALMEIDA, 2002).

Os modelos de recuperação de áreas mineradas mais utilizado no DF utilizam reflorestamentos heterogêneos, com espécies nativas (KAGEYAMA e CASTRO, 1989); Os reflorestamentos heterogêneos também são importantes para a regeneração de ambientes, preservando espécies vegetais e fornecendo recursos para a fauna, além de atuarem no controle da poluição atmosférica, na amenização climática e na melhora da drenagem, recuperando a produção de água em microbacias, e de poderem ser utilizado para recreação, atividades educacionais e pesquisas científicas (SOARES, 1998; FIGUEIREDO *et al.*, 2007).

As técnicas de revegetação de áreas mineradas mais utilizadas para transformar a camada superficial de áreas degradadas em substratos adequados ao desenvolvimento de plantas são: 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 (CARVALHO, 2004; CORRÊA, 2004, GIUSTINA *et al.*, 2005).

O modelo clássico de revegetação de áreas mineradas utiliza simultaneamente uma camada lenhosa sobre a camada rasteira (leguminosas, gramíneas, etc.). O uso de espécies arbóreas sobre a camada herbácea é um modelo que agrega vários benefícios, mas também demanda bastante manutenção. Além disso, a escolha das espécies, tanto arbóreas como herbáceas a serem utilizadas no projeto de revegetação é de extrema importância (ARAÚJO, 2006).

Um dos benefícios que o estrato herbáceo pode oferecer aos plantios de recuperação é que esta, junto com os outros compartimentos da vegetação (folhagem, galhos, fuste, raízes, serrapilheira, etc.), ao fixar carbono atmosférico poderá contribuir para o estoque de carbono orgânico do solo. Em escala global, as raízes finas com diâmetro inferior a 2 mm representam um estoque maior que 5% de todo o carbono atmosférico (JACKSON et al. 1997), e sua produção contribui aproximadamente com metade do carbono que é reciclado anualmente em muitas florestas (VOGT et al. 1996) e com 33% da produção primária líquida anual global (JACKSON et al. 1997). Por isso, a obtenção de uma estimativa acurada da biomassa subterrânea passou a ter grande importância e tem despertado o interesse científico no componente subterrâneo dos ecossistemas (VOGT et al. 1998; RODIN, 2004).

Silva (2006) acompanhou o desenvolvimento de espécies arbóreas em área degradada pela atividade mineira sob diferentes tratamentos de substratos, verificando que o estabelecimento da cobertura herbácea com *Stylosanthes* spp possibilitou, dois anos após o plantio, um incremento no teor de matéria orgânica no substrato da ordem de 13,83 m³ ha⁻¹. Desta forma, o estrato herbáceo torna-se também um dos compartimentos passíveis de cômputo em quantificações para formulações de projetos de revegetação. No entanto, no Cerrado, poucos trabalhos têm se encontrado na literatura a respeito de estocagem de biomassa em áreas mineradas com uso de espécies herbáceas, denotando a importância de pesquisas neste campo.

Este trabalho visa quantificar o estoque de carbono orgânico do estrato herbáceo (parte aérea e raiz) de uma jazida revegetada no Distrito Federal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo situa-se em uma jazida de cascalho localizada na DF-130, km 8,5 das DF-250/130, entroncamento com a DF 250, Região Administrativa do Paranoá - DF

(15°45'25,67"S e 47°39'21,77"W). Trata-se de uma cascalheira que foi parcialmente explorada em 2000, com uma profundidade de cava de 2 – 3m. A área apresentava um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico como solo original, e relevo plano a suave-ondulado (SPERA *et al.*, 2003).

Em 2003, a superfície exposta pela mineração sofreu subsolagem cruzada e adição de 200 g m⁻² de calcário dolomítico, 65 g m⁻² da fórmula NPK (04:14:08), 20 g m⁻² de FTE BR-12 e 4 L m⁻² de composto de lixo urbano incorporados ao substrato por meio de uma grade de discos. A área foi semeada com *Stylosanthes* spp para formação do estrato herbáceo (Figura 3.1). A escolha do *Stylosanthes* spp foi feita por ser uma leguminosa que vem sendo utilizado em muitos países na recuperação de áreas degradadas, na adubação verde e na alimentação animal (ALENCAR, 2008).



Figura 3.1. Disposição das parcelas no campo com a cobertura herbácea no início e final da revegetação da jazida de cascalho no DF (Fotos: CORRÊA, 2005; SOUSA, 2009).

Tratos culturais

A área foi capinada com roçadeiras costais no início e no final das estações chuvosas, por dois anos consecutivos (2004 e 2005). Desde então, até a coleta de amostras em julho de 2009, o estrato herbáceo foi deixado à sucessão.

Entremeado ao estrato herbáceo, covas de 60 cm de largura x 80 cm de comprimento x 40 cm de profundidade (180 L) foram escavadas no espaçamento de 4 x 4 metros, alcançando uma densidade de 62 árvores ha⁻¹ para implantação de seis espécies arbóreas: curiola (*Pouteria ramiflora*), barú (*Diperyx alata* Vog), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee & Lang). Foram implantados seis indivíduos por espécie, a adubação das covas e da camada de substrato foi calculada em função de recomendações comumente adotadas em PRAD para áreas de

exploração de cascalho: 4L m⁻² de composto de lixo urbano; 200g de calcário dolomítico; 250g da fórmula NPK (04:14:08) e 20g m⁻² de FTE BR-12 (como fonte de micronutrientes). A incorporação foi feita com enxada a uma profundidade de 10 cm.

Coleta dos dados

Amostras de substrato revegetado foram coletadas de acordo com o Método dos Quadrados (FRANGI *et al.*,1980; BATMANIAN, 1983; NEIVA, 1990) que consiste no lançamento aleatório de um quadrado de 1 m x 1 m e no corte de toda a vegetação herbácea presente acima do solo (3.2).



Figura 3.2 – Procedimentos de coleta da parte aérea da cobertura herbácea no campo (n = 48).

Todo o material vegetal foi levado ao laboratório para triagem e separação dos seguintes componentes de interesse: parte aérea, liteira (viva e morta), macro e microfauna e raízes. O material resultante da separação de cada quadrado (exceto macro e microfauna) foi lavado, secado em temperatura ambiente e acondicionado em saco de papel e mantido em estufa a 65°C, sendo feita a pesagem diária e sempre no mesmo horário até que se atingisse o peso constante para a obtenção do peso seco.

A coleta das raízes finas foi feita a partir das amostras de solo coletadas ao centro de cada quadrado na profundidade de 0-20 cm com uso de uma pá. Foram retirados 4 amostras por módulo, seguindo o método dos quadrados citado acima. As amostras foram levadas ao laboratório em sacos plásticos para separação e triagem do material. Foram consideradas finas as raízes com diâmetro menor que 2 mm. As raízes maiores de 2 mm foram retiradas por não se enquadrarem na categoria de raízes finas. As demais raízes foram separadas por catação, flutuação e por peneiração em malhas padrão para solos com abertura de 2,0 mm e de 0,5 mm. Todas as raízes foram lavadas em água corrente de baixa

pressão e pesadas. Foram coletadas 48 amostras em uma área de 1.152 m². As amostras foram secas ao natural, em temperatura ambiente, depois embalada e encaminhada ao laboratório da SOLOQUIMICA para os procedimentos de biomassa seca e análises de C. Os dados deste trabalho referem-se a duas coletas realizadas em julho e setembro de 2009 (estação seca).

Determinação do C orgânico das herbáceas

As análises de C orgânico foram feitas conforme método contido no Manual de métodos analíticos oficial-fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos do Ministério da Agricultura (MAPA, 2007). O C orgânico da parte aérea e das raízes finas foi determinado a partir da Matéria Orgânica (MO) na base seca e dividindo seus resultados por 1,728.

Estimativa do estoque de carbono fixado e conversão em créditos para o mercado

Para a quantificação dos créditos de carbono gerados fez-se a conversão da média do estoque de carbono encontrado a partir de toneladas de C-orgânico para toneladas de CO₂ equivalentes, pois as negociações no mercado de créditos de carbono são feitas em CO₂ equivalentes. Dessa forma utiliza-se um fator de conversão igual a 3,67 (BALBINOT, 2004), que corresponde ao peso atômico do CO₂ (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12).

Análise estatística

Neste trabalho a análise estatística tornou-se desnecessária, uma vez que foi realizado apenas um tratamento de medição de C. Sugere-se a continuidade do estudo para que se possa fazer uma análise comparativa do valor encontrado neste trabalho com estudos futuros e assim poder utilizar as ferramentas estatísticas paramétricas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Carbono orgânico da parte aérea e raízes finas de herbáceas:

O estrato herbáceo (parte aérea) da jazida de cascalho revegetada apresentou uma produção média de carbono orgânico (C) 9,80 t ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 35,96 (9,80 x 3,67 C.) t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 3.3).

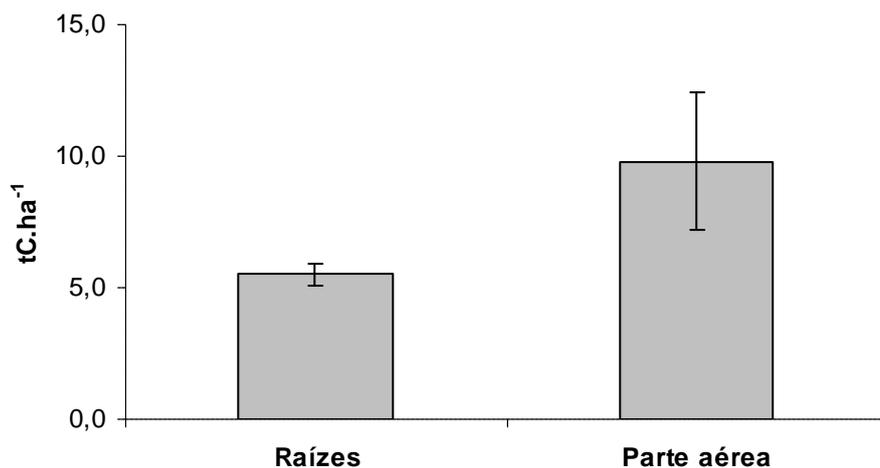


Figura 3.3. Quantidade de C (t ha⁻¹) fixado nos diferentes compartimentos (raiz e parte aérea) das herbáceas em uma área revegetada no Distrito Federal (n = 48).

