

1 **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de uma imagem**

2 **Landsat/ETM+ com atributos do solo**

3  
4 **Resumo:** As tecnologias de agricultura de precisão, como o uso da variabilidade espacial  
5 dos atributos do solo, vêm sendo muito estudadas para a cultura de cana-de-acúcar. Dentre  
6 essas tecnologias se destaca o uso de índices de vegetação derivados de produtos de  
7 sensoriamento remoto, como poderosas ferramentas indicadoras do desenvolvimento da  
8 vegetação. Objetivou-se, neste estudo, analisar a variabilidade espacial dos teores de  
9 argila, fósforo e o pH de um Latossolo Vermelho-amarelo em área com produção de cana-  
10 de-açúcar e correlacioná-los com o índice espectral de vegetação (NDVI). Foram  
11 estudados, a partir de uma malha georreferenciada, os atributos do solo (argila, fósforo e  
12 pH) e gerados mapas de variabilidade espacial. Para esses mesmos locais calculou-se o  
13 NDVI possibilitando, além do mapeamento deste índice, a avaliação da correlação  
14 espacial entre este e as demais propriedades em estudo. A argila e o teor de fósforo  
15 apresentaram correlação espacial positiva com o NDVI enquanto nenhuma correlação  
16 espacial foi observada com o pH. A imagem do sensor ETM+ do satélite LandsatO5  
17 utilizada neste estudo em relação ao NDVI, apresentou boa aplicação para observar a  
18 variabilidade espacial dos atributos estudados.

19 **Palavras-chave:** sensoriamento remoto, variabilidade espacial, argila, pH, fósforo

20  
21 **Spatial correlation of the vegetation index (NDVI) of a Landsat/ETM+ images**

22 **with soil attributes**

23  
24 **Abstract:** The precision agriculture technologies such as the spatial variability of soil  
25 attributes have been widely studied mostly with sugarcane. Among these  
26 technologies have been recently highlighted the use of the vegetation index derived  
27 from remote sensing products, such as powerful tools indicating the development of  
28 vegetation. This work aimed to analyze the spatial variability of clay content, pH and  
29 phosphorus in an Oxisol in an area with sugarcane production, and correlate with

30 the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The georeferenced grid was  
31 created for the soil properties (clay, phosphorus and pH) and generated the maps of spatial  
32 variability. For these same sites were calculated the NDVI, in addition to mapping of this  
33 ratio, the evaluation of the spatial correlation between this and other studied  
34 properties. The clay and phosphorus content showed positive spatial correlation with  
35 the NDVI, while no spatial correlation was observed between NDVI and pH. The satellite  
36 images from the sensor ETM – Landsat were used to correlate to NDVI to observe the  
37 spatial variability of the attributes studied.

38 **Key words:** remote sensing, spatial variability, clay, pH, phosphorus

39

40

## INTRODUÇÃO

41 No Brasil crescente expansão da cultura da cana-de-açúcar destaca sua importância e  
42 relevância no cenário nacional. A área colhida em 2011 ultrapassou os 9 milhões de  
43 hectares e a estimativa para 2012 é de 11 milhões de hectares. A produção brasileira subiu  
44 de 88,92 milhões para 686,29 milhões de toneladas no período de 1975 a 2009 e a  
45 produção estimada para 2012 é de 800,12 milhões de toneladas, com produtividade média  
46 passando de 46,82 para 79,76 toneladas por hectare no período de 1975 a 2009 (IBGE,  
47 2012).

48 A cana-de-açúcar se desenvolve melhor em solos de boa fertilidade, profundos,  
49 argilosos, com boa capacidade de retenção de água mas sem encharcamento e com pH  
50 de 6,0 a 6,5. Apesar de ser uma planta rústica, a viabilidade econômica da cultura da cana-  
51 de-açúcar diminui à medida em que as características do solo se tornam menos favoráveis,  
52 como ambientes sujeitos a inundações ou altamente erodíveis ou declivosos ou, ainda,  
53 pedregosos e os solos de fertilidade muito baixa.

54 Entender como a distribuição espacial dos atributos físicos e químicos dos solos  
55 funciona, é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas na cultura  
56 de cana-de-açúcar visando não somente à otimização da produtividade agrícola mas  
57 também a minimização de possíveis danos ambientais (McBratney & Pringle, 1999).

58 A análise da variabilidade do solo pode indicar, por meio da geoestatística, alternativas  
59 de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das  
60 culturas (Trangmar et al., 1985), mas também para aumentar a possibilidade de estimar  
61 respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo. As análises geoestatísticas se  
62 baseiam na teoria das variáveis regionalizadas em que medidas mais próximas tendem a

63 ser mais parecidas do que valores observados em locais mais distantes (Vieira, 2000).  
64 Tais técnicas fornecem métodos para quantificar esta autocorrelação espacial e incorporá-  
65 la na estimação de valores em locais não observados (Johnsen et al., 1996). Este conjunto  
66 de ferramentas, denominado geoestatística, conduz uma das principais vertentes da  
67 chamada Agricultura de Precisão.

