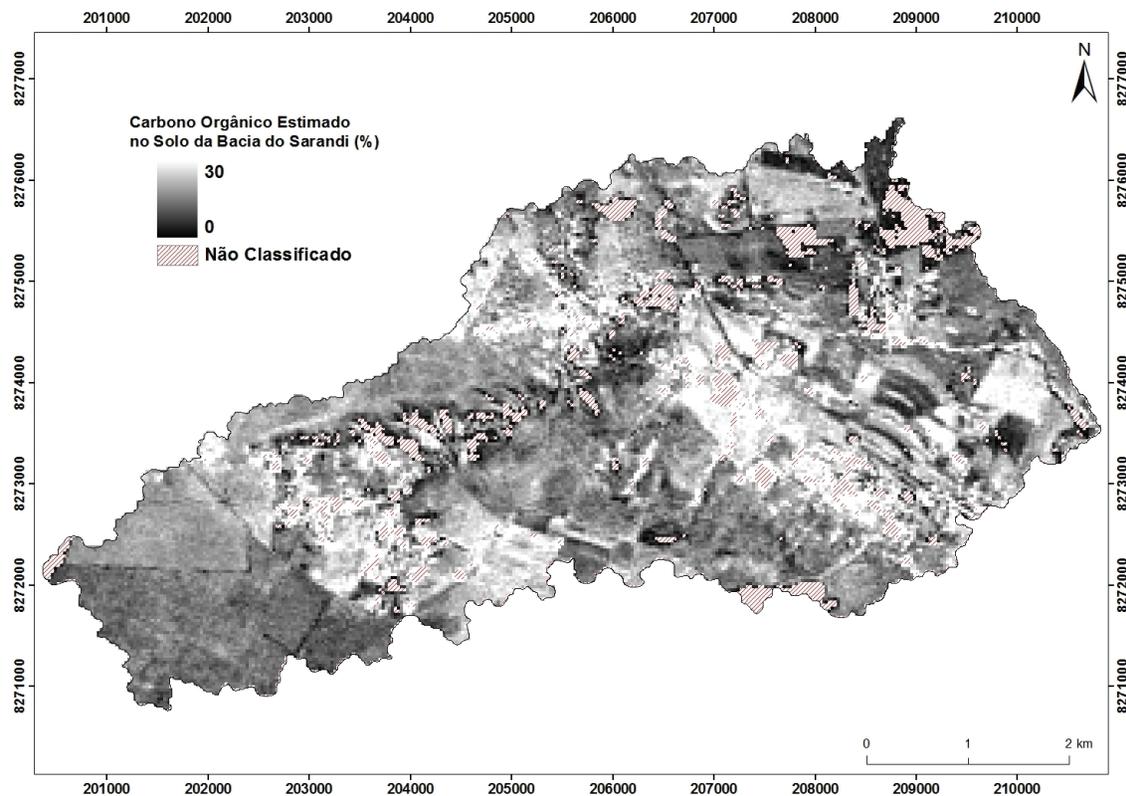


## Teor de Carbono Orgânico do Solo e Aspectos Biofísicos da Cobertura Vegetal da Bacia do Córrego Sarandi, Planaltina, DF



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*** 319

## **Teor de Carbono Orgânico do Solo e Aspectos Biofísicos da Cobertura Vegetal da Bacia do Córrego Sarandi, Planaltina, DF**

Fabio Santos  
Lucas de Sousa Ramalho  
Tamiris de Assis Marques  
João Paulo Sena-Souza  
Adriana Reatto  
Eder de Souza Martins  
Antonio Felipe Couto Jr.  
Gabriela B. Nardoto

Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF  
2014

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente no link:  
[http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2014/bolpdp/bold\\_319.shtml](http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2014/bolpdp/bold_319.shtml)

### **Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza  
Caixa Postal 08223  
CEP 73310-970 Planaltina, DF  
Fone: (61) 3388-9898  
Fax: (61) 3388-9879  
[www.embrapa.br/cerrados](http://www.embrapa.br/cerrados)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

### **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Claudio Takao Karia*  
Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*  
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira*  
*Alessandra S. Gelape Faleiro*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*  
Revisão: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*  
Normalização bibliográfica: *Fábio Lima Cordeiro*  
Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*  
Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*  
Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*  
*Divino Batista de Souza*

### **1ª edição**

1ª impressão (2014): tiragem 100 exemplares  
Edição online (2014)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Cerrados**

---

T314 Teor de carbono orgânico do solo e aspectos biofísicos da cobertura vegetal da bacia do Córrego Sarandi, Planaltina, DF / Fábio Santos ... [et al]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2014.

28 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X, 316).

1. Uso da terra. 2. Índice de vegetação. 3. Matéria orgânica do solo. 4. Manejo de ecossistemas. 5. Cerrado. I. Ramalho, Lucas de Sousa. II. Série.

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos .....	10
Área de estudo .....	10
Coleta e análises do solo.....	12
Correção atmosférica do sensor Landsat .....	13
Índices espectrais de vegetação .....	14
Análises estatísticas e espacialização de dados geográficos.....	15
Resultados e Discussão.....	15
Atributos dos solos estudados .....	15
Índices espectrais de vegetação .....	21
Conclusão .....	24
Referências .....	24

# Teor de Carbono Orgânico do Solo e Aspectos Biofísicos da Cobertura Vegetal da Bacia do Córrego Sarandi, Planaltina, DF

*Fabio Santos<sup>1</sup>; Lucas de Sousa Ramalho<sup>2</sup>; Tamiris de Assis Marques<sup>3</sup>; João Paulo Sena-Souza<sup>4</sup>; Adriana Reatto<sup>5</sup>; Eder de Souza Martins<sup>6</sup>; Antonio Felipe Couto Jr<sup>7</sup>; Gabriela B. Nardoto<sup>8</sup>*

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o teor de carbono orgânico do solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal da bacia do córrego Sarandi, Planaltina, DF. O teor de carbono orgânico foi determinado pelos valores obtidos de matéria orgânica e correlacionado a três índices de vegetação espectrais (NDVI, SAVI e NDWI), que representam a biomassa e o conteúdo de água foliar. Apesar da variação na concentração de carbono orgânico entre as áreas estudadas, os maiores valores de carbono orgânico no solo foram encontrados nos intervalos de profundidades superficiais (até 20 cm). Houve uma alta correlação entre os índices de vegetação com o teor de carbono orgânico do solo (até 100 cm), sendo estimado pela equação:  $C = -29,6474655 - 145,6187519 * NDVI + 412,2212394 * SAVI - 82,3615325 * NDWI$ , em que se obteve um  $R^2 = 0,76$  e um  $R^2$  ajustado = 0,70. Essa relação pode servir de base para estimar o padrão da dinâmica de carbono no solo, relacionando o tipo de cobertura vegetal com as classes de solos, além de subsidiar o manejo de ecossistemas.

