

SEQUESTRO DE CARBONO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO CERRADO

Rosimeire Batista Lopes¹
Deise Tatiane Bueno Miola²

Resumo

A crescente preocupação com o aumento da temperatura global advinda da acelerada emissão de gases de efeito estufa impulsionou a realização deste estudo, que teve por objetivo avaliar o potencial de sequestro de carbono em algumas formações vegetais do Cerrado, além de verificar as possíveis alterações nos teores e no estoque de carbono aéreo e, conseqüentemente, analisar o potencial de geração de crédito de carbono. O estudo foi conduzido em uma região de Cerrado nos municípios de Maravilhas e Pará de Minas – MG. A metodologia utilizada foi o cálculo por estimativa de biomassa e os estoques de carbono encontrados, considerando que estes representam 50% da biomassa seca. A fisionomia cerradão obteve um valor mais acentuado no sequestro de carbono aéreo, em torno de 9,90 Mg.h⁻¹ e de 36,33 Mg.h⁻¹ de CO₂; no Cerrado *Sensu strictu* subtipo-cerrado denso, o estoque de carbono ficou em torno de 3,30 Mg.h⁻¹ e de CO₂ de 12,11 Mg.h⁻¹; enquanto que no Cerrado *Sensu strictu* subtipo – típico o valor foi de 3,85 Mg.h⁻¹ de carbono e 14,12 Mg.h⁻¹ de CO₂. Na mata de galeria, o valor de carbono ficou dentro de 2,10 Mg.h⁻¹ e de 7,70 Mg.h⁻¹ CO₂. Em suma, esses resultados evidenciam a influência da maior quantidade de biomassa lenhosa presente no cerradão, além da ação do fogo e de diferentes pressões exercidas em cada fisionomia. É certo que o carbono de todos os compartimentos das formações vegetais devem ser avaliados para geração do comércio de crédito de carbono, visto que o maior sumidouro de carbono no Cerrado encontra-se abaixo do solo. Vale lembrar que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é uma ótima estratégia para que os países em desenvolvimento realizem um desenvolvimento sustentável, através do certificado de emissão reduzida.

PALAVRAS-CHAVE: biomassa, ciclo do carbono, mudança climática, protocolo de Kyoto.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global representa um grande desafio para a humanidade atual. O fenômeno é causado pela excessiva liberação de gases causadores do efeito estufa (Fernandes 2008). Esses gases têm a capacidade de reter calor na superfície terrestre, impedindo que atinjam a atmosfera. O planeta precisa dos mesmos para que haja manutenção da sua temperatura, mas eles devem existir na quantidade adequada, pois em excesso resultarão no aumento excessivo da temperatura da Terra (Renner 2004).

O problema atual é advindo das ações antrópicas, como atividades industriais, queima de combustíveis fósseis, desmatamentos, geração de energia, entre outros. Contudo, faz-se necessário a

¹ Bióloga-Pós-graduada em Ciências Ambientais. FAPAM - Faculdade de Pará de Minas. E-mail: roseblopes@yahoo.com.br.

² Bióloga, Mestre em Ecologia Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela UFMG, professora da Faculdade de Pará de Minas. E-mail: deisemiola@gmail.com.

utilização de manejo ambiental adequado, uma vez que é necessário aliar o crescimento econômico à conservação dos recursos naturais (Renner 2004).

Uma forma bastante viável de amenizar as emissões de gases estufa é os incorporando na biomassa vegetal, através de projetos de reflorestamentos e recuperação de áreas degradadas. O carbono absorvido pelas plantas no processo de fotossíntese é utilizado para síntese de carboidratos e armazenado na parede celular (Astro & Kauffman 1998).

A confirmação de que a temperatura terrestre foi aumentando, no decorrer dos anos, impulsionou, em 1992, a criação da convenção das nações unidas para mudanças climáticas. Esse foi o primeiro salto para o início das discussões e consequente preocupação envolvendo a alteração do clima do planeta (Renner 2004). Com o notório agravamento do aquecimento global, foi criado, em 1997, o protocolo de Kyoto, no qual se estabeleceram metas a serem realizadas e cumpridas de 2008 até 2012, pelos países signatários. O protocolo propõe o comércio de emissões e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), através de certificados de emissões reduzidas, mas não reconhece atualmente a mitigação das emissões através da preservação das áreas florestais naturais existentes antes do período da assinatura do acordo (Nishi *et al* 2005).

O Brasil pode se beneficiar com o MDL, uma vez que possui boas condições climáticas e tecnológicas, que propiciam o desenvolvimento e o crescimento rápido de florestas (Renner 2004). Esse mecanismo pode favorecer o desenvolvimento sustentável, através da utilização de projetos de substituição de fontes energéticas poluidoras por projetos florestais, gerando crédito de carbono e viabilizando o seu comércio no mercado mundial (Rocha 2003).

O Cerrado é considerado um “hotspot”, ou seja, uma das regiões mais ricas e biodiversas do mundo (Myers *et al.* 2000) e é uma excelente região para o desenvolvimento de projetos de reflorestamento e MDL, uma vez que esses projetos podem auxiliar a preservação da biodiversidade. Por outro lado, Klink & Machado (2005) ponderam que esse bioma apresenta-se bastante vulnerável, devido ao crescente desmatamento ocasionado pela produção agropecuária, mineração, industrial e a proximidade com grandes centros urbanos.

Além de abrigar altíssima biodiversidade e grande número de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, o Cerrado também atua como sumidouro de carbono (Renner 2004). Nessas formações vegetais a quantidade de sequestro de carbono é bastante acentuada. A quantidade de biomassa aérea, entretanto, é bem inferior quando comparada à subterrânea. Isso se deve à condições particulares das fisionomias do Cerrado, como condições climáticas, edáficas e à frequência do fogo.