68 Outra tecnologia muito utilizada na agricultura de precisão se baseia no conhecimento  
69 de como a vegetação processa a radiação eletromagnética, técnica esta realizada por meio  
70 do sensoriamento remoto (Ponzoni, 2001). A análise da vegetação e a detecção de  
71 mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a  
72 cobertura vegetal. Assim, o aprimoramento do conhecimento da interação da resposta  
73 eletromagnética e a vegetação, têm ocorrido pela realização de estudos no tema referido  
74 por Comportamento Espectral da Vegetação. Este fato representa as características de  
75 reflectância da resposta eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e conjunto de  
76 plantas (dossel) (Verhulst et al., 2009; Weir & Hering, 2012; Johnson & Trout, 2012).

77 Índices espectrais de vegetação ou simplesmente índices de vegetação, têm sido  
78 largamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal da Terra em escalas global e/ou  
79 local (Miura et al., 2001). Tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou  
80 mais bandas, selecionadas com o objetivo de sintetizar e melhorar a relação desses dados  
81 com os parâmetros biofísicos da vegetação. Para minimizar a variabilidade causada por  
82 fatores externos a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em vários  
83 índices de vegetação (Ponzoni, 2001).

84 O índice de vegetação mais difundido é o Normalized Difference Vegetation Index  
85 (NDVI) (Cohen et al., 2003; Dorigo et al., 2007). Este índice pode ser analisado por meio  
86 da interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, por valores obtidos em  
87 diferentes datas, que permitem avaliar a variação da área verde em certo período de  
88 tempo.

89 Neste contexto, o principal objetivo do trabalho foi analisar o uso de uma imagem do  
90 sensor ETM+ do satélite Landsat 5 para observar a variabilidade espacial do índice de  
91 vegetação da diferença normalizada (NDVI) e avaliar se existe correlação espacial com  
92 os índices aos teores de argila, fósforo e pH do solo.

93

94

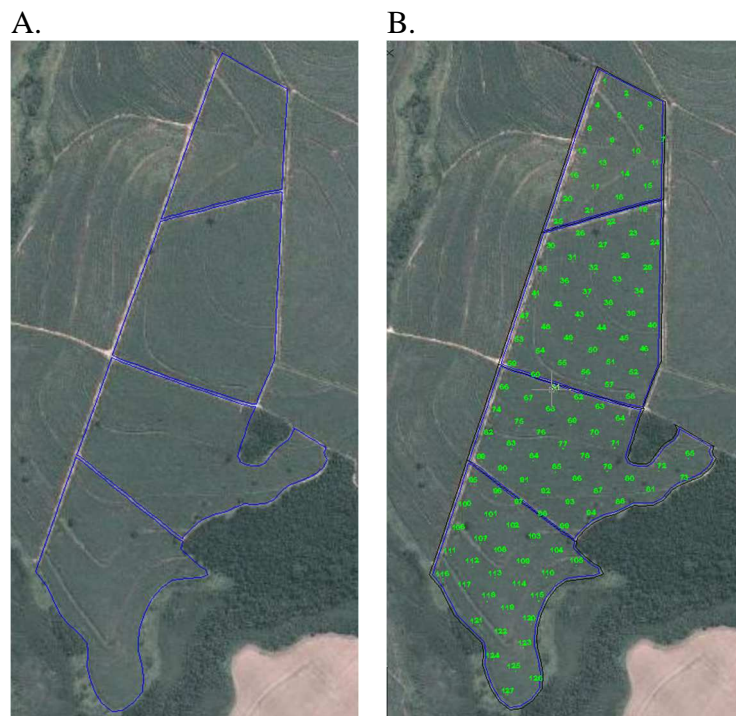
## MATERIAL E MÉTODOS

95

96

A área de estudo se localiza no município de Itajobi, SP, cujas coordenadas centrais são  
49°05'29" W e 21°21'26" S (Figura 1A) com aproximadamente 32 ha cultivados com

97 cana-de-açúcar. O clima da região é o tropical chuvoso, tipo Aw, segundo a classificação  
98 climática de Köppen, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso.  
99



100 Figura 1. Imagem da área de estudo: Delimitação dos talhões estudados (A), Grid com  
101 indicação dos pontos amostrais (B)

102

103 De acordo com a caracterização pedológica pré-existente o solo é de textura  
104 predominantemente arenosa ocorrendo, porém, variações nos teores de argila, ao longo  
105 da topossequência. O solo pertence ao grupo dos Latossolos Vermelho-Amarelos textura  
106 média, distrófico. A topografia do local é plana a suavemente ondulada na maior parte da  
107 área e a declividade média é de aproximadamente 5%.