As raízes finas do estrato herbáceo fixaram 5,5 t ha⁻¹ de carbono orgânico. Esse valor representa a fixação de 20, 22 (5,5 x 3,67 C) t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ nas raízes das herbáceas (Figura 3.3). Abdala et al. (1998) reporta que no Cerrado o maior estoque de carbono está contido na porção subterrânea dos ecossistemas, no componente subterrâneo da vegetação e na matéria orgânica do solo. Esta informação corrobora com os estudos de Rodin (2004) e Castro & Kauffman (1998) em que os autores reportam que o Cerrado é frequentemente caracterizado como uma “floresta invertida”, onde a biomassa subterrânea é maior que a arbórea. Para este estudo não houve dados comparativos das raízes das espécies arbóreas com as das herbáceas instaladas na área.

Valcarel et al (2007) avaliou a biomassa de raízes finas em área de empréstimo de cascalho e constatou que em povoamento com maior diversidade de espécies e funções se mostrou mais equilibrado na produção de raízes finas, sendo mais eficiente nos processos auto-sustentáveis de construção de solos e de reabilitação de áreas degradadas. As raízes finas até a profundidade de 0-20 cm possuem maior quantidade de biomassa devido ao seu maior aporte de água e nutrientes (CAIRNS et al. 1997).

Em uma jazida reflorestada com espécies nativa na Província petrolífera Urucu (AM), Costa (2006) encontrou incremento anual de biomassa das raízes de 8 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A biomassa e total de raízes finas encontradas para a *Acacia mearnsii* no estudo de Ceconi et al. (2008) para o estabelecimento de uma área degradada por mineração de carvão foi de 6,9 t.ha⁻¹, ressaltando que 86,78% desse valor, estavam concentrados nos primeiros 20 cm de profundidade do solo.

Ao comparar os valores obtidos por Paiva e Faria (2007) sob cerrado *sensu stricto* para o estoque de carbono das raízes finas (< 2 mm) até 30 cm de profundidade (5,37 t C.O.ha⁻¹), observou-se que os valores obtidos no presente estudo até a profundidade de 20 cm (5,51 t C.O.ha⁻¹) estão próximos aos anteriores.

É importante ressaltar que a parte aérea do estrato herbáceo apresentava-se composto por outras espécies rasteiras a exemplo de braquiária e algumas gramíneas que invadiram a área. No entanto, durante o procedimento de triagem no laboratório foi considerado somente o *Stylosanthes spp.*

Neste estudo, o estoque de C orgânico encontrado na parte aérea do *Stylosanthes spp* foi superior ao encontrado nas raízes, corroborando com Fernandes (2007) e Paiva (2007). É provável que a pouca biomassa de raízes finas do estilosantes tenha sido ocasionada pela falta de chuva devido as coletas terem ocorrido no período seco.

Perin et al. (2003) e Perez (2006) reportam que o uso de leguminosas forrageiras perenes e nativas do Cerrado, como o *Stylosanthes spp*, pode auxiliar no combate as espécies invasoras interferindo no ciclo produtivo das mesmas e reduzindo as perdas de solo por erosão, por apresentar hábito de crescimento rasteiro e estolonífero. *Stylosanthes spp* constitui-se em uma das fontes importantes de nitrogênio, possibilitando incrementar sua disponibilidade no sistema solo-planta-animal. Dessa forma, poderiam ser obtidos significativos aumentos na fixação de carbono do solo, bem como reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa por unidade de produto produzido (BARCELLOS, 2008).

Shunk et al. (2004) em pastagens puras de *Brachiaria decumbens* e consorciada com *Stylosanthes cv.* Campo Grande com idade de cinco anos, estabelecida no Cerrado, detectaram na camada superficial do solo (10 cm) valores de C orgânico acima de 12,1 t ha⁻¹. Este valor foi superior ao encontrado neste trabalho com idade aproximada de seis anos de desenvolvimento da camada herbácea.

Nos cerrados, o acúmulo de C no solo sob pastagens de braquiária bem manejada está entre 1 e 2 t CO ha⁻¹ ano⁻¹ (CORAZZA et al, 1999). Tarré et al (2001) citado por Shunk et al. (2004), também encontrou esta tendência para as condições da Mata Atlântica e mostrou ainda que a presença de uma leguminosa (*Desmodium ovalifolium*) na pastagem de *B. humidicola* dobrou a taxa de acumulação de C no solo, ou seja, houve um acúmulo anual de C de 0,66 t ha⁻¹ em pastagens de *B. humidicola* e 1,17 t ha⁻¹ quando consorciada com *Desmodium ovalifolium*.

Os resultados obtidos neste trabalho nos permitem inferir que em uma área de 1.152 m² de uma jazida revegetada por espécies arbóreas que recebeu um estrato herbáceo

de *Stylosanthes spp* fixa 35,96 (9,80 x 3,67 C.O.) t CO₂ ha ano, na parte aérea das herbáceas. Ao adicionarmos com o valor fixado pelas raízes finas de 20,22 (5,5 x 3,67 C.O.) t CO₂ ha ano obtemos um total de 56,18 t CO₂ ha ano.

Implica dizer que, se 1 t de C-orgânico equivale a 3,67 CO₂eq e que o valor de 1t de CO₂eq custa hoje no mercado de créditos de carbono US\$ 20 (CENAMO, 2004), o montante de C-orgânico estocado no estrato herbáceo, acrescido das raízes, da jazida revegetada apresenta o valor monetário aproximado de um mil cento e vinte e quatro dólares norte americanos (US\$ 1.124,00).

Ao avaliar o crescimento de mudas de espécies arbóreas do Cerrado em consórcio com leguminosas forrageiras (estilosantes) em uma nascente na Bacia Hidrográfica São Bartolomeu (DF) Coser et al. (2008) constataram que o estilosante contribuiu para o aumento da matéria orgânica no solo, que, antes de receber o estrato herbáceo, possuía 1,97% de M.O. Após o estrato passou a ter 3,13% e 3,26% de M.O. O modelo para restauração de nascentes no Cerrado, de consorciação de espécies arbóreas nativas do Cerrado com leguminosas forrageiras, mostrou-se eficiente.

Segundo Barcellos (2008), os estudos relacionados ao papel das leguminosas como componente no processo de mitigação dos Gases de Efeito Estufa (GEE) ainda são pequenos, especialmente em ambientes tropicais. Os benefícios das leguminosas no incremento na produção primária de forragem, no desempenho animal e nos impactos sobre as propriedades químicas e biológicas do solo reforçam a necessidade de ampliação desses estudos.

A região de cerrados ocupa cerca de 25% do território brasileiro e possui aproximadamente 207 milhões de hectares, dos quais 30% correspondem a pastagens naturais e 15% a pastagens cultivadas (ALMEIDA e SILVA, 1989). A região Centro-Oeste, composta em sua maioria por vegetação de cerrado, possui cerca de 17,4 milhões de hectares com pastagens naturais (IBGE, 1996). Dentre as capitais que sofreram com as reduções de áreas de pastagem natural nos últimos anos, o Distrito Federal aparece com uma perda de 57%. No censo de 1985 o total de pastagens naturais no DF correspondia a 78,8 milhões de hectares. Já no censo de 1995 apresentava 34,0 milhões de hectares.

O Distrito Federal possui uma área de 582.200 hectares sendo que 34.00 hectares são de pastagens naturais. Estas pastagens, excluindo o compartimento raiz, seqüestram 31,66 (8,62 x 3,67 C.O.) t CO₂ ha⁻¹ (IBGE, 1996; MCT, 2008).

Neste trabalho o total de carbono orgânico (parte aérea + raiz) fixado pela vegetação herbácea foi de 56,18 t CO₂ ha⁻¹, chega ser quase o dobro da quantidade média

fixada nas pastagens nativas do DF. Considerando que no DF existem 234 locais degradados pela mineração, sem nenhuma recuperação, totalizando 3.419 ha de lavras exploradas, o que significa 0,6% da área distrital (CORRÊA et al., 2004a). Deste total, 883 ha. são de jazidas de cascalho de Cambissolos distribuídos em 115 jazidas (BENTO, 2009). Se estas áreas fossem recuperadas com uso do estrato herbáceo, seriam fixados 430.616 t CO₂ ha⁻¹, gerando para o mercado de créditos de carbono o valor monetário de oito milhões seiscentos e doze mil trezentos e dezesseis dólares norte americano (US\$ 8.612.316,00).

Carvalho (1993) calculou que as despesas com a recuperação de uma jazida de cascalho correspondiam a 0,56% do valor da obra de pavimentação para a qual o cascalho era destinado. Corrêa e Melo Filho (2004) estimam que, no Distrito Federal, o gasto com revegetação de jazidas de cascalho é 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 hoje esta variando entre R\$ 5,00 e R\$ 11,30, dependendo da qualidade do material explorado.

O custo para revegetação de um hectare de jazida de cascalho no DF, quando o substrato é manejado com subsolagem mais plantio de uma leguminosa, segundo Araújo (2006) foi de R\$ 6.953,75 ou US\$ 3.866,00 (cotação de 01/03/2010). O custo de revegetação, por hectare, da área da jazida revegetada corresponde a 69% (US\$ 3.900,00) do valor que pode ser arrecadado com créditos de C (US\$ 5.652,00), ou ainda, pode-se abater o custo de revegetação com créditos de C e se obterem 31% de lucro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concentração de carbono no estrato herbáceo (parte aérea e raiz) da jazida revegetada após cinco anos de desenvolvimento é maior (56,18 t CO₂ ha⁻¹) do que a quantidade existente no compartimento parte aérea das pastagens naturais do Cerrado (31,66 t CO₂ ha⁻¹).

