

Evolução temporal da reflectância na dinâmica de regeneração do cerrado *sensu-stricto*

Priscilla de Souza da Costa-Pereira¹
Philippe Maillard¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG, Brasil
priscillascp@yahoo.com.br , philippe@cart.igc.ufmg.br

Abstract. Research on Cerrado regrowth is crucial for understanding the dynamics of vegetation and for studies of conservation. Since cerrado is usually characterized by its structure, it is essential to determine which structural parameters are better for its classification and which can best be related to its spectral behavior with remotely sensed data. In fact, satellite data is often the only source of data available with sufficient frequency and coverage to monitor cerrado. The purpose of this study is to analyze the behavior of reflectance of cerrado regrowth over time and determine which variables better characterize the age of regeneration and if these variable can be estimated from Landsat TM data. Images of the TM/Landsat 5 sensor from a cerrado region were acquired in eleven different dates from 1994 to 2007. Seventeen plots with 16, 17 and 23 years ages of regeneration and non-degraded vegetation were surveyed. SAVI vegetation index, Band 3 and Band 4 were chosen for study the temporal evolution of reflectance by age. The results showed that the relationship between structural variable regrowth age are generally acceptable with 54 to 71% of explained variation. On the other hand, the relationship between these structural variable and spectral values was weak (24%) to null. However, the best linear relationships obtained is between age and volume. This work presents some preliminary results from the study of regeneration of cerrado *sensu-stricto*.

Keywords: Remote Sensing, Savanna, Regeneration Sensoriamento Remoto, Cerrado, Regeneração.

1. Introdução

O Cerrado é um complexo vegetacional rico em biodiversidade, tanto pela abundância como pela variabilidade de espécies e biocenoses. A flora do Cerrado está entre as mais ricas dentre as savanas existentes, com 10.000 espécies de plantas, sendo 4.400 endêmicas, o que representa 1,5% de todas as plantas do mundo (MYERS et al., 2000). A diversidade biológica do Cerrado está ligada à sua grande variação fisionômica, que varia entre formações campestres, savânicas e florestais, formando um gradiente de altura e densidade. A literatura sobre a vegetação do Cerrado é extensa e existem várias classificações das suas fitofisionomias. Uma classificação geral, baseada na densidade de indivíduos lenhosos, reconhece cinco tipos estruturais de vegetação do Cerrado: campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu-stricto* e cerradão (GOODLAND; FERRI, 1979; COUTINHO, 1978) (Figura 1).



Figura 1: Fitofisionomias do Cerrado (MISTRY, 1998).

Apesar de sua importância biológica, o Cerrado tem sofrido grandes alterações. Estima-se que mais de 65% do Cerrado já foi convertido em uso humano (MACHADO et al., 2004). É um dos biomas mais ameaçados do país, considerado pela *Conservation International* como um dos 34 *hotspots* existentes no mundo. A necessidade de reverter toda essa devastação incentiva a pesquisa sobre regeneração da vegetação.

Poucos estudos relatam o processo de regeneração e as mudanças ocorridas na vegetação do Cerrado ao longo do tempo. A regeneração natural da vegetação ocorre de fitofisionomias mais abertas, como campo limpo, para mais fechadas, como Cerradão. Mas, esse processo nem sempre é linear. Pesquisas feitas por Pivello e Coutinho (1996) e Meirelles, Klink e Silva (1997) mostram que o estado final da fitofisionomia depende do tipo de degradação e sua frequência, caracterizando um processo de múltiplos caminhos. A fitofisionomia predominante será determinada por fatores climáticos e edáficos, enquanto a vegetação estiver protegida contra o fogo e o gado. O tempo para o Cerrado regenerar, na ausência de degradação, depende da disponibilidade hídrica, dos nutrientes do solo e da distância da fonte de propágulos (HENRIQUES, 2005).

Pesquisas sobre a regeneração do Cerrado são fundamentais no entendimento da dinâmica da vegetação e nos estudos de conservação. As imagens satélites são poderosas ferramentas na caracterização do processo de regeneração, pois permitem realizar uma análise multi-temporal.

O objetivo deste estudo é analisar o comportamento da reflectância da regeneração do cerrado *sensu-stricto* medida pelo sensor TM/Landsat 5 ao longo do tempo (1994-2007) e determinar quais variáveis caracterizam melhor a idade de regeneração do Cerrado. Este trabalho apresenta alguns resultados preliminares de uma pesquisa em andamento sobre a regeneração do Cerrado.

2. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP), localizado no extremo norte de Minas Gerais entre os municípios de Januária, Cônego Marinho e Bonito de Minas (Figura 2). O PEVP se encontra em uma região conhecida como Chapadão dos Gerais, região de domínio de Cerrado. O clima da região é do tipo semi-árido, chegando a oito meses de carência de chuva e seis meses de profunda falta de água para as plantas. Um dos mais negativos balanço hídrico do Estado de Minas Gerais. O relevo da região é plano a suave ondulado. O ambiente geológico é constituído pela Formação Urucuia (Ministério das Minas e Energia, 1982) e o solo predominante é o Neossolo Quartzarênico. Três fitofisionomias do Cerrado, além das veredas, foram identificadas no parque: campo cerrado, cerrado *sensu-stricto* e cerradão. Mas, este estudo limita-se a estudar a regeneração do cerrado *sensu-stricto*.

Parte da área que hoje pertence ao PEVP foi ocupada por plantações de eucalipto do final da década de 70 até o início dos anos 90. O eucalipto foi cortado e a área dos antigos talhões está sendo recuperada naturalmente, sem plantio de espécies. Existem no parque, hoje, áreas com Cerrado em regeneração e áreas com Cerrado preservado, sem histórico recente de degradação. Essas áreas são próximas uma das outras, possuindo o mesmo tipo de solo, mesmas influências microclimáticas e, conseqüentemente, as mesmas espécies ocorrentes. Sua diferenciação encontra-se no fato de uma área já ter sofrido alteração e a outra não.

3. Material e Métodos

Onze imagens do sensor TM/Landsat 5 órbita 219 ponto 70 foram adquiridas: 12/8/1994, 15/8/1995, 16/7/1996, 19/7/1997, 6/7/1998, 9/7/1999, 12/8/2000, 14/7/2001, 20/7/2003, 26/6/2006 e 31/7/2007. A utilização de imagens multitemporais envolve ajustes na geometria e radiometria das imagens a fim de torná-las comparáveis, pois são imagens obtidas em datas

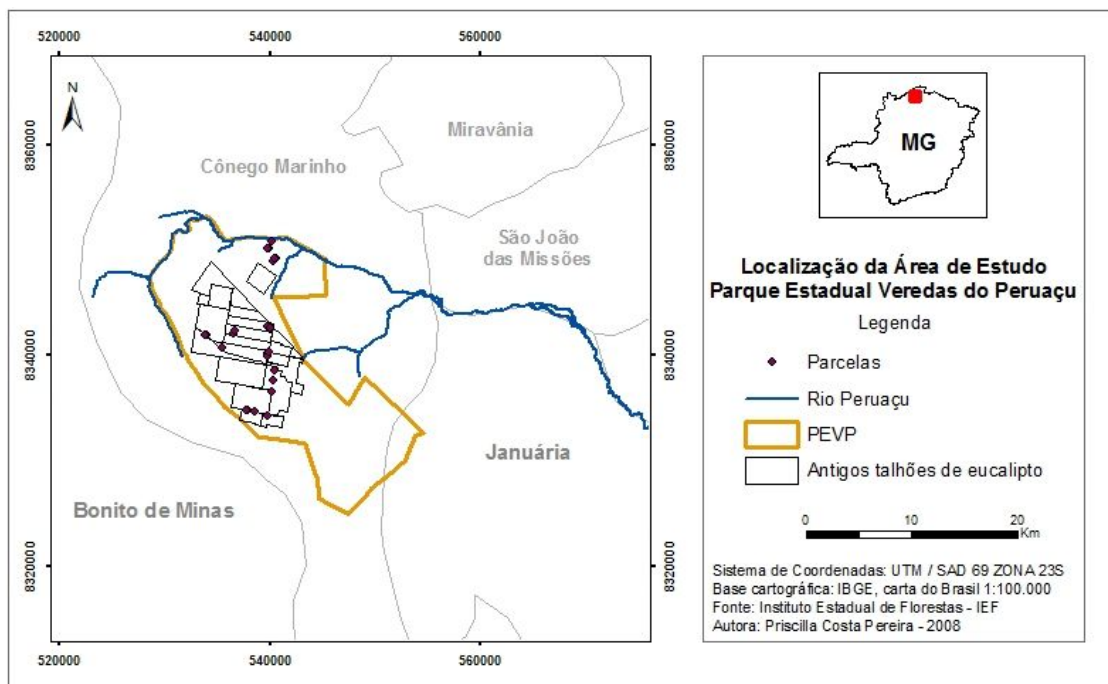


Figura 2: Localização da área de estudo.

diferentes e, conseqüentemente, sob condições atmosféricas diferentes.