108 A área de estudo é composta por 4 talhões com cultivo de cana no 5º corte, totalizando  
109 31,76 ha (Figura 1A). A variedade de cana-de-açúcar cultivada na área é a SP83-2847 de  
110 colheita tardia (colheita de julho a outubro). A cultura foi implantada após preparo  
111 convencional do solo no qual foram feitas todas as correções e adubações rotineiras. O  
112 plantio ocorreu no dia 13 de março de 2006; por se tratar de uma variedade de 18 meses,  
113 a primeira colheita foi no dia 20 de outubro de 2007, sendo o segundo corte em  
114 20/11/2008, o terceiro em 31/10/2009 e o quarto em 10/10/2010; o último corte ocorreu  
115 entre 19 e 24/08/2011. O processo de colheita da cana foi manual, com queima da  
116 palhada.

117 Nos meses de novembro e dezembro de 2010 a área foi demarcada e estaqueada com  
118 auxílio de um teodolito eletrônico, em forma de grade regular de 50x50 m gerando 124  
119 pontos que foram georreferenciados com GPS de navegação (Figura 1B).

120 Ao redor de cada estaca foram coletadas, com trado holandês na profundidade de 0 a  
121 0,10 m, 5 amostras cada uma distanciada cerca de 2 m; todas elas foram colocadas em  
122 um balde e homogeneizadas para formar uma amostra representativa do ponto; em  
123 seguida, foram levadas ao laboratório e aí secadas ao ar e peneiradas (2 mm).

124 Foram feitas as análises químicas para determinação de fósforo (P) e pH em CaCl<sub>2</sub>, no  
125 Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP,  
126 Jaboticabal. A composição granulométrica foi determinada para as mesmas amostras, por  
127 meio da dispersão com NaOH (0,1 mol L<sup>-1</sup>) e agitação lenta por 16 h; enfim o conteúdo  
128 de argila foi obtido pelo método da pipeta.

129 Para se calcular o índice de vegetação (NDVI) a imagem utilizada foi a do satélite  
130 Landsat5 equipado com sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*), por apresentar  
131 bandas que cobrem as principais feições da curva espectral dos vegetais, com cenas  
132 suficientemente abrangentes (32.400 km<sup>2</sup> - 180 por 180 km), por serem viáveis do ponto  
133 de vista econômico para utilização em larga escala e devido à sua qualidade radiométrica  
134 reconhecida. Neste estudo foi utilizada uma imagem da órbita/ponto 221/75, referente ao  
135 dia 24/07/2011 durante o período de crescimento vegetativo da cana nos talhões avaliados  
136 no trabalho. Todo o processamento da imagem e o cálculo do índice NDVI foram feitos  
137 utilizando-se o aplicativo ESRI ArcGIS Desktop versão 9.3. A análise foi realizada em  
138 apenas um ciclo da cultura no intuito de se avaliar a correlação com atributos do solo no  
139 estágio correspondente ao desenvolvimento da variedade estudada.

140 Inicialmente, o índice de vegetação da diferença normalizada referido por band ratio  
141 parameter (BRP) e hoje denominado NDVI, é calculado pela diferença entre as bandas  
142 do Infra Vermelho Próximo e do Vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas,  
143 de acordo com a Eq. 1. Para o sensor ETM+ do satélite Landsat5 a banda do Infra  
144 Vermelho Próximo possui intervalo espectral de 800 a 1100 nm e a banda do Vermelho  
145 de 600 a 700 nm. O índice foi proposto visando eliminar diferenças sazonais do ângulo  
146 do Sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica observados para dados  
147 multitemporais.

148

$$149 \quad NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (1)$$

150 sendo:  
151 NDVI -valor do índice de vegetação da diferença normalizada  
152 IVP -valor da refletância na faixa do infravermelho próximo  
153 V -valor da refletância na faixa do vermelho

154

155 Os valores obtidos do NDVI estão contidos em uma mesma escala de valores entre -1  
156 e +1. Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é sua rápida saturação que o torna insensível  
157 ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, ou  
158 seja, o índice estabiliza em um patamar apresentando um mesmo valor, embora com o  
159 aumento da densidade do dossel.

160 Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva calculando-se média,  
161 variância, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação. Nesta análise  
162 descritiva dos dados utilizou-se o aplicativo Minitab 12.2®.

163 Para caracterização do padrão da variabilidade espacial foi empregada a análise  
164 geoestatística (Vieira, 2000). Semivariogramas foram construídos com base no cálculo  
165 da semivariância  $\hat{\gamma}(h)$  por meio da Eq. 2:

166

$$167 \hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

168

169 em que:

170  $\hat{\gamma}(h)$ - semivariância estimada a partir dos dados experimentais

171 Z - valores medidos nos pontos  $x_i$  e  $x_i + h$

172 N(h) - número de pares de valores medidos separados por uma distância h

173

174 Os modelos foram ajustados por meio do aplicativo GS+v.7.0® e, em caso de dúvida  
175 entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, utilizou-se a técnica de  
176 validação cruzada. Observada a dependência espacial entre as amostras, definida pelo  
177 semivariograma, é possível estimar valores em que a variável não foi medida fazendo-se  
178 uso da krigagem, segundo Vieira et al. (2002).

