

Relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo*

Productivity relations of sugarcane with chemical attributes of an Ultisol

Flávio Carlos Dalchiavon^{1,*}, Edjair Augusto Dal Bem², Morel de Passos e Carvalho³, Mateus Defavari Sarto⁴, Rafael Montanari³ e Flávio Hiroshi Kaneko²

*Trabalho extraído da dissertação de mestrado do segundo autor – Mestrado em Agronomia, área de concentração em Sistemas de Produção, apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS), Campus de Ilha Solteira, CEP 15385-000, Ilha Solteira (SP).

²Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis, curso de Bacharelado em Agronomia, MT 235, km 12, Zona Rural, CEP 78360-000 Campo Novo do Parecis, MT, Brasil

³Doutor em Agronomia (Sistemas de Produção), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS), Campus de Ilha Solteira, CEP 15385-000, Ilha Solteira (SP), Brasil

⁴Professor, UNESP-FEIS, DEFERS, Campus de Ilha Solteira, Brasil

⁵Engenheiro Agrônomo, DEFERS, UNESP, Campus de Ilha Solteira, Brasil

(*E-mail: flavio.dalchiavon@cnp.ifmt.edu.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17061>

Recebido/received: 2017.03.15

Recebido em versão revista/received in revised version: 2017.06.02

Aceite/accepted: 2017.08.01

RESUMO

Técnicas de estatística clássica bem como da geoestatística são ferramentas importantes para correlacionar, linear e espacialmente, a produtividade vegetal com os atributos do solo. Objetivou-se com este trabalho determinar as correlações, lineares e espaciais, entre a produtividade da cana de açúcar e os atributos químicos do solo. O trabalho foi realizado no município de Rubinéia (Estado de São Paulo, Brasil), num Argissolo Vermelho eutrófico, numa área de 1,30 ha, adotando uma malha regular com 121 pontos amostrais para a recolha de dados do solo e da planta. Os atributos foram analisados tanto linear quanto espacialmente. O atributo da planta com maior correlação com a produtividade de colmos de cana-de-açúcar foi a população de plantas. Na camada superficial (0-0,20 m) o atributo do solo que mais influenciou a produtividade de colmos de cana-de-açúcar foi o potássio extraível, enquanto que na camada de 0,20-0,40 m foi o cálcio. O potássio extraível (0,20-0,40 m) foi ainda o atributo do solo que proporcionou o melhor ajustamento semivariográfico.

Palavras chave: agricultura de precisão, fertilidade do solo, geoestatística, *Saccharum officinarum* L., semivariograma.

ABSTRACT

Classical statistic techniques and geostatistics are important tools to correlate linearly and spatially vegetal productivity to the soil's properties. This study aimed to analyze the linear and spatial correlations between the productivity of sugarcane and soil chemical properties. The work was conducted in the city of Rubinéia (State of São Paulo, Brazil), in a Red Ultisol, in an area of 1.30 ha, adopting a regular grid with 121 sampling points for the collection of soil and plant data. The attributes were analyzed both linearly and spatially. The attribute of the plant with the highest correlation with the yield of sugarcane stalks was the plant population. In the surface layer (0-0.20 m), the soil attribute that influenced the yield of sugarcane stalks was extractable potassium, while in the layer of 0.20-0.40 m it was calcium. Extractable potassium (0.20-0.40 m) was also the soil attribute that provided the best semivariographic adjustment.

Keywords: precision agriculture, soil fertility, geostatistics, *Saccharum officinarum* L., semivariogram.

INTRODUÇÃO

As áreas mundiais de cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) têm-se expandido constantemente, sobretudo no Brasil, com maior intensidade na década de 70, com a criação do Programa Nacional do Álcool ou Proálcool em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção de álcool, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos.

A cultura da cana-de-açúcar representa hoje, nacional e internacionalmente, importante fonte de divisas, tanto pela produção de açúcar quanto pela produção de álcool etílico. Esta cultura vem apresentando significativa expansão em sua área cultivada, assim como tem revelado aumento substancial em sua produtividade, reflexo conjugado de vários fatores de produção, tais como: variedades melhoradas, tratamentos fitossanitários, práticas culturais e utilização de corretivos e fertilizantes (Vitti *et al.*, 2003).

A agricultura de precisão determina o exato manejo da lavoura tendo como base o mapeamento de zonas específicas de manejo do solo. Os seus maiores benefícios são a redução do custo de produção devido ao menor gasto com insumos, oriundo da aplicação com taxa variada, e o aumento da produtividade agrícola (Dalchiavon *et al.*, 2012a).