As cenas das diversas datas foram corrigidas geometricamente e registradas no sistema de projeção cartográfica UTM, fuso 23S datum SAD 69. A banda pancromática, com resolução de 15m, de uma imagem Landsat ETM+ de 2001 foi utilizada como referência. Essa cena foi corrigida previamente em estudo realizado por Maillard e Gomes (2003). Quinze pontos de controle adquiridos em campo, com auxílio de GPS, foram usados para ajuste final. Segundo Mather (2004), experiências indicam que 10 a 15 pontos de controle são suficientes para obter resultados confiáveis.

Os números digitais (ND) foram convertidos para reflectância, com a ajuda da planilha elaborada pelo INPE (GüRTLER et al., 2005) e a metodologia de subtração do pixel escuro - DOS (Chavez Jr., 1988) foi adotada para corrigir os efeitos atmosféricos das imagens. Após a retificação radiométrica, o método dos objetos-invariáveis (LIANG, 2004) foi aplicado. Esse método assume que a reflectância de alguns pixels na imagem não variam ao longo do tempo, são os objetos invariáveis. Uma regressão linear baseada na reflectância desses objetos foi feita para normalizar as imagens.

Dois trabalhos de campo foram realizados em 2007 para medir a estrutura da vegetação que não sofreu degradação e o estágio atual de regeneração no local dos antigos talhões de eucalipto. A área total amostrada é de 3.400m² divididos em 17 parcelas de 10x20m, alocadas de forma não-aleatória seletiva. As parcelas foram divididas em 4 classes: cerrado *sensu-stricto* (sem histórico de degradação), 23 anos, 17 anos e 16 anos de regeneração. Sendo que as parcelas com 16 anos de regeneração sofreram mais impactos que as demais. Essa região esteve sob plantio de eucalipto por mais tempo, passando por três cortes de eucalipto enquanto as outras tiveram no máximo dois cortes. Em campo, foi possível perceber maior quantidade de solo exposto e herbáceas, apesar da presença de árvores de grande porte como o pequiizeiro.

O planejamento da amostragem foi feito com base na interpretação prévia de uma imagem do PEVP, com delimitação visual dos alvos. Também foram consideradas informações referentes à história do uso do solo nos talhões estudados. A escolha do local das parcelas visou

à localização de sítios representativos de cada uma das degradações ocorridas, evitando o efeito de borda. Todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) superior a 10cm foram medidos. Quando a ramificação se apresentou antes da altura do peito, a circunferência foi medida antes da ramificação. Além do CAP, mediu-se a altura dos indivíduos e o diâmetro das copas. A porcentagem de cobertura foliar foi estimada a partir de um gabarito padronizado (MACDONALD et al., 1990) e fotos hemisféricas foram realizadas como dado de apoio.

O diâmetro à altura do peito (DAP), a área basal (m²/ha), o volume (m³/ha) e a densidade foram calculados a partir das medidas de campo. A equação de volume (eq. 1) foi adaptada do resultado encontrado na pesquisa feita por Rezende et al. (2006), onde essas constantes demonstraram melhor resultado para estimativa de volume da vegetação lenhosa do cerrado *sensu-stricto*.

$$Volume = \frac{\sum (0,000109 \times DAP^2 + 0,0000145 \times DAP^2 \times Altura)}{10000m^2} \quad (1)$$

As medidas representativas das parcelas foram área basal, volume, média de altura e número de indivíduos por hectare. Porém, nem todas as parcelas apresentaram uma distribuição normal para a altura. Para estas, a mediana foi calculada ao invés da média.