179 No sentido de averiguar a correlação entre os atributos em estudo foram construídos  
180 semivariogramas cruzados, que podem assumir valores tanto positivos, indicando que o  
181 aumento em um dos atributos é acompanhado pelo aumento do outro, como negativos  
182 indicando que, quando ocorre o aumento de um dos atributos, ocorre também decréscimo

183 do outro (Bhatti et al., 1991). A confecção dos mapas de krigagem foi feita utilizando-se  
184 o programa Surfer® v.8.0.

185 A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo  
186 Cambardella et al. (1994) em que são considerados de dependência espacial forte os  
187 semivariogramas que têm efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada entre  
188 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

189

190

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

191 Os resultados referentes à análise estatística descritiva dos atributos do solo na área  
192 em estudo, na camada superficial de 0 a 0,10 m e do índice de vegetação, podem ser  
193 observados nos valores da média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e  
194 máximo (Tabela1).

195

196 Tabela1. Estatística descritiva para argila, fósforo (P), pH e NDVI e correlação dos  
197 atributos do solo com NDVI

Atributos	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Maximo	Correlação com NDVI
Argila (%)	16,16	3,24	20,01	5,95	24,85	0.27*
P (mgdm <sup>-3</sup> )	4,68	1,32	28,27	3,00	11,00	0.08 <sup>ns</sup>
pH	4,97	0,37	7,47	4,10	6,00	0.18**
NDVI	0,40	0,05	13,09	0,21	0,49	

198 <sup>ns</sup>não significativo; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,10

199

200 A classe analisada de NDVI na imagem Landsat 5/ETM+ da área de cana-de-açúcar  
201 apresenta uma amplitude de valores entre 0,21 a 0,49, com média de 0,40 e desvio-padrão  
202 de 0,05. Esses valores são considerados médios e representam áreas com menor porte  
203 vegetativo e mais dessecadas (Weir & Herring, 2012) corroborando com Lucas & Schuler  
204 (2007) que concluíram que o NDVI da cana-de-açúcar começa a cair a partir do sétimo  
205 mês do ciclo da cultura. Ramme (2008) observou, analisando diferentes variedades de  
206 cana-de-açúcar, que as diferenças entre solos, estágios de corte e variedades, influenciam  
207 na forma de curva do perfil temporal do NDVI sendo mais visualmente perceptível na  
208 medida em que essas diferenças são combinadas porém Lopes et al. (2011) concluíram  
209 que existe uma relação direta da densidade da vegetação da cana-de-açúcar com o NDVI.

210 Na classificação para o coeficiente de variação (CV), os valores obtidos do NDVI  
211 apresentaram baixa variabilidade (13,09%) segundo a classificação proposta por

212 Cambardella et al. (1994). A medida estatística CV permite, assim, comparar a  
213 variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes.

214 Os coeficientes de correlação linear simples (Tabela 1) entre os atributos do solo e o  
215 índice de vegetação (NDVI) demonstraram uma correlação positiva e significativa para  
216 argila e pH porém não significativa para a variável fósforo (P).

217 Sendo assim, para correlacionar o NDVI aos atributos do solo justifica-se a análise da  
218 dependência espacial para melhor entendimento do padrão de ocorrência desses atributos  
219 no espaço. Ressalta-se que uma imagem do mesmo sensor em outra data pode influenciar  
220 com resultados diferentes da análise.

221 Desta forma, para a avaliação da variabilidade e dependência espacial dos atributos  
222 estudados foram estimados semivariogramas experimentais isotrópicos dos atributos que  
223 apresentaram dependência espacial. O modelo que melhor se ajustou aos  
224 semivariogramas experimentais para as variáveis estudadas foi o esférico (Tabela 2 e  
225 Figura 2). Este modelo é o mais utilizado para a descrição de variáveis relacionadas às  
226 ciências do solo, característico de variáveis que apresentam mudanças abruptas no  
227 espaço.

228

229 Tabela2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos dados dos  
230 atributos do solo e índice de vegetação estudados

Atributo	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A (m)	C <sub>0</sub> / C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>
Argila	esférico	3.27E+00	1.08E+01	403.21	0.30
P	esférico	1.28E-02	2.70E-02	148.38	0.47
pH	esférico	6.93E-02	1.47E-01	243.54	0.47
NDVI	esférico	3.36E-04	2.49E-03	352.13	0.14

