



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017  
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo  
ISBN 978-85-7029-141-7

## CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO CULTIVADO COM SERINGUEIRA NA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Rodolfo Correa **Manjolin**<sup>1</sup>; Célia Regina **Grego**<sup>2</sup>; Cristina Aparecida Gonçalves **Rodrigues**<sup>3</sup>; Carlos Fernando **Quartaroli**<sup>4</sup>; Sergio Gomes **Tôsto**<sup>5</sup>

Nº 17510

**RESUMO** – A heveicultura apresenta grande potencial de expansão no Estado de São Paulo, o que torna um estudo sobre as características de solo que influenciam no desenvolvimento das plantas de suma importância. O objetivo deste trabalho foi caracterizar espacialmente, quanto à fertilidade e à granulometria, por meio da geoestatística, o solo de áreas de cultivo da seringueira em uma sub-bacia do Rio Tietê localizada no Noroeste do Estado de São Paulo. Para a análise de solo foram coletadas 34 amostras dispostas em pontos georreferenciados, e os dados de fertilidade e granulometria do solo foram analisados pela estatística descritiva e geoestatística. Os parâmetros de dependência espacial obtidos pelo ajuste do semivariograma foram utilizados para a interpolação por krigagem ordinária e os mapas de faixas de valores foram elaborados. Os pontos amostrados em seringais de diferentes idades em dois tipos representativos de solo (Latosolo Vermelho e Argissolo) mostraram textura arenosa e de baixa fertilidade, principalmente em profundidade de 20-40 cm, com baixos teores de P e de saturação por bases. Houve dependência espacial de moderada a forte para pH, Ca, SB e CTC nas duas profundidades e para as três classes texturais (areia, silte e argila) de 0-20 cm. Os mapas expressaram baixa fertilidade, principalmente na região central do Município de Planalto, demandando maior correção para a adubação e calagem em plantios de seringueira nessa região.

**Palavras-chave:** Fertilidade, geoestatística, granulometria, heveicultura, variabilidade espacial.

1 Autor, Estagiário na Embrapa Monitoramento por Satélite: Graduação em Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas-SP; r.manjolin@gmail.com.

2 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, celia.grego@embrapa.br.

3 Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

4 Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

5 Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.



**ABSTRACT** – *Rubber crops have great potential for expansion in the State of São Paulo, therefore a study on the soil characteristics that influence the development of the plants is important. The objective of this work was to spatially characterize the soil in terms of fertility and granulometry in areas featuring rubber tree crops at a sub-basin of the Tietê river, located in the Northwest of São Paulo, using geostatistics. For an analysis of singles with collected resources, 34 soil samples deformed at georeferenced points and soil fertility and granulometry data were analyzed by descriptive and geostatistical statistics. The spatial dependence parameters obtained from the semivariogram's adjustment were used for interpolation by means of ordinary kriging, and maps of value ranges were created. The soil sampled in rubber-tree crops of different ages and on two representative types of soil (Red Latosol and Argisol) show sandy texture and low fertility, especially in 20–40-cm depth, and feature low P content and base saturation. There was moderate to strong spatial dependence for pH, Ca, SB and CTC in the two depths and for all three texture classes (sand, silt and clay) at 0–20 cm. The maps showed low fertility mainly in the central region of the municipality of Planalto, which requires stronger correction for fertilization and liming in rubber crops in this region.*

**Keywords:** Fertility, Geostatistics, Granulometry, Rubber crops, Spatial variability.

## **1 INTRODUÇÃO**

A seringueira pertence ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae, e é plantada como a principal fonte de borracha natural. O cenário da heveicultura nacional mudou a partir das décadas de 1970 e 1980, quando a produção de borracha natural começou a migrar da região Amazônica para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país (FRANCISCO et al., 2009). A área cultivada em São Paulo cresceu 116% entre 2000 e 2015 (IBGE, 2017), e projeções mostram que em 2020 o Brasil poderá produzir somente 250 mil toneladas diante de um consumo potencial de mais de 500 mil (TÔSTO, 2014).

