

Análise espacial de Áreas de Preservação Permanente utilizando semivariogramas

Rafaela Guimarães Silva¹
Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira¹
Marcelo Carvalho Alves¹
Regiane Aparecida Vilas Bôas¹
Eduardo van den Berg¹

¹ Universidade Federal de Lavras
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras – MG, Brasil
 {magrafaelaguimaraes}@yahoo.com.br
 {dudalavras}@hotmail.com
 {marcelocarvalhoalves, vilasboasfaria, eduardo.lavras}@gmail.com

Abstract. Semivariograms can be used to understand the spatial distribution of the different targets obtained from sensing images in order to broaden the understanding of the landscape configuration, whether of anthropic or natural origin. These can be constructed based on spectral indices, which respond to energy exchanges of the soil-plant-atmosphere system, such as the Leaf Area Index (LAI). Thus, we proposed the application of remote sensing and Geostatistics techniques with the objective of characterizing the APPs through the IAF and based on it, to identify how the parameters of the semivariance respond to the different terrestrial targets. The environmental evaluation carried out in the field corroborated those resulting from the classification of images, which in turn assisted in the identification of the features and made it possible to compare them with the LAI values for each PPA. The averages of the LAI values differed little among the APPs, and the highest values were found for APP 3, which presented denser vegetation with high vegetative vigor and consequently higher plant productivity. The homogeneity of the canopy also gave high levels of sill, characterized by native and planted forests. Therefore, the application the remote sensing data for the spatial analysis types proposed in this work can provide important information about the vegetation in the studied areas where the semivariogram parameters can be used as a characteristic extraction methodology.

Palavras-chave: LAI, Geostatistics, Spatial Patterns, IAF, Geoestatística, Padrões espaciais.

1. Introdução

Análises e monitoramentos ambientais, por meio de imagens de sensoriamento remoto, tem sido realizados para entender os processos de interação entre superfície terrestre e a atmosfera, uma vez que o balanço de energia é fortemente controlado pela presença de vegetação (Sheffield et al., 2009, Ji et al., 2014, Acerbi et al., 2015, Hilker et al., 2015). Os valores de radiância registrados pelo sensor no satélite, após correção geométrica e atmosférica, podem derivar assinaturas de reflectância, a fim de quantificar as características biofísicas da cobertura vegetal (Ji et al., 2014).

A produtividade vegetal é uma importante variável em diversos estudos de clima, hidrologia e ecologia (Myneni et al., 2002). Dentre as métricas que possibilitam detectar a produtividade vegetal está o Índice de Área Foliar (IAF), que é um indicador da biomassa contida em cada pixel da imagem estudada (Jensen, 2009).

Conjuntamente a estes tipos de avaliação, estão sendo utilizadas técnicas geoestatísticas a fim de compreender o comportamento dos ecossistemas naturais, contribuindo para tomada de decisões (Acerbi et al., 2015).

Como exemplos da integração destas áreas, existem estudos (Zawadzki et al. 2005; Constantini et al., 2012; Acerbi et al., 2015) que usaram os semivariogramas na determinação de parâmetros biofísicos e no auxílio da classificação da cobertura da terra. Eles podem ser utilizados para entender a distribuição espacial dos diferentes alvos obtidos de imagens de sensoriamento remoto como a diversidade de líquens (Peckham et al. 2009) e musgos (Abay

et al., 2015), tipos de culturas agrícolas (Garrigues et al, 2008), fitofisionomias (Durrieu et al., 2005), entre outros objetos a fim de ampliar o entendimento da composição e a configuração da paisagem, seja de origem antrópica ou natural.

A aplicação dessas técnicas ainda pode ser feita em pequenas áreas que são consideradas vulneráveis, como as Áreas de Preservação Permanente (APP), objetos deste estudo. As APP's no entorno de nascentes e corpos d'água atuam como protetoras de cabeceiras garantindo a manutenção do equilíbrio ecológico (Faria et al., 2012), porém não são protegidas como determina a legislação federal (Lei 12.651/2012), em que num raio de 50 metros a partir do olho d'água principal, toda a área no entorno da nascente deve ser cercada e não utilizada sem autorização dos órgãos ambientais responsáveis. A exploração dessas áreas ocorrem principalmente em pequenas propriedades rurais que são predominantes na região sul de Minas Gerais, onde a pecuária é uma das principais atividades exercida pelos produtores.