Termos de indexação: Cerrado, índices de vegetação, manejo de ecossistemas, matéria orgânica, uso da terra.

<sup>1</sup> Gestor Ambiental, mestrando em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

<sup>2</sup> Gestor Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

<sup>3</sup> Geógrafo, Universidade Estadual de Goiás, Formosa, GO.

<sup>4</sup> Gestora Ambiental, mestranda em Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

<sup>5</sup> Gestor Ambiental, Mestre em Geografia.

<sup>6</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências do Solo, pesquisadora da Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.

<sup>7</sup> Geólogo, doutor em Geologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

<sup>8</sup> Engenheiro Florestal, doutor em Geociências Aplicadas, professor da Universidade de Brasília, Campus de Planaltina, Planaltina, DF.

<sup>9</sup> Bióloga, doutora em Ecologia, professora da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

# Soil Organic Carbon and Biophysical Aspects of Plant Cover at the Sarandi Basin, Planaltina, DF

---

## Abstract

*The objective of this work was to evaluate the relation between soil organic carbon and some biophysical aspects of plant cover at the Sarandi basin located at Planaltina - DF. Soil organic carbon was determined from values found for the soil organic matter, and correlated to three spectral vegetation indexes (NDVI, SAVI e NDWI), that represent aboveground biomass and foliar water content. Despite the variation in the soil organic carbon among the studied areas, the highest values were found at the first 20 cm of soil depth. A high correlation was observed between the vegetation indexes and the soil organic carbon (up to 100 cm). These soil organic carbon can be estimated by the equation:  $C = -29.6474655 - 145.6187519 * NDVI + 412.2212394 * SAVI - 82.3615325 * NDWI$ , with a  $R^2 = 0.76$  and an adjusted  $R^2 = 0.70$ , that could be used to estimate the pattern of soil carbon dynamic relating the vegetation cover type to different soil classes, and then serving the base to subsidize ecosystem management.*

*Index terms: Savannas, ecosystem management, land use, soil organic matter, vegetation index.*

## Introdução

As modificações no uso e na cobertura da terra influenciam a ciclagem de nutrientes assim como o estoque de carbono (C) na biomassa aérea e na matéria orgânica do solo, interferindo diretamente no funcionamento dos ecossistemas terrestres (VITOUSEK et al., 1997). Portanto, as mudanças no uso e na cobertura da terra afetam de maneira expressiva a dinâmica da matéria orgânica do solo, que é fundamental no ciclo global do C, pois o solo constitui o maior reservatório desse elemento nos ecossistemas terrestres, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (BRUCE et al., 1999; SWIFT, 2001). A quantidade de C presente até 100 cm em solos no mundo é de aproximadamente 1.500 petagramas (LAL, 2002).

O estoque de C no solo está relacionado à quantidade de matéria orgânica, à taxa de decomposição dessa matéria e à atividade radicular das plantas em cada ecossistema (RÜGNITZ TITO et al., 2009). No Cerrado, o carbono tende a se acumular nas camadas mais superficiais do solo, com maiores concentrações em áreas florestais (LARDY et al., 2002) e as espécies savânicas tendem a alocar mais biomassa para as raízes e menos para troncos e folhas se comparadas às espécies florestais (HOFFMANN; FRANCO, 2003).

Como o Cerrado é composto por um mosaico de paisagens que compreende distintos tipos fisionômicos, é natural que exista uma diferença no estoque de C no solo e na vegetação para cada fitofisionomia. Além disso, diferenças entre culturas e tipos de uso do solo associados à variação das condições microclimáticas podem gerar diferenças nas taxas de decomposição da matéria orgânica e na velocidade nas reações químicas em ocorrência no solo, conduzindo a diferentes teores de carbono orgânico no solo (MARCHÃO et al., 2009; LOSS et al., 2010). Se por um lado, enquanto as áreas florestais geralmente possuem maior estoque de C que as áreas savânicas (SILVA, 2007), as pastagens estabelecidas na região de Cerrado, quando submetidas a boas práticas de manejo, são também capazes de promover a manutenção dos estoques de matéria orgânica no solo

permitindo à estocagem de C no solo, podendo apresentar estoque superior ao observado sob vegetação nativa (LARDY et al., 2002, D'ANDREA et al., 2004, PULROLNIK et al., 2009, ROSCOE et al., 2006). Por outro lado, quando a pastagem está degradada, tende a aumentar a perda de carbono por erosão e oxidação microbiana da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2000).

Compreender as mudanças do uso e cobertura da terra torna-se fundamental para as atividades de planejamento e tomada de decisões. A cobertura da terra está diretamente associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que pode ser identificada por sensoriamento remoto, enquanto o uso requer uma interpretação das atividades realizadas na área, baseada na informação da cobertura (ARAÚJO FILHO et al., 2007).

O sensoriamento remoto serve para obter informações sobre a composição da superfície terrestre e é amplamente utilizado atualmente. O crescente uso dessa técnica se explica porque pela reflectância gerada pelos objetos que compõem a superfície do planeta – por meio de suas propriedades físicas, químicas e biológicas – é possível distinguir a cobertura de determinadas regiões (MENESES; ALMEIDA, 2012). Rosendo (2005) afirma que a utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto nas análises ambientais têm se tornado uma prática cada vez mais frequente entre as diversas áreas de pesquisa. No caso do uso do solo e da cobertura vegetal, essas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, controle e desenvolvimento de políticas conservacionistas.

Índices espectrais de vegetação têm sido empregados para avaliação de características biofísica da vegetação, especialmente biomassa acima do solo e conteúdo de água foliar o sinal da vegetação, possibilitando comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fonológicos e biofísicos da vegetação (WANG et al., 2003). Estudos recentes indicam a possibilidade da

utilização desses índices espectrais baseados na resposta da vegetação para estimar a biomassa, o estoque e o sequestro de carbono em algumas bacias brasileiras, tais como o de Oliveira et al. (2010), nas sub-bacias do Salto e Pitangueiras, pertencentes à Bacia do Rio Jaguarí em Extrema, MG; e o de Rosendo (2005), na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, MG.

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) destaca a vegetação fotossinteticamente ativa (RODRIGUES, 2010). É um índice de vegetação muito empregado atualmente, pois detém a habilidade de minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, em que os valores variam de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, enquanto o 0 significa ausência de vegetação e os valores negativos estão relacionados à presença de água (ROSENDO, 2005).

O Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) está relacionado ao dossel da vegetação (HUETE, 1988). Foi desenvolvido como uma modificação do NDVI para corrigir a influência do brilho do solo na resposta espectral da cobertura vegetal, permitindo que o substrato do dossel varie em função da biomassa. Dessa forma, o SAVI oferece um melhor desempenho na identificação de fitofisionomias do cerrado da região e na separação entre as classes para faixas de valores com vegetação densa, esparsa e rala, conforme os resultados também obtidos por Santiago et al. (2009).

O Normalized Difference Water Index (NDWI) evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha, removendo as variações induzidas pela estrutura interna da folha e os teores de matéria seca, melhorando a precisão na recuperação do teor de água de vegetação (CECCATO et al., 2001). Esse índice foi utilizado com intuito de evidenciar o conteúdo de água em cultivos de soja e milho, sendo constatado que a utilização do comprimento de onda do infravermelho médio permitiu melhor monitoramento dos padrões de crescimento (CHEN et al., 2005). A sensibilidade do NDWI permite a separação de fitofisionomias do Cerrado segundo seus estratos vegetativos em ordem crescente, de acordo com o conteúdo de água (COUTO JUNIOR et al., 2010).

Esses índices são considerados bons estimadores de biomassa acima do solo, podendo ser relacionados ao estoque de carbono nas plantas. Por todas essas razões, é crescente o número de trabalhos que utilizam dados de sensoriamento remoto como uma ferramenta para gerar índices capazes de estimar as concentrações de carbono nos ecossistemas com o intuito de compreender o fluxo deste elemento (FRANÇA, 2011). Essa é a chamada função de transferência, que visa facilitar o entendimento da dinâmica do carbono nos ecossistemas terrestres (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2004).

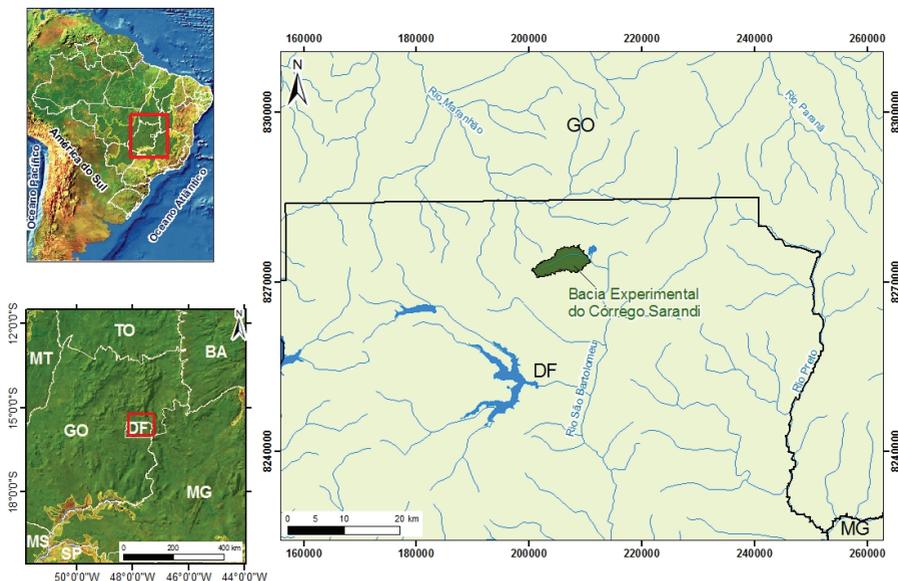
Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o teor de carbono orgânico encontrado no solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal referentes à Bacia Hidrográfica do Córrego Sarandi, região de Cerrado do Brasil Central.

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

A área de estudo compreende a bacia experimental do Córrego do Sarandi, cuja nascente localiza-se na área da Embrapa Cerrados, em Planaltina, no Distrito Federal, dentro da ecorregião do Planalto Central (Figura 1). O clima predominante é Aw (Köppen), sendo observadas duas estações bem definidas. As chuvas mostram-se concentradas entre novembro e janeiro e a estiagem entre julho e agosto. A precipitação anual é superior a 1.500 mm, com temperatura variando entre 13 °C a 28 °C.

O córrego Sarandi deságua no Ribeirão Mestre d'Armas, um dos mais importantes afluentes do Rio São Bartolomeu. O Rio São Bartolomeu tem significativa contribuição para formação da Bacia do Rio Paraná (MARTINS et al., 2002). A bacia experimental do córrego Sarandi está localizada no Alto São Bartolomeu (SENA-SOUZA et al., 2013), com elevação média de 1.087 m e apresenta um padrão do relevo plano com o predomínio de chapadas e rampas de colúvio, com presença de frentes de recuo erosivo entre elas. O solo predominante é o Latossolo, com presença de Cambissolo e Solo Hidromórfico, com características que variam de acordo com o tipo de relevo onde cada um está inserido.

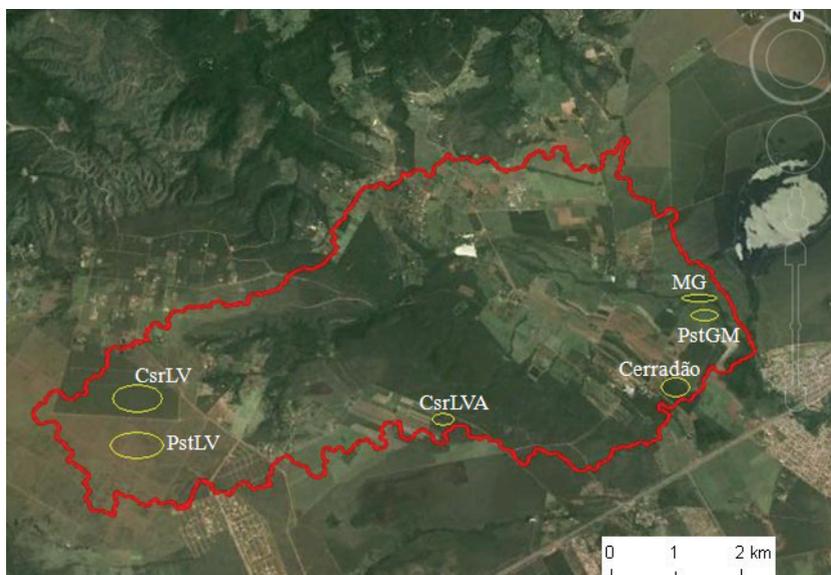


**Figura 1.** Detalhe da área da bacia experimental do Córrego do Sarandi (direita); sua posição relativa à América do Sul (superior esquerda) e ao Distrito Federal (inferior esquerda).

