

Relação entre variáveis de fertilidade do solo e o tipo de vegetação no Estado de São Paulo, utilizando técnicas de geoestatística e SIG.

Tiago Brochado Pires

Introdução:

Estudos voltados para a interpretação da variabilidade espacial dos atributos do solo ocorrem desde o início do século passado e continuam, até os dias de hoje, em diversos países. A fertilidade pode ser estudada pelo conjunto destes atributos, e sua compreensão pode auxiliar tanto no aumento de produtividade de culturas como no entendimento da paisagem natural. A diversidade de solos e de cobertura vegetal é muito complexa, o delineamento entre esses dois elementos se aproxima muito, o que levou à busca por atributos que explicassem ou indicassem prováveis relações entre os componentes solo e vegetação.

Desta maneira, o estudo da fertilidade do solo é um auxílio importante de ferramenta para o desenvolvimento de projetos relacionados a métodos de interpolação e metodologias estatísticas para validar a correlação entre as características referentes aos solos (potencial hidrogeniônico, capacidade de troca de cátions, soma de bases, saturação por bases e nutrientes minerais do solo) e a intersecção dos planos de informação, como o tipo de vegetação. (RONQUIM, 2010)

Além disso, o conhecimento do relacionamento entre solo e vegetação é essencial ao manejo de áreas de preservação. Já que o solo desempenha papel fundamental entre os fatores que interferem na formação e no entendimento da paisagem, ao fornecer nutrientes para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas, ser suporte mecânico e ajudar a modelar o relevo.

Os estudos que relacionam propriedades do solo e vegetação são pouco numerosos no país, porém dos trabalhos revisados confirmam a relação da fertilidade ou da toxidez de elementos do solo com a cobertura vegetal (Lima *et al.*, 2003; Martins *ET al.*, 2003; Torres *et al.*, 1997). Com isso, pesquisas que possam aprimorar mais estes estudos, espacializando esta relação, são de grande valia, pois estes estudos podem auxiliar na manutenção e aproveitamento da biodiversidade de ecossistemas, cujo quais vêm sofrendo pressões antrópicas que resultam na sua fragmentação e alteração.

O uso de técnicas de geoestatística se faz necessário, uma vez que a análise de dados obtidos em condições de campo tem apresentado dificuldades nas diversas áreas

da ciência, devido à variabilidade espacial apresentada. Com o avanço das técnicas de geoprocessamento e do conhecimento da geoestatística facilitou a interpretação de várias feições em uma escala maior, com maior agilidade no auxílio da interpretação dos resultados e na tomada de decisão. (BUENO, 2001)

A geoestatística, baseada na teoria de variáveis regionalizadas, em que o valor de uma dada variável em um ponto do campo depende de sua localização e faz uso da análise exploratória dos dados para modelagem de semivariogramas, ajustes de modelos teóricos e de interpolações, como a Krigagem. A Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, ao utilizar o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações.

Para isso, a krigagem utiliza funções matemáticas para atribuir pesos maiores para poções mais próximas aos pontos amostrais, criando novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados. (JAKOB, 2002)

Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar a relação espacial entre o tipo de vegetação, mata atlântica ou cerrado, com alguns atributos relacionados à fertilidade do solo para o Estado de São Paulo. Para tanto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e krigagem na espacialização dos atributos dos solos e na análise de sua relação espacial com a vegetação.

Materiais e Métodos:

A área de estudo, o Estado de São Paulo, localizado entre as coordenadas extremo norte (19° 46' 45" S, 50° 28' 17" W), extremo sul (25° 18' 43" S, 48° 05' 56" W), extremo leste (22° 40' 40" S, 44° 09' 38" W) e extremo oeste (22° 36' 35" S, 53° 06' 35" W), é formado, basicamente, de uma planície litorânea estreita, limitada pela serra do Mar, e de planaltos e depressões no resto do território. Predomina o clima tropical atlântico, na região central do território paulista, e tropical de altitude, nas regiões mais altas, como na Serra da Mantiqueira e Serra do Mar.

O Estado de São Paulo apresenta pequenas regiões de mangues no litoral, trechos preservados de Mata Atlântica na Serra do Mar e floresta tropical no resto do território. Em comparação às florestas equatoriais, as tropicais possuem menor diversidade de espécies vegetais, árvores de menor porte e, claro, espécies diferentes. As florestas tropicais localizam-se na faixa intertropical litorânea. A vegetação de São Paulo é muito diversificada, estando presente no Estado, uma boa representação dos biomas do Brasil.