O sequestro de carbono só acontece quando as árvores e a floresta estão em crescimento, servindo como sumidouro. Ao atingir o clímax, as espécies perdem esse potencial, mas mantêm ainda a função de estocar o carbono absorvido anteriormente na forma de madeira (Rocha 2003). Esse fato torna importante e atrativa a recuperação dos ecossistemas naturais em áreas degradadas. Por meio da regeneração, aumenta-se consideravelmente a biomassa e conseqüentemente o estoque de carbono fixado (Fernandes *et al* 2008). A implantação ou recuperação das mesmas possibilita oportunidade de negócios voltados ao desenvolvimento de projetos de conservação, preservação ou mesmo com a recuperação de áreas degradadas, servindo como alternativa para o MDL e conseqüente Certificado de Emissão Reduzida.

O valor pago pela tonelada de carbono para projetos florestais de MDL varia entre US\$ 3,00 a US\$ 5,00 por tonelada fixada, segundo parâmetros do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (Renner 2004). Esse valor pode variar de acordo com a região e país, sendo viável a análise dos preços no mercado mundial para se obter maiores rendimentos (Rocha 2003).

Constatado o aumento de CO₂ atmosférico e os conseqüentes impactos sobre o clima do planeta, a redução da concentração de CO₂ faz-se necessária, constituindo-se um grande desafio para as gerações futuras. Nesse sentido, o comércio de carbono pode ser um bom investimento, principalmente devido o Brasil estar situado em área tropical, com florestas de crescimento rápido e grande potencial de seqüestro de carbono.

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de sequestro de carbono em algumas formações vegetais do Cerrado, verificando as possíveis alterações nos teores e no estoque de carbono aéreo e, conseqüentemente, analisar o potencial de geração de crédito de carbono. Devido à estrutura das diferentes fisionomias vegetais que compõe o bioma, espera-se encontrar diferenças nos valores de estoque de carbono nas diferentes áreas avaliadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado em áreas de Cerrado, nos municípios de Maravilhas (19° 28' 479'' S e 44° 39' 394'' W) e Pará de Minas (54° 26' 98" S e 78° 49' 93" W), ambos localizados na região Centro Oeste de Minas Gerais. Foram amostradas áreas de mata de galeria, cerradão e cerrado *sensu stricto* – subtipos típicos e densos (Figura 01), no período de abril a setembro de 2009.

De acordo com Koppen-Geiger (2009), o clima predominante na região é o Tropical Sazonal, encontrado na região de Cerrado, com inverno seco. As temperaturas mínimas são registradas nos meses de maio, junho e julho e nota-se duas estações bem definidas ao longo do ano, a seca e a chuvosa, apresentando pequena amplitude térmica. A maior parte das chuvas se concentra no período de outubro a abril, sendo características da região a ocorrência frequente de ventos fortes.

As fitofisionomias dessas formações vegetais ocorrem sobre vários tipos de solo, sendo a maior parte deles bem drenados, profundos, ácidos, pobres em nutrientes e com alta saturação de alumínio. Esse fato contribui para a ocorrência das variações nas formações vegetais (Scariot *et al.* 2005).

No cerrado *sensu stricto* observa-se uma menor cobertura de gramíneas e uma maior cobertura arbustivo-arbórea. Essa fisionomia é subdividida em 3 tipos de acordo com a abundância, densidade e porte da vegetação. No subtipo cerrado *sensu stricto* típico, as árvores possuem porte de 3 a 6 metros. No subtipo denso, entretanto, a altura pode variar de 5 a 8 metros de comprimento, apresentando também maior porcentagem de cobertura arbórea (Balbinot *et al.* 2003). No cerradão nota-se uma formação florestal que apresenta ausência de pequena camada graminosa e maior cobertura arbórea, com árvores variando de 8 a 15 metros Scariot *et al.* (2005). A mata de galeria, por sua vez, possui altura média do estrato arbóreo variando entre 20 e 30 metros, apresentando uma superposição das copas, as quais acompanham os rios de pequeno porte e córregos, formando corredores fechados, verdadeiras galerias sobre o curso de água.

2.2 Amostragem

A pesquisa foi realizada em 4 parcelas de 1000 m² (40 m x 25 m), sendo uma em cada fitofisionomia citada. Foram medidas todas as árvores dentro dos limites da parcela que apresentavam a circunferência à altura do peito (CAP = 1,30 m do solo) igual ou superior a 10 cm e estimada a altura total (Ht) das mesmas.

De acordo com Soares *et al.* (2007), a medição do diâmetro na altura do peito da árvore é importante, devido aos instrumentos serem mais facilmente manuseados, e também em muitas árvores as deformações normalmente estão presentes na base do fuste, sendo bem reduzidas acima da altura do peito, que seria a 1,30 m da base da planta.