A bacia possui 55% de cobertura antrópica, 44,7% cobertura natural e 0,3% de corpos d'água. A maior parte da área antropizada é ocupada por pastagem (28,7%) e agricultura (21,3%). Entre as áreas naturais, predomina a fisionomia savânica com 27%, a formação florestal corresponde 7,4% e a campestre 8% do total da bacia (NEVES et al., 2013).

As coletas de solo foram realizadas em áreas de vegetação nativa: cerrado sentido restrito sobre Latossolo Vermelho (CsrLV) e Latossolo Vermelho Amarelo (CsrLVA), cerradão sobre Latossolo Vermelho (Cerradão), mata de galeria sobre Gleissolo Melânico (MG); e em áreas de pastagem: uma ocupada com *Brachiaria* sp. sobre Latossolo Vermelho (PstLV – pastagem abandonada), que se encontra abandonada há 15 anos, uma vez que não tem sido feito nenhum tipo de manejo nessa pastagem durante esse período e não está sendo pastejada, e outra ocupada com *Brachiaria* sp. sobre Gleissolo Melânico (PstGM – pastagem em uso), que está sendo manejada há 10 anos e vem sendo regularmente pastejada.

A escolha dos pontos de coleta foi baseada na topossequência da bacia experimental do Córrego Sarandi. As áreas de CsrLV e PstLV estão na porção mais elevada da bacia (chapada), o CsrLVA está localizado em uma frente de recuo erosivo, enquanto o Cerradão está numa rampa de colúvio. A MG e a PstGM ficam na região mais baixa da bacia, próximo ao curso d'água (Figura 2).



**Figura 2.** Localização dos pontos de coleta, inseridas no limite da bacia do Córrego Sarandi (Planaltina, DF). CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem abandonada em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem em uso sobre Gleissolo; MG: Mata de galeria.

## Coleta e análises do solo

As coletas de solo foram realizadas entre julho e setembro de 2012. Em cada área, foram coletadas três amostras de perfil de solo, porém, nas áreas de Gleissolo, foram utilizadas apenas duas amostras, devido a uma diferença no ponto marcado que influenciaria os valores dos índices de vegetação em oito intervalos de profundidades (0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm, 30 cm a 40 cm, 40 cm a 60 cm, 60 cm a 80 cm e 80 cm a 100 cm). Todas as coletas de solo foram feitas utilizando trado de tipo holandês.

As amostras de solo foram deixadas em local ventilado e seco até completa dessecação ao ar. Depois foram destorroadas manualmente com um rolo de madeira até os torrões maiores serem desfeitos. Em seguida, as amostras de solo foram destorroadas em peneira com malha de 2 mm. Após o preparo das amostras, foram analisadas a textura do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC) e o teor de matéria orgânica do solo (MOS).

A textura foi calculada pelo método da pipeta descrito pela Embrapa (1997), que baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo, em que fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda).

A CTC é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas. Após a extração, os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^{+}$  trocáveis foram determinados por absorção atômica e  $\text{K}^{+}$  foi determinado por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997).

Para o teor de MOS, utilizou-se o método volumétrico, que é uma modificação do Walkley-Black, que consiste na oxidação da MOS via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997). A percentagem de carbono orgânico considerado correspondeu a 58% do valor total da MOS. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58% (SILVA, 2009).

### **Correção atmosférica do sensor Landsat**

Foi utilizada a cena 221/071 referente ao dia 10 de setembro de 2011 do satélite LANDSAT 05, obtida gratuitamente da página do INPE ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)), em números digitais (ND). Esse satélite só disponibiliza imagens até 2011, motivo pelo qual essa data foi utilizada neste trabalho. Antes de iniciar o processo de correção atmosférica a imagem foi convertida para valores de radiância. Para a correção atmosférica, utilizou-se o algoritmo Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of

Spectral Hypercubes (FLAASH), que está baseado no código MODTRAN (ADLER-GOLDEN et al., 1999; BERK et al., 2002; MATTHEW et al., 2003). Nas configurações desse algoritmo, foi indicada a altitude média de 1.000 m, sem o modelo de aerossol Kaufmann-Tanré, visibilidade de 100 km e modelo de multiespalhamento ISAACS.

## Índices espectrais de vegetação

Após a correção atmosférica, foram gerados os seguintes índices de vegetação:

O Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) é um índice de vegetação em que é possível observar uma correspondência qualitativa de suas variações com os padrões de crescimento da vegetação (HUETE et al., 1997), utilizando a formulação (ROUSE et al., 1974):

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad \text{Equação 1}$$

Em que:  $\rho_{IVP}$  é o valor da reflectância no infravermelho próximo e  $\rho_V$  é a reflectância na faixa do vermelho;

O Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) foi desenvolvido para modelar de forma mais precisa a transferência de radiação do infravermelho próximo em dosséis incompletos, visando remover o ruído de fundo (HUETE, 1988):

$$SAVI = (1 + L) (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V + L) \quad \text{Equação 2}$$

Em que:  $\rho_{IVP}$  e  $\rho_V$  correspondem às reflectâncias do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente, e o L é o fator de ajuste, sendo utilizado o valor 0,5.

O NDWI evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha, sendo expresso pela seguinte equação (GAO, 1996):

$$NDWI = (\rho_{IVP} - \rho_{IVC}) / (\rho_{IVP} + \rho_{IVC}) \quad \text{Equação 3}$$

Em que:  $\rho_{IVP}$  é o valor da reflectância no infravermelho próximo e  $\rho_{IVC}$  é o valor da reflectância no infravermelho médio.

Todos os índices de vegetação foram gerados no programa ENVI 4.7. Para a confecção dos mapas, foi utilizado o programa ArcGis 9.3.

## **Análises estatísticas e espacialização de dados geográficos**

Os dados de carbono foram submetidos à análise descritiva para obtenção das médias aritméticas em cada tipo de uso da terra, a fim de comparar as diferenças entre os valores de carbono no solo entre as áreas naturais e as antropizadas, além dos diferentes tipos de solo.

Foi realizado um teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para avaliar se os dados de carbono no solo apresentavam distribuição normal utilizando o programa Statistica 7 (Stat Soft Ltda). Após confirmar a normalidade dos dados, foi aplicada, no mesmo programa, um teste de comparação de médias (teste t) para comparações entre as áreas mais dentro de um mesmo intervalo de profundidade, avaliando assim os diferentes tipos de uso da terra e tipos de solo. Diferenças a 5% foram consideradas significativas.