O índice de vegetação SAVI foi escolhido por considerar em seu cálculo a influência do solo em dosséis esparsados, como é o caso do cerrado *sensu-stricto*. O índice SAVI foi obtido através da equação 2, onde L é uma constante que minimiza a sensibilidade do índice de vegetação à variação da reflectância do solo, podendo variar de 0 a 1. O valor de L utilizado foi 0,5, adequado para densidades médias de vegetação (HUETE, 1988). Os valores de reflectância de cada parcela para as bandas 3 e 4 de cada imagem foram obtidos através das imagens previamente corrigidas. Correlações estatísticas e gráficos foram gerados a partir desses valores.

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L) \quad (2)$$

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise visual da trajetória espectral

A trajetória dos valores do índice de vegetação SAVI para os diferentes tempos de regeneração está apresentada na Figura 3. De modo geral, as curvas tendem a seguir o mesmo padrão (comportamento) para as diferentes idades. O cerrado *sensu-stricto* apresenta maior valor do índice SAVI que a vegetação em regeneração em quase todos os anos. Isso se deve, provavelmente, à maior quantidade de vegetação, visto que não foi perturbada. O cerrado com 16 anos de regeneração apresenta valores bem menores que as outras idades, mesmo com poucos anos de diferença. Isso pode ser explicado pela presença de muito solo exposto nesta área e à quantidade de perturbações sofridas. Os valores da classe de 23 anos são muito próximos ao cerrado não degradado. Observando todas as classes através da Figura 3, constata-se que os valores das diferentes idades se aproximam ao longo dos anos. Os valores em 2007 estão mais próximos do cerrado *sensu-stricto* que em 1994.

O comportamento temporal dos valores de reflectância na região do infra-vermelho próximo (banda 4 do sensor TM/Landatsat5) apresenta curvas similares, mas com diferença na amplitude (Figura 4). Nota-se que em 2007 o valor de reflectância é quase o mesmo para todas as classe. Já a região vermelho do visível (banda 3 do sensor TM/Landatsat5) apresenta curvas de reflectância bastante diferentes (Figura 5). Os altos valores de reflectância da vegetação com 16 anos entre 1995 e 1999 são possivelmente explicados pela quantidade de solo exposto nesta época. Os valores de reflectância também se aproximam no fim do período estudado.

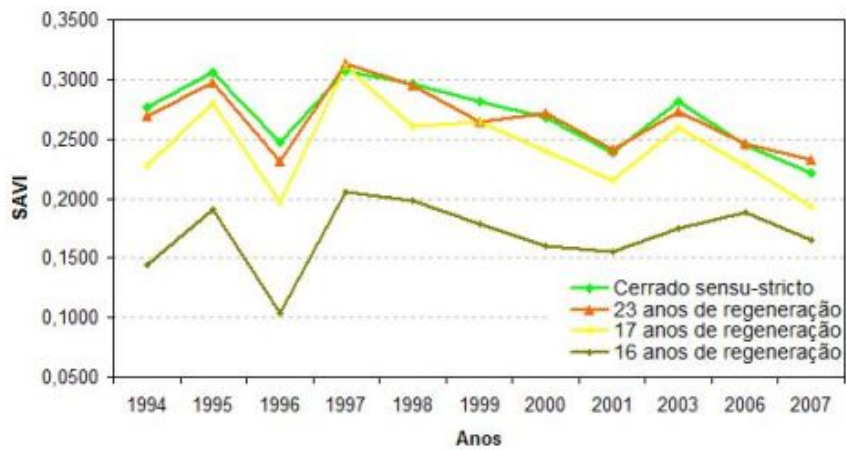


Figura 3: Comportamento temporal do Cerrado em regeneração em função das respostas do índice de vegetação SAVI.