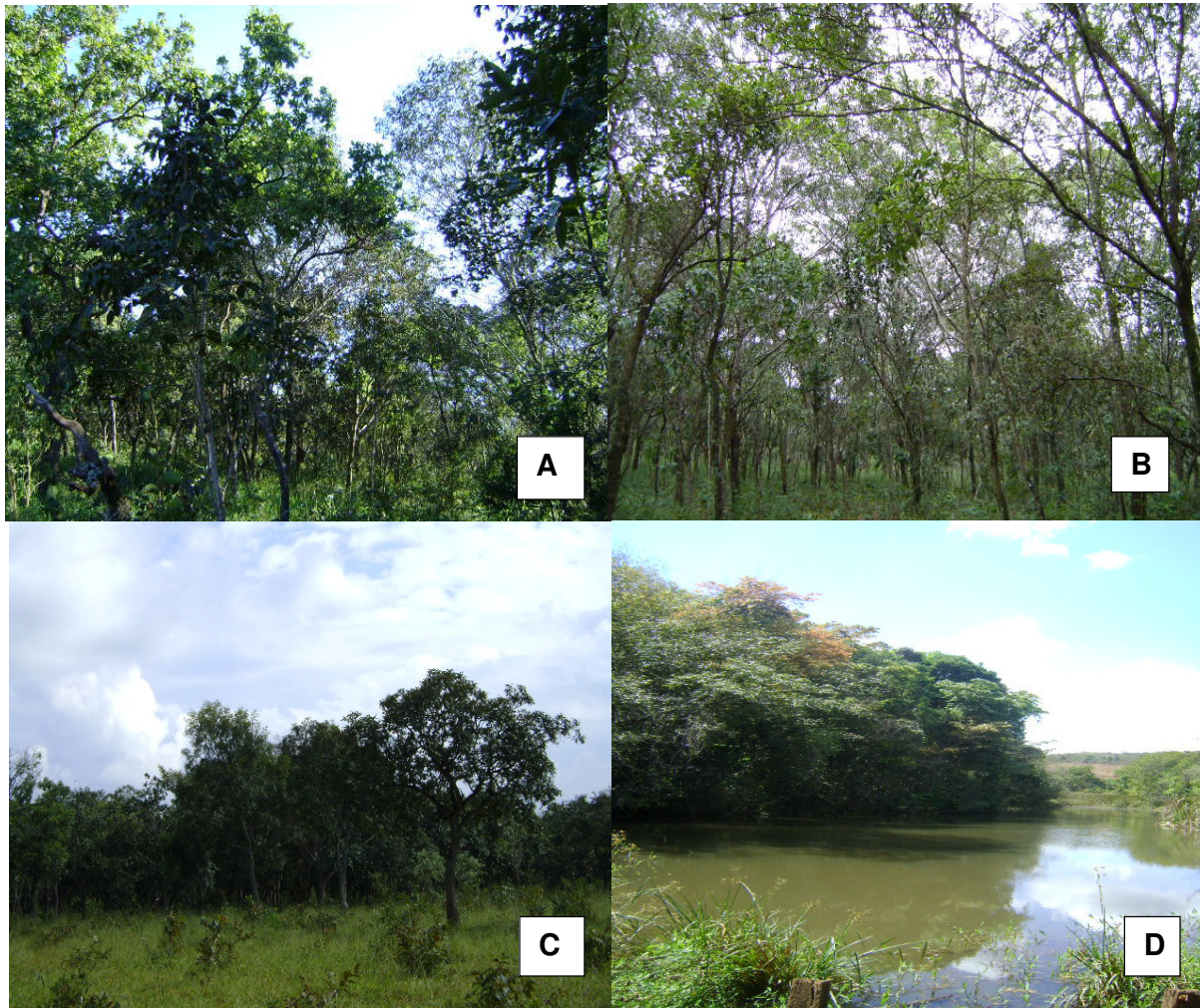


FIGURA 01: Imagens para estudo : Área de estudo (A = Fragmento 01, cerrado *Sensu strictu* subtipo cerrado denso; B = Fragmento 02, cerrado; C = Fragmento 03, cerrado *Sensu strictu*, subtipo típico e D = Fragmento 04, mata de galeria).

Fonte: arquivo do autor

Para medir a altura foi utilizada uma vara auxiliar de 2 metros de comprimento e procedeu-se a estimativa a partir do topo da vara. A altura da árvore é a estimativa obtida pelo instrumento somada ao comprimento da vara auxiliar Soares *et al.* (2007).

Após estimar a altura e calcular o diâmetro de todas as árvores das quatro parcelas, foi realizado o cálculo para encontrar a quantidade de biomassa e carbono nas árvores. Como não existem equações específicas para a área estudada, as estimativas foram obtidas a partir de equações gerais para florestas tropicais, de acordo com Fernandes *et al.* (2008). No presente estudo, o cálculo da biomassa foi realizado para cada indivíduo, através da equação de Brown *et al.* (1989) por ser a mais robusta ($R^2=0,97$). Essa equação, também utilizada por Castro e Kauffman (1998) para áreas de cerrado e por Fernandes *et al.* (2008), pode ser descrita como:

$$B = \exp[-3,1441+0,9719*\ln(DAP^2*Ht)]$$

Em que **B**=biomassa; **DAP**= diâmetro à altura do peito ou a 1,30 cm do solo, e **Ht**= altura total

Os estoques de carbono foram calculados considerando-se que esses representam 50% da biomassa seca. Para Fernandes *et al.* (2008) a estimativa dos estoques de carbono significa, de um modo geral, a quantidade que foi retirada da atmosfera e que se encontra aprisionada na biomassa aérea, na forma de carbono orgânico. Para se encontrar o valor de CO₂, considera-se que 1 Megagrama (Mg) de carbono corresponde a 3,67 Mg de CO₂. Consequentemente, multiplica-se o valor total de carbono em Megagramas por 3,67 e obtém-se o valor de CO₂ retirado da superfície terrestre (Fernandes *et al.* 2008).

Para comprovar, se os resultados das parcelas estudadas foram significativos, foi utilizada estatística descritiva, considerando o erro padrão de 5%. Os dados de biomassa foram submetidos à análise de variância ANOVA: fator único. Desta forma, todo e qualquer contraste entre as médias foram avaliados pelo teste de Tukey (Vieira 1980).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de carbono e biomassa aérea variaram de acordo com as formações vegetais, embora o número de indivíduos arbóreos não tenha variado significativamente entre as parcelas (Tabela. 01).