Então, existe a necessidade de estudos que contribuam para o monitoramento de APP's com o objetivo de controlar os avanços de atividades agrossilvopastoris que são responsáveis pela degradação das mesmas. Diante do exposto, este trabalho propõe-se a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e Geoestatística com o objetivo de caracterizar as APP's por meio do IAF, e com base no mesmo identificar como os parâmetros da semivariância respondem aos diferentes alvos terrestres.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em cinco áreas rurais localizadas nos municípios de Lavras e Nazareno, no estado de Minas Gerais, pertencentes à bacia do Alto Rio Grande, entre as coordenadas 21°14'25" S, 44°31'16" W e 21°17'22" S 44°54' 09" W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre Cwa e Cwb, caracterizados por clima temperado úmido com inverno seco e verão quente a moderadamente quente, respectivamente (Sá Júnior et al., 2012).

Cada área de estudo é constituída por remanescentes florestais caracterizados como Floresta Estacional Semidecidual Montana (Veloso et al., 1991) no entorno da uma nascente perene. Nas áreas circunvizinhas às nascentes, há formações não florestais, como pastagem e cultura agrícola.

Foram utilizadas imagens RapidEye ortorretificadas de agosto de 2009, com resolução radiométrica de 12 bits e resolução espacial de 5 metros. A correção atmosférica das imagens foi realizada com o pacote ATCOR 2 (Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery), módulo do programa ERDAS IMAGINE® 2011. Utilizou-se o código de transferência radiativa MODTRAN-4 (Moderate Resolution Atmospheric Transmittance Algorithm) para processar as imagens, com base nas informações de data de aquisição da imagem, número de bandas, arquivo de calibração do sensor, ângulo zenital solar, ângulo azimutal do satélite, ângulo de visada do satélite, modelo atmosférico, elevação média da área e visibilidade da cena.

2.2 Caracterização das Áreas de Preservação Permanente

Para a caracterização das Áreas de Preservação Permanente ao redor das nascentes, foram adotados os critérios de estado de conservação da SER (2004) e parâmetros descritos por Rodrigues et al. (2009).

Entre 2004 e 2005, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) do entorno das cinco foram cercadas em um raio de 50 metros de acordo com a legislação federal vigente. O modelo de restauração florestal utilizado foi a regeneração artificial, com o plantio de mudas de espécies nativas, com o espaçamento variando entre 5 x 5 m e 8 x 8 m, de acordo com o nível de perturbação de cada APP.

Os acompanhamentos do processo de restauração das APPs, foi realizado mediante avaliações dos aspectos florísticos, edáficos e hídricos que ocorreram nos anos da implantação do projeto e 9 anos depois (Faria et al., 2012; Silva et al., 2016).

O principal critério de seleção das Áreas de Preservação Permanente para este estudo o grau de perturbação. As APPs foram selecionadas e classificadas com base nos resultados do diagnóstico ambiental de Silva et al. (2016): (a) Preservadas: há pelo menos 50 metros de raio de vegetação nativa ao redor do olho d'água em nascentes; (b) Perturbadas: não há 50 metros de raio de vegetação nativa ao redor do olho d'água em nascentes, mas há bom estado de conservação, podendo ser ocupadas por pastagem e/ou agricultura; e (c) Degradadas: quando há alto grau de perturbação, presença de pouca vegetação, solo compactado, presença de gado, com erosões e voçorocas num raio de 50 metros ao redor do olho d'água.

O protocolo de avaliação ambiental era composto por critérios de avaliação como caracterização geral da área e aspectos ambientais quanto ao estado de conservação da vegetação ripária, estado de conservação do solo e suas formas de uso. Para a avaliação dos aspectos ambientais foram atribuídos diferentes pontuações e pesos em função da importância de cada aspecto ambiental (Silva et al., 2016).

Para o mapeamento da cobertura e uso da terra, com base nas imagens RapidEye (Figura 2), foram mapeadas as classes floresta e pastagem através do algoritmo Máxima Verossimilhança, que efetua a classificação dos objetos em nível de pixel (Crosta, 1993).