Os valores dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e NDWI) foram extraídos das imagens a partir das coordenadas geográficas referentes aos pontos de coleta de solo (um ponto para cada perfil de solo). Foi testada a correlação simples, contudo, como o propósito foi avaliar conjuntamente a produção de biomassa (NDVI e SAVI) e o conteúdo de água foliar (NDWI) com os valores de carbono coletados em campo, empregou-se a correlação múltipla utilizando os três índices de vegetação. Foi utilizado o programa Statistica 7 (Stat Soft Ltda) para a geração da equação de regressão múltipla. Essa equação foi utilizada posteriormente para a espacialização em função das imagens dos índices de vegetação, por meio de fórmulas aritméticas disponíveis no programa ArcGIS.

## **Resultados e Discussão**

### **Atributos dos solos estudados**

Os maiores teores de argila no solo (0 cm a 100 cm profundidade) foram encontrados na área de cerrado sentido restrito e pastagem em

Latossolo Vermelho, seguidos pela área de cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo (Tabela 1). Teores intermediários foram encontrados ao longo do perfil de solo em área de Cerradão em Latossolo Vermelho, enquanto os menores teores de argila no solo foram encontrados na Mata de Galeria e pastagem em uso sobre Gleissolo. Apesar dessas variações, em todos os perfis de solo estudados, houve um aumento no teor de argila com o aumento da profundidade (Tabela 1). Os solos estudados da bacia experimental do Sarandi possuem elevados teores de argila. Sua textura varia entre argilosa a muito argilosa tanto em Latossolo Vermelho quanto em Latossolo Vermelho Amarelo; nos Gleissolo, a textura varia de média a argilosa, cujas texturas são características dos respectivos tipos de solo (EMBRAPA, 1978). Vale lembrar que os latossolos representam a principal classe de solo no DF enquanto os Gleissolos cobrem cerca de 5% da área do DF (EMBRAPA, 1978). No entanto, esses solos hidromórficos (Gleissolo) são importantes ao longo de córregos pequenos e nascentes dos principais rios. Essas proporções são semelhantes se extrapoladas para todo o Bioma assim como o tipo de vegetação normalmente associada a cada tipo de solo (EMBRAPA, 1978), indicando a representatividade da bacia experimental do Sarandi, DF, para a avaliação da relação entre o teor de carbono orgânico encontrado no solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal.

De uma forma geral, os valores de CTC encontrados de 0 cm a 100 cm de profundidade nos solos da bacia do Córrego Sarandi podem ser considerados baixos, dentro das faixas de valores encontradas por Mendes et al. (2012) para o intervalo de 0 cm a 20 cm de profundidade em diferentes fitofisionomias na região do Distrito Federal. No entanto, na área de Mata de Galeria em Gleissolo, a CTC foi de  $30,3 \text{ cmol dm}^{-3}$  no intervalo de 0 cm a 5 cm de profundidade. Valores intermediários foram encontrados ao longo do perfil de solo em área de Cerradão em Latossolo Vermelho, seguido da área de pastagem em uso sobre Gleissolo. As menores CTC foram encontradas nas áreas de cerrado sentido restrito e na pastagem abandonada em Latossolo Vermelho Amarelo (Tabela 1). Apesar dessas variações, houve uma redução na CTC com o aumento da profundidade em todos os perfis de solo

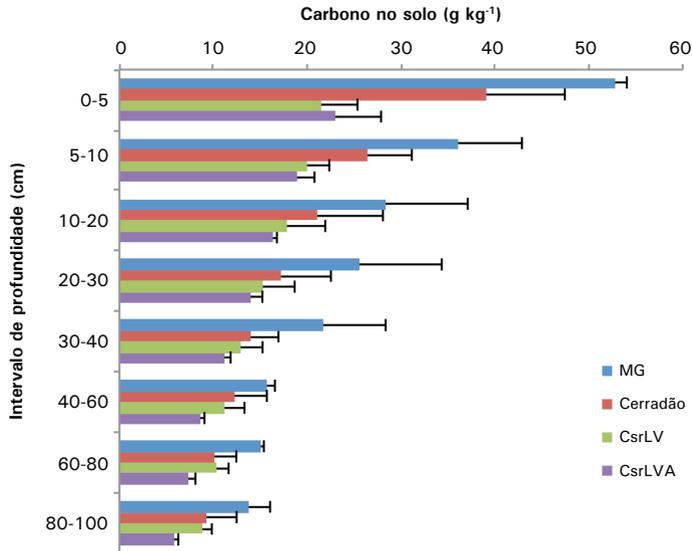
estudados, com exceção da PstGM que apresentou maiores valores de CTC nos intervalos de profundidade intermediários (entre 10 cm e 60 cm). Esse padrão encontrado para CTC pode estar relacionado ao fato de a CTC estar normalmente relacionada aos teores de matéria orgânica no solo, mostrando a importância da MOS como condicionador de cargas em solos tropicais intemperizados. Esse padrão também foi encontrado por Mendes et al. (2012) em áreas de Cerrado próximas às aqui estudadas.

**Tabela 1.** Valores médios de argila e capacidade de troca catiônica (CTC) nos diferentes intervalos de profundidade (até 100 cm), para as áreas estudadas na bacia experimental do córrego Sarandi.

Área <sup>(1)</sup>	Intervalos de Profundidade (cm)									
		0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	
CsrLV	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	623	620	657	673	680	703	713	713	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,6	6,0	5,2	4,5	3,8	3,3	3,0	2,6	
CsrLVA	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	573	610	620	640	650	670	700	713	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,7	7,2	6,3	5,0	4,2	3,7	3,1	2,7	
Cerradão	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	477	537	547	570	560	590	590	587	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	16,9	12,0	11,0	10,1	10,3	8,9	8,8	8,7	
MG	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	273	297	313	280	407	400	433	463	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	30,3	20,7	20,2	18,3	14,6	9,4	10,4	12,1	
PstLV	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	637	697	687	720	737	740	723	723	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,0	5,5	4,8	3,9	3,6	3,4	3,2	2,7	
PstGM	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	210	223	287	317	410	377	390	337	
	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	14,8	14,0	16,3	18,5	20,1	19,0	14,4	11,0	

<sup>(1)</sup> CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; MG: Mata de galeria; PstLV: Pastagem abandonada em Latossolo Vermelho; PstGM: Pastagem em uso sobre Gleissolo.

Nas áreas de vegetação natural, os teores de carbono em todos os intervalos de profundidade do solo (até 100 cm) foram significativamente maiores na área de mata de galeria em Gleissolo quando comparados os mesmos intervalos de profundidade das demais fitofisionomias ( $p < 0,05$ ) (Figura 3).