A fitofisionomia que obteve o maior potencial de sequestro de carbono foi o cerradão com um estoque em torno de 9,90 Mg.h⁻¹ de carbono e de 36,33 Mg.h⁻¹de CO₂. Para o cerradão do Pantanal de Nhecolândia, MS, Fernandes *et al.* (2008) encontrou 2,8 Mg.h⁻¹ de biomassa aérea, 1,44 Mg.h⁻¹ de carbono e 5,28 Mg.h⁻¹ de CO₂. Essa diferença nos resultados pode estar relacionada com a quantidade de biomassa lenhosa presente, além do regime de queima sofrido no passado, diferentes pressões antrópicas sobre a área e a um desenvolvimento diferenciado dos vegetais, visto que as diferenças nos fatores climáticos, edáficos e hidrológicos podem provocar essa alteração (Castro e Kauffman 1998).

A análise de variância (ANOVA: fator único) comprovou que as diferenças encontradas nas quatro fisionomias (Tabelas 02 e 03), não foram significativas. Deste modo, por meio do teste de Tukey, foi encontrado o valor de 0,5970 (nível de significância igual a 5%), em que o resultado da

mesma foi maior do que a diferença entre os valores absolutos dos tratamentos (tabela 04), confirmando que as amostras são consideradas estatisticamente iguais (Vieira 1980). Ou seja, não há diferenças significativas entre as fisionomias quanto ao estoque de biomassa aérea (Tukey =,

TABELA 01:

Valores médios de biomassa, estoque de Carbono e CO₂ aéreos em Mg*. h⁻¹ nas fisionomias do Cerrado, municípios de Maravilhas e Pará de Minas/MG.

Fitofisionomias	Número de indivíduos	Biomassa	Estoque de C	Estoque de CO²
Cerrado <i>Sensu strictu</i> subtipo-cerrado denso	83	6,60	3,30	12,11
Cerrado <i>Sensu strictu</i> subtipo-típico	124	7,70	3,85	14,12
Cerradão	87	19,80	9,90	36,33
Mata de Galeria	113	4,2	2,10	7,70

TABELA 02:

Teste de Variância ANOVA:

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Cerrado- denso	83	6,622	0,0798	0,01737
Cerradão	83	18,504	0,2229	0,10281
Cerrado – típico	83	3,566	0,043	0,003874
Mata de Galeria	83	2,848	0,0343	0,003364

Mg* - 1 Megagrama equivale a 1 tonelada.

TABELA 03:
Teste de Variância ANOVA – fonte de variação:

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,908234	3	0,6361	19,96834	7E-12	2,6321
Dentro dos grupos	10,44822	328	0,0319			
Total	12,35645	331				

TABELA 04:
Valores absolutos das diferenças entre as médias dos tratamentos de Cerrado.

Pares de médias	Valores absolutos das diferenças
cerrado denso – cerradão	- 0,144
cerrado denso - cerrado típico	0,0368
cerrado denso - mata de galeria	0,0455
cerradão - cerrado típico	0,1799
cerradão - mata de galeria	0,1886
cerrado típico - mata de galeria	0,0087

A área que apresentou um valor inferior de estoque de carbono aéreo neste estudo foi a mata de galeria que obteve 2,10 Mg. h⁻¹ de carbono e 7,70 Mg.h⁻¹ de CO₂, visto que nesta área se observaram bem nitidamente os efeitos das atividades antrópicas (figura 01). Em trabalho de Martins *et al.* (2009), na região de mata ciliar no estado de São Paulo, o estoque de carbono total variou de 22 a 204 Mg.h⁻¹. Essa grande discrepância nos resultados ocorre devido às diferentes metodologias utilizadas, mas também é consequência dos variados impactos antrópicos aplicados em cada região, além de fatores climáticos, hidrológicos e edáficos (Dietzsch *et at.* 2006). Nesses ecossistemas, há uma grande acumulação de nutrientes através de lixiviação e transporte durante a formação da paisagem, desenvolvimento de solos e vegetação no passado, sendo assim, ela tem um potencial de rápida regeneração e consequente potencial como sumidouro de carbono (Haridasan 2000).

Desta forma, nota-se que são diversos os fatores que interferem no estoque de carbono aéreo. Ressalta-se que, estudos que quantificam o estoque de carbono em mata de galeria são relevantes devido à sua importância na preservação da qualidade da água, manutenção da biodiversidade. Além disso, as matas ciliares podem atuar como corredores ecológicos, devendo ser mantida e preservada de acordo com o previsto na legislação ambiental (Dietzsch *et al.* 2006).

As áreas de cerrado *sensu strictu* obtiveram valores proporcionais, no cerrado *Sensu strictu* subtipo cerrado denso o estoque de carbono aéreo foi de 3,30 Mg.h⁻¹ e de CO₂ de 12,11, já na área de cerrado *Sensu strictu* subtipo típico o valor de carbono foi de 3,85 Mg.h⁻¹ e de CO₂ de 14,12 Mg.h⁻¹. Comparando o presente estudo com os valores de estoque de carbono e biomassa aéreas encontrados na reserva ecológica do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no Jardim Botânico de Brasília, notaram-se disparidades nos resultados, visto que o estoque de biomassa e carbono aéreas obtidos no Cerrado *sensu strictu* subtipo-cerrado denso foram respectivamente de 29,4 Mg.h⁻¹ e 14,7 Mg.h⁻¹ (Castro e Kauffman 1998). Já em área de cerrado *sensu strictu* em Brasília a biomassa apresentou 21,4 Mg.h⁻¹, o carbono aéreo e CO₂ obtidos foram respectivamente 10,7 Mg.h⁻¹ e 39,26 Mg.h⁻¹ (Silva 1990 *apud* Haridansan 2000). Essa discrepância nos valores encontrados é devido à utilização de diferentes metodologias, além de influências climáticas, edáficas e hidrológicas e a ação do fogo no passado que afetam o desenvolvimento das fisionomias (Castro e Kauffman 1998; Aduan *et al.* 2003; Fernandes *et al.* 2008).