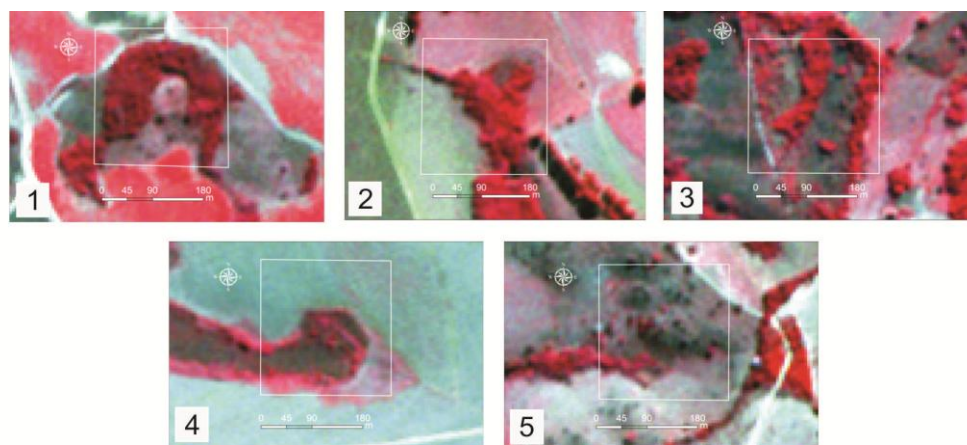


Figura 1: Imagens RapidEye ilustrando as APP's e suas circunvizinhanças em composição falsa cor (RGB 543), que contrasta de vermelho as formações florestais e culturas. A regeneração natural presente na APP3 não foi realçada nestas imagens.

O método utiliza parâmetros estatísticos de cada classe presente na área, ponderando as distâncias médias. Para esta classificação é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (Crosta, 1993). O índice espectral IAF foi gerado para auxiliar a análise através da análise exploratória dos dados.

2.3 Parâmetros biofísicos

Um dos produtos da correção atmosférica é o IAF, que é utilizado para avaliar a produtividade vegetal, a estimativa da evapotranspiração e das emissões biogênicas (González-Sanpedro et al., 2008). A partir da equação inversa do IAF é possível analisar essa relação da seguinte forma:

$$IV = a_0 - a_1 \exp(-a_2 \times IAF) \quad (1)$$

sendo, IV é o índice de vegetação, a_0 é o deslocamento ou valor de início de IV (se $a_1 = 0$), a_1 o coeficiente de inclinação e a_2 é o fator de crescimento exponencial.

Os resultados deste parâmetro biofísico estão numa escala de 10.000, sendo que os valores de IAF varia entre 0 e 10 e serão apresentados em uma faixa de 0 a 10.000.

2.4 Semivariogramas

A análise da estrutura de dependência espacial dos dados foi realizada através dos semivariogramas, que possibilitou a avaliação do padrão de dependência espacial dos pixels de cada índice, sendo considerado cada pixel como uma função aleatória $Z(x)$, onde x indica a posição espacial (Alves, 2012).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que $\gamma(h)$ é o estimador da semivariância para N dados pares, separados por uma distância (h); $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$ são os valores da variável regionalizada z das localizações i e $i+h$.

As funções de semivariância são caracterizadas por três parâmetros: Sill, Range e Nugget (Isaaks e Srivastava, 1989; Yamamoto e Landim, 2013). O Sill, que significa patamar, é o platô alcançado pelos valores de semivariância e indica a quantidade de variação espacial dos dados. O alcance (Range) é a distância em que o semivariograma atinge o patamar, indicando o quão os pontos estão correlacionados. O Nugget (efeito pepita) é a combinação de erros de amostragem e variações em pequenas escalas que ocorrem nas escalas menores que a menor distância entre os pontos amostrados.

O ajuste dos semivariogramas teóricos foi realizado através do método dos mínimos quadrados (Cressie, 1985), baseado no algoritmo de Olea et al. (1996). O modelo adotado foi o esférico, que melhor se ajustou aos dados.

Para a análise da dependência espacial, a classificação de Cambardella et al. (1994) foi utilizada: o valor do efeito pepita menor que 25% do patamar é considerado que o semivariograma tem forte dependência espacial, moderada dependência quando o valor estiver entre 25 e 75% e de fraca dependência quando maior de 75%.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização das Áreas de Preservação Permanente

A avaliação ambiental realizada em campo corrobora com aqueles resultantes da classificação de imagens.