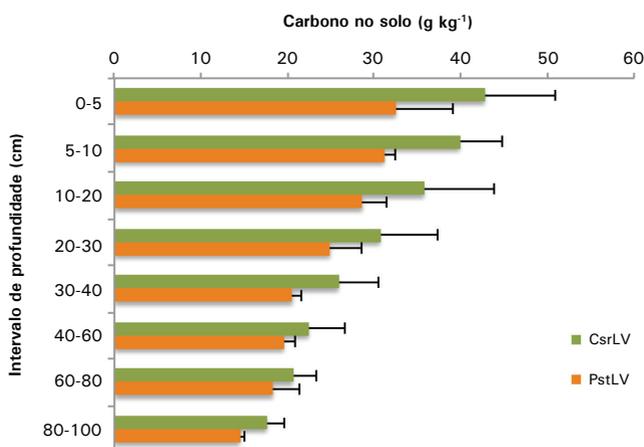


**Figura 3.** Teor médio de carbono no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) por intervalo de profundidade até 100 cm em áreas nativas de diferentes fitofisionomias do Cerrado, localizadas na bacia experimental do Córrego Sarandi, Planaltina, DF (CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo; Cerradão em Latossolo Vermelho; MG: Mata de galeria). As barras laterais indicam o desvio padrão.

Ao comparar as áreas de vegetação nativa em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo apenas entre 0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm de profundidade, a área de Cerradão em Latossolo Vermelho apresentou teores de carbono no solo significativamente maiores que as áreas de cerrado sentido restrito tanto em Latossolo Vermelho como Latossolo Vermelho Amarelo ( $p < 0,05$ ) (Figura 3).

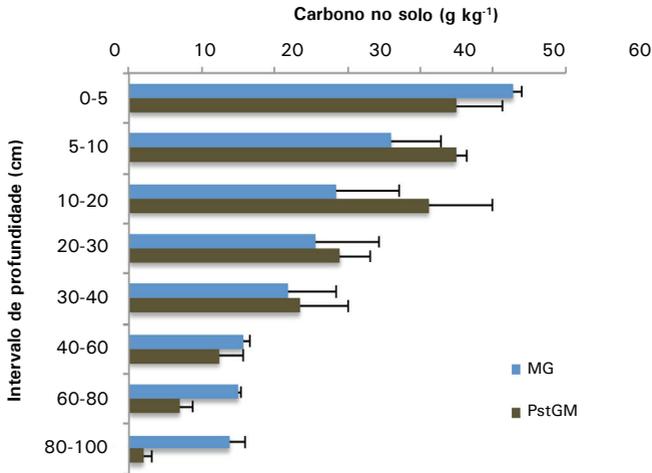
Dessa forma, as fitofisionomias florestais apresentaram maiores teores de carbono no solo que as fisionomias savânicas, assim como nos trabalhos de Lardy et al. (2002) e Silva (2007), ambos realizados na região de Cerrado. Essas fisionomias florestais apresentam maior biomassa e atividade microbiana no solo quando comparadas às fisionomias savânicas e campestres, que pode estar relacionada a uma maior produção de serapilheira (MENDES et al., 2012). As maiores diferenças ocorrem na camada superficial do solo, refletindo as diferenças na ciclagem de nutrientes entre as fisionomias do Cerrado.

Ao comparar diferentes usos da terra sobre mesmo tipo de solo (Figuras 4 e 5), observou-se que a área de cerrado sentido restrito sobre Latossolo Vermelho apresentou uma tendência de maiores teores de carbono orgânico no solo para todos os intervalos de profundidade, quando comparado com a área de pastagem abandonada em Latossolo Vermelho. Esses teores de carbono no solo foram significativamente maiores na área de cerrado sentido restrito quando comparado com a PstLV nos intervalos de profundidade entre 0 cm e 20 cm ( $p < 0,05$ ) (Figura 4).



**Figura 4.** Teor médio de carbono orgânico no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Latossolo Vermelho localizadas na bacia experimental do Córrego Sarandi, Planaltina, DF (CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem abandonada em Latossolo Vermelho). As barras laterais indicam o desvio padrão.

Ao comparar os intervalos de profundidade do solo entre Gleissolo Melânico sob Mata de Galeria e Pastagem em uso, o solo da MG apresentou teores de carbono no solo significativamente maiores apenas na profundidade superficial de 0 cm a 5 cm e após 60 cm de profundidade ( $p < 0,05$ ) (Figura 5). Já entre 5 cm e 60 cm de profundidade, o solo da pastagem em uso apresentou maiores teores de carbono orgânico quando comparado com o solo da MG ( $p < 0,05$ ) (Figura 5).



**Figura 5.** Teor médio de carbono orgânico no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) por intervalo de profundidade até 100 cm, em áreas de Gleissolo Melânico localizadas na bacia experimental do córrego Sarandi, Planaltina, DF (MG: Mata de galeria; PstGM: Pastagem em uso sobre Gleissolo). As barras laterais indicam o desvio padrão.

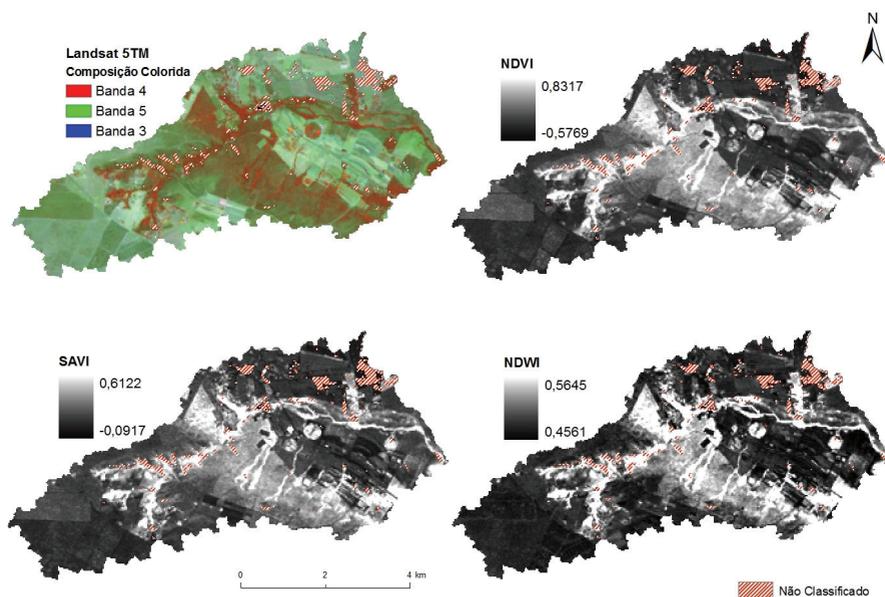
Enquanto na pastagem abandonada sem pastejo (PstLV) os teores de C no solo foram menores (principalmente na camada superficial de 0 cm a 20 cm) comparado com a área de cerrado sentido restrito (CsrLV), na pastagem sobre Gleissolo, que é manejada e está em uso há 10 anos, apresentou um maior teor de carbono orgânico no solo entre 5 cm e 60 cm de profundidade quando comparado com a MG. Essas diferenças podem estar relacionadas com as altas taxas de produção de biomassa da *Brachiaria* quando bem manejada (ALVES et al., 2008; MONTERO, 2008).