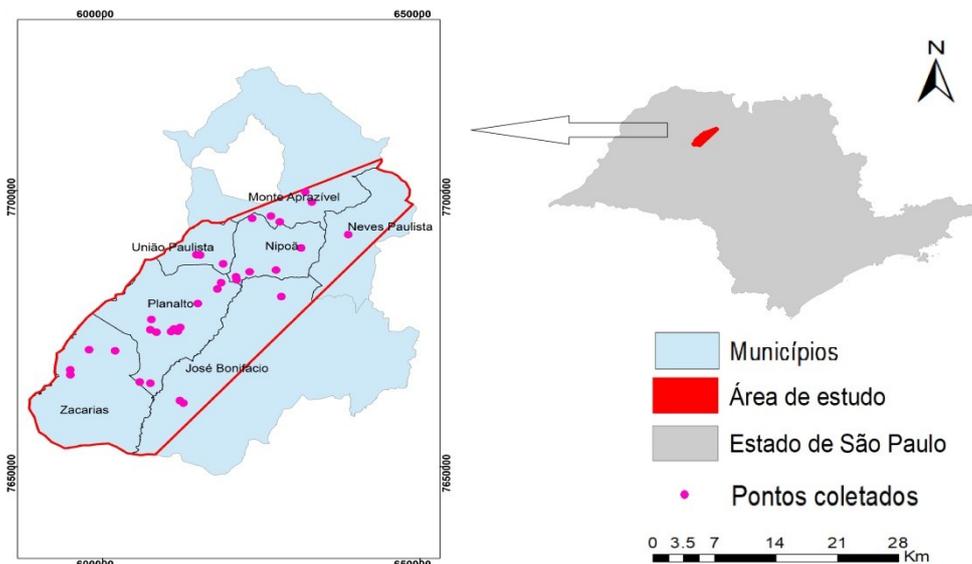
Diante do potencial de expansão da heveicultura no estado, o estudo sobre as características de solo que influenciam no desenvolvimento das plantas é de suma importância, pois permite avaliar as áreas produtivas e planejar a expansão de forma controlada, evitando

prejuízos aos produtores. A geoestatística é uma ferramenta de análise de variabilidade espacial (VIEIRA, 2000) que expressa, na forma de mapas, as informações espacializadas, e torna possível uma leitura espacial da situação das características dos solos nos seringais, como feito por Vieira et al. (2010, 2012), possibilitando planejar e efetuar operações de aplicação de insumos nos locais onde de fato é necessário, evitando, assim, o desperdício e diminuindo custos de produção.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar espacialmente, por meio da geoestatística, o solo quanto à fertilidade e à granulometria em áreas de cultivo de seringueira em uma sub-bacia do Rio Tietê localizada no Noroeste de São Paulo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A área está localizada em uma sub-bacia do Rio Tietê que abrange os municípios de Monte Aprazível, Neves Paulista, Nipoã, União Paulista, José Bonifácio e Zacarias, no Noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1). O clima é Aw na escala de Koeppen, com temperatura média superior aos 18 °C (CEPAGRI, 2017).



**Figura 1.** Área amostrada de seringueira nos municípios do Noroeste do Estado de São Paulo e a distribuição dos pontos amostrados.

A área amostrada foi escolhida mediante ocorrência de dois tipos de solo representativos na região, Latossolo Vermelho e Argissolo. Para a análise de solo, foram coletadas amostras por gradagem nos pontos georreferenciados. Os dados foram organizados em um sistema de



**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

informações geográficas (SIG) e extraídos na forma de tabela, com as coordenadas projetadas no sistema de projeção UTM e *datum* WGS84.

Os dados da análise química do solo – Al (Alumínio), H+Al (Hidrogênio + Alumínio), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), K (Potássio), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca de cátions, em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), pH ( $\text{CaCl}_2$ ), V% (porcentagem de saturação por bases), m% (porcentagem de saturação por Alumínio), P (Fósforo) e C (Carbono) ( $\text{g dm}^{-3}$ ) – e os dados da granulometria (% de silte, % de argila e % de areia) para as profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm, determinados segundo metodologia da Embrapa (1997), foram submetidos à análise estatística descritiva para exploração inicial e verificação da normalidade da distribuição de frequência. Para verificar a dependência espacial, interpolar os dados e elaborar os mapas, foi empregada a análise geoestatística, segundo Vieira (2000). Foi construído o semivariograma, gráfico da semivariância versus a distância, partindo da hipótese de que pontos vizinhos mais próximos são mais parecidos do que os mais distantes entre si (VIEIRA, 2000).

Para análise da variabilidade espacial, o semivariograma foi ajustado com o modelo matemático de melhor correspondência. Os programas computacionais e procedimentos para construção e ajuste do modelo do semivariograma foram baseados no programa computacional GEOEST (VIEIRA et al., 2002). O grau de dependência espacial (GD) foi classificado segundo Zimback (2001) como dependência fraca ( $\text{GD} < 25\%$ ), dependência moderada ( $26\% < \text{GD} \leq 75\%$ ) ou dependência forte ( $\text{GD} > 75\%$ ).