A tabela 05 revela os valores de biomassa em áreas de Cerrado *latu sensu* no Brasil. Nota-se que há uma pequena diferença nos valores de carbono aéreo de acordo com a literatura mencionada. Essa variação demonstra que ainda se necessita de uma metodologia mais abrangente, evitando divergência nos resultados e, conseqüentemente, facilitando a geração de crédito de carbono Fernandes *et al.* (2008).

TABELA 05:
 Estoque de biomassa aérea em várias regiões de Cerrado no Brasil.

Valores médios de biomassa em Mg. h⁻¹				
Fitofisionomia	FEARNSIDE (1992)	SANTOS (1998)	CASTRO, KAUFFMANN (1998)	ABDALA ET AL. (1998)
Cerrado	11-52	12-38	25	26

Fonte: (ADUAN, VILELA, KLINK, 2003).

Nas regiões de cerrado *sensu strictu* em Maravilhas, os valores de carbono aéreo variaram de 3,30 a 3,85 Mg.h⁻¹ (tabela 01). Considerando os resultados apresentados na figura 02, observa-se que estes resultados são equivalentes aos obtidos em Patrocínio, Minas Gerais, visto que a vegetação apresenta aproximadamente o mesmo porte e localiza-se em regiões próximas, apresentando fatores climáticos, hidrológicos e edáficos característicos (Felfili 2008).

Pode-se atribuir a grande discrepância entre os valores encontrados na literatura à heterogeneidade fitofisionômica da vegetação, à diferenças na dimensão territorial e no estágio sucessional. Além disso o efeito de borda também representa um fator que provoca variações, visto que uma área fragmentada terá um resultado menos acentuado no sequestro de carbono, pois está mais susceptível a pressões externas, apresentando um desenvolvimento florestal menos evidente (Renner 2004).

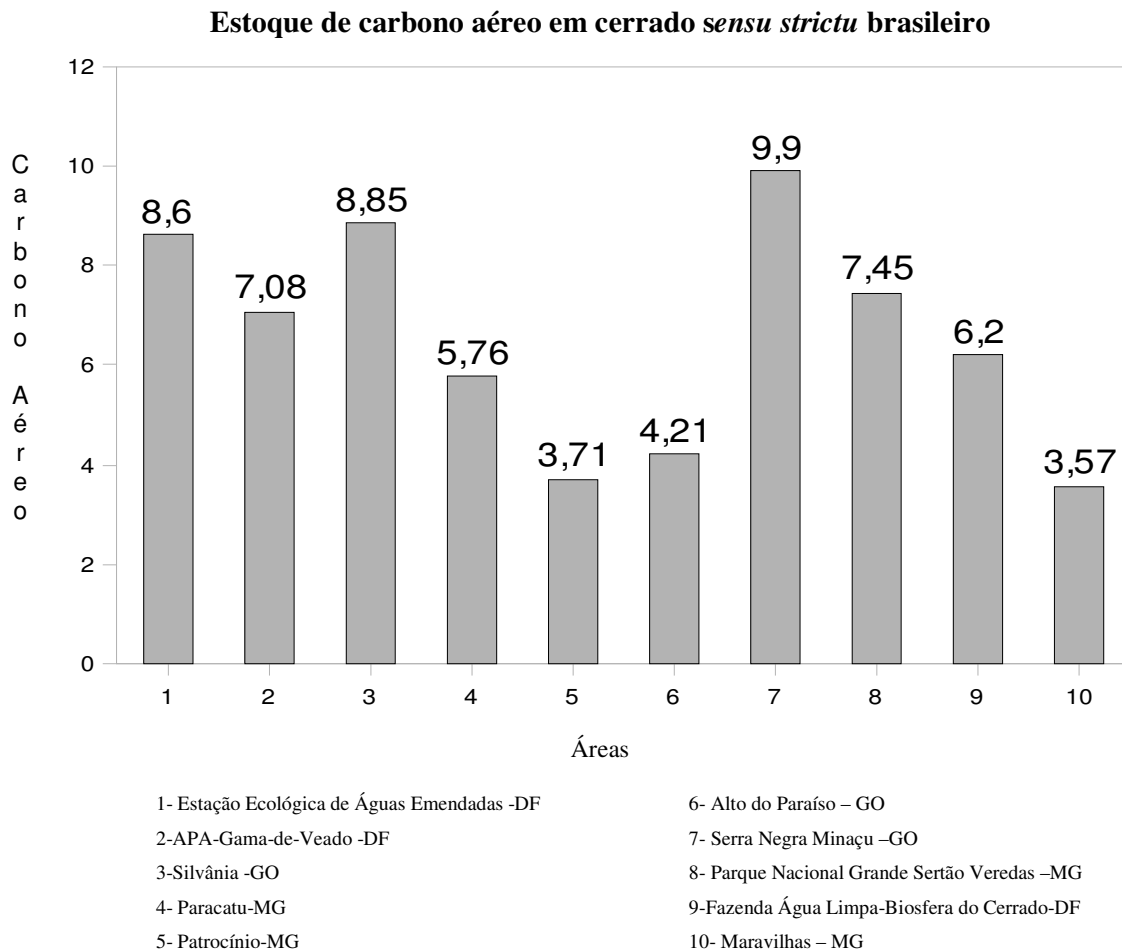


FIGURA 2. Estoque de carbono aéreo em Mg.h⁻¹.

Fonte: FELFILI, 2008 e VALE, FELFILI, 2005.

