

Monitoramento do processo de Restauração Ecológica de Área de Preservação Permanente por análise espectro-temporal do sensor MODIS

Rafaela Guimarães Silva¹
Marcelo de Carvalho Alves¹
Regiane Aparecida Vilas Bôas¹
Christiany Matioli Sarmiento¹
Soraya Alvarenga Botelho¹

¹ Universidade Federal de Lavras - UFLA
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras – MG, Brasil
{magrafaelaguimaraes,chrislavras}@yahoo.com.br
{marcelocarvalhoalves, vilasboasfaria}@gmail.com
sbotelho@prg.ufla.br

Abstract. In this study, we aimed to monitor the restoration process of the Permanent Preservation Area (PPA) of a spring in Southern of Minas Gerais, and to compare its development with another protected native area by means of temporal analysis. The difference between the two areas is the heterogeneity of the landscape of APP and its surrounding region. Information from images of orbital MODIS sensor and the in-situ environmental diagnosis was used to monitor the process of ecological restoration of APP since 2004, when the planting seedlings occurred. The pattern of spectral response of the “spring” was similar to that of “semideciduous forest” during rainy periods, from which we found that the advance of natural succession in the spring is taking place. Although the time series may be influenced by the PPA bounding areas of a spring, there was a relation between vegetation and rainfall index. The positive correlation between vegetation index and pluvial rainfall of all years also showed that the rainfall can influence the vegetation development. Therefore, analyses based on time series derivatives from remote sensing, related to environmental diagnosis, provided data about use and soil covering, and may contribute to the monitoring of degraded areas, mainly for PPAs surrounding springs.

Palavras-chave: time series, spring, environmental assessment, séries temporais, nascente, diagnóstico ambiental

1. Introdução

A vegetação presente ao longo de recursos hídricos apresenta papel importante na manutenção do equilíbrio ecológico, garantindo a sobrevivência de populações (Ab’Saber et al., 2000). Há zonas ripárias, denominadas de Áreas de Preservação Permanente (APP’s), que devem ser protegidas em um raio de 50 metros a partir do olho d’água da nascente, conforme determina o Código Florestal 12.651/2013. Porém, este não é o cenário atual, já que uma das principais causas da degradação das nascentes são as atividades agrossilvopastoris que, em curto e longo prazo, comprometem a vegetação, solo, água e outros componentes bióticos (Ferreira et al., 2009).

Pinto et al. (2004) classificou as APP’s no entorno de nascentes em preservadas, perturbadas e/ou degradadas, seguindo os critérios de formas de uso do solo, estado de conservação do solo e da vegetação ciliar. Um protocolo de diagnóstico ambiental pode fornecer estas informações e auxiliar nas atividades de monitoramento do processo de restauração das APP’s continuamente, conforme foi realizado por Faria et al. (2012).

No sul de Minas Gerais predominam as pequenas propriedades rurais e a agricultura familiar (Faria et al., 2012), onde aspectos sociais, econômicos e temporais devem ser analisados para a implantação de projetos de restauração ecológica. Associado ao diagnóstico ambiental pode usar informações derivadas de imagens de sensoriamento remoto (SR). Além disso, essas informações são capazes de auxiliar também nas atividades de monitoramento das áreas degradadas.

Há ferramentas disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), como as séries temporais dos índices de vegetação (EVI2) e de chuva (TRMM), obtidas a partir de imagens do sensor remoto orbital MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). A qualidade radiométrica e a moderada resolução espacial das imagens do sensor MODIS são capazes de fornecer dados com precisão geométrica e de alta repetitividade, sendo consideradas excelentes ferramentas para monitoramento de áreas nativas ou antropizadas (Loebmann et al., 2012). Através das séries temporais as mudanças de uso e cobertura da superfície terrestre podem ser analisadas a partir do ano 2000, no âmbito da América do Sul (Freitas et al., 2011).