Havendo dependência espacial demonstrada pelo semivariograma, é possível estimar valores para qualquer outro local que não tenha sido amostrado usando a krigagem ordinária, que, segundo Vieira et al. (2002), estima os valores com condições de não tendenciosidade e com variância mínima em relação aos valores conhecidos. Com os valores estimados, foram construídos mapas em função da coordenada geográfica no programa ArcGIS 10.3.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e os resultados para os dados de química do solo estão expressos nas Tabelas 1 e 2 para as profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm e na Tabela 3 para os dados de granulometria. Para a análise de solo na profundidade de 0–20 cm são contabilizados 33 pontos, pois uma amostra foi perdida. A maioria apresentou assimetria e curtose próximas da normalidade de distribuição de frequência, com valores próximos a zero.

De forma geral houve grande variação nos resultados, com coeficientes de variação (CV) de 9,47 até 186,0%, na maioria classificados como altos valores de CV segundo a classificação de



**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

Warrick e Nielsen (1980). Os pontos amostrados em seringais de diferentes idades em dois tipos representativos de solo (Latosolo Vermelho e Argissolo), por suas diferentes características de morfologia e manejo de cultivo e adubação, mostraram diferentes níveis de fertilidade nos 34 pontos amostrados. Essas diferenças estão de acordo com os resultados encontrados por Bataglia et al. (2008), que encontraram solos relativamente pobres em P, bastante ácidos e com baixa saturação por bases em áreas de seringais produtivos do Estado de São Paulo, bem como nos da área de estudo deste trabalho. Na média, a fertilidade diminui com a profundidade, principalmente para a saturação por bases utilizada nos cálculos de correção por calagem.

**Tabela 1.** Dados da análise química do solo para Al, H+Al, Ca, Mg, K, SB, CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), pH ( $\text{CaCl}_2$ ), V%, m%, P e C ( $\text{g dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0–20 cm.

Variável	Pontos	Média	Variância	Desvio padrão	C.V.	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
pH	33	4,828	0,2674	0,5171	10,71	4,11	6,02	0,5451	-0,4708
Al	33	0,1582	0,00403	0,2006	126,8	0	0,77	1,687	2,563
H+Al	33	2,025	0,3598	0,5998	29,62	1,13	3,65	0,8546	1,057
Ca	33	1,261	0,6583	0,8113	64,36	0,35	4,27	1,665	4,481
Mg	33	0,5097	0,0094	0,3066	60,16	0,15	1,53	1,533	2,822
K	33	0,1679	0,00118	0,1084	64,6	0,006	0,55	1,85	4,121
SB	33	1,938	1,148	1,072	55,29	0,56	5,19	1,055	1,188
CTC	33	3,963	0,4753	0,6894	17,4	2,94	6,32	1,337	3,087
V%	33	46,82	334,9	18,3	39,09	14	82	0,00733	-0,8838
m%	33	11,54	245,4	15,67	135,8	0	57,8	1,671	2,168
P	33	5,661	60,47	7,777	137,4	0,7	32,1	2,375	5,242
C	33	6,079	3,599	1,897	31,21	3,4	11,9	1,242	2,074

**Tabela 2.** Dados da análise química do solo para Al, H+Al, Ca, Mg, K, SB, CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), pH ( $\text{CaCl}_2$ ), V%, m%, P e C ( $\text{g dm}^{-3}$ ) na profundidade de 20–40 cm.

Variável	Pontos	Média	Variância	Desvio padrão	C.V.	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
pH	34	4,675	0,1957	0,4424	9,464	4,08	5,76	0,59	-0,2272
Al	34	0,2385	0,00607	0,2465	103,3	0	0,77	0,83	-0,7503
H+Al	34	2,083	0,2486	0,4986	23,94	1,2	3,35	0,6898	0,4344
Ca	34	1,007	0,4464	0,6681	66,32	0,28	3,34	1,446	3,065
Mg	34	0,4594	0,00713	0,267	58,13	0,14	1,07	0,696	-0,5932
K	34	0,1047	0,000638	0,00799	76,3	0,003	0,43	2,506	8,027
SB	34	1,561	0,8687	0,932	59,7	0,33	4,37	0,9426	0,9067
CTC	34	3,644	0,4049	0,6363	17,46	2,72	5,56	1,179	1,489
V%	34	40,65	328,1	18,11	44,56	10	79	0,00310	-0,8741
m%	34	19,04	467	21,61	113,5	0	67,4	0,9814	-0,3007
P	34	2,226	17,14	4,14	186	0,7	22	3,835	16,39
C	34	5,041	1,439	1,2	23,79	3,3	7,8	0,6604	-0,00185