O custo com o projeto de revegetação equivale a 69% do valor que pode ser arrecadado com créditos de C. Pode-se ainda, abater o custo de revegetação com créditos de C e se obterem 31% de lucro. Se os 883 ha de jazidas de cascalho existentes no DF utilizassem o estrato herbáceo em seus projetos de recuperação seriam fixados 430.616 t CO₂ ha⁻¹ gerando para o mercado de créditos de C um valor significativo de US\$ 8.612.316, possibilitando que este seja um trabalho de grande importância aos projetos do MDL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M. & Eiten, G. Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology** 2:11-23.1998.
- Alencar, K.M.C. Tratamento pré-germinativos em sementes de *Stylosanthes* SW. (Leguminosae Papilionoideae). **Dissertação** (Mestrado em Biologia Vegetal) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.Campo Grande – MS. 2008.
- Almeida, R.O.P.O. Revegetação de áreas mineradas: estudo dos procedimentos aplicados em minerações de areia. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mineral) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.2002.
- Almeida, S.P.; Silva, J.C. Influência do fogo sobre aspectos fenológicos de gramíneas nativas dos cerrados. EMBRAPA. Brasília. Pesquisa em andamento.n.8. 3p. 1989.
- Araújo, 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. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2006.
- Amado, T.J.C.; Bayer,C.; Eltz, F.L.F.; Brum,A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **R.Bras.Ci.Solo**, 25:189-197,2001.
- Andrade, R.P. & Karia, C.T. O uso de *Stylosanthes* em pastagens no Brasil. **In:** Simpósio de forragicultura e pastagem. Pp.273-309. Temas em evidências. Lavras:UFLA. 2000.
- Ayarza, M.; Vilela, L; Alves, B.J.R. ; Oliveira, O.C.de. ;Urquiaga, S.;Boddey, R.M. Introdução de *Stylosanthes guianensis* Cv. Mineirão em pastagem de *Brachiaria ruziziensis*: Influência na Produção Animal e Vegetal. **Boletim Técnico** nº1, Embrapa – Agrobiologia. Seropédica,RJ.1997.
- Balbinot, R. Implantação de Florestas Geradoras de Créditos de Carbono: estudo de viabilidade no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Dissertação** (Mestrado). UFPR.Curitiba-PR.2004.
- Barcellos, A.O.; Ramos, A.K.B.; Vilela, L. Martha Junior, G.B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas,na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, suplemento especial p.51-67, 2008.
- Batmanian, G. J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. 78p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Brasília: UnB, 1983.
- Bento, M.A.B. Avaliação da qualidade dos substratos minerados em cinco cascalheiras revegetadas no Distrito Federal. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2009.

- Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia** 111:1-11.1997.
- Carvalho, R.M. Palestra sobre exploração de cascalho. DER, Auditório da Administração Regional do Guará, 16/09/1993. Manuscrito, 18p. **In:** 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. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2006.
- Carvalho, R.M. Orçamento para recuperação de jazidas de cascalho. Brasília, 2004. **In:** 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. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2006.
- Castro-Neves, B. M. Efeito de queimadas em áreas de cerrado *stricto sensu* e na biomassa de raízes finas. **Tese** (Doutorado).82p. Brasília: UnB, 2007.
- Castro, E.A. & Kauffman, J.B. Ecosystem structure in Brazilian cerrados: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology** 14:263-283.1998.
- Cenamo, M.C. Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono CEPEA, São Paulo, Brasil, 2004.
- Ceconi, D.E.; Lovato, T. Schumacher, M.V. Povoamento de *Acácia mearnsii* DE Wild. Estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta**, Curitiba, PR, v.38,n.1, jan./mar.2008.
- Corazza, E.J.; Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Gomes, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.
- 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.; 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.
- Coser, T. R.; Parron, L.M.; Ramos, A.K.; Rocha,A.L.A. Crescimento de mudas de espécies arbóreas do Cerrado em consorcio com leguminosas forrageiras em uma nascente no Distrito Federal. IX SIMPOSIO NACIONAL CERRADO. Brasília - DF. 2008.
- Costa, A.C.L. Dinâmica de raízes em áreas de floresta nativa e jazida na Província Petrolífera de Urucu –AM. 2006. II Workshop de Avaliação Técnica da Rede CTPetro Amazônia. Disponível em:http://projetos.inpa.gov.br/ctpetro/workshop_site/Resumos_PT1/pdf/RAIZES_LOLA_REVISADO.pdf. Consultado em 18.01.2010.

- Fernandes, T.J.G.; Soares, C.P.B.; Jacovine, L.A.G. e Alvarenga, A. de P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.657-665, 2007.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Estilosantes Campo Grande: Estabelecimento, manejo e produção animal. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 8p. 2000.
- Frangi, J.L.; Ronco, M.G.; Sanches, N.E.; Vicare, R. L.; Rovetta, G.S. Efecto del fuego sobre la composición y dinámica de la biomasa de un pastizal de Sierra de la Ventana (Bs.Ss., Argentina). **Darwiniana**, Buenos Aires, V.22, N.4, p.565-585, 1980.
- Figueiredo, R.A.; Mattiazzi, B.; Klefász, A. Florestas urbanas: novo paradigma para o turismo sustentável e para a educação ambiental. **In:** Castellano, E.G.; Figueiredi, R.A.; Carvalho, C.L. (Eco) turismo e educação ambiental: dialogo e pratica interdisciplinar, p.219-229. São Carlos: Roma, 2007.
- Giustina, Y. R. D.; Borges Filho, H.C.; Carneiro, P.J.R. Experiência do Distrito Federal com uso de biossólidos em áreas degradadas sob aspecto da revegetação semi-espontânea. P.671-672. **In:** Balenseifer, M. Anais de Recuperação de Áreas Degradadas: VI simpósio nacional e congresso latino-americano, Curitiba, 2005; Curitiba: SOBRADE, 753p. 2005.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Agropecuário 1995/1996. Em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/cenoagro/default.shtm>. Consultado em 28/01/2010.
- Jackson, R.B. ; Mooney, H.A.; Schulze, E.D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* 94:7362-7366. 1997.
- Kageyama, P. Y.; Castro, C.F.A. e Carpanezi, A.A. Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária. **In:** SIMPOSIO SOBRE MATA CILIAR, São Paulo, 1989. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, p.130-143. 1989.
- Leite, L. L.; Martin, C. R. & Haridasan, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. p. 392-399. **In:** Anais do Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas realizado em 2-29 de outubro de 1992 em Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba. 520p. 1992.
- Lewis, G.P.; Mackinder, B. & Lock, M. Legumes of the World. Royal Botanic Gardens, Kew, UK. Pp578p. **In:** COSTA, L.C.; SARTORI, A.L.B.; POTT, A. & SOUSA, P.R. 2007. Morfologia Floral de *Stylosanthes* Sw. (Leguminosae Papilionoideae-Dalbergieae). **Revista Brasileira de Biociências** 5 (supl.2):255-257. 2005.
- MAPA. Ministério da Agricultura. Manual de métodos analíticos oficiais-Fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos. MAPA (MAPA- Instrução Normativa SDA nº 28, de 27/07/2007). Brasília, 141p. 2007.

- Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Inventário de Emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: MCT/FBDS, 86 p. 2008.
- Neiva, J. N. M. Crescimento e valor nutritivo de pastagens nativas submetidas ou não ao tratamento de queima. **Dissertação** (Mestrado). 97p. Lavras:ESAL,1990.
- Paiva, A.O.; Faria, G.E.de.Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. V.1, n.1,p.59,2007.
- Perez, A. Guerra, J.G.M.; Teixeira, M.G. Controle da braquiária como invasora. Instrução técnica para o produtor de leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, março/2006.
- Perin, A.;Guerra, J.G.M.; Teixeira, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38,n.7,p.791-796,2003;
- Robertson, F.A.; Myers, R.J.K. ; Saffigna, P.G. Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and grassland soils of subtropical. Queensland Australian **Journal of Soil Research**, Brisbane, v.31, p.611-619,1993.
- Rodin, P. Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em uma pastagem plantada no cerrado do Brasil Central. UnB. **Dissertação** (Mestrado UnB), 89 pág. 2004.
- Schunke, R.M. ; Silva, J.M.da ; Barros, J.V.de ; Mello, E.V.de ; Arce, L. D. Estoques de carbono em pastagens de Braquiaria consorciada com leguminosa. (2004). Disponível em: <http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/RozaMSchunkeFertibio2004.pdf>. Consultado em 22/01/2010.
- Silva, L.C.R. Desenvolvimento de espécies arbóreas em área degradada pela mineração sob diferentes tratamentos de substrato. **Monografia**. Brasília:UnB.79p.2006.
- Silva, M.P. Estilosantes – *Stylosanthes spp.* Fauna e Flora do Cerrado, Campo Grande, 2004. Disponível em: <http://www.cnpqc.embrapa.br/~rodiney/series/flora/estilosantes.htm> >. Acesso em: <21, Janeiro 2010>.
- Silva, L.C.R.; Corrêa, R.S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, v.32, n.4. Viçosa July/Aug.2008.
- Soares, M.P. Verdes urbanos e rurais. Porto Alegre: Cinco Continentes, 242p. 1998.
- Spera, S.T.; Reatto, A.; Correia, J.R.; Martins, E.S.; Bloise, G.L.F.; Silva, A.V. Solos e Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Olaria, DF. **Comunicado Técnico** Embrapa Cerrados. Brasília – DF. 2003.
- Stace, H.M.& Edye, L.A. (Ed).1984. The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Sidney: Academic Press. **In:** Barros, A.M.; Faleiro, F.G.; Karia, C.T.; Shiratsuchi, L.S.; Andrade, R.P.; Lopes, G.K.B.2005. Variabilidade genética e ecológica de

Stylosanthes macrocephala determinadas por RAPD e SIG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40(9):899-909.

- Tarawali, G. ; Dembélé,E. ; N`guessan, B. & Youri,A. 1997. Smallholders` Use Of *Stylosanthes* For Sustainable Food Production In Subhumid West Africa. In: International Workshop on GreenManure Cover Crop Systems for Smallholders in Tropical and Subtropical Regions, 6-12 Apr, Chapeco, Brazil. Doc. Disponível em: http://www.idrc.ca/en/ev-31918-201-1-DO_TOPIC.html. Consultado em 25.01.2010.
- Tarré, R.M. Efeito da Consorciação da leguminosa *Desmodium ovalifolium* no consumo animal e na ciclagem de nutrientes em pastagens de *Brachiaria humidicola*. Tese de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo). Seropédica: UFRRJ, 82p.2005.
- Tarré, R. ; Macedo, R. ; Cantaruti, R.B. ; et al. The effect of the presence of legume on *Brachiaria humidicola* pasture. *Plant and Soil*, v.234, p.15-26,2001. **In:** Shunke, R.M. ; Silva, J.M.da ; Barros, J.V.de ; Mello, E.V.de ; Arce, L. D. Estoques de carbono em pastagens de Braquiaria consorciada com leguminosa. (2004). Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/RozaMSchunkeFertibio2004.pdf>. Consultado em 22/01/2010
- Valcarel, R.; Valente, F.D.W.; Morokawa, M.J.; Cunha-Neto, F.V.; Pereira, C.R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.5, p.923-930,2007.
- Valente, F.D.V.et al. Produção e decomposição de serrapilheira em medidas biológicas de reabilitação de áreas de empréstimo na Mata Atlântica. **Revista Universidade Rural**, (aceito para publicação).2005.
- Vogt, K. A.; Grier, C. C.; Vogt, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, v.15, p.303-377, 1986.
- Vogt,K.A. ; Vogt, D.J. & Bloomfield, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at na ecosystem level. **Plant and Soil** 200:71-89. 1998.
- Vogt, K.A.; Vogt, D.J.; Palmiotto, P.A.; Boon, P.; Ohara, J.; Asbjorsen, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*. V.187, p.159-219, 1996.