As informações obtidas através da interpretação das séries temporais associadas ao diagnóstico ambiental podem fornecer resultados relevantes para a análise do processo de restauração das APP's degradadas no entorno de nascentes (Zhang et al., 2013). Cada área com cobertura vegetal nativa ou antropizada possui sua assinatura espectral temporal, gerada com base na porcentagem de cobertura verde, fitofisionomia, estrutura e arquitetura da vegetação (Luiz et al., 2011).

Diante do exposto, os objetivos gerais do trabalho foram: (1) comparar as informações de séries temporais derivadas de imagens de sensoriamento remoto às do diagnóstico ambiental de nascente com diferentes formas de uso de solo; (2) e avaliar a trajetória do processo de restauração ecológica da APP do entorno da nascentes. Partiu-se da premissa de que a regeneração natural é uma prática eficaz no processo de restauração ecológica capaz de desencadear os processos de sucessão natural na vegetação do entorno da nascente.

2. Metodologia

2.1 Caracterização do local

O estudo foi realizado na Fazenda Jaguara, localizado no município de Lavras, Minas Gerais, sob as coordenadas UTM 510036 e 7645815. O clima da região é tipo Cwa de acordo com a classificação Köppen e Geiger, caracterizada por verões chuvosos e invernos secos com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.500mm (Brasil, 1992).

2.2 Diagnóstico ambiental da Área de Preservação Permanente

Em 2005, a Área de Preservação Permanente (APP) do entorno da nascente classificada como pontual foi isolada através do cercamento em um raio de 50 metros. Para a delimitação dessa área foi considerado um ponto a partir do olho d'água, conforme a legislação federal vigente. O modelo de restauração ecológica utilizado foi a condução da regeneração natural.

A APP foi avaliada com base no protocolo adotado por Faria et al. (2012). O protocolo é composto por critérios de avaliação como a identificação do proprietário, caracterização geral da área e aspectos ambientais quanto ao estado de conservação da vegetação ciliar, estado de conservação do solo e suas formas de uso. Para a avaliação dos aspectos ambientais, Faria et al. (2012) atribuíram diferentes pontuações e pesos em função da importância de cada aspecto ambiental, classificando-as conforme Pinto et al. (2004) em: preservada, perturbada ou degradada.

2.3 Análise temporal

Para efeito de comparação de resposta espectral, foi selecionada uma área localizada no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, município de Lavras, Minas Gerais (figura 1). Esta área é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual ("Floresta Estacional Semidecidual"), constituída por vegetação ciliar em estágio avançado de sucessão (Oliveira-Filho e Fluminhan-Filho, 1999).

A análise temporal da “Nascente” (figura 1) foi realizada com o objetivo de avaliar as mudanças dos últimos anos (2003 a 2012), principalmente o sucesso/fracasso do processo de restauração ambiental.