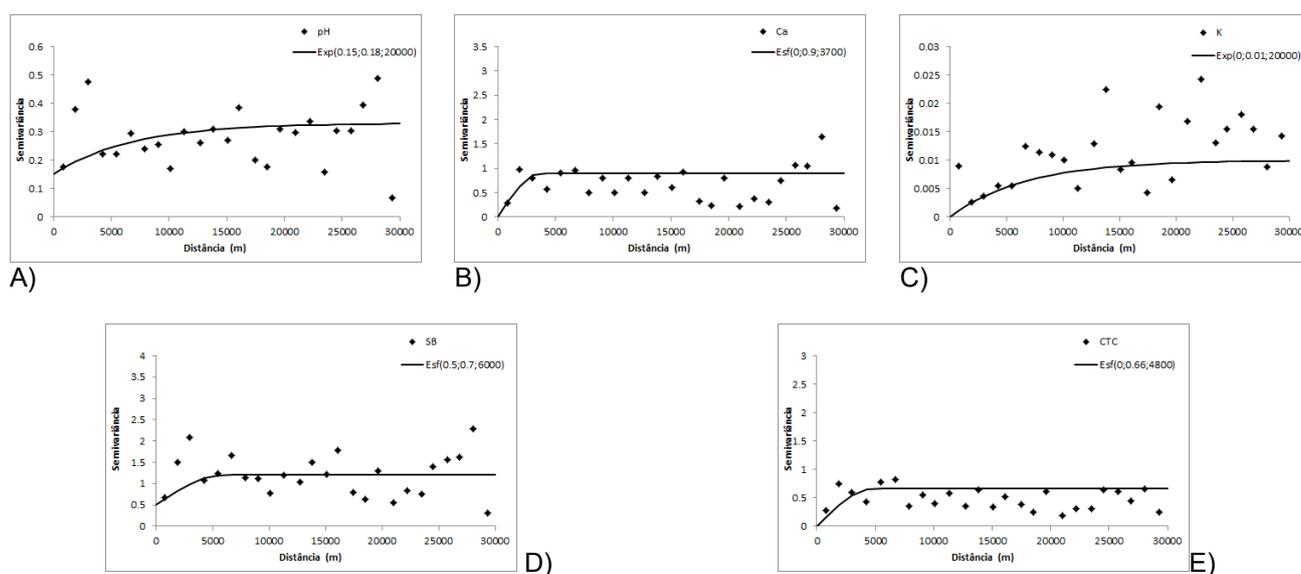
**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

Segundo a Tabela 3, os solos são de textura arenosa e a argila tem um ligeiro aumento em profundidade, o que pode ser decorrente do horizonte B textural, que ocorre nos Argissolos da área de estudo.

**Tabela 3.** Dados da análise granulométrica do solo, areia, silte e argila, em porcentagem, em 0–20 cm e 20–40 cm de profundidade.

Variável	Pontos	Média	Variância	Desvio padrão	C.V.	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Areia									
0-20 cm	34	74,59	18,1	4,254	5,703	63,35	83,35	-0,4114	0,8585
Silte									
0-20 cm	34	7,87	3,927	1,982	25,18	4,349	11,83	0,00223	-0,7393
Argila									
0-20 cm	34	17,54	20,01	4,473	25,5	8,027	27,18	-0,002	-0,141
Areia									
0-40 cm	33	73,02	10,12	3,181	4,357	66,22	79,5	-0,00271	-0,1511
Silte									
0-40 cm	33	7,363	4,333	2,082	28,27	4,455	12,03	0,6936	-0,00413
Argila									
0-40 cm	33	19,62	13,38	3,658	18,64	11,29	25,35	-0,4824	-0,3073