Pesquisas que consideram outros componentes do ecossistema florestal, tais como os solos, a serrapilheira e o sistema radicular, são necessárias para estimar o potencial total desses ecossistemas em sequestrar carbono (Fernandes *et al.* 2008). Nota-se que as grandes diferenças nos estudos que quantificam a biomassa se referem a não inclusão de alguns componentes do ecossistema florestal, não obstante à utilização de metodologias diferentes (Balbinot *et al.* 2003). O balanço de carbono anual de um ecossistema florestal é normalmente positivo, descontando-se as perdas resultantes por respiração e mortalidade dos tecidos vegetais, o carbono é mantido nos tecidos de longa duração e no solo, validando a importância das formações vegetais como sumidouro de carbono em estágio de regeneração, mostrando a relevância dos mesmos para geração de comércio de crédito de carbono (Correia *et al.* 2006).

Muitas vezes a biomassa aérea tem sua importância superdimensionada. De acordo com Correia *et al.*, 2006) não há dúvida de que esta parte da vegetação é fundamental para geração e regulação da maioria dos processos que compõem o ciclo do carbono. Ela compõe a parte mais visível do ecossistema, pois nas folhas está a principal via de entrada de carbono no ecossistema, o que contribui para que seja melhor avaliada (Aduan *et al.* 2003). Entretanto, a maior parte de biomassa do Cerrado encontra-se na região subterrânea, devido à adaptação contra a frequente influência do fogo no passado (Aduan *et al.* 2003). Este fato ocorre também devido às características físicas do ambiente, que definem a morfofisiologia de cada formação vegetal (Correia *et al.* 2006).

Atualmente, as plantas estão expostas a elevadas concentrações de CO₂, resultado de ações antrópicas, que estão alterando a composição gasosa da superfície terrestre. Desta forma, o estímulo de crescimento é dependente de vários fatores, como o tipo de mecanismo fotossintético da planta, força do dreno, plasticidade ficológica, estratégia de sobrevivência e adaptação estrutural da planta ao ambiente, de acordo com Oliveira (2007).

A vegetação do Cerrado apresenta crescimento sazonal e uma série de estratégias adaptativas para superar condições adversas como o fogo, a seca e o estresse nutricional, característico desse bioma. Parte dessas estratégias inclui a presença massiva de órgãos subterrâneos espessados em plantas herbáceas que atravessam períodos de acúmulo de fotoassimilados durante o seu ciclo de desenvolvimento, sendo uma formação vegetal com um grande potencial de sobreviver em elevadas taxas de CO₂ (Oliveira 2007).

O solo do Cerrado armazena muito mais carbono do que o da floresta Amazônica, Mata Atlântica e Pampas, por possuir um grande estoque de carbono subterrâneo, visto que a maior parte de sua biomassa encontra-se abaixo do solo. Desta forma, certas espécies possuem carboidratos,

principalmente nas raízes, que ajudam a planta a se adaptar facilmente às novas condições atmosféricas, promovendo um bom desenvolvimento vegetal em período de estresse de CO₂ (Aduan *et al.* 2003; Balbinot *et al.* 2003).

Os biomas mais importantes como drenos de carbono são predominantemente florestas e savanas, como o Cerrado brasileiro. Sendo as savanas o maior componente da vegetação mundial, cobrindo um sexto da superfície da terra, a vasta cobertura vegetal das mesmas pode contribuir significativamente para o orçamento global de carbono (Oliveira 2007). Essas vegetações estão localizadas principalmente em regiões que apresentam grandes pólos industriais e consequente tendência à expansão comercial. O reflorestamento nessas áreas tornaria o ambiente poluído um pouco mais agradável, favorecendo o microclima e a preservação de espécies de plantas e animais nativos, proporcionando turismo ecológico, além de solucionar o problema de forma pontual (Renner 2004).

Considera-se que o sequestro de carbono é uma alternativa viável para captura do mesmo na superfície terrestre, sendo muito importante para o controle da emissão de gases de efeito estufa e amenização dos efeitos do aquecimento global (Aduan *et al.* 2003). O comércio de carbono é uma forma de diminuir os efeitos do aquecimento global, mas não a solução. Tendo em vista que a quantidade de gases de efeito estufa na superfície terrestre é bastante elevada, seria necessário reflorestar quase que o mundo inteiro para acabar com o problema apenas por meio do sequestro de carbono florestal (Renner 2004). Este comércio pode se tornar perigoso, se não for realizado cautelosamente, pois o desmatamento das áreas florestadas em estágio de clímax, que serve apenas como estoque de carbono, poderia incentivar o processo corte das mesmas continuamente, para geração de certificados de emissões reduzidas (Scariot *et al.* 2005).

A conservação das áreas florestais não pode ser vista apenas sob ótica do combate ao aquecimento global, visto que elas também têm importante papel na manutenção da biodiversidade, na regulação do ciclo hidrológico, na sustentação do microclima, os quais são fundamentais para a manutenção da vida no planeta e não podem ser colocados em segundo plano (Fernandes *et al.* 2008). Além disso, é muito importante para as populações tradicionais, visto que muitas dependem das matas para sobreviver (Renner 2004).

O grande aumento de gás carbônico na atmosfera devido às ações antrópicas, altera o ciclo do carbono e oxigênio, afetando todo o ecossistema (Correia *et al.* 2006). Este fato expõe as plantas a maiores concentrações de CO₂, o qual pode elevar ainda mais a capacidade fotossintética alterando o balanço de carbono e desequilibrando o ciclo. Esta exposição ao aumento do CO₂ pode ter consequências sobre a folha, alterando a concentração de carboidratos, além de alterar o valor da biomassa, a capacidade de rebrota, a área foliar, dentre outros. Estudos que avaliem a exposição das

plantas do Cerrado a altas concentrações de CO₂ são de extrema importância, pois as mesmas podem ocasionar o surgimento de novas espécies (Scariot *et al.* 2005). Em determinadas espécies, a adaptação à nova constituição gasosa atmosférica, deve-se a fatores moleculares específicos, como tipo de carboidrato presente, principalmente na parte subterrânea (Oliveira 2007). Em trabalho realizado com planta nativa do Cerrado, *Vernonia herbacea*, Asteraceae, ao se avaliar o potencial de adaptação às elevadas concentrações de CO₂, o resultado da espécie foi positivo, apresentando maior crescimento, taxa fotossintética, incremento de biomassa aérea e subterrânea, concluindo que a planta possui estratégias para responder favoravelmente a aumento de gás carbônico atmosférico, retirando parte do carbono assimilado para produção de compostos de reserva (Oliveira 2007).