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO DA PARTE ÁEREA DE SEIS ESPÉCIES ARBOREAS ESTABELECIDAS EM UMA JAZIDA DE CASCALHO REVEGETADA DO DISTRITO FEDERAL.

INTRODUÇÃO

Atualmente é reconhecido em âmbito mundial que as florestas têm um papel fundamental na redução da concentração de CO₂ na atmosfera e que a recuperação de áreas degradadas é uma forma válida e legítima para mitigar os efeitos do aquecimento global (STAPE *et al.*, 2007). As florestas oferecem inúmeros benefícios diretos e indiretos ao homem e podem, também, contribuir decisivamente para reduzir os impactos ambientais do chamado efeito estufa por meio da fixação de carbono atmosférico em sua biomassa (CELSO, 2007).

A fixação de carbono ocorre enquanto as árvores e a floresta estão crescendo, tornando-se, assim, importante atrativo na recuperação dos ecossistemas naturais degradados através de regeneração e adensamento da cobertura vegetal, aumentando a biomassa e conseqüentemente o estoque de carbono fixado (CELSO, 2007).

O conceito de fixação de carbono normalmente se relaciona com a idéia de armazenarem reservas de carbono em solos, árvores e outros tipos de vegetação. Também se promove o incremento nas reservas de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas. As informações sobre fitomassa e/ou biomassa tornaram-se importantes para entender o papel das florestas no ciclo global do carbono, particularmente no processo de fixação e estoque de carbono (BROWN *et al.*, 1989).

As árvores atuam como depósitos de carbono quando absorvem CO₂ da atmosfera, liberando subsequentemente oxigênio e retendo carbono. A taxa de crescimento e, portanto o potencial de seqüestro do carbono da floresta muda significativamente de região para região devido às variações climáticas e edáficas. De acordo com Ab'Sáber *et al* (1990) e Rodés *et al* (1990), o potencial de captura por hectare depende do espécime vegetal utilizado, da densidade de plantio e da área plantada. Sabe-se que quando maior for esse potencial menor será a área plantada e menor será o custo de implantação da floresta.

A biomassa vegetal úmida tem aproximadamente 75% de água, 11% de carbono, 10% de oxigênio, 2% de hidrogênio e 2% de cinzas. Já a composição química da biomassa vegetal seca é de 44% de carbono, 40% de Oxigênio, 8% Hidrogênio e 8%de cinzas. Para fins de estimativa, tem sido usado o valor de 50% de carbono na matéria seca vegetal (COSTA *et al.*, 2005). Apesar de um enorme volume de massa vegetal, o conteúdo de carbono e outros elementos químicos na vegetação é baixo. Para muitos é difícil entender que o solo tenha mais carbono do que a vegetação que o cobre, mesmo sendo a mais exuberante do planeta.

O Cerrado está entre as 25 áreas consideradas críticas para conservação da diversidade biológica no mundo (*hotspots*), devido à sua riqueza e à alta pressão antrópica a que vem sendo submetido (MYERS *et al.* 2000). Estudos indicam que permanecem intactos apenas 20% da cobertura original do Cerrado e somente 2,2% deste bioma estão inseridos em áreas protegidas (MACHADO *et al.* 2004). As atividades antrópicas, ocorridas na década de 1950 no Distrito Federal fez o setor minerário provocar vários danos ambientais. Permanecem ainda lacunas sobre a importância desse ecossistema para o balanço de energia, água, fitomassa e carbono (PINHEIRO, 2008).

No Cerrado, as pesquisas que utilizaram técnicas de medição de estoque de carbono por métodos indiretos em reflorestamentos de recuperação com espécies arbóreas a partir da estimativa de biomassa ainda são escassas (FERNANDES *et al.*, 2008;WATZLAWICK *et al.*, 2009; THOMPSON, 2009), sendo necessários estudos visando à obtenção de estimativas precisas do estoque de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação.

Segundo Thompson (2009), no Cerrado existe uma carência de equações matemáticas para estimar os estoques em volume, biomassa, carbono da vegetação ou de determinada espécie ou grupo de espécies, dentre outros. As florestas plantadas estão assumindo um papel de destaque devido ao surgimento de um novo incentivo para o plantio voltado para a captura do carbono, conhecidos como as “comodities ambientais”, que promove um incentivo na economia, com a geração de “créditos de carbono” (CARVALHO *et al.*, 2003). Os créditos são papéis comercializáveis no mercado internacional entre os países que têm metas a cumprir no protocolo de Quioto (Anexo I) e os que não tem metas a cumprir (Não Anexo I). Em outras palavras, os países desenvolvidos (Anexo I) possuem quotas de redução das emissões, e os países em desenvolvimento (Não Anexo I), como no caso do Brasil, não possuem quotas de redução das emissões.

O mercado de carbono tem se mostrado apto por pagar pela absorção do carbono pelas florestas, pois elas constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres e funcionam como sumidouros (CELSO, 2007). Este trabalho objetivou estimar o estoque de carbono da parte aérea de seis espécies arbóreas nativas do cerrado estabelecidas em uma jazida revegetada do Distrito Federal e seu potencial para a geração de créditos de carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada na DF-130, km 8,5 das DF-250/130, região administrativa do Paranoá (15°45'25,673S e 47°39'21,777W) e compreende uma jazida de cascalho explorada a partir de 2000 com 20 ha área. Neste trabalho o experimento de revegetação compreende à 1.152 m² da área. O solo original era um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico, a profundidade da cava variou entre 2 e 3 metros (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Vista da área da jazida minerada mostrando a cava lavrada (2 – 3 m de profundidade) no DF.

Delineamento experimental

Em setembro de 2003 foi implantado um experimento objetivando avaliar a revegetação em uma área degradada pela extração de cascalho no Distrito Federal. O experimento consistiu no plantio de seis diferentes espécies arbóreas do Cerrado: curiola (*Pouteria ramiflora*), barú (*Diperyx alata* Vog), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee & Lang).

O delineamento experimental consistiu em doze módulos, distribuídos aleatoriamente, de 8 m x 12 m (96 m²). Em cada um dos módulos foram plantados seis indivíduos de cada espécie arbórea, sendo 16 m² para cada planta (4 x 4 m) (Figura 4.2). As seis espécies arbóreas testadas na área da jazida de cascalho também foram plantadas com seis repetições em área de cerrado desmatado, formado com pasto, mas não minerado, para efeito de controle. No total, foram plantadas 72 mudas na área experimental e 36 na área controle, totalizando 108 indivíduos.

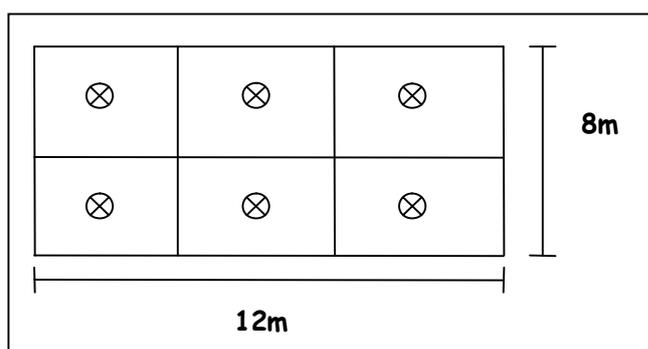


Figura 4.2 – Croqui de um módulo experimental da área da jazida de cascalho, com distribuição das seis espécies arbóreas diferentes.

Coleta e análise dos dados das mudas

Entre setembro de 2003 a fevereiro de 2007 foram realizadas as avaliações de desenvolvimento inicial das mudas (ARAÚJO, 2006). Em cada avaliação realizaram-se medidas de altura e diâmetro na base, sendo o diâmetro medido com paquímetro e a altura com régua graduada em centímetros. Neste trabalho os dados coletados por Araújo (2006) foram tratados e analisados para elaboração deste capítulo.

A obtenção dos dados para o cálculo da biomassa aérea e estimativa de carbono orgânico em cada espécie foi obtida por meio de método indireto (não destrutivo). Conforme Higuchi *et al.*, (1998) e Hairiah *et al.*, (2001) este método é rápido, não corta, não pesa e nem seca nenhum indivíduo, permitindo amostrar uma área maior e maior

número de indivíduos, pois utilizam variáveis mais facilmente obtidas no campo, como o diâmetro acima do solo e a altura.

Aplicação da equação alométrica e cálculo da biomassa para as espécies

Em florestas tropicais, a biomassa pode ser estimada indiretamente pela aplicação de modelos alométricos (KELLER *et al.*, 2001) que têm sido bastante utilizados (CUMMINGS *et al.*, 2002). Entretanto, são necessários mais estudos com uso de modelos alométricos gerados a partir de dados da vegetação do Cerrado *sensu stricto*.

Para se chegar ao cálculo da biomassa das espécies foi necessário construir as equações alométricas descritas por meio de modelos lineares ($y = a + bx$) e obtenção dos coeficientes angular (b_i) e de determinação (R^2) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Equações alométricas testadas para extração do coeficiente angular. $\hat{Y} = Y$ estimado (equação de crescimento); $X =$ tempo de cada medição.