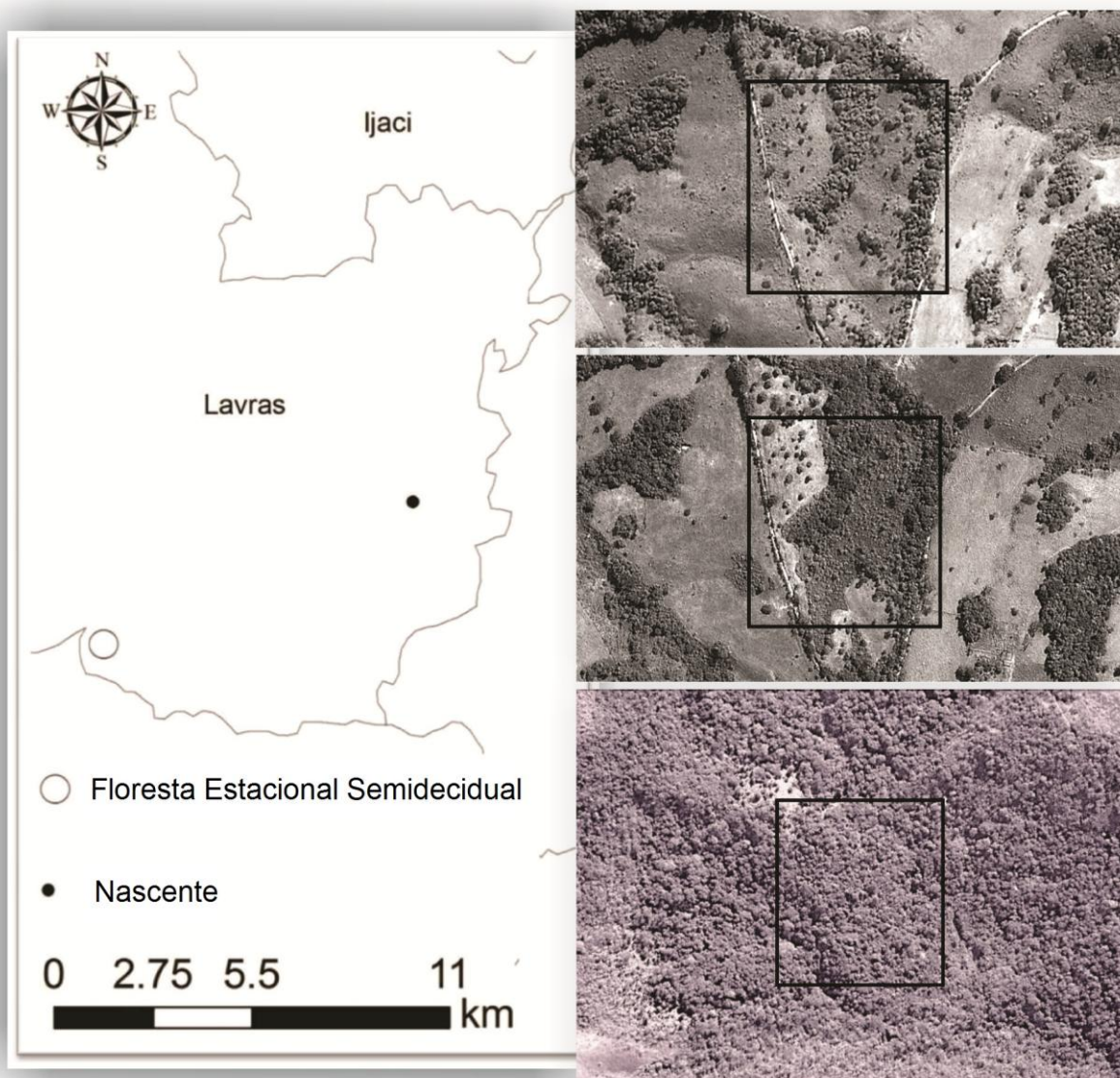


Figura 1: Áreas localizadas no município de Lavras, nas quais constam a delimitação (quadrado) do pixel EVI2 do sensor MODIS-TERRA. Representadas em imagens de altíssima resolução espacial obtidas no Google Earth, foram selecionadas para análise temporal. As imagens superiores representam a “Nascente” nos anos de 2008 e 2014, respectivamente; a imagem inferior representa a área denominada “Floresta Estacional Semidecidual”.

A ferramenta utilizada para análise temporal, criada por Freitas et al. (2011), é uma associação do mundo virtual usando imagens de alta resolução de satélites espaciais fornecidos pelo servidor do *Google Maps* e dados de sensoriamento remoto do sensor MODIS/TERRA (MOD13Q1), através do website <http://www.dsr.inpe.br/laf/series.html>.

O produto MOD13Q1 (coleção 005 – algoritmos validados) fornece um banco de dados que foram reprojeto da projeção sinusoidal para a geográfica (Datum WGS84) com o auxílio do programa Modis Reprojection Tools (MRT). A conversão de HDF (Hierarchical Data Format) para GeoTIFF visa assegurar a portabilidade destes dados entre os softwares

usados (Freitas et al., 2011). Com o uso deste produto é possível detectar mudanças no desenvolvimento vegetativo de cada fisionomia vegetal estudada, associando mudanças às condições biofísicas e fenológicas (Freitas et al., 2011).