As APPs 1 e 3 foram as que exibiram maior cobertura vegetal nativa. A APP 3, apesar de ser classificada como perturbada, tem uma estrutura florestal diferente da APP1, apresentando dossel fechado com presença de árvores de maior porte, enquanto a APP 3 apresenta maior presença de regeneração natural em sua área com árvores e arbustos de diferentes tamanhos,

constituindo uma capoeira em diferentes estádios em desenvolvimento (Faria et al., 2012; Silva et al., 2016).

A APP 2 também foi classificada como perturbada, parte de sua área é constituída por pastagem, apresentando uma menor área coberta por vegetação que as APPs 1 e 3. Esta parte vegetada é constituída por estratos não contínuos com indivíduos de diversas alturas formando, também, uma capoeira.

As APPs 4 e 5, caracterizadas por vegetação nativa rala, com predominância de arbustos, herbáceas e árvores esparsas, foram classificadas como degradadas. Isso também ocorreu em função das diferentes formas de uso do solo, que variam de pastagens mal manejadas a culturas agrícolas.

As médias dos valores de IAF diferenciaram pouco entre as APP's, sendo que os maiores valores foram encontrados para a APP 3 (figura 3), que apresenta vegetação mais densa com alto vigor e conseqüentemente maior produtividade vegetal (Huete, 1988).

Quando se observou a figura 4, foi possível notar que as regiões que apresentam valores altos de IAF correspondiam às de áreas de culturas agrícolas, onde a produtividade vegetal também é alta.

Diferente do esperado, valores baixos de IAF para a APP1, classificada como preservada, são justificados pela presença de água na região que interfere nos valores de reflectância (Huete, 1988).

Com relação ao IAF, observou-se pequenas relações deste com as classes de uso do solo, uma vez que pequenas variações não são captadas pelo algoritmo de classificação e por isso são agrupados em uma única classe, sendo que não foi abrangido outras classes além de pastagem, cultura agrícola e floresta.

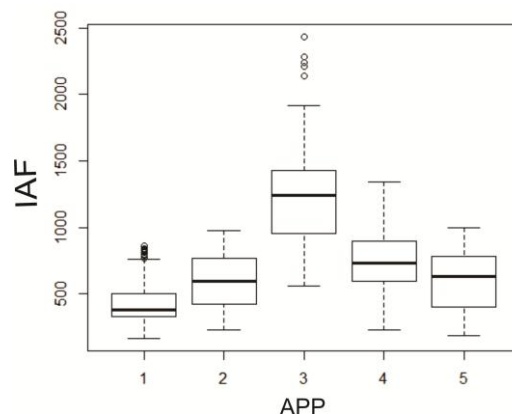


Figura 3: Gráfico boxplot para o índice IAF ilustrando as médias de cada APP

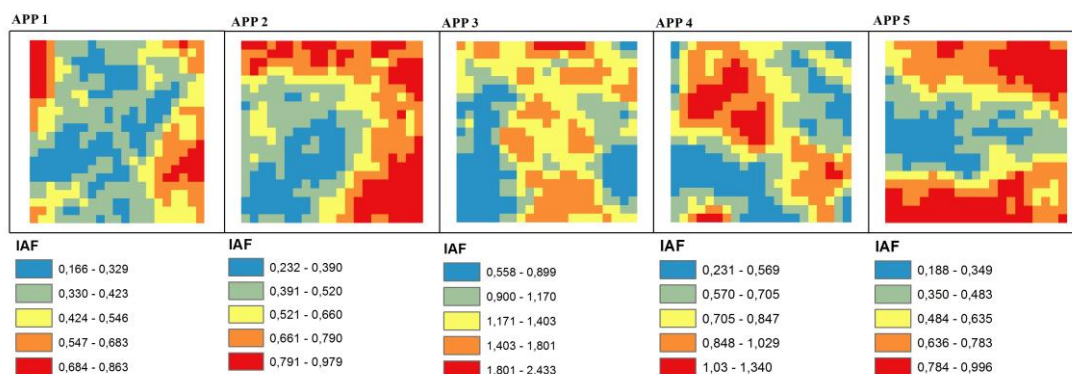


Figura 4: Mapeamento do Índice Área Foliar (IAF) de cada APP.