Os dados dos pontos de coleta são provenientes do projeto RADAM Brasil, totalizando em 96 pontos de coletas georeferenciados. Tais pontos seguem a metodologia da Embrapa, que cada ponto é a observação de um perfil de solo, e os organiza em um banco de dados com informações contendo a indicação espacial relacionada com sua localização, com as coordenadas geográficas, e de dados alfanuméricos das características físicas e químicas.

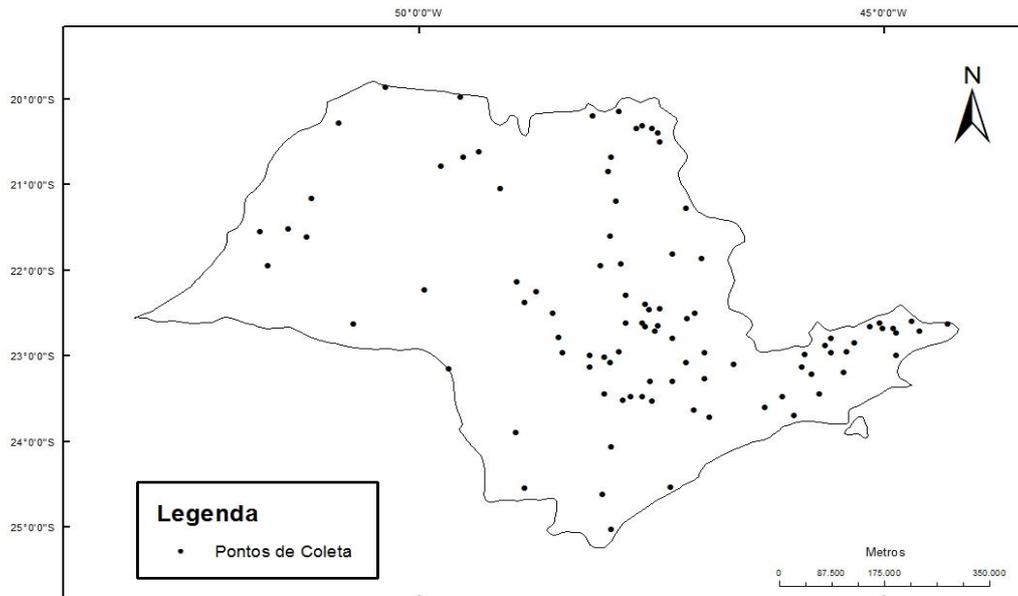


Figura 01: Mapa dos pontos de coleta do projeto RADAM Brasil. Fonte: RADAM Brasil.

Para analisar a variabilidade espacial, usou-se a geoestatística, por meio da análise de semivariogramas, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas. As variáveis utilizadas para análise de correlação linear foram o pH, Soma de Bases e percentagem de Alumínio.

Os dados da vegetação utilizados foram obtidos juntos ao banco de dados do Ministério do Meio Ambiente e foram agrupadas duas grandes classes de vegetação; a vegetação típica do cerrado, que inclui as vegetações do tipo campo cerrado, cerradão, campo úmido e campo sujo, e a vegetação típica da Mata Atlântica: floresta ripária e floresta estacional semidecídua. (COUTINHO, 1978)

Resultados e discussão:

Primeiramente, os resultados obtidos pela estatística descritiva de alguns indicadores de fertilidade do solo são apresentados nas tabelas a seguir:

pH

Informação	Valor
Mínimo	0
1º Quartil	4,6
Média	5,16
Mediana	5
3º Quartil	5,7
Máximo	8,1
Soma	489,9
Desvio Padrão da Média	0,10
Desvio Padrão	0,99
Variância	0,97
Curtose	7,02
Amplitude	8,1

Soma de Bases

Informação	Valor
Mínimo	0
1º Quartil	0,94
Média	4,93
Mediana	2,92
3º Quartil	6,02
Máximo	32,37
Soma	468,13
Desvio Padrão da Média	0,66
Desvio Padrão	6,47
Variância	41,89
Curtose	6,30
Amplitude	32,37

Alumínio

Informação	Valor
Mínimo	0
1º Quartil	0
Média	16,63
Mediana	0
3º Quartil	25,17
Máximo	95,48
Soma	1579,78
Desvio Padrão da Média	2,92
Desvio Padrão	28,44
Variância	809,01
Curtose	0,60
Amplitude	95,48

Tabela 01: Valores das estatísticas descritivas para o atributo pH, soma de bases e Al.