A análise da variabilidade das características do solo com recurso à geoestatística possibilita o ajustamento do semivariograma para dados georreferenciados que apresentem dependência espacial. Contudo, havendo afinidade entre as dependências espaciais de dois atributos quaisquer, modelada pelo semivariograma cruzado, pode-se obter o mapa de cokrigagem para o atributo principal, de difícil obtenção e de maior interesse, em função do atributo secundário, normalmente de fácil obtenção (Molin *et al.*, 2007; Montanari *et al.*, 2010). Poder-se-ia, então, a partir do atributo secundário, obter as zonas específicas de manejo do solo para o atributo primário.

Nos últimos anos, trabalhos têm sido desenvolvidos com o propósito de pesquisar a relação espacial entre os atributos químicos do solo

(secundários) e a produtividade das culturas (principal). Dentre eles, são referidos os de Lima *et al.* (2010), Dalchiavon *et al.* (2013a), Montanari *et al.* (2013), Costa *et al.* (2014) e Dalchiavon *et al.* (2015), respectivamente com as culturas do eucalipto, arroz, feijoeiro, laranja e do girassol. Contudo, tais relações aplicadas à cultura da cana-de-açúcar ainda são pouco exploradas.

Assim, objetivou-se com este trabalho determinar as correlações, lineares e espaciais, entre a produtividade da cana-de-açúcar com os atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico (Ultisol), determinando aqueles que melhor se relacionam com o aumento da produtividade agrícola em questão.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em Rubinéia (SP-Brasil), num talhão estabelecido com a cultura da cana-de-açúcar, na Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, num Argissolo Vermelho eutrófico (Ultisol), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), cuja caracterização inicial da fertilidade (ago/2010), para as camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, apresentou, respectivamente, os seguintes valores: pH (CaCl₂) = 4,8 e 5,3; MO = 15 e 11 g dm⁻³; P disponível (resina) = 5 e 3 mg dm⁻³; K extraível, Ca, Mg, H+Al e CTC = 1,2 e 0,7; 18 e 16; 8 e 6; 18 e 16; e 45,2 e 38,7 mmol_c dm⁻³, com V = 60 e 59 %. Sua granulometria, de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, é de 89 e 141 g kg⁻¹ de argila, 67 e 81 g kg⁻¹ de limo e de 844 e 778 g kg⁻¹ de areia, respectivamente, classificando-o como textura arenosa (argila < 150 g kg⁻¹ de solo) (Embrapa, 2013). Localiza-se a 20° 17' 53" S e 51° 02' 23" W, com altitude média de 348 metros.

Para a variedade de cana-de-açúcar utilizada (RB855035), as condições de solo atendem perfeitamente a sua necessidade, uma vez que é recomendado o seu plantio em ambiente de baixo a médio potencial de produção, pois possui boa adaptação a solos leves e de média fertilidade (Ridesa, 2010).

As condições climáticas durante o período experimental foram: temperaturas máxima, média e mínima de 26,0; 24,3 e 22,9 °C, respectivamente, e precipitação pluvial de 1365 mm (Figura 1).