3.3 Análise das Áreas de Preservação Permanente através dos parâmetros dos semivariogramas derivado do IAF

A tabela 1 apresenta os parâmetros obtidos dos semivariogramas derivados do IAF para cada APP. Todos os semivariogramas ajustados ao modelo esférico apresentaram forte dependência espacial, apresentando o valor do efeito pepita menor que 25% do patamar (figura 5) (Cambardella et al., 1994).

Tabela 1 – Parâmetros derivados do Índice de Área Foliar das APP's.

Índice	APP	Patamar (σ^2)	Alcance (ϕ)	Efeito pepita (τ^2)	GDE (%)
IAF	1	24.208	75,60	433	1,76
	2	55.476	104,74	0	0,00
	3	102.822	57,65	9.199	8,21
	4	53.184	53,60	0	0,00
	5	54.893	63,57	0	0,00

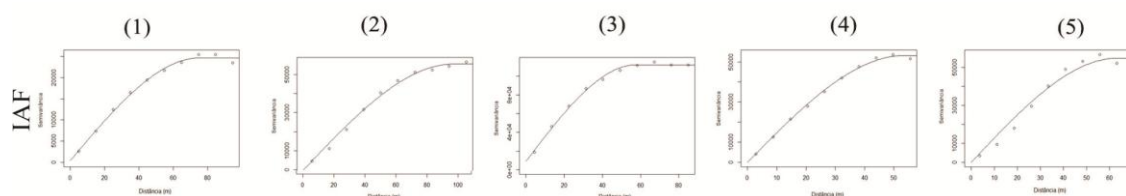


Figura 5: Semivariogramas do IAF de cada APP ajustados ao modelo esférico.

Os parâmetros patamar e alcance expressaram a heterogeneidade espacial da área de estudo, com valores do patamar variaram entre 24.208 - 102.822 e valores do alcance variaram entre 53,60 - 104,74m para IAF. Segundo Garrigues et al. (2006), a alta variabilidade do patamar derivado de imagens de sensoriamento remoto é explicada pelo tipo de uso e cobertura do solo, sendo que as áreas cobertas por vegetação nativa ou florestas plantadas apresentam valores maiores que áreas agrícolas.

Para o índice IAF, o maior valor de patamar foi encontrado na APP 3 que possui grande área de coberta por vegetação nativa. Já o maior valor de alcance é da APP 2, indicando maior variabilidade quanto a produtividade vegetal que pode estar ligada a estrutura da sua vegetação que é semelhante a uma capoeira, com diferentes estádios de sucessão (SILVA et al., 2016).

Os resultados do IAF são semelhantes aqueles obtidos por Colombo et al. (2003). Eles usaram semivariogramas esféricos para medir IAF de floresta e culturas agrícolas, por meio de imagens de satélite IKONOS de resolução espacial de 1 m, e observaram que os semivariogramas de florestas apresentaram patamar maior que as plantações, devido a maior homogeneidade destas áreas e a distribuição da plantação em linhas, o que configura um espaço entre as copas das culturas. Portanto, a área que apresenta área mais homogênea e com vegetação mais densa é a APP 3. Em contrapartida, não foi encontrado resultado semelhante para a APP1, classificada como preservada, que apresentou patamar menor. Tal resposta pode estar relacionada à mesma justificativa obtida para APP2, em que a estrutura da vegetação é composta por diferentes estádios de sucessão e conseqüentemente diferentes níveis de vigor vegetativo (Colombo et al., 2003).

Esses padrões também foram observados por Balaguer et al. (2010) ao estudar a semivariância utilizando a classificação de imagens de alta resolução (Digital Mapping Camera - 0,5 m), distinguindo-as com base na informação espacial de cada fisionomia e cultura.

Portanto, utilizar os dados de sensoriamento remoto realizando análises espaciais podem fornecer informações importantes acerca da vegetação nas áreas estudadas (Sheffield et al., 2009), onde os parâmetros do semivariograma podem ser utilizados como metodologia de extração de características (Cohen et al., 1990, Durrieu et al., 2005).