Os resultados indicam que, majoritariamente, o Estado de São Paulo possui valores de Ph com média de 5,16, que de acordo com a metodologia da Embrapa (Tabela 02), indicam uma acidez média. Já os valores de soma de bases, para o Estado, a média Fo de 4,93 e de alumínio de 16,33. Podemos notar também, através do comparativo entre os três atributos foi que o Ph é que possui o menor valor de desvio padrão, em 0,99, já para os demais esse desvio padrão é bem elevado.

Acidez	pH em solução de CaCl ₂
Acidez Muito alta	< 4,3
Acidez Alta	4,4 – 5,0
Acidez Média	5,1 – 5,5
Acidez Baixa	5,6 – 6,0
Acidez Muito baixa	6,1 – 7,0
Neutro	7,0
Alcalino	> 7,0

Tabela 02: Valores de acidez do solo de acordo com o pH. **Fonte:** Embrapa.

De acordo com os dados descritivos, a pesquisa seguiu com a aplicação da análise exploratória dos dados. No entanto, os atributos Soma de Bases e Taxa de Alumínio não apresentaram dependência espacial.

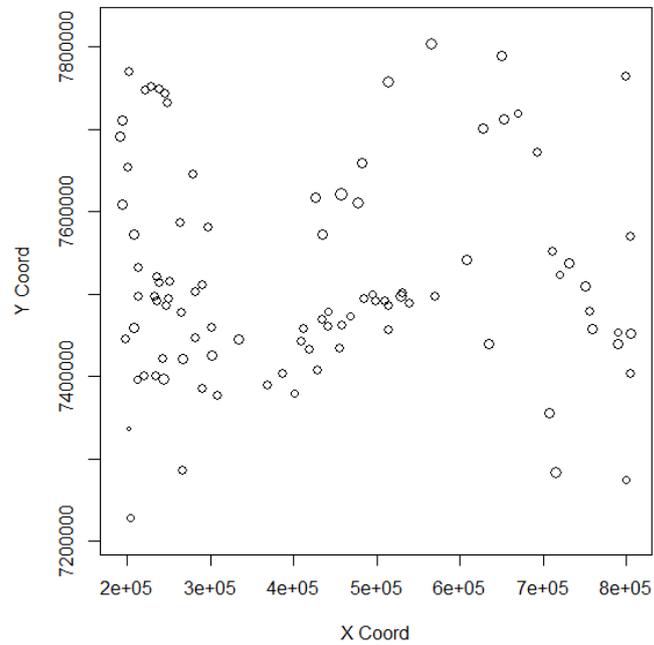


Figura 02: Gráfico dos pontos plotados, com as coordenadas geográficas, do teores de Ph.

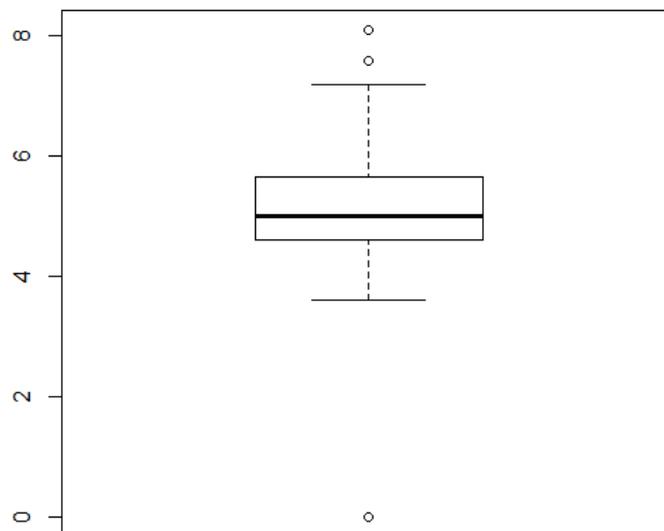


Figura 03: Gráfico Box-plot dos dados de pH.