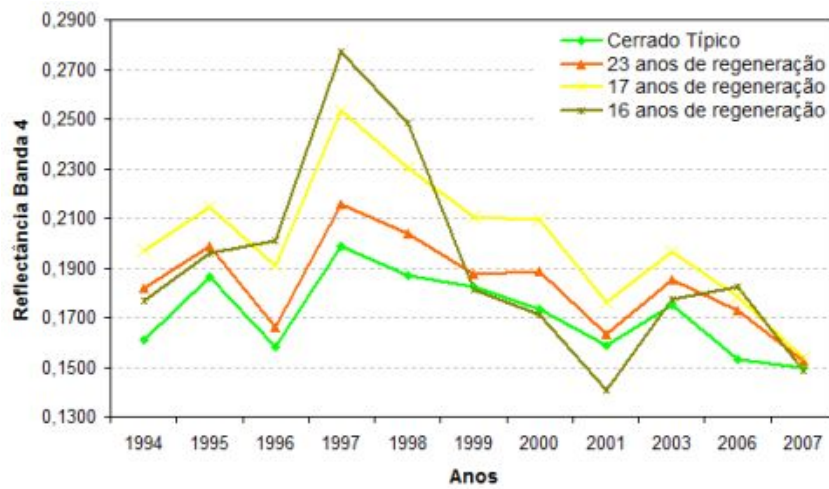


Figura 4: Comportamento temporal do Cerrado em regeneração em função da reflectância da banda 4 do sensor TM/landsat 5.

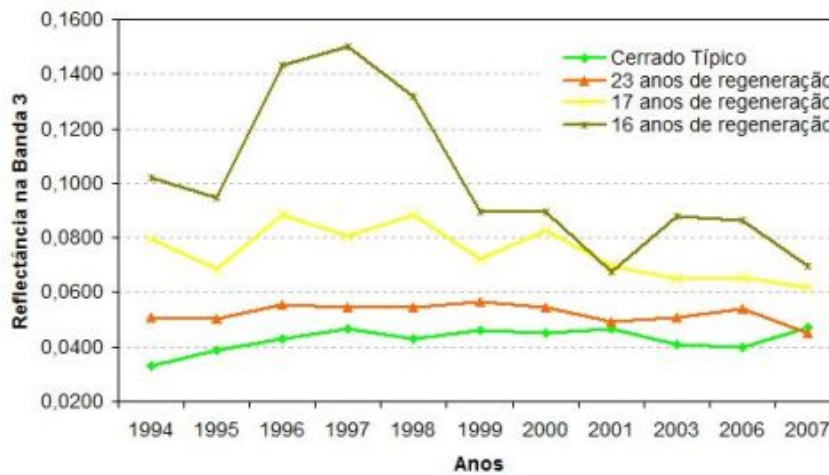


Figura 5: Comportamento temporal do Cerrado em regeneração em função da reflectância da banda 3 do sensor TM/landsat 5.

Tabela 1: Valores do coeficiente de determinação (R^2) obtidos através de uma regressão linear entre os valores de reflectância e as variáveis estruturais.

	altura	DAP	área basal	volume	n° indivíduos	idade
SAVI	0,153	-0,080	0,029	0,029	0,244	0,224
Banda 3	-0,140	0,027	-0,049	-0,051	-0,128	-0,237
Banda 4	0,000	-0,062	-0,027	-0,031	0,066	-0,017

4.2. Análise estatística

A força da relação entre a altura e a idade da vegetação (tempo de regeneração) pode ser considerada como média com um coeficiente de determinação de $R^2=0,556$. A altura do Cerrado pode estar sendo influenciada mais por fatores edáficos do que pela idade. Quanto maior a disponibilidade hídrica, mais alto tende a ser a vegetação. A idade explica 68% da área basal observada nas amostras ($R^2=0,683$). A área basal é um índice que considera a proporção ocupada na parcela pela soma dos troncos de todos os indivíduos, portanto representa melhor a estrutura da vegetação. A idade explica 53% ($R^2=0,535$) do número de indivíduos por hectare. Quanto maior o tempo de regeneração, maior o número de árvores com CAP mínimo para amostra. O melhor relacionamento encontrado foi entre o volume e a idade ($R^2=0,712$) (Figura 6). O volume, além de somar o DAP de todos os indivíduos, considera também a altura de cada um.