Ao se analisar o potencial de sequestro de carbono, verifica-se que a sazonalidade influencia na assimilação ou liberação de carbono devido à diferença na quantidade de biomassa verde resultante das influências das estações do ano (Aduan *et al.* 2003). Observa-se que em trabalhos que utilizam metodologia destrutiva, muitas características das plantas dependem da sazonalidade, por isso é necessária a avaliação de estoque de carbono na estação seca e chuvosa, diz Martins *et al.* (2009). Nestes, são visíveis as discrepâncias nos resultados, quando analisados sazonalmente, devido à análise das partes vegetais individualmente, onde ocorre maior regime de chuvas, o potencial de crescimento das florestas será bem maior e, conseqüentemente, maior sumidouro de carbono (Aduan *et al.* (2003).

Um ponto a se considerar para sucesso no sequestro de carbono florestal, são as leis presentes no Brasil (Martins *et al.* 2009). As áreas de preservação permanente devem existir, não só devido à relevância para manutenção da qualidade da água, mas também para captura de carbono e manutenção do microclima. Se a legislação brasileira atual fosse seguida, o país conseguiria sequestrar uma grande quantidade de carbono nessas áreas (Martins *et al.* 2009). Em estágio de regeneração, funcionariam como sumidouro de carbono. Ao atingirem o clímax, entretanto, seriam apenas estocadoras. Mesmo sendo um processo viável, não representa uma solução, pois o carbono deve ser retirado da atmosfera terrestre para evitar o aumento da temperatura (Correia *et al.* 2006).

Verificou-se que é bastante viável o comércio de crédito de carbono, visto que, ao se combater a emissão de 12 t/CO₂, seria necessária a compra de 12 CER (certificado de emissão reduzida) (Rocha 2003). Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, cada tonelada de carbono vale de US\$ 3,00 a US\$ 5,00, podendo variar de acordo com o país (Renner 2004). Observa-se que no Japão, os custos de abatimento da emissão podem chegar a US\$ 584,00/tC, já na comunidade Europeia, esse valor pode variar até US\$ 273,00/tC. Nos Estados Unidos, chega a aproximadamente US\$ 186,00/tC. Esses valores representam altos lucros no comércio de crédito de carbono. O mesmo, entretanto, deve ser realizado de forma cautelosa,

considerando que pode se transformar num contínuo processo de desmatamento e reflorestamento, pois as florestas sequestram carbono apenas em estágio de regeneração. Esse processo pode vir a beneficiar países industrializados, pois estes não se preocupariam em evitar o desmatamento, mas sim na compra de CERTs (Renner 2004).

Utilizando os dados do presente estudo, na área de cerrado 9,90 Mg.h⁻¹/C, considerando o valor de comércio de carbono à US\$ 3,00/t/C, o rendimento seria de US\$ 29,70. No entanto, se a comercialização ocorresse no mercado Japonês, considerando o valor pago pelo país, o rendimento seria em torno de US\$ 5781,60/tC. Já utilizando o preço pago por tonelada de carbono pelo mercado americano, o valor ficaria por volta de US\$ 1841,40. E, considerando o valor pago pelo mercado europeu o rendimento ficaria dentro de US\$ 2702,70. De acordo com esses dados nota-se o quanto este comércio é lucrativo, como está crescendo no mercado mundial e ainda a grande variação nos preços pagos de acordo com a região. O sequestro avaliado no presente trabalho, entretanto, não poderia ser comercializado, pois florestas em nativas ainda em pé não estão incluídas no protocolo de Kyoto. Este, considera para comércio apenas projetos de reflorestamento realizados em áreas que estavam desmatadas anteriormente ao ano de 1990. Talvez ao término do prazo estabelecido no protocolo, em 2012, a conservação de florestas nativas ainda preservadas poderá ser incluída como atividade geradora dos CER's.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados nas parcelas não apresentaram diferenças estatísticas significantes, entretanto, deve-se levar em consideração que o Cerrado apresentou um resultado considerável de estoque de carbono aéreo, visto que não foram estimados os estoques de todos os componentes do sistema florestal e considerando o fato de a maior parte da biomassa dos Cerrados encontrar-se nas raízes. Verificou-se ainda o grande potencial de sumidouro de carbono que este bioma possui, devido à sua capacidade de crescimento e regeneração.

Este estudo colocou em foco a relevância que o Cerrado apresenta, não apenas para manter a biodiversidade, mas também como gerador de crédito de carbono. Observou-se que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pode ser uma alternativa muito promissora para o país, visto que o objetivo do mesmo é que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera, seja comercializada no país em desenvolvimento no mercado mundial, criando atrativo para redução de emissão. Conseqüentemente, obtêm-se os CERs (certificado de emissões reduzidas), que podem ser comercializados no mercado de crédito de carbono, sendo uma opção para os países em desenvolvimento crescerem buscando o desenvolvimento sustentável.

Ressalta-se que o protocolo de Kyoto reconhece atualmente apenas reflorestamento de áreas degradadas ou de novas áreas, sendo que o comércio de carbono em áreas naturais já existentes ainda não pode ser comercializado. Nota-se que o comércio de crédito de carbono é bastante lucrativo, mas deve-se estar continuamente examinando as variações nos preços pagos por tonelada de carbono, devido às grandes alterações observáveis.