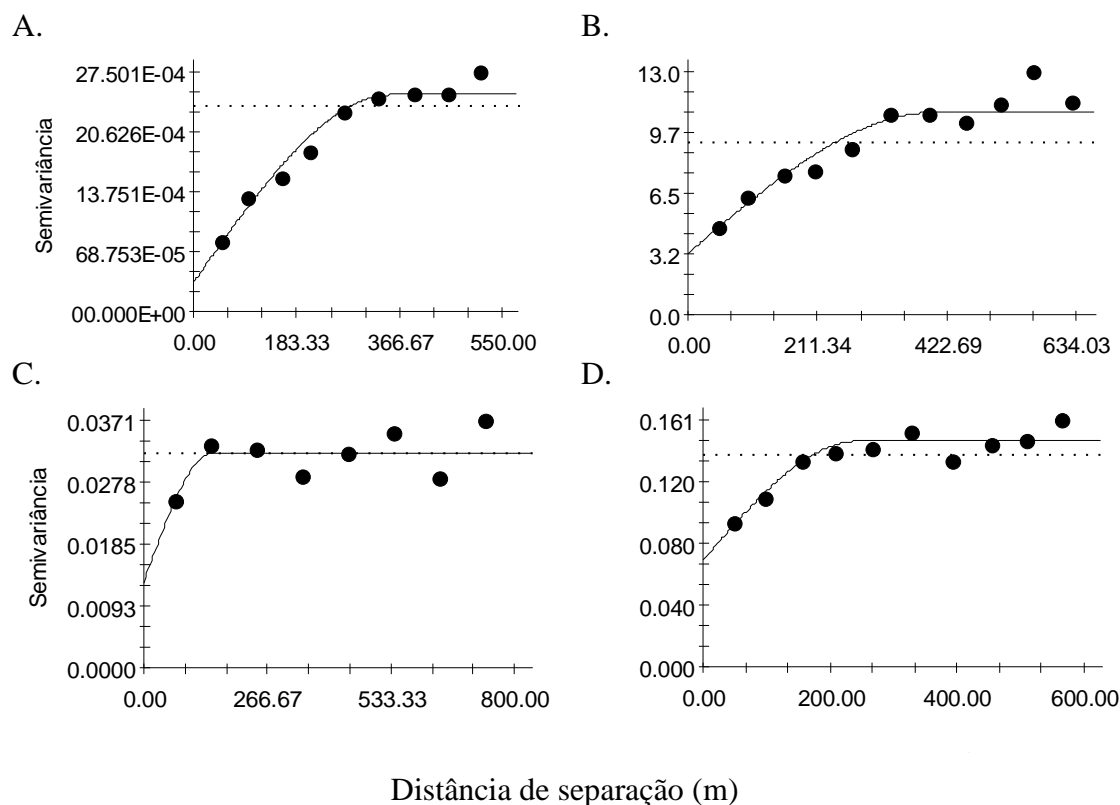
231 P - Fósforo;C<sub>0</sub>- Efeito pepita;C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>-Patamar; A- Alcance

232

233 As variáveis estudadas apresentaram diferentes alcances de dependência espacial  
234 sendo que a porcentagem de argila apresentou maior alcance (403,21 m) e o fósforo  
235 menor alcance (148,38 m) (Tabela 2, Figura 2). Ferraz et al. (2012) também encontraram,  
236 em um Latossolo vermelho-amarelo, valores de alcance próximos a 140 m para fósforo.

237





238

Distância de separação (m)