Em geral, apesar das variações encontradas para o teor de carbono orgânico do solo nos diferentes intervalos de profundidade entre os tipos de uso do solo, em todas as áreas estudadas foi encontrado um mesmo padrão, com maiores valores de teor de carbono no solo nos intervalos de profundidades superficiais (até 20 cm), decrescendo com a profundidade (Figuras 3, 4 e 5), corroborando o padrão já encontrado em diversos trabalhos na literatura científica. Diante do exposto, foram feitas as médias do teor de carbono orgânico no solo para cada área, incluindo todos os intervalos de profundidade até 100 cm.

## Índices espectrais de vegetação

O mapa de composição colorida utilizou as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 5, destacando a fisionomia florestal em vermelho, a savânica em verde e a campestre ou solo exposto em tons mais claros (Figura 6). Apesar de alguns estudos indicarem algumas limitações quanto à discriminação entre pastagens cultivadas e áreas campestres nativas (SANO et al., 2010), neste trabalho isso foi contornado pelo fato de se saber previamente a localização das áreas de pastagem na bacia estudada.

Os mapas de NDVI, o SAVI e o NDWI foram apresentados em escala de cinza cujos maiores valores estão em coloração clara, enquanto os menores são as partes mais escuras. As áreas não classificadas da imagem correspondem a reservatório de água ou a outras áreas que apresentaram valores que modificariam a confecção e visualização dos mapas, caso fossem mantidos (Figura 6).



**Figura 6.** Mapas da bacia experimental do Córrego Sarandi, Planaltina, DF, gerados da composição colorida (mapa superior esquerdo) e dos Índices Espectrais de Vegetação: NDVI (mapa superior direito); SAVI (mapa inferior esquerdo); e NDWI (mapa inferior direito).

Na Tabela 2, apresentam-se os valores gerados de cada um dos três índices espectrais de vegetação assim como o teor médio de carbono orgânico no solo até 100 cm de profundidade em cada área estudada, incluindo diferentes uso da terra e tipos de solo na bacia do Sarandi.

**Tabela 2.** Teor médio de carbono no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) até 100 cm de profundidade em cada área estudada, localizadas na bacia experimental do Córrego Sarandi, Planaltina, DF, e seus respectivos valores de NDVI, SAVI e NDWI.

Área <sup>(1)</sup>	C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	NDVI	SAVI	NDWI
MG	23,23	0,7223	0,4578	0,3512
MG	18,60	0,7229	0,4223	0,2898
PstGM	23,88	0,3024	0,1759	-0,2485
PstGM	18,17	0,3070	0,1761	-0,2247
Cerradão	12,60	0,6728	0,3990	0,2650
Cerradão	13,07	0,6728	0,3990	0,2962
Cerradão	20,21	0,7309	0,4504	0,3717
CsrLVA	10,82	0,1743	0,1264	-0,1492
CsrLVA	11,33	0,1841	0,1319	-0,1531
CsrLVA	8,40	0,1598	0,1148	-0,1501
CsrLV	9,68	0,3739	0,2078	-0,1619
CsrLV	12,97	0,3110	0,1733	-0,2083
CsrLV	12,68	0,3317	0,1806	-0,1788
PstLV	9,23	0,2709	0,1724	-0,1161
PstLV	9,60	0,2208	0,1408	-0,1784
PstLV	9,70	0,2422	0,1529	-0,1749

<sup>(1)</sup> MG: Mata de galeria em Gleissolo; PstGM: Pastagem em uso sobre Gleissolo; Cerradão em Latossolo Vermelho; CsrLVA: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho Amarelo; CsrLV: Cerrado sentido restrito em Latossolo Vermelho; PstLV: Pastagem abandonada em Latossolo Vermelho.

A partir dos dados da Tabela 2, os valores encontrados dos índices de vegetação foram relacionados com os valores médios de carbono orgânico no solo, o que resultou na seguinte equação:

$$C = -29,6474655 - 145,6187519 * NDVI + 412,2212394 * SAVI - 82,3615325 * NDWI$$

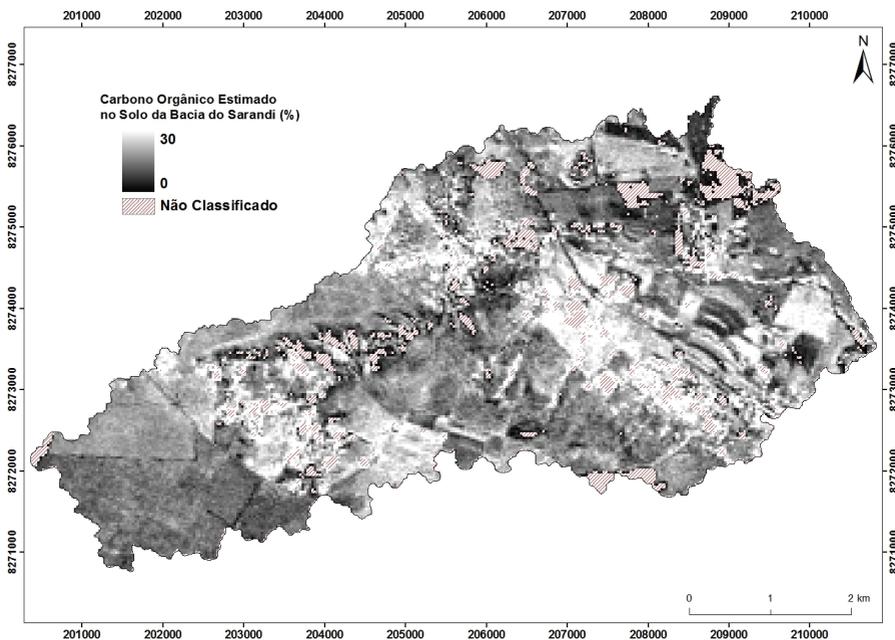
Equação 4

Em que se obteve um  $R^2$  ajustado relativamente elevado (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise de regressão múltipla entre os índices de vegetação e o percentual de carbono orgânico do solo da bacia experimental do Córrego Sarandi.