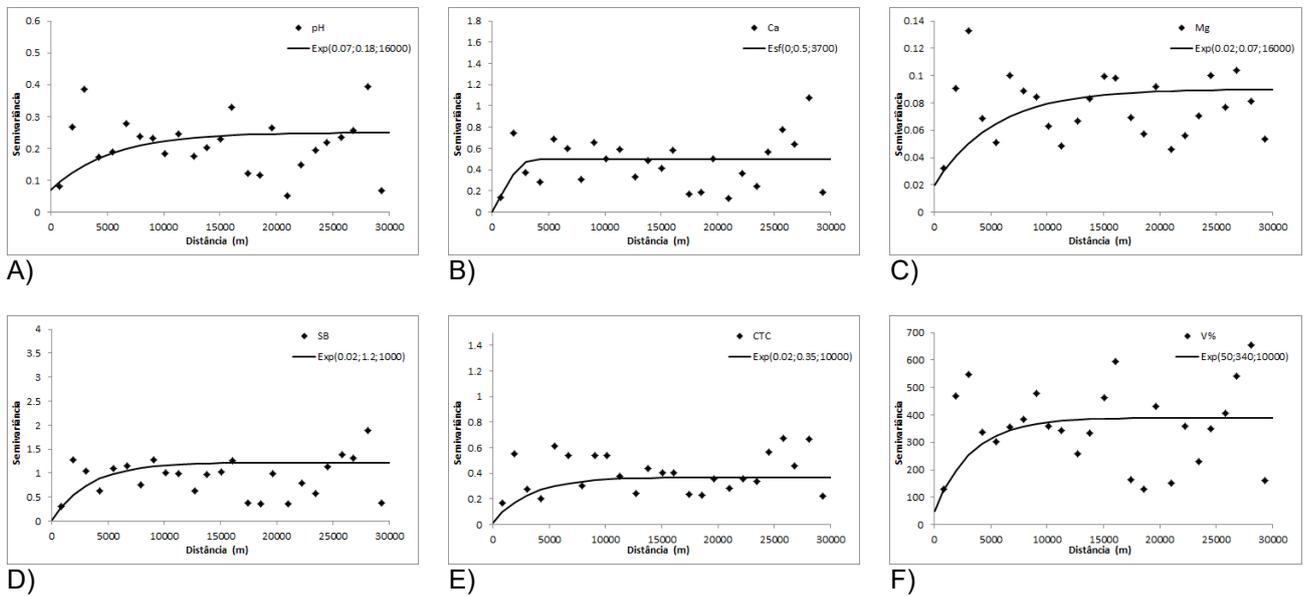
Para a identificação da variabilidade espacial, os dados foram submetidos à análise geoestatística, por meio do cálculo da semivariância e do ajuste do semivariograma. Aqueles que apresentaram dependência espacial estão mostrados nas Figuras 2, 3 e 4. No entanto, para as variáveis Al, H+Al, Mg, m%, V%, P e C na profundidade de 0–20 cm, para Al, H+Al, K, m%, P e C de 20–40 cm, e para os dados de argila e areia na profundidade de 20–40 cm não houve dependência espacial em decorrência da não correspondência de um modelo de ajuste para o semivariograma.



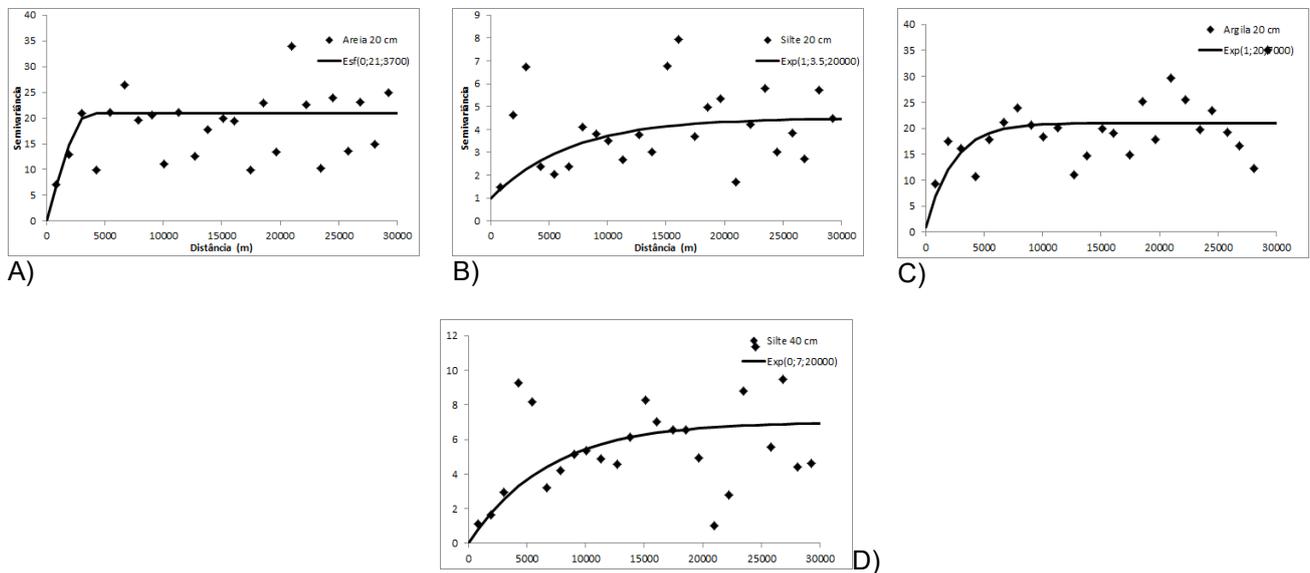
**Figura 2.** Semivariogramas ajustados para os dados da análise química do solo na profundidade de 0–20 cm, com o modelo e os parâmetros de ajuste entre parênteses: A) pH; B) Ca; C) K; D) SB; E) CTC.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017  
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo  
ISBN 978-85-7029-141-7