O índice de vegetação adotado foi o EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2) do MOD13Q1 com 250 metros de resolução espacial e resolução temporal de 16 dias, que evidencia parâmetros estruturais da vegetação, tais como: índice de área foliar (IAF), quantidade de biomassa verde e fração de radiação fotossinteticamente absorvida (FPAR) (Freitas et al., 2011). Neste estudo, foram usadas as séries temporais de EVI2 com filtro (transformada *wavelet*).

Alem da série EVI2-MODIS, é possível visualizar a precipitação pluviométrica (produto 3B43-V6), através do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). As estimativas da precipitação são medidas mensalmente (milímetros) e é disponibilizada pela NASA e pela própria TRMM. Os dados do TRMM estão na resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ para realizar a análise temporal da precipitação pluvial nas áreas de estudo (Freitas et al., 2011).

Vale ressaltar que o espaço delimitado pelo pixel MODIS (6,25ha) será preenchido pela área “Nascente”, mata ciliar adjacente que acompanha o curso d’água e o pasto, enquanto que a “Floresta Estacional Semidecidual” preencherá o espaço homogeneamente por vegetação nativa densa.

A relação entre os índices de vegetação (EVI2) e chuva (TRMM) para o período de 2003 a 2012 foi analisada pela correlação de Pearson, em nível de significância de 95%. Para a análise estatística foi utilizado o *software Statistica*.

3. Resultados e Discussão

O padrão de resposta espectral da “Nascente” se assemelhou ao da “Floresta Estacional Semidecidual” (figura 2), quando se observaram os picos das séries EVI2/MODIS, com valores superiores a 0,5 em períodos chuvosos. Em contrapartida, em tempos de seca, os valores de EVI2 declinaram entre 0,25 e 0,5 (figura 2). Esses valores assemelham-se ao padrão “vegetação natural herbáceo-arbustiva” descrito por Loebmann et al. (2012). O comportamento espectral da “Nascente” retratou em parte o processo de sucessão natural da sua APP.