	R Múltiplo	R <sup>2</sup> Múltiplo	R <sup>2</sup> Ajustado	p
C (%)	0, 870805	0, 758302	0, 697878	0, 000520

A partir da Equação 4, foi possível gerar um novo mapa com valores estimados do teor médio de carbono orgânico no solo de diferentes tipos de solo e uso da terra na bacia do Sarandi. As áreas mais claras no mapa representam aquelas com maiores teores de carbono orgânico no solo, enquanto as áreas mais escuras no mapa representam aquelas com os menores teores de carbono orgânico no solo (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa gerado a partir dos valores estimados de teor de carbono orgânico no solo até 100 cm de profundidade na bacia experimental do Córrego Sarandi, Planaltina, DF.

Baseando-se no mapa de cobertura vegetal da bacia do Sarandi gerado por Neves et al. (2013), as áreas mais claras no mapa da Figura 7 representam as áreas onde há predomínio de vegetação com porte mais

florestal enquanto as áreas mais escuras representam aquelas com fisionomias mais abertas. A exceção a esse padrão foi a área onde se encontra a pastagem manejada estudada sobre Gleissolo.

Alguns autores vêm demonstrando que existe uma alta correlação entre NDVI e SAVI com o carbono presente na biomassa, como Watzlawick et al. (2009) em floresta com araucárias; Bolfe et al. (2011) em Sistemas Agroflorestais; Rosendo (2005) na bacia hidrográfica do Rio Araguari, MG; e França (2011) em áreas de campo limpo úmido do DF.

Com base na equação gerada por este trabalho juntamente com o mapa produzido e com a bibliografia apresentada surge a possibilidade de se estimar valores aproximados de teor de carbono orgânico no solo de áreas de Cerrado pelo uso de geotecnologia aplicada à análise da cobertura vegetal. Isso tem sido denominado de transferência de função, uma ferramenta que poderá vir a facilitar a compreensão da dinâmica do carbono nos ecossistemas terrestres, por meio de técnicas mais acessíveis (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2004).

## **Conclusão**

Conclui-se que existe uma relação significativa entre o carbono orgânico do solo e os parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, obtidos por meio dos índices de vegetação. Essa abordagem está inserida dentro de uma visão interdisciplinar, integrando ciências distintas por meio de funções de transferências. Essa ferramenta pode servir como referência para estimar o padrão da dinâmica de carbono no solo em função do tipo de cobertura vegetal e das classes de solos. Essa linha de pesquisa tem o potencial para subsidiar o manejo de ecossistemas e avaliar a produtividade de agroecossistemas.

## **Referências**

ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S.; LEVINE, R. Y.; BERK, A.; RICHTSMIEIER, S. C.; ACHARVA, P. K.; ANDERSON, G. P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HOKE, M.; JEONG, L. S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. H.

Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **SPIE Proc. Imaging Spectrometry**, v. 3753, p. 61-69, 1999.

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Dinâmica do carbono em solos sob pastagens. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Metrópole: Porto Alegre, 2008. p. 561-569.

ARAGÃO, L. E. C.; SHIMABUKURO, Y. E. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas: modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG: relatório técnico**. São José dos Campos: INPE, 2004. 97 p.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2007.

BAYER, C.; MIELNICSUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BERK, A. G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; RATKOWSKI, A. J.; FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; HOKE, M. L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J. H.; GARDNER, J. A.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S.; ACHARYA, P. K.; MILLER, D.; LEWIS, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. **SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research**, p. 798-803, 2002.

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, M. C. Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 1705-1712.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. **Journal Soil Water and Conservation**, v. 54, p. 382-389, 1999.

CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GRÉGOIRE, J. M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, vol. 77, p. 22-33, 2001.

CHEN, D.; HUANG, J.; JACKSON, T. J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and short-wave infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, vol. 98, p. 225-236, 2005.

COUTO JUNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; SANTANA, O. A.; FREITAS, L. F.; GOMES, R. A. T. Integração de parâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 11, n. 1, p. 57-68, 2010.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, L. N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. e atual. 212 p. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro, 1978. 455 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 53).

FRANÇA, A. M. S. **Função de pedotransferência para estimativas de estoques de carbono em solos de áreas de Campo Limpo Úmido do Distrito Federal**. 2011. 144 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Geral e Aplicada, Brasília, 2011.

GAO, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 3, p. 475-484, 2003.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440-451, 1997.

LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 353-362, 2002.

LARDY, L. M.; BROSSARD, M.; ASSAD, M. L. L.; LAURENT, J. Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey feral soils in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 92, p. 147-158, 2002.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 913-922, 2010.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, v. 103, p. 442-450, 2009.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; BLOISE, G. L. F.; CARDOSO, E. A. **Domínios hidrogeológicos da margem direita do Córrego Divisa, Bacia**

**do São Bartolomeu-DF, escala 1:10.000.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 68)

MATTHEW, M. W.; ADLER-GOLDEN, S. M.; BERK, A. Atmospheric correction of spectral imagery: evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data. **SPIE Proc. Imaging Spectrometry**, v. 3753, p. 474-482, 2003.

MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1-2, p. 183-195, Oct. 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: Universidade de Brasília: CNPq, 2012. 266 p.

MONTERO, I. L. **Carbono em solos do Cerrado: efeitos do uso florestal.** 2008. 130 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo, 2008.

NEVES, G.; COUTO JUNIOR, A. F.; MARQUES, T. A.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; SENA-SOUZA, J. P. Avaliação da fragmentação da cobertura natural em uma bacia experimental no Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3062-3067.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; PEREIRA, P. H. Canopy cover and organic matter spatial distribution as indicators of soil quality for aquifer recharge. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD, 19., 2010, Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane, 2010.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de Carbono e Nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

RODRIGUES, C. P. **Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias.** 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS.** 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE

SYMPOSIUM, 1973, Washington, D.C. **Technical presentations ...** Washington, D.C.: NASA, 1974. v. 1, p. 309-317. (NASA Special Publications, 351)

RÜGNITZ TITO, M.; CHACÓN LÉON, M.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém: Centro Mundial Agroflorestal: Consórcio Iniciativa Amazônica, 2009. 81 p.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savana region in Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 166, n. 1-5, p. 113-124, July 2010.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3003-3009.

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; REIS, A. M.; SILVA, V. P. Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3062-3067.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 624 p.

SILVA, L. C. R. **Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado**. 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, v. 166, p. 858-871, 2001.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, p. 494-499, 1997.

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRR NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. **Acta Ecológica Sinica**, v. 23, n. 5, p. 979- 988, 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**, v. 19, n. 2, p. 169-181. 2009.

**Embrapa**

---

**Cerrados**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 12043