4. Conclusões

Por meio de semivariogramas esféricos, foi possível observar a forte dependência espacial do Índice de Área Foliar, derivado das imagens RapidEye. A análise espacial das APPs possibilitou concluir que as variações do índice espectral ilustraram o padrão espacial das áreas estudadas e que os semivariogramas ajustados responderam a esses padrões. Assim como os resultados dos parâmetros da semivariância possibilitou a comparação entre o IAF com as classes presentes nas APPs, sendo que a classificação deve ser validada com dados de campo com o propósito de se obter maiores informações a respeito da vegetação e demais usos alternativos do solo.

Por fim, a integração os dados de sensoriamento remoto à análise espacial da vegetação forneceram informações importantes acerca das APPs e circunvizinhança, servindo como base para análise de padrões espaciais de objetos.

5. Referências

- Alves, M. C. **Signature of pest-organisms in Mato Grosso agroecosystems using worldview-2 imagery**. Cuiabá: UFMT, 2012. 24 p.
- Asner, G.P., Scurlock, J.M.O., Hicke, J.A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, p. 191-205, 2003.
- Balaguer, A. et al. Definition of a comprehensive set of texture semivariogram features and their evaluation for object-oriented image classification. **Computers & Geosciences**, New York, v. 36, n. 2, p. 231-240, Feb. 2010.
- Cambardella, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 58, n. 6, p. 1501-1511, 1994. Disponível em: <<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/18168/1/IND20518015.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2014.
- Cohen, W. B.; SPIES, T. A.; BRADSHAW, G. A. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 34, n. 3, p. 167-178, Dec. 1990.
- Colombo, R. et al. Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 86, n. 1, p. 120-131, June 2003.
- Cressie, N. Fitting variogram models by weighted least squares. **Journal of the International Association for Mathematical Geology**, New York, v. 17, n. 5, p. 563-586, July 1985.
- Crosta, A. P. (1993) **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas, SP, UNICAMP, 170 p.
- Durrieu, M.; Ruiz, L. A.; Balaguer, A. Analysis of geostatistical parameters for texture classification of satellite images. In: EUROPEAN ASSOCIATION OF REMOTE SENSING LABORATORIES SYMPOSIUM: GLOBAL DEVELOPMENTS IN ENVIRONMENTAL EARTH OBSERVATION FROM SPACE, 25., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: EARS, 2005. p. 11-18.

Faria, R. A. V. B.; Botelho, S. A.; Souza, L. M. 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, nov. 2012.

Geosystems. (2011) **ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011**: haze reduction, atmospheric and topographic correction. Berlin: Germering, 226 p.

González-Sanpedro, M. C. et al. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 3, p. 810-824, 2008.

Huete, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.

Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

Ji, L. et al. Geostatistical estimation of signal-to-noise ratios for spectral vegetation indices. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 96, p. 20-27, Oct. 2014.

Myneni, R. B. et al. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, p. 214-231, Feb. 2002.

Olea, R. A.; Jian, X.; Yu, Y. Semivariogram modeling by weighted least squares. **Computers & Geosciences**, New York, v. 22, n. 4, p. 387-397, May 1996.

Richter, R. **Atmospheric correction algorithm for flat terrain**: model ATCOR2. Wessling: Geosystems, 2000. 208 p.

Rodrigues, R. R.; Brancalion, P. H. S.; Isernhagen, I. (Org.). **Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 260 p.

Sá Júnior, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlin, v. 108, p. 1-7, Apr. 2012.

Silva, R.G.; Alves, M.C.; Faria, R.A.V.B, Carvalho, L.M.T., Botelho, S.A. Ecological Restoration Indicators applied to Permanent Preservation Areas surrounding the springs. **Aust. J. Basic & Appl. Sci.**, v.10, n.9, p.132-139, 2016 .

Sheffield, K. J. Et al. Linking biological survey information to remote sensing datasets: a case study. In: JONES, S.; REINKE, K. (Ed.). **Innovations in remote sensing and photogrammetry**. Berlin: Springer, 2009. p. 51-62.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.

Yamamoto, J. K.; Lamdim, P. M, B. (2013) **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos. 215p.

Zawadzki, J. Et Al. Applying geostatistics for investigations of forest ecosystems using remote sensing imagery. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 39, n. 4, p. 599-618, Nov. 2005.