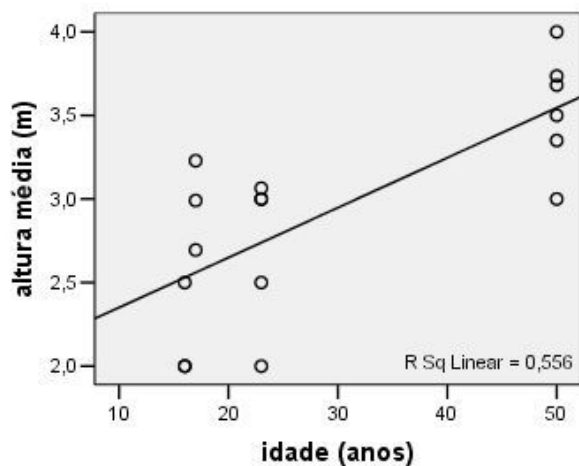
As relações entre as variáveis estruturais e as variáveis espectrais se mostraram relativamente fracas (Tabela 1). Os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 0,0 e 0,244. O Cerrado apresenta um dossel heterogêneo que pode ser comparado a um mosaico de elementos com respostas muito diferentes, como folhas, galhos, sombras e solo que colaboram na resposta espectral. É interessante ressaltar os resultados do índice SAVI com a altura e com o número de indivíduos. O índice SAVI para amostras mais jovens sofre influência de outros fatores como a maior presença de herbáceas. No relacionamento entre índice SAVI e altura (Figura 7), é possível perceber que a partir de 3 metros de altura o índice SAVI apresenta um comportamento mais linear.

5. Conclusões

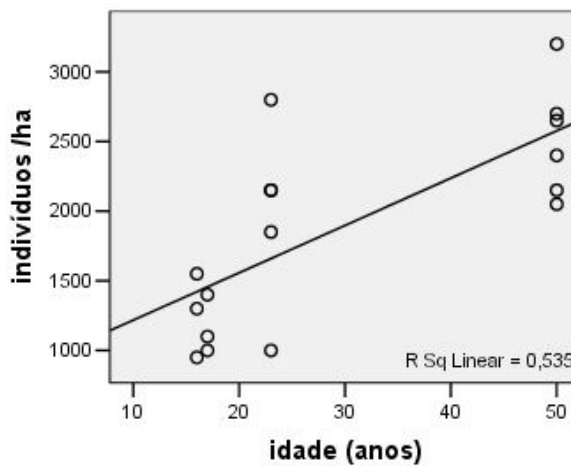
Com base nos dados apresentados, conclui-se que a regeneração natural do cerrado *sensu-stricto* não ocorre de forma linear e diversos fatores influenciam nessa regeneração. Não foi possível identificar uma única variável para caracterizar a idade de regeneração. A variável que apresentou melhor relação com a idade foi o volume. Nenhuma variável teve uma boa relação com os dados espectrais. A disponibilidade hídrica da vegetação pode estar influenciando a regeneração do Cerrado do PEVP, região de clima semi-árido com solo arenoso. Recomenda-se, para estudos posteriores, uma análise do modelo digital do terreno e a proximidade com cursos d'água. É recomendado, também, maior número de amostras.

6. Agradecimentos

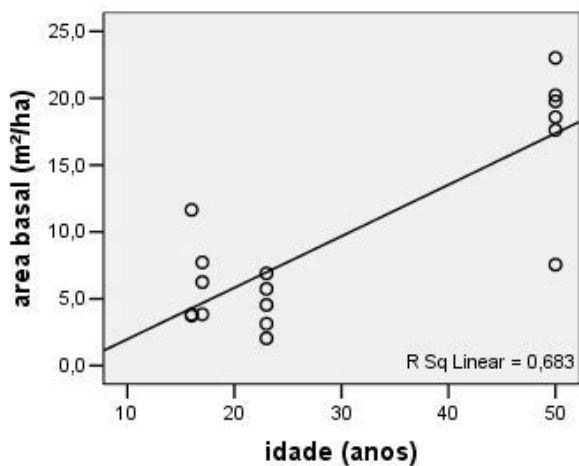
Os autores agradecem ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) pela autorização dos trabalhos de campo e apoio logístico. Agradecimentos também ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento das imagens satélites.



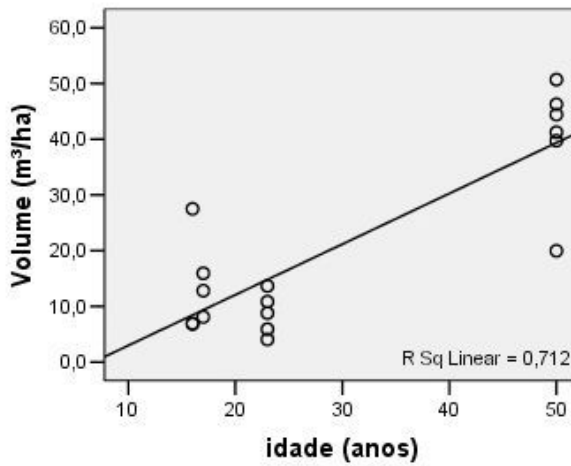
(a)