<i>Inga marginata</i>						
	Altura			Diâmetro		
Tratamento	Equação	b_i	R^2	Equação	b_i	R^2
Controle	$\hat{Y} = 69,88 + 23,24X$	23,24	0,63	$\hat{Y} = 0,29 + 0,60X$	0,60	0,90
Área revegetada	$\hat{Y} = 65,84 + 23,77X$	23,77	0,95	$\hat{Y} = 0,10 + 0,83X$	0,83	0,98
<i>Syagrus oleraceae</i>						
Tratamento	Equação	b_i	R^2	Equação	b_i	R^2
Controle	$\hat{Y} = 66,33 + 7,47X$	7,47	0,90	$\hat{Y} = 0,68 + 0,35X$	0,35	0,90
Área revegetada	$\hat{Y} = 49,33 + 26,33X$	26,33	0,98	$\hat{Y} = -2,42 + 1,99X$	1,99	0,84
<i>Hymenaeae courbaril</i>						
Tratamento	Equação	b_i	R^2	Equação	b_i	R^2
Controle	$\hat{Y} = 57,58 + 5,11X$	5,11	0,90	$\hat{Y} = 0,46 + 0,19X$	0,19	0,80
Área revegetada	$\hat{Y} = 49,15 + 9,78X$	9,78	0,94	$\hat{Y} = 0,16 + 0,35X$	0,35	0,92
<i>Astronium fraxinifolium</i>						
Tratamento	Equação	b_i	R^2	Equação	b_i	R^2
Controle	$\hat{Y} = 81,57 + 13,89X$	13,89	0,76	$\hat{Y} = 0,10 + 0,68X$	0,68	0,89
Área revegetada	$\hat{Y} = 84,26 + 13,31X$	13,31	0,94	$\hat{Y} = 0,01 + 0,82X$	0,82	0,94
<i>Dipteryx alata</i>						
Tratamento	Equação	b_i	R^2	Equação	b_i	R^2
Controle	$\hat{Y} = 64,07 + 4,00X$	4,00	0,89	$\hat{Y} = 0,49 + 0,14X$	0,14	0,89
Área revegetada	$\hat{Y} = 36,61 + 11,33X$	15,3	0,92	$\hat{Y} = 0,09 + 0,42X$	0,42	0,88

Sabendo-se que o coeficiente angular é um valor que permite inferir o quanto (inclinação da reta) a espécie tende a crescer nos próximos anos, foi feita a razão entre o coeficiente angular da altura total (b_{Ht}) pelo coeficiente angular do diâmetro a 30 cm do

solo (b_{Db}). Assim, encontramos um dos coeficientes ($\beta_1 = \frac{b_{Ht}}{b_{Db}}$), da equação de Delitti *et al* (2006) construída para o Cerrado, que será utilizada neste trabalho para o cálculo da biomassa aérea: $BA = \beta_0 + \beta_1 (Db^2)Ht$.

Onde:

BA = Biomassa da parte aérea;

Db = diâmetro a 30cm do solo;

β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo (coeficientes) encontrados;

Ht = altura total.

A biomassa total foi estimada por espécie arbórea, sempre utilizando-se os dados de diâmetro de colo (30 cm) e altura no tempo até 42 meses. As equações alométricas utilizadas para o cálculo da estimativa de biomassa estão apresentadas na Tabela 4.2. (Anexo B).

Estimativa do estoque de carbono fixado e conversão em créditos para o mercado

Para obter a porcentagem de carbono na biomassa, a partir dos resultados das equações alométricas (Tabela 4.2), levaram-se em consideração os 75% de água que são subtraídos do total de biomassa/área e, desse valor, subtraído 50% referentes aos elementos não-carbono (COSTA *et al.*; 2005).

Para a quantificação dos créditos de carbono gerados fez-se a conversão da média do estoque de carbono encontrado a partir de toneladas de C-orgânico para toneladas de CO₂ equivalentes, pois as negociações no mercado de créditos de carbono são feitas nessa unidade. Dessa forma utiliza-se um fator de conversão igual a 3,67 (BALBINOT, 2004), que corresponde ao peso atômico do CO₂ (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12).

A acumulação de C-orgânico no tempo

Para o cálculo do C-orgânico acumulado em cada período de medição foi utilizado os dados de altura e diâmetro para obtenção da biomassa obtida pelas equações alométricas de cada período (tabela 4.2, Anexo B). Os valores encontrados estão representados na Figura 2.3.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Acumulação de carbono na área controle (pasto) e na área revegetada.

Em ordem decrescente, os valores médios de estoque de C aos 42 meses nas espécies instaladas na área da jazida que está sendo recuperada foi de 12,13 t C ha⁻¹ para *Inga marginata*, 10,98 t C ha⁻¹ para *Syagrus oleraceae*, 5,06 t C ha⁻¹ para *Astronium fraxinifolium*, 3,03 t C ha⁻¹ para *Dipteryx alata* e 1,49 t C ha⁻¹ para *Hymenaea courbaril*.

O valor total do estoque acumulado de C na área da jazida que esta sendo recuperada aos 42 meses foi de 32,67 t C.ha⁻¹ ou 120 t CO₂. *Inga margiata* e *Syagrus oleraceae* foram a espécie mais eficientes no seqüestro de C nas condições do presente experimento, provavelmente por serem espécies heliófitas. Este resultado leva à indicação de *Inga marginata* e *S. oleraceae* como uma espécie de alto potencial para a fixação de C em condições de áreas degradadas por mineração de cascalho no Distrito Federal.

Inga marginata

Os maiores estoques de C orgânico acumulado foram encontradas na jazida revegetada (12,13 t ha⁻¹) aos 42 meses e na área controle (10,47 t ha⁻¹) (Figura 4.3).

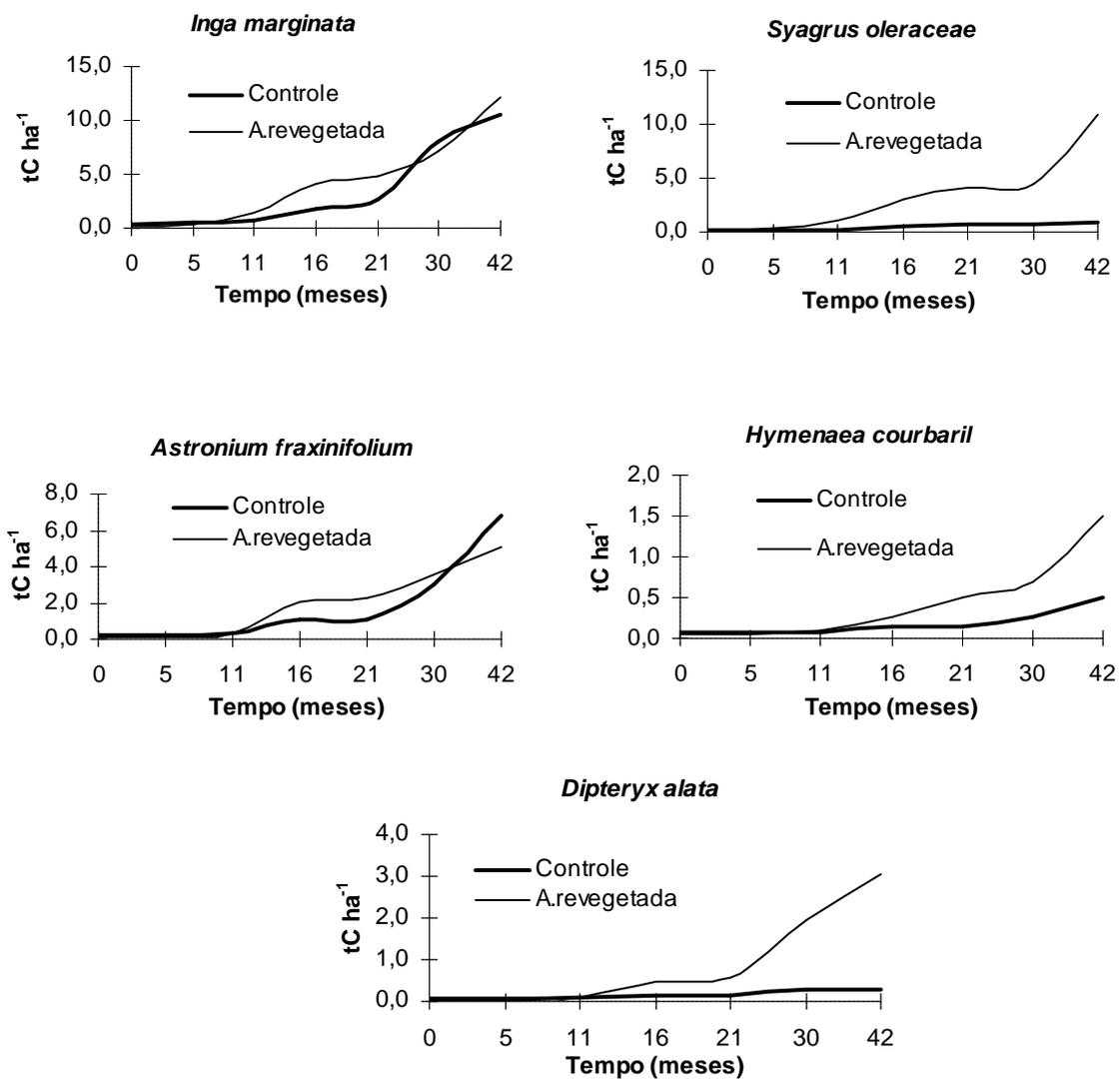
Considerando os dados de biomassa convertida em estimativa de biomassa seca (MS), *I. marginata* na área do controle acumulou 20,95 t MS ha⁻¹ sendo 10,47 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 38,44 (10,47 x 3,67CO) t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses.

Na área da jazida, que fora revegetada, a biomassa foi de 24,27 t MS ha⁻¹, ou seja, 12,13 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 44,53 (12,13 x 3,67 CO)t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses.

Syagrus oleraceae

Os maiores estoques de C orgânico foram encontradas na jazida revegetada (10,98 tC tC ha⁻¹) 42 meses e no controle (0,78 tC ha⁻¹) aos 30 meses. A ausência de dados de acompanhamento em *S. oleraceae* no 42º mês de medição na área do pasto (controle) indica que esta espécie não tenha sobrevivido neste período (Figura 4.3).

Considerando os dados de massa seca em *S. oleraceae* tem-se 1,84 t MS ha⁻¹, sendo, portanto 0,92 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 3,37(0,92 x 3,67CO) t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses. Na área da jazida que fora revegetada a massa seca foi de 21,96 t MS ha⁻¹, sendo portanto, 10,98 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 40,29 (10,98 x 3,67 CO)t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses.