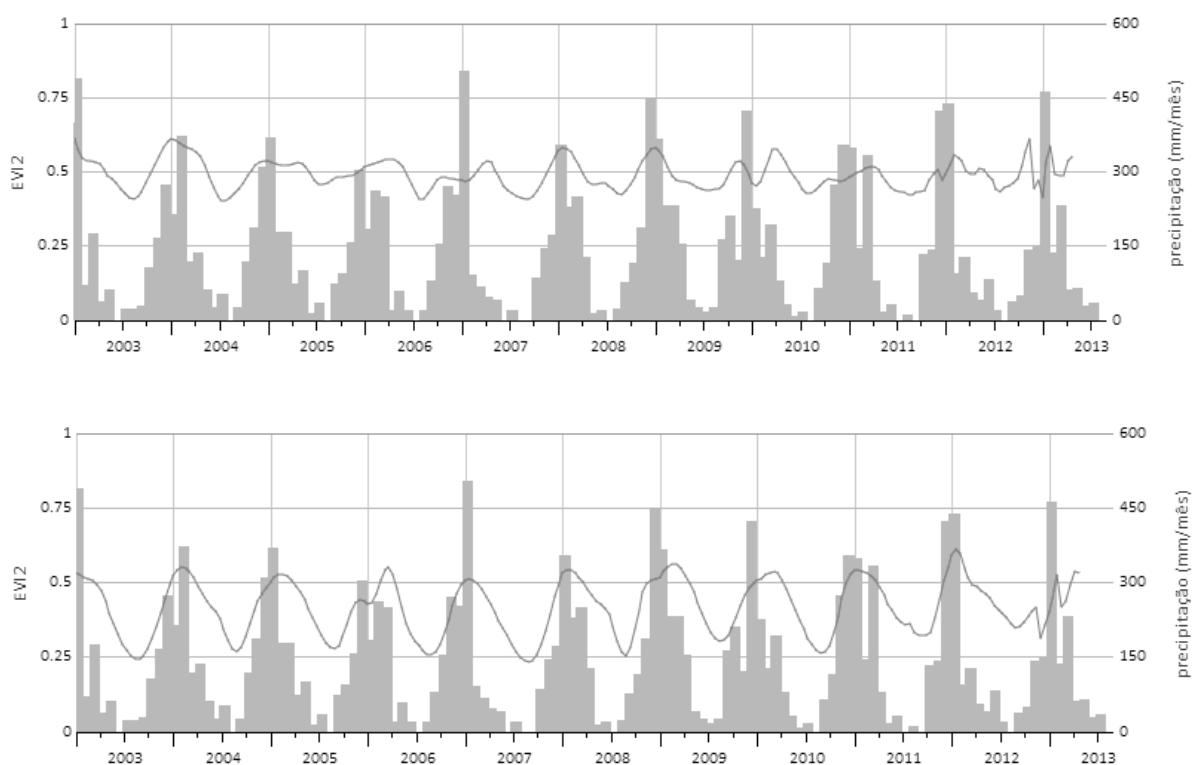


Figura 2: Assinatura temporal do EVI2 ajustado por wavelets da “Floresta Estacional Semidecidual” e “Nascente”, respectivamente. O histograma refere-se à precipitação pluvial nas áreas.

A “Nascente” foi diagnosticada como degradada no ano de 2005, quando apresentava apenas um pequeno fragmento florestal preservado no entorno do olho d’água (figura 1). Transcorridos nove anos, houve progressão do processo de sucessão natural e, atualmente, a APP do entorno dessa nascente encontra-se em estágio médio de sucessão. A vegetação demonstra constituição de diferentes estratos, formando um gradiente de indivíduos arbustivos na periferia e arborescentes que chegam a atingir mais de 8 metros de altura nas proximidades ao olho d’água da nascente.

As diferenças entre as áreas estão no efeito de borda, tamanho e forma do fragmento florestal. O tamanho e a forma do fragmento florestal determinam a dimensão do efeito de borda que liga esta fisionomia florestal a outras não florestais de entorno (Rodrigues et al., 2009) – quanto mais estreito for o fragmento florestal maior será o efeito de borda. Seu efeito inclui mudanças ecológicas e microclimáticas capazes de interferir nos níveis de luz, temperatura, umidade e vento que agem diretamente sob os valores de EVI2, definidos pela disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes (faixas do vermelho e do infravermelho próximo) (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Diferentemente do padrão de resposta espectral da “Nascente”, a “Floresta Estacional Semidecidual”, apresentou ciclos fenológicos mais uniformes, cujos valores de EVI2 variam pouco com a precipitação pluviométrica (figura 2), reflexo de uma vegetação em estágio avançado de sucessão, que apresenta estacionalidade foliar de indivíduos arbóreos dominantes e adaptação à deficiência de água e às quedas de temperatura (Brasil, 1992).

É sabido que fatores climáticos interferem diretamente no desenvolvimento da vegetação, principalmente, em sua fenologia (Ribeiro et al., 2009). Embora as séries temporais possam sofrer influência das áreas circunvizinhas às APP’s das nascentes, há relação entre os índices de vegetação e chuva (Bernardes et al., 2012). Os valores do coeficiente de correlação de Pearson demonstram que as médias da precipitação pluvial são, consideravelmente, coincidentes com os de EVI2 para a “Nascente” para todos os anos (tabela 1) (valor-p < 0,05).

Em contrapartida, isso não foi observado para a “Floresta Estacional Semidecidual”, a qual apresentou correlação positiva entre os índices EVI2 e TRMM (precipitação) para os anos 2003, 2004, 2005, 2008, 2009 e 2011 (tabela 1). Tal resultado pode ser explicado através da adaptação desta fitofisionomia às épocas com distribuição escassa de chuvas (IBGE, 1992, Rodrigues et al., 2009), fator que interferiu pouco no comportamento fenológico do EVI2.

Tabela 1: Análise estatística usando coeficiente de correlação de Pearson para os índices EVI2 e TRMM (precipitação).