O Brasil, devido à sua localização geográfica, apresenta florestas com desenvolvimento significativo, tendo grandes chances de sucesso no mercado de crédito de carbono. Uma alternativa para impulsionar ainda mais este comércio, atualmente, é o cumprimento da legislação brasileira, que exige que as empresas minimizem os impactos causados por elas ao meio ambiente.

Estudos que viabilizem o estoque de carbono em todos os compartimentos do sistema vegetal no Cerrado devem ser realizados, para garantir o comércio de crédito de carbono e proporcionar ao país um desenvolvimento sustentável, através do mecanismo de desenvolvimento limpo e certificado de emissões reduzidas.

Uma das formas de contribuir para a amenização das mudanças climáticas é preservando as florestas existentes e investindo em reflorestamento, uma vez que quanto mais carbono o país sequestrar maior será o incentivo financeiro recebido. O reflorestamento de forma pontual também é uma alternativa para gerar fragmentos de vegetação em áreas urbanas, ajudando na manutenção do microclima e na preservação de espécies de plantas e animais nativos, principalmente espécies endêmicas, favorecendo o sequestro de carbono próximo ao local de poluição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, Roberto Angel; VILELA, Marina de Fátima; KLINK, Carlos Augusto. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, documentos 105, ISS 1517 – 5111. EMBRAPA: dezembro, 2003.

BALBINOT, Rafaelo; *et al.* **Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 5, no 1, Jan/Jun 2003.

BROWN, Sandra; GILLESPIE, Andrew J. R.; LUGO, Ariel E. **Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data**. Forest science vol.35 n° 4 pp 881 – 902. Society America Forestry: December, 1989.

CASTRO, Elmar Andrade de; KAUFFMAN, J. Boone. **ECOSYSTEM STRUCTURE IN THE BRAZILIAN CERRADO: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire**. Department of Fisheries and Wildlife, Oregon State University, Corvallis, OR 97331 USA,(Accepted 24 November 1997).Journal of tropical ecology, 1998.

Classificação climática de Köppen-Geiger, 02/11/2009. Acesso 09/11/2009. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger.

CORREIA, Alexandra; *et al.* **O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal.** Instituto Superior de Agronomia/ Departamento de Engenharia Florestal, Lisboa, AFLOPS – Associação de produtores florestais, 2006.

DIETZSCH, Laura; *et al.* **Caracterização da flora arbórea de dois fragmentos de mata de galeria do parque canjerana, DF.** Cerne, Lavras, v.12, nº3, p 201-210, julho/setembro, 2006.

FEARNSIDE, Philip. **As mudanças climáticas globais e a floresta Amazônia.** Instituto nacional de pesquisas da Amazônia (INPA). Manaus, Amazônia, 2008.

FELFILI, Maria Cristina. **Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do Cerrado *Sensu strictu* do Brasil central.** Tese de doutorado Universidade de Brasília, faculdade de tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal. Brasília - DF: junho, 2008.
FERNANDES, Ana Helena B. Marozzi; *et al.* **Estoques de carbono do estrato arbóreo de Cerrados no pantanal da Nhecolândia.** Comunicado técnico 68. Dezembro, 2008: Corumbá, MS.

FERNANDES, Tarcísio José Gualberto; *et al.* **Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira.** Revista Árvore, vol.31, no. 4, Viçosa – MG, July/Aug.2007.

FINCO, Marcus Vinícius Alves; RODRIGUES, Waldeci; RODRIGUES, Idelma. **O mercado de créditos de carbono como gerador de benefícios econômicos: perspectivas para o estado do Tocantins.** Tocantins, 2005.

HARIDASAN, M. **Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado.** Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Brasília, 2000.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. **A conservação do Cerrado brasileiro.** Revista Megadiversidade, volume 1, Nº 1. Brasília – Distrito Federal: julho, 2005.

MARTINS, Osvaldo Stella; *et al.* **Estimativa de densidade de biomassa potencial com uso de sig no estado de São Paulo.** Caderno da Mata Ciliar, Secretaria do Estado do Meio Ambiente, Departamento de proteção à Biodiversidade, nº2. São Paulo: SMA, 2009.

MYERS, N., R.A. MITTERMEIER, C.G. MITTERMEIER, G.A.B. DA FONSECA e J. KENT. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** Nature, 2000. 403: 853-858.

NISHI, Marcos Hiroshi; *et al.* **Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais.** Revista Árvore, vol.29, nº2. Viçosa: Março/2005.

OLIVEIRA, Vanessa Fátima de. **Efeito da atmosfera enriquecida em CO₂ no crescimento, na alocação de biomassa e no metabolismo de frutanos em *Vernonia herbácea* (Vell.) Rusby.** Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente: São Paulo, 2007

RENNER, Rosana Maria. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. CURITIBA, 2004.

RICARDO, *et al.* **Estimativas de perdas da área do cerrado brasileiro**. Conservação internacional, programa do Brasil. Brasília – DF: julho, 2004.

ROCHA, Marcelo Theoto. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba – SP: janeiro, 2003.

SCARIOT, Aldicir; SILVA, José Carlos Sousa; FELFILI, Jeanine M. (Org.). **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SOARES, Carlos Pedro; NETO, Francisco de Paula; SOUZA, Agostinho Lopes. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

VALE, Ailton Teixeira; FELFILI, Jeanine Maria. **Dry biomass distribution in Cerrado *Sensu strictu* cite em sentral Brazil**. Revista *Árvore*, Viçosa – MG, Volume 29, Nº5, p 661-669, 2005.

VIEIRA, Sônia. **Introdução à Bioestatística**. 3ª ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 1980.