239 Figura 2. Semivariogramas das variáveis estudadas: NDVI (A), Argila (B), Fósforo (C) e  
 240 pH (D)

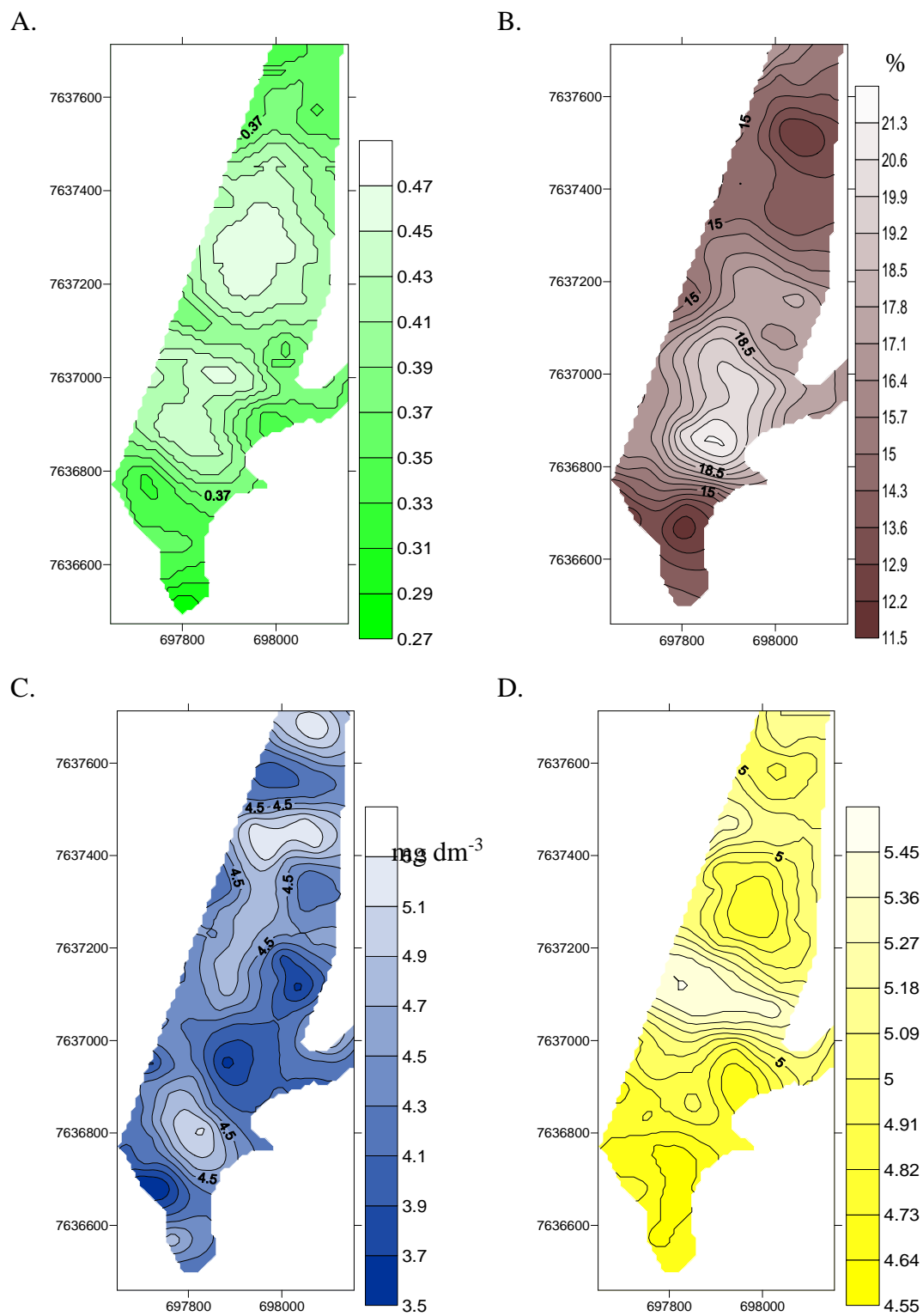
241

242 Analisando a relação  $C_0/(C_0+C_1)$  em porcentagem dos atributos argila, fósforo e pH,  
 243 isoladamente, esta indica grau de dependência espacial moderado [ $C_0/(C_0+C_1)$  entre 25 e  
 244 75%] segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994) (Tabela 3). Souza  
 245 et al. (2004) também observaram ocorrência de dependência espacial moderada para  
 246 argila em um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar.

247 Para o índice de vegetação (NDVI), a relação  $C_0/(C_0+C_1)$  em porcentagem foi de 14%  
 248 indicando um grau de dependência espacial forte, segundo a classificação citada.

249 Nos mapas de distribuição espacial obtidos observa-se que o padrão de distribuição  
 250 espacial do NDVI (Figura 3A) é semelhante à distribuição espacial das variáveis argila  
 251 (Figura 3B) e fósforo (Figura 3C) o que também é comprovado quando se analisam esses  
 252 atributos do solo, correlacionados com o NDVI na imagem Landsat a relação  $C_0/(C_0+C_1)$   
 253 dos semivariogramas cruzados mostra valores <25 % (Tabela 3) que, conforme  
 254 Cambardella et al. (1994) é classificado como sendo grau de dependência espacial forte,  
 255 indicando que mesmo não havendo correlação linear significativa entre o NDVI e o  
 256 fósforo (Tabela 1), há correlação espacial entre esses atributos (Tabela 3) com grau de

257 dependência forte justificando o estudo da correlação espacial, independentemente da  
258 correlação linear.  
259



260

261 Figura 3. Mapas do padrão espacial das variáveis estudadas: NDVI (A), Argila (B),

262 Fósforo (C) e pH (D)

263 Carvalho et al. (2004) também encontraram variabilidade espacial nos atributos do  
264 solo e concluíram que a distribuição espacial não foi ao acaso e sim resultante de  
265 processos naturais e de práticas culturais. A avaliação da variabilidade espacial dos  
266 atributos estudados mostra que, mesmo na classe dos Latossolos sob cultivo de cana-de-  
267 açúcar por longo tempo, pode-se registrar variabilidade espacial.

268

269 Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas cruzados ajustados aos  
270 dados dos atributos do solo em correlação com o índice de vegetação estudados

Atributo	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A (m)	C <sub>0</sub> / C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>
Argila	esférico	8.91E-03	4.46E-02	301.17	0.20
P	esférico	1.00E-05	1.25E-03	145.53	0.01
pH	EPP				