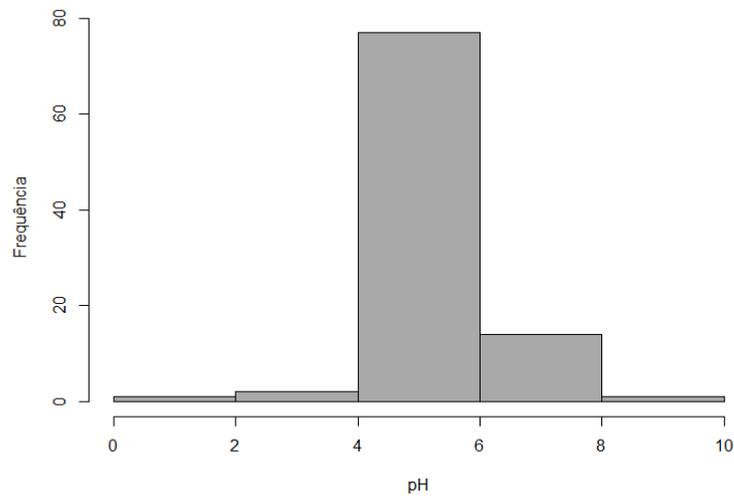


Figura 04: Histograma dos dados de pH.

O gráfico Box-plot, Figura 03, demonstra que os valores de pH variaram entre os valores 4 e 6 na amostra, no entanto, três valores estão como outlier um com valor nulo e os outros dois com valores acima de Ph 7. A mesma observação pode ser feita no histograma, que mais uma vez confirma a predominância dos valores entre pH 4 e Ph 6.

A figura 5 mostra os componentes do semivariograma, que foi melhor ajustado com o modelo exponencial. O efeito pepita (*nugget*), que é o ponto inicial da curva, o valor foi de 0,16. O patamar (*sill*) é o valor de γ máximo da curva e o alcance (*range*) é o ponto máximo onde existe autocorrelação espacial das variáveis, seu valor foi de 270616.

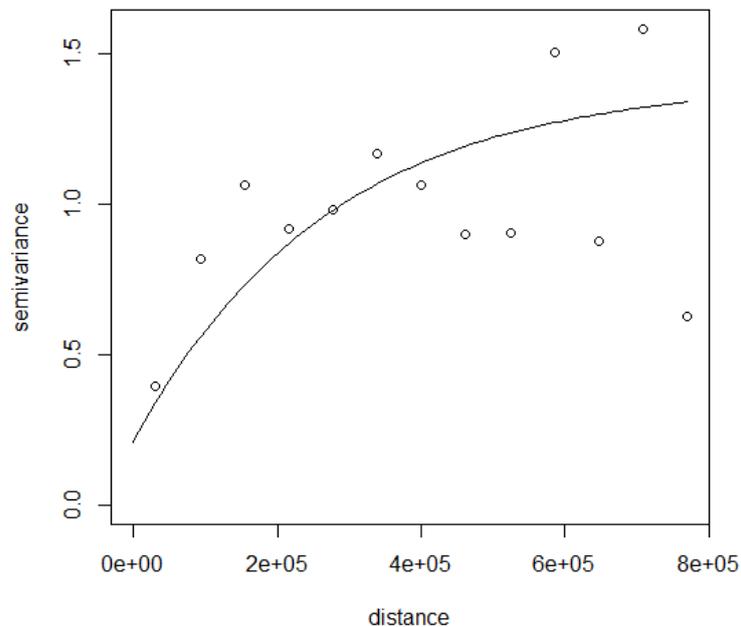


Figura 05: Semivariograma ajustado para os dados utilizando o modelo exponencial.

A partir dos parâmetros definidos para compor o modelo anisotrópico (exponencial), executou-se a krigagem ordinária, gerando a superfície interpolada em três classes principais de pH, de 3-5, de 5-5,7 e 5,7-7, coloridas em níveis de vermelho. Onde os tons de cinza mais claros representam os baixo teores de pH e os mais escuros representam os teores mais elevados de pH, lembrando que quanto mais baixo o teor de pH maior será a acidez do solo. O resultado pode ser observado no mapa a baixo:

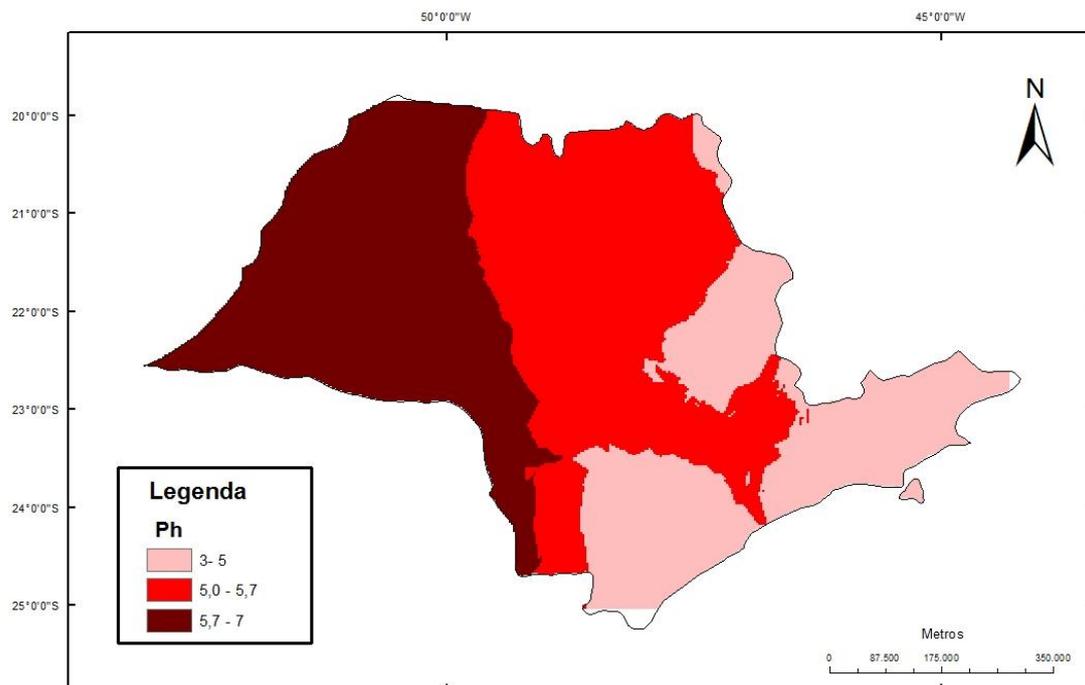


Figura 06: Mapa do teor de pH do solo no Estado de São Paulo.

É possível observar que os maiores valores de pH estão localizados, sobretudo, na porção Oeste do Estado. Os valores de pH intermediário, entre 5 e 5,7, estão localizados na região central e é a classe mais abrangente para todo Estado de São Paulo. Por fim, os valores mais baixos de pH, entre 3 e 5, estão distribuídos na região Sul e Leste

Para atender o objetivo proposto, é preciso comparar tal mapa com o mapa de Vegetação para o Estado de São Paulo, que por meio da análise visual, poderemos observar se houve a correspondência das classes de pH com a presença de vegetação.

Desta forma, agrupamos a vegetação em duas grandes fisionomias, a do Cerrado e a da Mata Atlântica, apresentados no mapa a seguir:

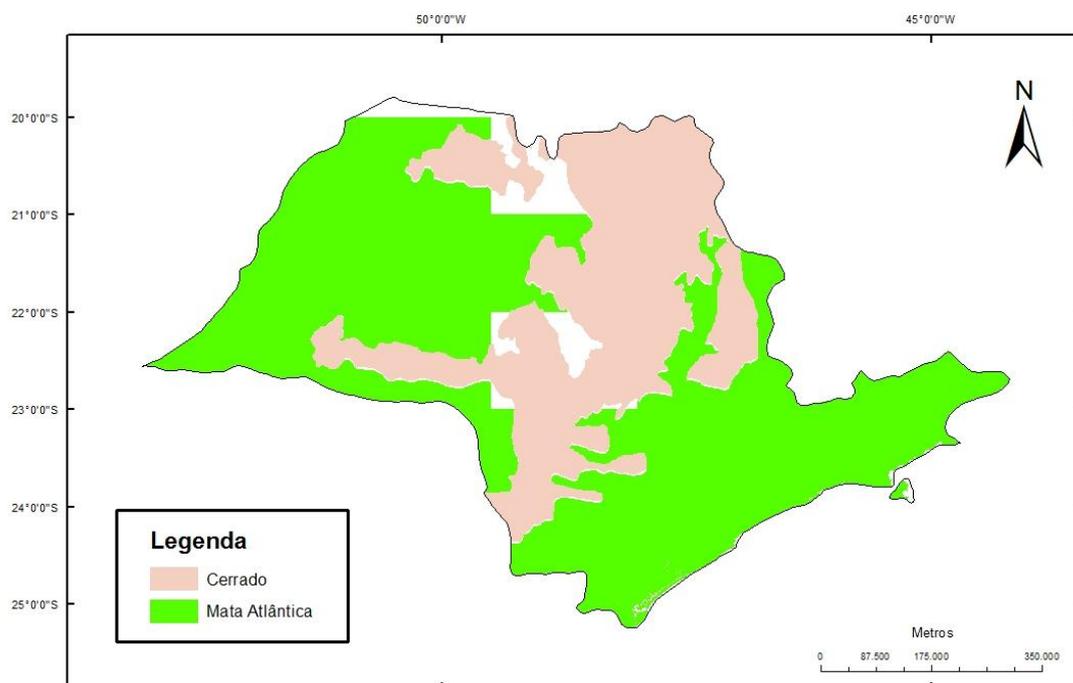


Figura 07: Mapa dos tipos de vegetação no Estado de São Paulo.

Entre os dois tipos de vegetação, o domínio de Mata Atlântica é o que ocupa a maior parte do território paulistano, sobretudo no Oeste e Sul, já o domínio de Cerrado está presente em menor área e está localizado na região central de São Paulo. Com base na interpretação visual dos mapas, constatamos que a classe de pH de 5 a 5,7 foi melhor relacionado ao domínio do cerrado, enquanto as classes de 3 a 5 e de 5,7 a 7 estão diretamente relacionadas com o domínio de Mata Atlântica.

No entanto, o que chama atenção é que o domínio de Mata Atlântica está associado aos níveis extremos de pH do solo, sendo assim, não podemos concluir se o pH mais baixo ou elevado está relacionado a esse tipo de vegetação. Em contra partida, o domínio Cerrado está mais estritamente relacionado a pH de 5 a 5,7. Tal fator pode ser explicado pelo fato de que, de acordo com Alvin & Araújo (1953), o cerrado, dentro do seu próprio limite fitogeográfico, é regulada mais pelo solo do que por qualquer outro fator ecológico.

Conclusão:

Diante dos resultados aqui expostos, podemos concluir que a hipótese inicialmente colocada de existir relação entre a fertilidade do solo e o tipo de vegetação não pode ser totalmente comprovada pois o único atributo que foi possível analisar geoestatisticamente foi o teor de pH no solo. Para esse atributo a hipótese pode ser comprovada somente para o domínio cerrado. A krigagem foi eficiente na espacialização dos teores de pH e o melhor modelo ajustado foi o exponencial.

Além disso, podemos concluir também que as classificações da vegetação e do solo, quando elaborados os mapas, seguem diferentes critérios e objetivos, por exemplo, o solos possuem uma classificação mais voltada para os fins agrícolas e a vegetação para critérios de conservação e manejo florestal. Ou seja, se não pudemos concluir uma relação entre ambas as propriedades, uma resposta para isso seria a baixa correspondência entre os mapeamentos de vegetação e de solos, mesmo que em níveis de detalhamento correspondentes. Isso provavelmente não ocorreria se houvesse uma classificação de solos dirigida à vegetação nativa, com base em critérios que refletissem seus processos funcionais.

Outra questão observada, que impossibilitou a análise dos outros atributos de fertilidade do solo, são os erros provenientes do próprio mapeamento e coleta dos pontos. Uma sugestão seria utilizar outros atributos, não somente a fertilidade, que representassem no espectro contínuo, por incorporam técnicas de geoestatística e são instrumentos mais eficientes para a compreensão dos sistemas naturais.

Referências Bibliográficas:

ALVIN, P. de T.; ARAÚJO, W. A. **O solo como fator ecológico no desenvolvimento da vegetação no Centro-Oeste do Brasil.** Bol. Geogr., Rio de Janeiro, v. 11, n. 117, p. 569-578, 1953.

BUENO, B. F. **Aplicação de técnicas multivariadas em mapeamento e interpretação de parâmetros do solo.** 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

Coutinho, L.M. **O conceito de cerrado**. Revista Brasileira de Botânica 1: 17-23. 1978

JAKOB, A. A. E. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 2002.

LIMA, J. A. S. *et al.* **Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical**. Pesq. agropec. bras., Brasília, D.F., v. 38, n. 1, p. 109-116, 2003

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas: 26 p. 2010.

TORRES, R. B.; MARTINS, F. R.; KINOSHITA, L. S. **Climate, soil and tree flora relationships in forest in the state of São Paulo, southeastern Brazil**. Rev. Bras. Bot., São Paulo, v. 20, n. 1, p. 41-49, 1997.