(b)

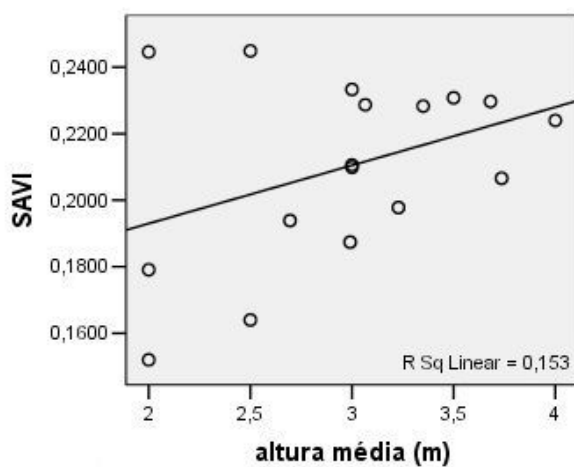


(c)

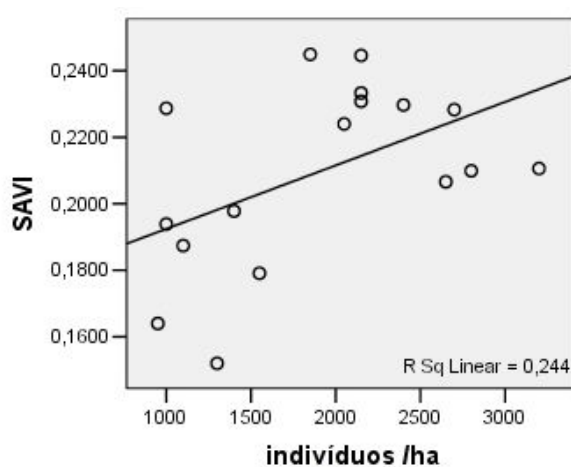


(d)

Figura 6: Regressões lineares entre a idade e as variáveis estruturais: (a) altura média, (b) DAP médio, (c) área basal e (d) volume.



(a)



(b)

Figura 7: Regressões lineares entre o índice SAVI e as variáveis: (a) altura média, (b) n° de indivíduos.

Referências

- Chavez Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, n. 2, p. 459–479, 1988.
- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 1, p. 17–23, 1978.
- GOODLAND, R. J. A.; FERRI, M. G. *Ecologia do Cerrado*. [S.l.]: Edusp/Itatiaia, 1979.
- Gürtler, S. et al. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens tm e ETM+ Landsat. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 57, n. 2, 2005.
- HENRIQUES, R. P. B. Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. In: _____. Brasília (DF): [s.n.], 2005. cap. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma dos cerrados, p. 73–92.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (savi). *Remote Sensing of Environment*, 1988.
- LIANG, S. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. [S.l.]: Wiley, 2004.
- MACDONALD, R. C. et al. *Australian Soil and Land Survey Field Handbook*. 2nd. ed. [S.l.]: Melbourne: Inkata Press, 1990.
- MACHADO, R. et al. *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. <http://www.ci.com> (last accessed Janeiro 11, 2008): Conservation International, 2004.
- MAILLARD, P.; GOMES, M. F. Classification of semiarid vegetation in Brazil: evaluating texture, classifiers and feature selection methods. In: *Proceedings of the ASPRS Annual Conference, Anchorage, Alaska, USA*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 1–12.
- MATHER, P. M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2004.
- MEIRELLES, M. L.; KLINK, C. A.; SILVA, J. C. S. Un modelo de estados y transiciones para el cerrado brasileño. *Ecotropicos*, v. 10, p. 45–50, 1997.
- Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radambrasil: levantamento dos recursos naturais. Folha SD.23. Volume 29*. [S.l.]: Brasil, 1982.
- MISTRY, J. Fire in the cerrado (savannas) of brazil: an ecological review. *Progress in physical geography*, v. 22, n. 4, p. 425–448, 1998.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, n. 403, p. 853–858, 2000.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. A qualitative successional model to assist in the management of brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, v. 87, p. 127–138, 1996.
- REZENDE, A. V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. *Scientia Forestalis*, n. 71, p. 65–76, 2006.