271 P -Fósforo, C<sub>0</sub> - Efeito pepita; C<sub>1</sub>-Patamar; A - Alcance; EPP - efeito pepita puro

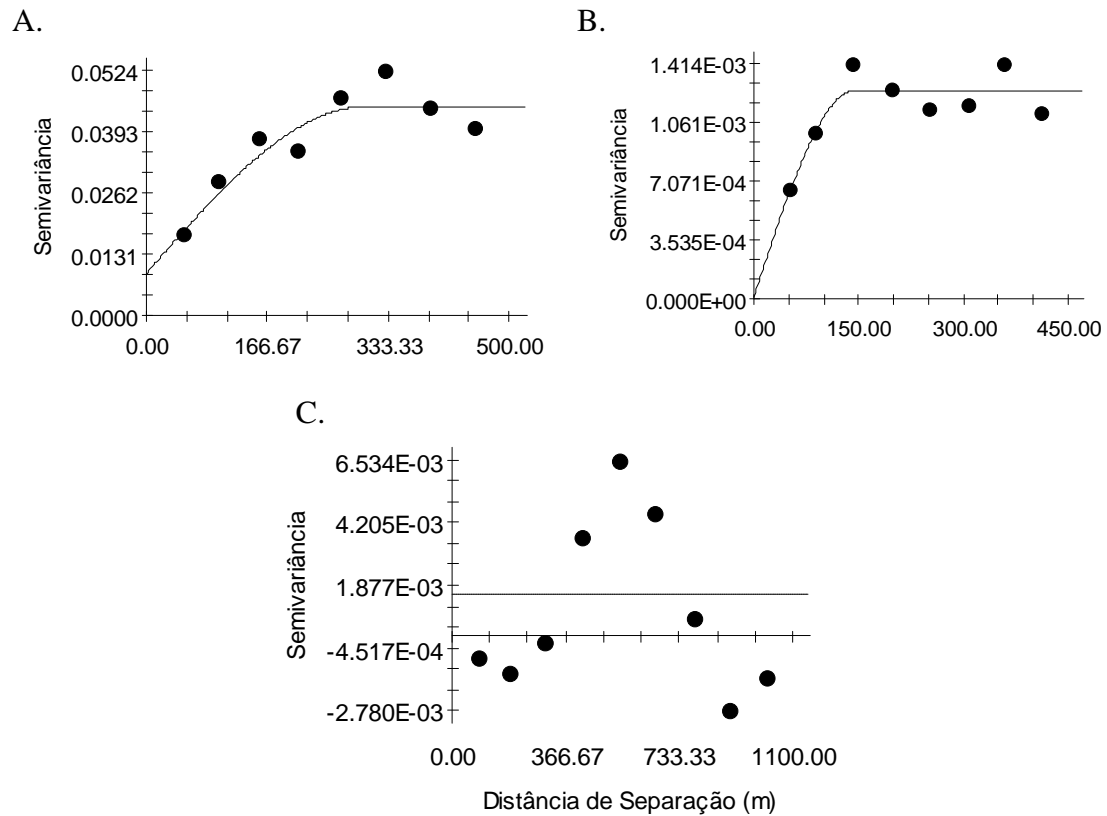
272

273 Na Figura 4 pode-se observar a correlação espacial positiva do índice de vegetação  
274 (NDVI), com a % de Argila e teor de fósforo no solo porém não houve correlação espacial  
275 entre o NDVI e o pH do solo; o efeito pepita puro mostra que não há dependência espacial  
276 correlacionada para essas duas variáveis.

277 Lourenço (2005) concluiu, relacionando os atributos do solo e da planta com a resposta  
278 espectral da cana-de-açúcar, que a porcentagem explicada da resposta espectral NDVI  
279 para os dois anos estudados foi satisfatória haja vista a ausência dos demais atributos  
280 modelos, podendo a explicação ter sido maior caso tivessem sido incluídas, na análise,  
281 outras variáveis relacionadas ao clima e ao solo.

282 Imagens de sensores remotos com diferentes resoluções espaciais, radiométricas e  
283 temporais, podem propiciar constatação de correlação semelhante conforme apresentado  
284 neste trabalho. Entretanto, trabalhos relacionados à correlação desses índices de  
285 vegetação com fatores edáficos, ainda são escassos (Weir & Herring, 2012). Kariyeva &  
286 Leeuwen (2011) identificaram variáveis ambientais da relação solo-paisagem, como  
287 relevo, escoamento superficial das águas das chuvas, teor de nitrogênio do solo e  
288 densidade do solo. Os valores avaliados apresentaram correlação com o NDVI  
289 demonstrado a eficácia na utilização de imagens de satélites para análise ambiental;  
290 apesar disto, ocorre uma restrição na análise da correlação conforme metodologia  
291 apresentada no trabalho, decorrente de ruídos (exemplo nuvens). A imagem a ser utilizada  
292 deverá ser tratada para que não ocorra interferência nos resultados correlacionados.

293



294

295 Figura 4. Semivariogramas cruzados dos atributos estudados: % de Argila em função do  
 296 NDVI (A), teor de fósforo em função do NDVI (B) e pH em função do NDVI (C)

297

298

### CONCLUSÕES

299 1. Os atributos que apresentaram correlação espacial com o NDVI na área de estudo,  
 300 foram argila e fósforo.

301 2. O pH do solo não apresentou correlação espacial com o índice de vegetação  
 302 estudado.

303 3. As imagens do Landsat 5/ETM+ da data estudada em relação ao NDVI da cana-  
 304 de-açúcar apresentaram boa aplicação para observar a variabilidade espacial dos atributos  
 305 estudados.