Figuras 4.3. Estoque do carbono orgânico acumulado (tC ha⁻¹), por espécies.

Hymenaea courbaril

O maior estoque de C orgânico foram encontradas na área revegetada (1,49 tC ha⁻¹) aos 42 meses (Figura 4.3). Considerando os dados de biomassa, *H.courbaril* apresentou 1,15 t MS ha⁻¹, sendo 0,57 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 2,11 (0,57 x 3,67CO) t CO₂ ha⁻¹. Na área da jazida que fora revegetada, a biomassa foi de 2,99 t MS ha⁻¹, sendo, portanto, 1,49 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 5,49 (1,49 x 3,67 CO)t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses.

Astronium fraxinifolium

O maior estoque de C orgânico foram encontradas nas espécies instaladas na área controle (6,78 tC ha⁻¹) aos 42 meses quando comparado àquelas instaladas sobre a área revegetada da jazida (5,06 tC ha⁻¹) (Figura 4.3).

Considerando os dados de biomassa, *A. fraxinifolium* apresentou 13,57 t MS ha⁻¹, sendo 6,78 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 24,90(6,78 x 3,67CO) t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses. Na área da jazida que fora revegetada a biomassa, foi de 10,12 t MS ha⁻¹, sendo, portanto, 5,06 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 18,57 (12,13 x 3,67 CO)t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses de medição.

Dipteryx alata

O maior estoque de C orgânico foram encontradas na área revegetada (3,03 tC ha⁻¹) e na área controle (0,28 tC ha⁻¹) aos 30 meses. A ausência de dados de acompanhamento em *D. alata* no 42º mês de medição na área controle indica que esta espécie não tenha sobrevivido até este período (Figura 4.3).

Considerando os dados de biomassa, *D. alata* apresentou 0,56 t MS ha⁻¹, sendo, portanto 0,28 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 1,02 (0,28 x 3,67CO) t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses. Na área da jazida que fora revegetada a biomassa foi de 2,19 t MS ha⁻¹, ou seja, 1,09 t C ha⁻¹. Esse valor representa a fixação de 4,00 (1,09 x 3,67 CO)t CO₂ ha⁻¹ nos 42 meses.

Fixação de CO₂

A figura 4.4 reúne os resultados obtidos por meio do levantamento de campo e cálculos matemáticos, mostrando, para cada espécie, os valores de CO₂ fixado nos 42 meses de acompanhamento do projeto de revegetação da jazida de cascalho. Vale ressaltar que as espécies *I. marginata* e *S. oleraceae* e *A. fraxinifolium*, destacam-se em relação às outras em termos de quantidade de CO₂ fixado. A primeira por ser uma espécie agressiva e de excelente desempenho tanto no pasto (38,4 t CO₂ ha) como na área revegetada (44,5 t CO₂ ha). A segunda teve melhor desempenho superior apenas na área revegetada (40,3 t CO₂ ha) em relação ao pasto (3,3 t CO₂ ha) devido a mortalidade da maioria dos indivíduos desta espécie, o que também ocorreu com *D. alata* (11,1 t CO₂ ha). Já *A. fraxinifolium* fixou mais CO₂ no pasto (24,9 t C O₂ ha) do que na área revegetada (18,6 t C O₂ ha). É provável que esta espécie tenha tido uma melhor capacidade fotossintética na área do pasto

(controle), o que gerou maiores valores de carbono fixado, corroborando com Prado et al.(2005). *Hymenaea courbaril* fixou 5,4 t CO₂ ha na área revegetada (Figura 4.4). De um modo geral, a revegetação com as cinco espécies fixam de 120 tCO₂.ha⁻¹.ano⁻¹, representando para o mercado de créditos aproximadamente US\$ 2.400 anuais por hectare.

A análise dos resultados indicou uma vegetação ainda muito jovem. Conforme Ciesla (1995), a proporção do carbono absorvido pelas plantas está relacionada ao seu crescimento e à sua idade. As florestas removem carbono em maiores proporções quando jovens e em fase de crescimento. À medida que vão atingindo a maturidade, o crescimento se estabiliza e a absorção é reduzida.

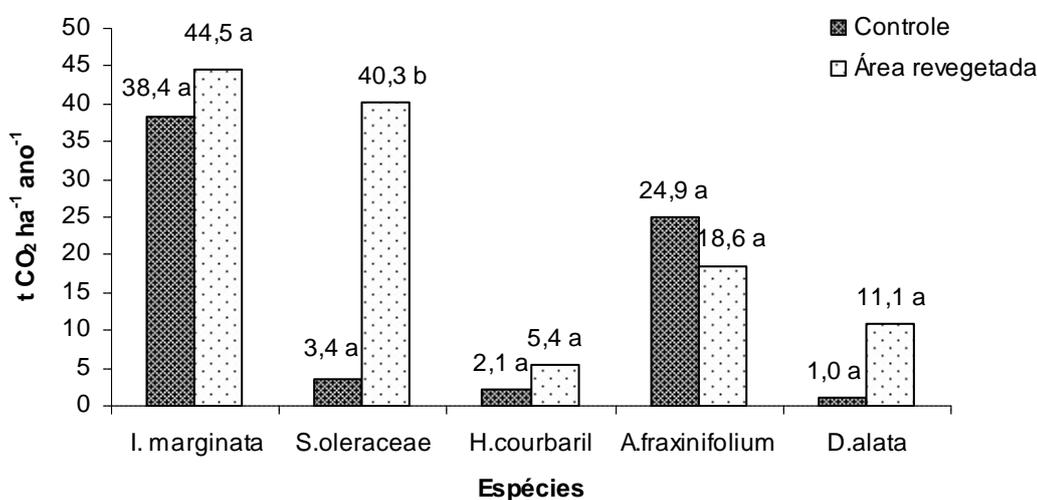


Figura 4.4 – Fixação de CO₂ pela vegetação de uma jazida de cascalho no Distrito Federal. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste t (P<0,05) para cada espécie.

Os valores de carbono seqüestrado pelo plantio de recuperação diferem por área (cerrado e área revegetada) e em cada espécie pelo teste de t (P<0,05). A figura 2.4 nos permite observar ainda que em uma área de 1.152 m² de uma jazida revegetada por espécies arbóreas, com adoção de espaçamento de 4 x 4m foram retiradas 120 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹. Supondo que nesta mesma área (considerando mesma quantidade de indivíduos e o mesmo desenvolvimento das plantas) tivesse sido utilizado o mesmo espaçamento de 3 x 3 m, conforme recomenda a literatura (FELFILI & SANTOS, 2002; ALMEIDA e SANCHEZ, 2005) para plantios mistos de recuperação de áreas degradadas com espécies arbóreas e nativas do Cerrado, então ao aplicarmos uma regra de três, a quantidade de CO₂ seqüestrado pela vegetação seria de 72,5 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹.

Esses valores ficaram ainda acima daquele encontrado por Rondon (2002) para produção de biomassa aérea. Este autor utilizou os espaçamentos 3 x 3 m e 4 x 4 m em um ensaio com plantio de *Schizolobium amazonicum*, de 60 meses de idade, para a produção de biomassa da parte aérea e observou que esta foi favorecida pelo espaçamento maior. Somente no tronco, a produção de biomassa seca foi de 74,80 t ha⁻¹ com o espaçamento 4 x 4 m, superior aquela encontrada com o espaçamento 3 x 3 m (63,10 t ha⁻¹). Dados semelhantes foram também observados com *Eucalyptus spp.* por Pereira (1990), Bernardo (1995) e Leles (1995). A influência de diferentes espaçamentos sobre a produção de biomassa varia com a espécie, a idade das plantas e a qualidade do sítio (BERNARDO, 1995).

Diferentes trabalhos, realizados com introdução de espécies nativas para recuperação de áreas mineradas no Cerrado *sensu stricto*, abordaram diversos aspectos relacionados a altos incrementos e baixas taxas de mortalidade (MUNDIM, 2005), além da avaliação do crescimento em espaçamento 3 x 3 m (ALMEIDA e SANCHEZ, 2005; MELO et al., 2009).

Segundo Rezende & Felfili (2004), o cerrado *sensu stricto* apresenta menores valores de estoque de carbono do que os encontrados para a Floresta Amazônica, considerando a biomassa aérea. No entanto, plantas lenhosas do cerrado apresentam taxas relativamente altas de assimilação máxima de CO₂ e são caracterizadas por apresentarem alto grau de investimento em estruturas subterrâneas (THOMPSON, 2009).

Em florestas plantadas de *Eucalyptus camaldulensis* a produção de biomassa por árvore, aos 20 e 32 meses de idade foi influenciada pelo nível de adubação e espaçamento (OLIVEIRA NETO et al., 2003). Os maiores valores de biomassa da parte aérea aos 32 meses de idade, foram observados nos espaçamentos mais amplos (3 x 4 m e 3 x 5 m), quando comparados com os espaçamentos mais reduzidos (3 x 2 m e 3 x 3 m), em razão da reduzida competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas (OLIVEIRA NETO et al. 2003).

Melo et al., (2009), encontrou 15, 2 Mg. ha⁻¹ de estoque de C fixado em um reflorestamento heterogêneo com seis anos de idade, com espécies nativas, instalado em Assis (SP) e uso de espaçamento 3 x 2 m em uma área de dois hectares. Este valor ficou bem abaixo do valor encontrado neste trabalho. Tsukamoto Filho (2003) encontrou valores totais de C fixado de 48,02 t ha⁻¹ no espaçamento 3 x 3 m de eucalipto com rotação técnica de volume de madeira (6 anos) e 54,4 t ha⁻¹ na rotação econômica (7 anos). O interesse nas florestas plantadas para fixação de C tem aumentado em razão de apresentarem

crescimento rápido, o que significa grande capacidade de remover CO₂ da atmosfera. As espécies do gênero *Eucalyptus*, de modo geral, possuem elevada eficiência fotossintética, representando um grupo de espécies bastante eficientes no seqüestro de C.

O espaçamento a ser adotado no plantio é um critério importante a ser selecionado. Em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro. Neste trabalho os valores de biomassa da parte aérea no espaçamento 4 x 4 m se deu em razão da reduzida competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas. O espaçamento médio mais adotado em plantios de mudas para recuperação é de 4 x 4 metros. Em plantações de eucalipto o espaçamento é mais fechado, enquanto as árvores nativas têm espaçamento mais amplo.