**Figura 3.** Semivariogramas ajustados para os dados da análise química do solo na profundidade de 20–40 cm, com o modelo e os parâmetros de ajuste entre parênteses: A) pH; B) Ca; C) Mg; D) SB; E) CTC; F) V%.



**Figura 4.** Semivariogramas ajustados para os dados da análise granulométrica nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm, com o modelo e os parâmetros de ajuste entre parênteses: A) areia 0–20 cm; B) silte 0–20 cm; C) argila 0–20 cm; D) silte 20–40 cm.

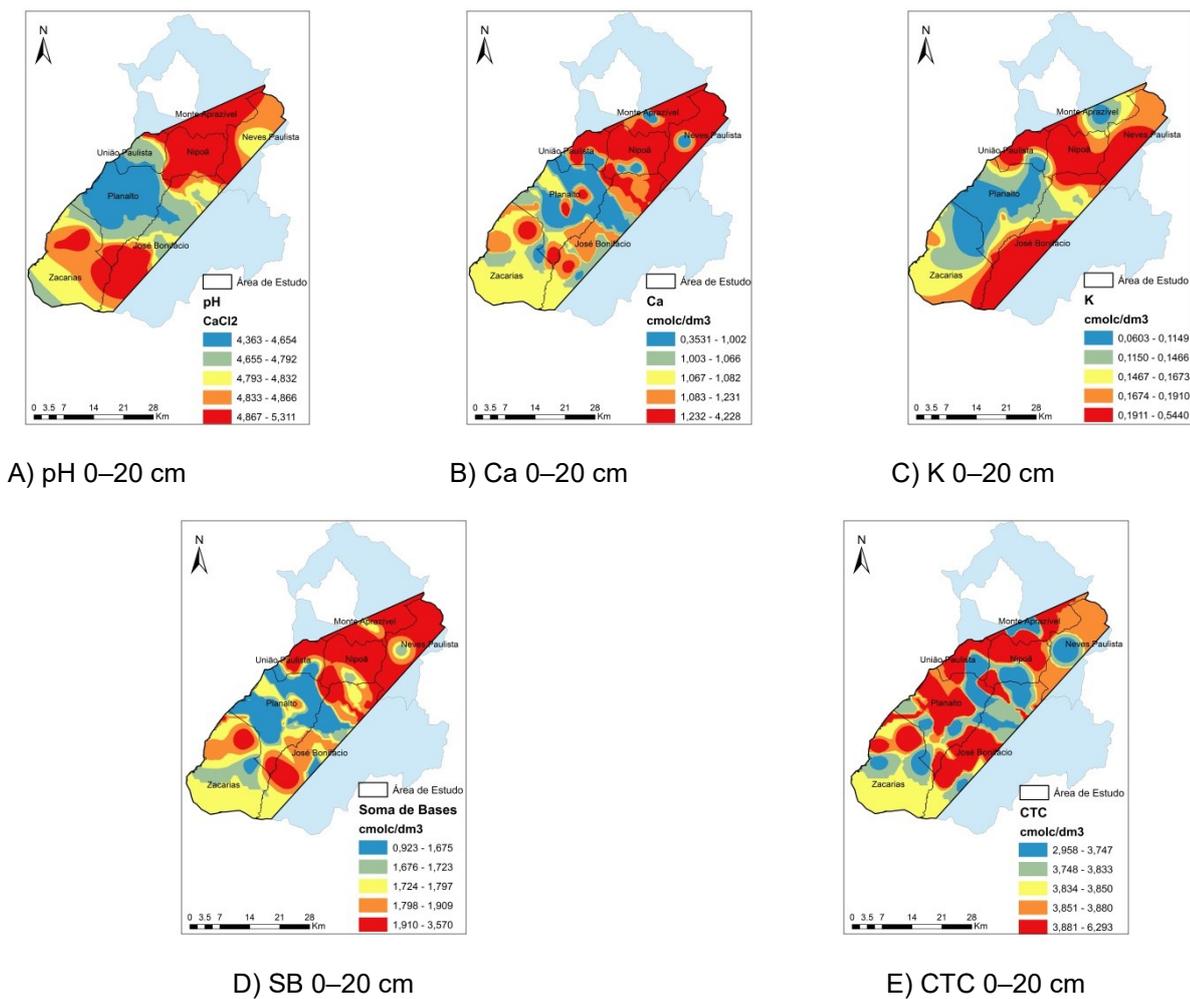
Por meio da análise do grau de dependência segundo Zimback (2001), foi identificada dependência de moderada a forte para todas as variáveis, para as quais foi possível fazer o ajuste do semivariograma. O alcance variou de 3.700 m a 20.000 m, o que permite inferir que nessas