306

307

### AGRADECIMENTOS

308 À FAPESP, pela bolsa de estudos, e ao Grupo Virgolino de Oliveira-Usina Catanduva,  
 309 pelo apoio e concessão da área de estudo.

## LITERATURA CITADA

- 310
- 311 Bhatti, A. U. Mulla, D. J.; Frazier, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on  
312 complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sensing*  
313 *of Environment*, v.37, p.181-191, 1991.
- 314 Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco  
315 R.F.; Konopka, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil*  
316 *Science Society of America Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- 317 Carvalho, J. R. P.; Dechen, S. C. F.; Dufranc, G. Variabilidade espacial da agregação do  
318 solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. *Revista Brasileira de Ciência do*  
319 *Solo*, v.2, p.1-9, 2004.
- 320 Cohen, W. B.; Maiersperger, T. K.; Gower S. T.; Turner, D. P. An improved strategy for  
321 regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of*  
322 *Environment*, v.84, p.561-571, 2003.
- 323 Dorigo, W. A.; Milla, R. Z.; de Wit, A.J.W.; Brazile, J.; Singh, R.; Schaepman, M.E. A  
324 review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced  
325 agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and*  
326 *Geoinformation*, v.9, p.165-193, 2007.
- 327 Ferraz, G. A. E. S.; Silva, F. M. da; Carvalho, L. C. C.; Alves, M. de C.; Franco, B. C.  
328 Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma  
329 lavoura cafeeira. *Engenharia Agrícola*, v.32, p.140-150, 2012.
- 330 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012.  
331 <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>  
332 10 Fev 2012.
- 333 Johnsen, G. A.; Mortensen, D. A.; Gotway, C. A. Spatial and temporal analysis of weed  
334 seedling populations using geostatistics. *Weed Science*, v.44 p.704-710, 1996.
- 335 Johnson, L. F.; Trout, T. J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop  
336 evapotranspiration in California's San Joaquin valley. *Remote Sensing*, v.4, p.439-  
337 455, 2012.
- 338 Kariyeva, J.; Leeuwen, W. J. D. van. Environmental drivers of NDVI- Based vegetation  
339 phenology in Central Asia. *Remote Sensing*, v.3, p.203-246, 2011.
- 340 Lopes, H. L.; Accioly, L. J. de O.; da Silva, F. H. B. B.; Sobral, M. do C. M.; Araújo  
341 Filho, J. C. de; Candeias, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da  
342 temperatura da superfície e índice de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia*  
343 *Agrícola e Ambiental*, v.15, p.973-980, 2011.

344 Lourenço, L.S. Aplicação da estatística multivariada no estudo da relação entre atributos  
345 do solo e da planta e a resposta espectral da cana-de-açúcar. Campinas:  
346 FEAGRI/UNICAMP, 2005.134p. Dissertação Mestrado

347 Lucas, A. de A.; Schuler, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata  
348 Atlântica no litoral norte de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e  
349 Ambiental, v.11, p.607-614. 2007.

350 McBratney, A. B.; Pringle, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil  
351 properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture, v.1,  
352 p.219-236, 1999.

353 Miura, T.; Huete, A. R.; Yoshioka, H.; Holben, B.N. An error and sensitivity analysis of  
354 atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric  
355 correction. Remote Sensing of Environment, v.78, p.284-298, 2001.

356 Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In. Sensoriamento Remoto –  
357 Reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001.p.157-199.

358 Ramme, F. L. P. Perfis temporais NDVI e sua relação com diferentes tipos de ciclos  
359 vegetativos da cultura da cana-de-açúcar. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2008.  
360 103p. Tese Doutorado

361 Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Barbieri, D. M. Variabilidade espacial  
362 da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-  
363 açúcar. Engenharia Agrícola, v.24, p.309-319, 2004.

364 Trangmar, B. B.; Yost, R.S.; Wade, M. K.; Uehara, G. Applications of geostatistics to  
365 spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, v.38, p.45-94, 1985.

366 Verhulst, N.; Govaerts, B.; Sayre, K. D.; Deckers, J.; François, I. M.; Dendooven, L.  
367 Using NDVI and soil quality analysis to assess influence of agronomic management  
368 on within-plot spatial variability and factors limiting production. Plant and Soil, v.317,  
369 p.45-59, 2009.

370 Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.  
371 F.; Alvarez V., V. H.; Schaefer, C. E. (ed.) Tópicos em ciências do solo. Viçosa:  
372 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

373 Vieira, S. R.; Millete, J.; Topp, G. C.; Reynolds, W. D. Handbook for geostatistical  
374 analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez V., V. H.; Schaefer, C. E.  
375 G. R.; Barros, N. F.; Mello, J. W. V.; Costa, L.M. (ed.). Tópicos em ciência do solo,  
376 Viçosa: SBCS, v.2. p.1-45,2002.

377 Weir J.; Hering, D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth  
378 Observatory.2012.  
379 <[http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetati](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetati)  
380 [on\\_3.p](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.p)>. 10 Mai. 2012.