De acordo com a legislação brasileira, extensas áreas devem ser preservadas com florestas nativas ou recuperadas com florestas naturais. Desta forma, no cálculo final para negociação sobre o custo por tonelada do carbono fixado, os estoques de carbono formados por estas reservas florestais, que são de 50% na Região Amazônica e 20% em outras regiões do Brasil, também deverão ser levados em consideração (TEDINE, 2010).

Quanto à importância das diferentes espécies do plantio de revegetação em relação ao acréscimo de biomassa, *I.marginata* teve a maior contribuição (37,10%) nos 42 meses.

De forma geral o total de carbono fixado pela vegetação na área de estudo foi de 282,61 t CO₂ em cinco anos. O substrato armazenava 38% desse montante e a parte aérea das espécies arbóreas cerca de 42% (Figura 4.5). O C armazenado nas raízes das espécies arbóreas não foi mensurado, fato que subestimou a contribuição do estrato lenhoso.

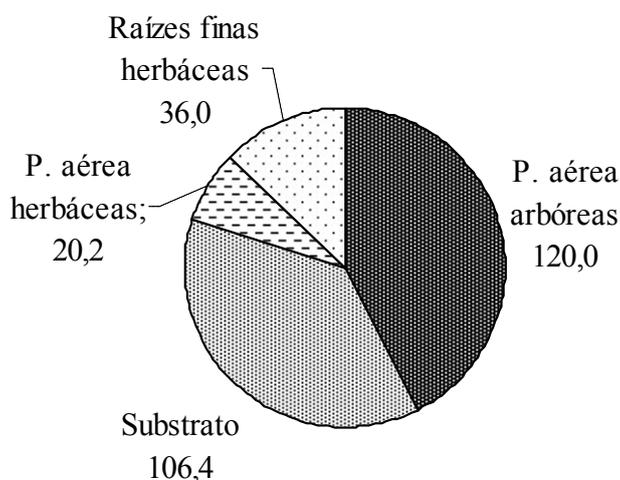


Figura 4.5. Fixação de C em equivalente de t CO₂.ha⁻¹ pelos diferentes compartimentos da área estudada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados nos permitem inferir que, em fase inicial (42 meses), 120 tCO₂. ha⁻¹, obtidos pela fixação de C pelas espécies arbóreas instaladas na área revegetada, é um valor importante para o seqüestro de C na recuperação de áreas mineradas com espécies nativas do Cerrado. A parte aérea das espécies arbóreas juntamente com o substrato responde por 83% da fixação de carbono, enquanto que nas raízes finas a quantidade fixada de C foi superior (13%) ao valor encontrado pela parte aérea das herbáceas (7%). Fatores como espaçamento e seleção de espécies devem receber grande atenção nos modelos de recuperação de áreas mineradas para que não acarrete implicações silviculturais e econômica. As espécies utilizadas neste estudo promovem uma melhora significativa na recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração de cascalho. Especial atenção deve ser dada ao *Inga marginata* e a *Syagrus oleraceae* devido à sua alta capacidade de fixação de CO₂ em condições de áreas mineradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A.N. Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas/Aziz Ab'Sáber - São Paulo: Ateliê Editorial, 2003;
_____ et al (1990). Identificação de áreas para o florestamento no espaço total do Brasil. Revista do Instituto de Estudos Avançados / USP. Projeto Floram – uma plataforma; maio/agosto – 1990, volume 04 – número 09: São Paulo – SP.
- Almeida, R.O.P.O. Sánchez, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **R.Árvore**, v.29, n.1, p.47-54, Viçosa-MG.2005.
- Balbinot, R. Implantação de Florestas Geradoras de Créditos de Carbono: estudo de viabilidade no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Dissertação** (Mestrado). UFPR.Curitiba-PR.2004.
- Bernardo, A.L. Crescimento e Eficiência nutricional de *Eucalyptus spp.* Sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em ciências florestais), Universidade Federal de Viçosa, 102p.1995.
- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35,P.881-902,1989.
- Carvalho, R. M. M. A.; Soares, T. S.; Valverde, S. R.; Viana, E. C. Quantificação e contabilização do estoque de carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis*. **In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 8. São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 2003.v.2. CD ROM
- Celso, B. Análise comparativa da eficiência entre as espécies florestais *Pinus taeda* e *Araucária angustifolia* (Bert) O.Ktze no seqüestro de CO₂ em reflorestamento na região Sul do Brasil. IX ENGEMA – Curitiba-PR. 2007.
- Ciesla, W.M. Climate change and Forest management: na overview. Rome: FAO, 128p. (**Forestry Paper**; 126).1995.
- Costa, L.M.da; Oliveira, A.P.de; Guedes, I.M.R.; Schaefer, C.E.G.R; Santos, R.F.dos; Soares, R.A. O papel do solo no ciclo do carbono. Viçosa. 2005. Em [<http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=O+papel+do+solo+no+ciclo+do+carbono&start=40&sa=N>] Consultado em 30.11.2009.
- Cummings, D.L., Kauffman, J.B., Perry, D.A., Hughes, R.F., 2002. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management** 163, 293-307.
- Delitti, W.B.C, Meguro, M. & Pausas, J. Biomass and mineralmass estimates in a cerrado ecosystem. **Revista Brasileira de Botânica** 29(4):531-540. 2006.
- Felfili, J.M.; Santos, A.A.B. Direito ambiental e subsídios para revegetação de áreas degradadas no Distrito Federal. Brasília: UnB/departamento de Engenharia Florestal, 135p. (Comunicações técnicas florestais, v.4, n.2). 2002.

- Fernandes, A.H.B.M. Salis, S.M.de.; Crispim, S.M.A. Estoques de Carbono do Estrato Arbóreo de Cerrados no Pantanal da Nhecolândia. Comunicado Técnico 68. Corumbá-MS.2008.
- Hairiah, K.; Sitompull, S.M.; Noordwijk, M.VAN.; Palm, C. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. **In:** Noordwijk, M. van.; Williams, S. and Verbist, B. (Ed.). Towards integrated natural resource management in forest margins of the humid tropics: local action and global concerns. ICRAF. ABS Lecture Note 4 A, Bogoi, 49p. 2001.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, 28 (2): 153-165. 1998.
- Keller, M.; Palace, M.; Hurtt, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, 154:371-382.2001.
- Leles, P.S.S. Crescimento alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E.pellila* sob diferentes espaçamentos. **Dissertação** (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, 133p. 1995.
- Machado, R.B., Ramos Neto, M.B., Pereira, P.G.P., Caldas, E.F., Gonçalves, D.A., Santos, N.S., Tabor, K. & Steininger, M. 2004. Estimativas de perda de área de Cerrado brasileiro. Conservação Internacional, Brasília;. Em: <http://www.aja.org.br/publications/RelatDesmatamCerrado.pdf>, acesso em 15/01/2010.
- Melo, A.C.G. ;Sousa,H. ; Contieri, W.A.; Malicia,L.C. Biomassa, fixação de carbono e estrutura da vegetação de cerrado em restauração aos seis anos,Assis, SP. Ver.Inst.Flor. São Paulo, v.21, n.1, p.73-78, jun.2009.
- Myers, N.; Russell, Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.;Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853-858, 2000.
- Mundin, T.G. Avaliação de espécies nativas usadas na revegetação de áreas degradadas no Cerrado. **Monografia**. Universidade de Brasília.2005.
- Niklas, K. J. Plant allometry: the scaling of form and process. The University of Chicago Press. Chicago. 1994.
- Oliveira Neto, S.N.; Reis, G.G.; Reis,M.G.F.;Neves, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **R. Árvore**,Viçosa-MG, v.27, n.1, p.15-23,2003.
- Prado, C.H.B. de A.; Ronquim, C.C.; Peron, M.C.C. Balanço de carbono em duas espécies lenhosas de Cerrado cultivadas sob irradiação solar plena e sombreadas. In: SCARIOT et al. (orgs). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.197-215.

- Pereira, A. R. Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em região de cerrado. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 167 p. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- Pinheiro, E.S.; Durigan,G.;Santos, J.R. Avaliação de imagens Quick Bird para estimativa de fitomassa aérea do cerrado.**Ambiência** – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Vol.4 – Edição Especial.2008.
- Rezende, A. V; Felfili, J. M. Avaliação do estoque de carbono no cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. Comunicações Técnicas Florestais. V. 6, n. 2. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 2004. 28 p.
- Rondon, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Hub.) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, v. 26 n. 5, p. 573-576, 2002.
- Rodés, L.; Barrichelo, G.E.; Ferreira, M. A biodiversidade e o projeto FLORAM: produtividade x condições ambientais; Estudos Avançados; v. 4; n. 9; São Paulo; maio/agosto 1990.
- Stape, J.L.; Gandara, F.; Santos, J.D.; Gusson, E. Campoe, O.C.; Sixel, R.M.M. Taxas iniciais de seqüestro de carbono em áreas de restauração florestal são dependentes dos sistemas de implantação e manejo adotados? Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu-MG.2007.
- Tedine, V. Eucalipto: o reflorestamento do capital financeiro. Jornal: A Nova Democracia. 2010. Em <http://www.anovademocracia.com.br>. Consultado em 12/01/2010.
- Thompson, R.M. Estimativas de volume, biomassa e carbono para o carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum* Vog. var. subvelutinum Benth). **Dissertação** (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília-DF, 2009.
- Tsukamoto Filho, A.A.; Silva, M.L.; Couto, L. Muller, M.D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **R. Árvore**, v.27, n.4, 487- 494. 2003.
- Watzlawick, L.F.; Kirchner, F.F.; Sanquetta, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite ikonos II. Ciência Florestal, Vol.19, n.2, Abr-Jun, pp.169-181. 2009.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A área da cascalheira degradada pela extração de cascalho está sendo recuperada, e as espécies estão se desenvolvendo de forma a acompanhar a sucessão secundária: pioneiras, clímax exigente de luz e clímax tolerantes à sombra. Os dados apresentados nos permitem inferir que, em 42 meses, $120 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ é um valor importante para o seqüestro de C na recuperação de áreas mineradas com espécies nativas do Cerrado. Fatores como espaçamento e seleção de espécies devem receber grande atenção nos modelos de recuperação de áreas mineradas para que não acarrete implicações silviculturais e econômica. As espécies utilizadas neste estudo promovem uma melhora significativa na recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração de cascalho.