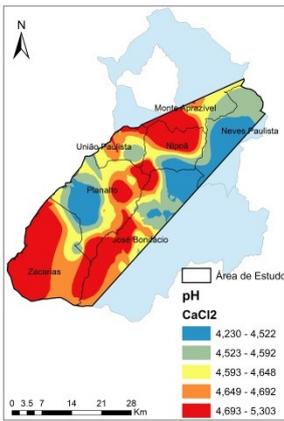
**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

distâncias encontram-se características semelhantes quanto à fertilidade do solo e textura, e que o manejo localizado de adubação poderia seguir essas zonas de manejo visando a economia de insumos e o aumento da produção.

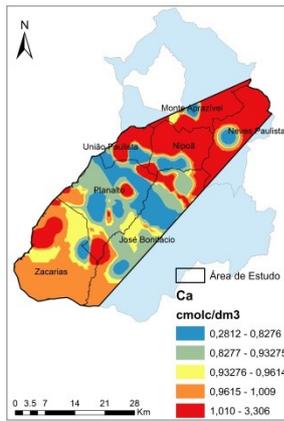
A interpolação de valores nos locais não amostrados foi realizada para as variáveis para as quais houve ajuste do semivariograma, e os mapas de krigagem foram obtidos (Figuras 5 a 7).



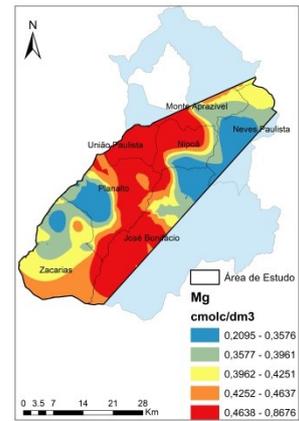
**Figura 5.** Mapas de faixas de valores para análise química do solo na profundidade de 0-20 cm.