		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nascente	r	0,65	0,77	0,69	0,63	0,63	0,76	0,65;	0,64	0,79	0,62
	valor-p	0,02*	0,00*	0,01*	0,03*	0,03*	0,00*	0,02*	0,02*	0,00*	0,03*
Floresta	r	0,81	0,75	0,60	0,42	0,24	0,91	0,75	0,11	0,60	0,23
	valor-p	0,00*	0,00*	0,04*	0,17	0,45	0,00*	0,00*	0,75	0,04*	0,46

* significativo valor-p<0,05

Por fim, em campo, foi observado que padrão de resposta espectral da “Nascente” se aproximou ao da “Floresta Estacional Semidecidual” em períodos chuvosos. A possível justificativa para os altos valores de EVI2 nesta época seria o grande número de espécies pioneiras encontrada na área e sua atual estrutura vegetacional, que reflete em parte o avanço da sucessão natural desta área.

Vale ressaltar que o padrão de resposta espectral da “Nascente” sofreu influências de fisionomias florestais (mata ciliar adjacente ao curso d’água) e não florestais circunvizinhas também presentes no pixel MODIS, porém ainda é possível associar as informações do diagnóstico ambiental *in situ* com aquelas das séries temporais MODIS a fim de monitoramento de processo de restauração de áreas degradadas.

5. Conclusão

Através das séries temporais, as mudanças de uso e cobertura da superfície terrestre podem ser analisadas e sua associação ao diagnóstico ambiental *in situ* mostrou-se um método eficaz na avaliação do processo de restauração da APP’s degradada.

6. Referências

Ab’Saber, A. N. (2000) O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho, H. F. (Eds.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP. p.15-25.

Bernardes, T.; Moreira, M.A.; Adami, M.; Giarolla, A.; Rudorff, B.F.T. (2012) Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS Remote Sensing Imagery. **Remote Sensing**. v. 4, p. 2492-2509. doi:10.3390/rs4092492

Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas 1961- 1990**. Brasília, 1992, 84 p.

Brasil, I. B. G. E. Manual Técnico da Vegetação Brasileira (Manuais Técnicos em Geociências no 1). **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, Rio de Janeiro, Brasil, 1992, 74p.

Faria, R. A. V. B.; Botelho, S. A., Souza, L. M. (2012), O diagnóstico ambiental de áreas do entorno de 51 nascentes localizadas no município de Lavras, MG. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 648-661.

Ferreira, M.J.; Pereira, I.M. Botelho, S. A.; Mello, C.R. (2009) Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 109-129.

Freitas, R.M.; Arai, E.; Adami, M.; Souza, A.F.; Sato, F.Y.; Shimabukuro, Y.E.; Rosa, R.R.; Anderson, L.O.; Rudorff, B.F.T. (2011). Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p. 57-64.

Loebmann, D. G. S. W.; Maçorano, R. P.; Silva, G. B. S.; Vicente, L. E.; Victoria, D. C. (2012) Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial. Campinas, SP: **Embrapa Monitoramento por Satélite**. 24 p.

Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. (2011) Proposta de representação gráfica sintética da resposta espectral anual por município: o caso do EVI2 do MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15, 2011, Curitiba, PR, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2011> . Acesso em: 13 de maio de 2014.

Oliveira-Filho, T. A, e Fluminhan-Filho, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, **Revista Cerne**, v. 5, n.2, p. 51-64, 1999.

Pinto, L. V. A.; Botelho, S. A.; Davide, A. C.; Ferreira, E. (2004) Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.65, p. 197-206.

Ponzoni, F.J. e Shimabukuro, Y.E. (2007) **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, p. 5-128.

Ribeiro, C. A. D.; Abrahão, C. P.; Xavier, A. C. Correlações entre variáveis climáticas e séries multitemporais EVI em floresta natural e em cultivo agrícola. **Revista Cerne**. v. 15, n. 2, p. 196-204.

Rodrigues, R.R.; Brancalion, P. H .S.; Inzerhagen, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**. São Paulo. 2009. 260p.

Zhang, M. Q.; Guo, H. Q.; Xie, X.; Zhang, T.T.; Ouyang, Z.T.; Zhao, B. (2013) Identification of Land-Cover Characteristics Using MODIS Time Series Data: An Application in the Yangtze River Estuary. **Plos One**. v. 8, n. 2, p. 1-11.