A concentração de carbono no substrato da área minerada, após cinco anos da semeadura do estrato herbáceo, indica a capacidade de essa vegetação seqüestrar C e estocá-lo na camada superficial do substrato da área.

A concentração de carbono na camada herbácea (parte aérea e raiz) da jazida revegetada após cinco anos de desenvolvimento é maior do que a quantidade existente no compartimento parte aérea das pastagens naturais do Cerrado.

Se os 883 ha de jazidas de cascalho existentes no DF utilizasse o estrato herbáceo em seus projetos de recuperação seriam fixados $430.616 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ gerando para o mercado de créditos de C um valor significativo de US\$ 8.612.316.

O total de carbono fixado pela vegetação na área de estudo foi de $282,6 \text{ t CO}_2$ em 42 meses. O carbono armazenado nas raízes das espécies arbóreas não foi mensurado, fato que subestimou a contribuição do estrato lenhoso.

O valor total de C fixado pelos diferentes compartimentos significa para o mercado de créditos o valor monetário de US\$ 5.652,00 por hectare e o custo do projeto de revegetação ficou em US\$ 3.900,00 por hectare. Pode-se ainda, abater o custo de revegetação com créditos de C e se obterem 31% de lucro, possibilitando que este seja um trabalho de grande importância aos projetos do MDL.

Como o período de 24 meses é relativamente curto para acompanhar e avaliar todos os compartimentos da vegetação recomenda-se que mais trabalhos sejam realizados nesta mesma linha de pesquisa, envolvendo, além dos compartimentos estudados no trabalho, a liteira e raízes das espécies arbóreas.

ANEXO A

Anovas e teste t (teste de Studente-Newman-Keuls – SNK) para todas as espécies em complementação a figura 4.4

Inga marginata

Arquivo analisado:

C:\Users\Lucineia\ingá.DB

Variável analisada: crescimento

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	1	65877.952114	65877.952114	3.310	0.1187
mês	6	2113754.280043	352292.380007	17.699	0.0014
erro	6	119431.087386	19905.181231		
Total corrigido	13	2299063.319543			
CV (%) =	24.99				
Média geral:	564.6542857	Número de observações:		14	

Teste SNK para a FV tratamento

Médias DMS

NMS: 0,05

2 184,532386681623

Média harmonica do número de repetições (r): 7

Erro padrão: 53,3253909381589

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	496.057143	a1
1	633.251429	a1

Syagrus oleraceae

Arquivo analisado:

C:\Users\Lucineia\gueroba.DB

Variável analisada: crescimento

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	1	952937.250179	952937.250179	8.518	0.0267
mês	6	689525.438400	114920.906400	1.027	0.4874
erro	6	671232.479771	111872.079962		
Total corrigido	13	2313695.168350			
CV (%) =	79.81				
Média geral:	419.0850000	Número de observações:		14	

Teste SNK para a FV tratamento

Médias DMS

NMS: 0,05

2 437,472126416454

Média harmonica do número de repetições (r): 7

Erro padrão: 126,418850290784

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	158.188571	a1
1	679.981429	a2

Hymenaea courbaril

Arquivo analisado:

C:\Users\Lucineia\jatoba.DB

Variável analisada: crescimento

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	1	10200.600714	10200.600714	5.830	0.0523
mês	6	75979.475771	12663.245962	7.237	0.0148
erro	6	10498.171086	1749.695181		
Total corrigido	13	96678.247571			
CV (%) =	33.39				
Média geral:	125.2614286	Número de observações:	14		

Teste SNK para a FV tratamento

Médias DMS

NMS: 0,05

2 54,7105056426658

Média harmonica do número de repetições (r): 7

Erro padrão: 15,8100112087806

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	98.268571	a1
1	152.254286	a1

Astronium fraxinifolium

Arquivo analisado:

C:\Users\Lucineia\gonçalo.DB

Variável analisada: crescimento

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	1	16730.497207	16730.497207	1.695	0.2407
mês	6	1434898.304586	239149.717431	24.232	0.0006
erro	6	59215.479443	9869.246574		
Total corrigido	13	1510844.281236			
CV (%) =	21.18				
Média geral:	469.0421429	Número de observações:	14		

Teste SNK para a FV tratamento

Médias DMS

NMS: 0,05

2 129,936609567754

Média harmonica do número de repetições (r): 7

Erro padrão: 37,5485334958248

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	434.472857	a1
1	503.611429	a1

Dipteryx alata

Arquivo analisado:

C:\Users\Lucineia\baru.DB

Variável analisada: crescimento

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	1	50793.163779	50793.163779	3.217	0.1230
mês	6	82931.298943	13821.883157	0.876	0.5620
erro	6	94724.284971	15787.380829		
Total corrigido	13	228448.747693			
CV (%) =	97.95				
Média geral:	128.2792857	Número de observações:		14	

Teste SNK para a FV tratamento

Médias DMS

NMS: 0,05

2 164,340488440514

Média harmonica do número de repetições (r): 7

Erro padrão: 47,4904213328051

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	68.045714	a1
1	188.512857	a1

ANEXO B

Tabela 4.2 - Equações alométricas usadas para estimar a biomassa acima do solo das espécies arbóreas instaladas na área controle e na área da jazida de cascalho revegetada na DF 130, Brasília-DF. Db = diâmetro da base à 30 cm do solo; Ht = altura total.

Espécie	Tratamento	Parâmetros considerados	Tempo (meses)	Equação
<i>Inga marginata</i>	controle	Db e Ht	0	Biom = 2,16 + 38,73 (d ² h)
			5	Biom = 2,7 + 38,73 (d ² h)
			11	Biom = 3,41 + 38,73 (d ² h)
			16	Biom = 9,33 + 38,73 (d ² h)
			21	Biom = 13,11 + 38,73 (d ² h)
			30	Biom = 40,76 + 38,73 (d ² h)
			42	Biom = 52,74 + 38,73 (d ² h)
	área revegetada	Db e Ht	0	Biom = 1,06 + 28,64 (d ² h)
			5	Biom = 2,16 + 28,64 (d ² h)
			11	Biom = 9,05 + 28,64 (d ² h)
			16	Biom = 27,15 + 28,64 (d ² h)
			21	Biom = 32,45 + 28,64 (d ² h)
			30	Biom = 48,35 + 28,64 (d ² h)
			42	Biom = 81,89 + 28,64 (d ² h)
<i>Syagrus oleraceae</i>	controle	Db e Ht	0	Biom = 1,17 + 21,34 (d ² h)
			5	Biom = 1,15 + 21,34 (d ² h)
			11	Biom = 1,76 + 21,34 (d ² h)
			16	Biom = 5,40 + 21,34 (d ² h)
			21	Biom = 6,45 + 21,34 (d ² h)
			30	Biom = 7,07 + 21,34 (d ² h)
			42	Biom = 8,25 + 21,34 (d ² h)
	área revegetada	Db e Ht	0	Biom = 2,80 + 16,40 (d ² h)
			5	Biom = 3,12 + 16,40 (d ² h)
			11	Biom = 12,64 + 16,40 (d ² h)
			16	Biom = 35,43 + 16,40 (d ² h)
			21	Biom = 48,08 + 16,40 (d ² h)
			30	Biom = 52,26 + 16,40 (d ² h)
			42	Biom = 119,71 + 16,40 (d ² h)
<i>Hymenaea courbaril</i>	controle	Db e Ht	0	Biom = 0,46 + 26,89 (d ² h)
			5	Biom = 0,47 + 26,89 (d ² h)
			11	Biom = 0,51 + 26,89 (d ² h)
			16	Biom = 1,06 + 26,89 (d ² h)
			21	Biom = 1,06 + 26,89 (d ² h)
			30	Biom = 1,90 + 26,89 (d ² h)
			42	Biom = 4,13 + 26,89 (d ² h)
	área revegetada	Db e Ht	0	Biom = 0,36 + 27,94 (d ² h)
			5	Biom = 0,38 + 27,94 (d ² h)
			11	Biom = 0,62 + 27,94 (d ² h)
			16	Biom = 1,80 + 27,94 (d ² h)
			21	Biom = 3,47 + 27,94 (d ² h)
			30	Biom = 4,85 + 27,94 (d ² h)
			42	Biom = 10,34 + 27,94 (d ² h)
<i>Astronium fraxinifolium</i>	controle	Db e Ht	0	Biom = 2,18 + 20,426 (d ² h)
			5	Biom = 2,31 + 20,426 (d ² h)
			11	Biom = 3,35 + 20,426 (d ² h)
			16	Biom = 9,68 + 20,426 (d ² h)
			21	Biom = 10,58 + 20,42 (d ² h)
			30	Biom = 27,87 + 20,42 (d ² h)
			42	Biom = 63,34 + 20,42 (d ² h)
	área revegetada	Db e Ht	0	Biom = 1,52 + 16,23 (d ² h)
			5	Biom = 1,94 + 16,23 (d ² h)
			11	Biom = 3,90 + 16,23 (d ² h)
			16	Biom = 23,750 + 16,23 (d ² h)
			21	Biom = 25,79 + 16,23 (d ² h)
			30	Biom = 41,11 + 16,23 (d ² h)
			42	Biom = 58,76 + 16,23 (d ² h)
<i>Dipteryx alata</i>	controle	Db e Ht	0	Biom = 0,32 + 28,57 (d ² h)
			5	Biom = 0,42 + 28,57 (d ² h)
			11	Biom = 0,62 + 28,57 (d ² h)
			16	Biom = 0,84 + 28,57 (d ² h)
			21	Biom = 1,02 + 28,57 (d ² h)
			30	Biom = 1,91 + 28,57 (d ² h)
			42	Biom = 1,91 + 28,57 (d ² h)
	área revegetada	Db e Ht	0	Biom = 0,46 + 36,42 (d ² h)
			5	Biom = 0,55 + 36,42 (d ² h)
			11	Biom = 0,62 + 36,42 (d ² h)
			16	Biom = 2,58 + 36,42 (d ² h)
			21	Biom = 3,11 + 36,42 (d ² h)
			30	Biom = 10,38 + 36,42 (d ² h)
			42	Biom = 16,20 + 36,42 (d ² h)

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.