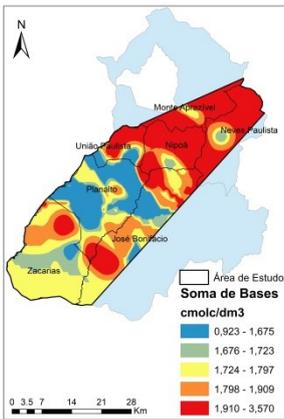
A) pH 20–40 cm



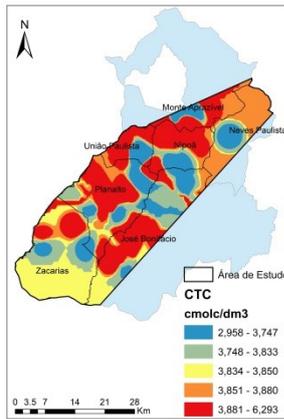
B) Ca 20–40 cm



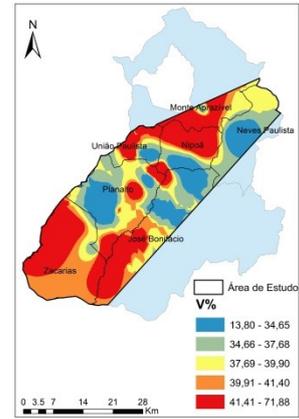
C) Mg 20–40 cm



D) SB 20–40 cm

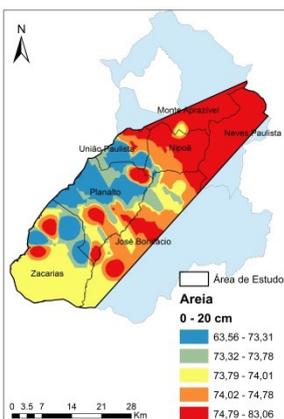


E) CTC 20–40 cm

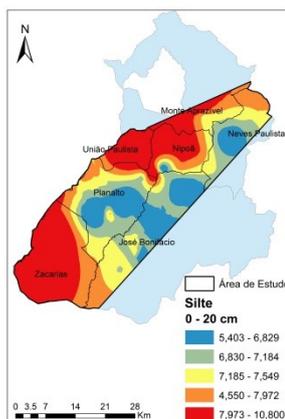


F) V% 20–40 cm

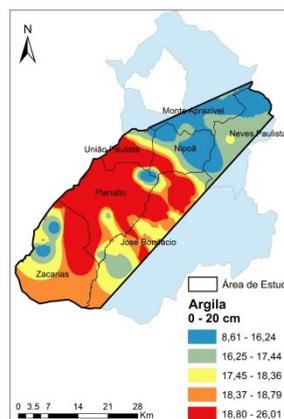
**Figura 6.** Mapas de faixas de valores para análise química do solo na profundidade de 20–40 cm.



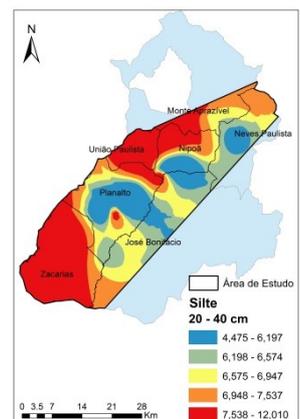
A) Areia 0–20 cm



B) Silte 0–20 cm



C) Argila 0–20 cm



D) Silte 20–40 cm

**Figura 7.** Mapas de faixas de valores para análise granulométrica do solo nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm.



**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

Segundo Bataglia et al. (1988), seringais menos produtivos apresentam baixa fertilidade quanto aos teores de K, P e pH ácido. Essa característica foi evidenciada nos mapas dos atributos químicos do solo (Figuras 5 e 6), principalmente na região central no Município de Planalto, que demanda maior correção para adubação e calagem. As demais localidades, como as da região nordeste, apresentam melhores valores tanto de pH e K quanto de CTC e SB.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os pontos amostrados em seringais de diferentes idades em dois tipos representativos de solo (Latosolo Vermelho e Argissolo) mostraram textura arenosa e de baixa fertilidade, principalmente na profundidade de 20–40 cm, com baixos teores de P e de saturação por bases.

Houve dependência espacial de moderada a forte para pH, Ca, SB e CTC nas duas profundidades e para as três classes texturais (areia, silte e argila) na profundidade de 0–20 cm. Os mapas expressaram baixa fertilidade principalmente na região central no Município de Planalto, a qual demanda maior correção para adubação e calagem nesta região para os plantios de seringueira.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À Embrapa Monitoramento por Satélite, pela bolsa concedida, e à minha orientadora Célia Regina Grego, pela paciência e por todo conhecimento transmitido.

#### **6 REFERÊNCIAS**

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

BATAGLIA, O. C.; CARDOSO, M.; CARRETERO, M. V. Situação nutricional de seringais produtivos no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.47, n.1, p.109-123, 1988.

CEPAGRI. **Clima dos municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.

FRANCISCO, V. L. F. S.; BUENO, C. R. F.; CASTANHO FILHO, E. P.; VICENTE, M. C. M.; BAPTISTELLA, C. L. da S. Análise comparativa da heveicultura no Estado de São Paulo, 1995/96 e 2007/08. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 9, set. 2009, p. 21-33.

IBGE. **Banco de dados agregados**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=p&o=28>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

TÔSTO, S. G. **Geohevea**: sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2014.



**11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017**  
**02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-141-7**

VIEIRA, S. R.; BRANCALIÃO, S. R.; GREGO, C. R.; MARTINS, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com leguminosa consorciada com a seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010.

VIEIRA, S. R.; PIERRE, L. H.; GREGO, C. R.; SIQUEIRA, G. M. Relação espacial entre características dendrométricas de seringueira (*Hevea Brasiliensis*) e de atributos físicos do solo. **Revista de Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v. 32, n 2, jul./dez. p. 63-73, 2012.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo 1**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 3-87.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J. A.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo 2**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 1-45.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre docência) – Unesp, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.