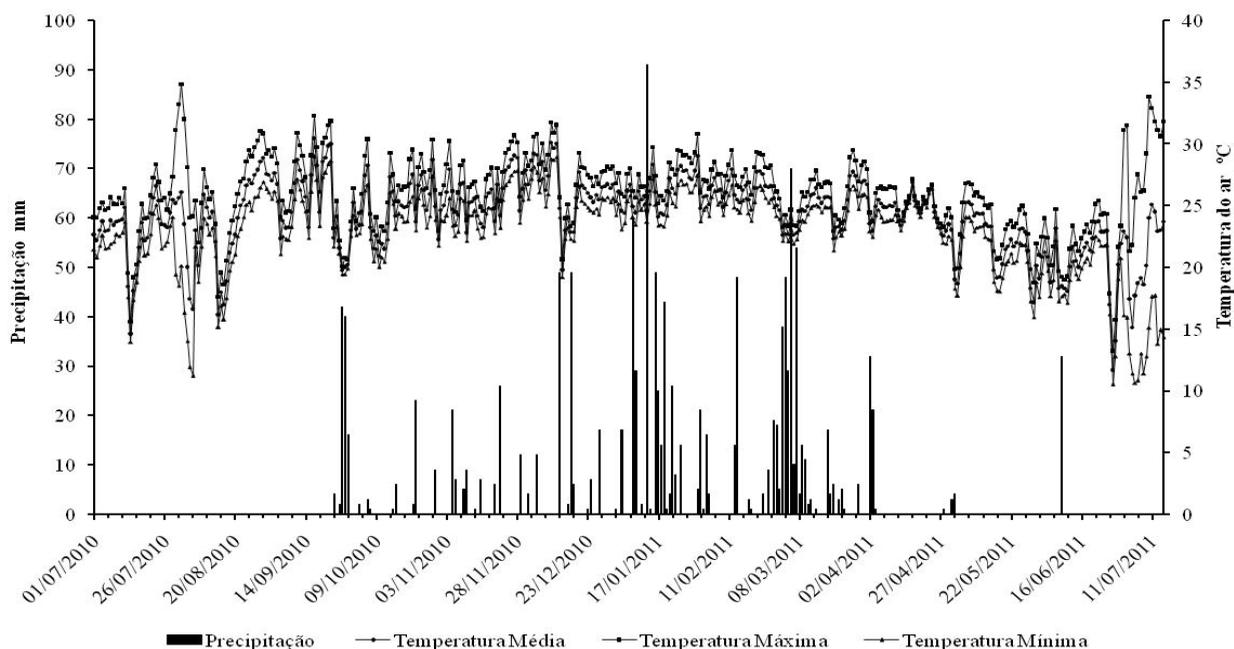


Figura 1 - Precipitação pluvial e médias térmicas diárias, obtidas na área experimental, durante o período de julho de 2010 a julho de 2011.

Para a implantação da cultura da cana-de-açúcar sob área de pastagem (braquiária), foi necessário dessecá-la com herbicida glifosato (2,5 kg ha⁻¹ p.c.). Para o preparo do solo foi realizada uma gradagem pesada e duas gradagens intermediárias (maio/2008), momento este em que foram aplicados a lanço 1,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 85%), com incorporação, por arado de aivecas, a 0,35 m de profundidade, finalizando-o com uma grade niveladora. Na sulcação adubou-se a área com 500 kg ha⁻¹ da fórmula 06-30-24 (N-P₂O₅-K₂O) e na cobertura dos toletes foi aplicado, no sulco de plantio, 250 g ha⁻¹ i.a. de fipronil, visando o controle de pragas de solo.

O plantio foi realizado em junho de 2008, com espaçamento de 1,50 m entre linhas, com a cana-de-açúcar sendo colhida mecanicamente, crua e em toletes. A condução da cultura no campo foi de acordo com o manejo adotado pela Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar. Assim, para as adubações das soqueiras (2009 e 2010) foram aplicados a lanço 500 kg ha⁻¹ da fórmula 23-00-15.

Foram definidas as direções X e Y do sistema de coordenadas cartesianas para o estaqueamento da malha experimental, utilizando um nível ótico

comum. Na dimensão Y foram alocadas 11 transectos, espaçados 13 m uns dos outros, com 11 pontos amostrais cada, espaçados 10 m, totalizando 121 pontos amostrais em 13 000 m² (100 × 130 m).

Foram pesquisados atributos do solo e da planta, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral. Os atributos químicos do solo foram os teores de P disponível e MO, valor de pH em CaCl₂, teores de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, valores de soma de bases de troca (S), sendo a soma de Ca, Mg e K, capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%), determinados conforme Raij *et al.* (2001), sendo o P, Ca, Mg e K quantificados através do método de extração pela resina trocadora de íons, a MO pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, e a H+Al determinada através do extrator acetato de cálcio 1 N. As amostras de solo foram coletadas, em 29/10/2011, nas entrelinhas de plantio, em duas profundidades: 1) 0-0,20 m e 2) 0,20-0,40 m.

Em relação aos atributos tecnológicos da planta foram considerados: açúcares totais recuperáveis (ATR), percentual de sólidos solúveis totais (BRI), percentual de sacarose (POL), percentual de pureza

(PUR) e percentual de fibra (FIB). As análises foram realizadas no laboratório de PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose) da Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, unidade Suzanópolis-SP. A produtividade de colmos de cana-de-açúcar (PRO; t ha⁻¹) foi obtida mediante a pesagem dos colmos colhidos manualmente, em 15/07/2011, numa área de 9 m², sendo duas linhas de 3 m cada. Utilizou-se balança analítica eletrônico-digital (+/- 0,05 kg) para a pesagem dos colmos. A população de plantas (PPM) na cana de terceiro corte, expressa em número de plantas por metro, foi obtida mediante a contagem dos colmos presentes em 6 m de linha (2 linhas × 3 m cada).

Foi efetuada a análise descritiva dos dados com o *Software SAS*. Para testar a hipótese da normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5%. Posteriormente foi montada a matriz de correlação de Pearson e modeladas as regressões com a planilha de cálculos Excel. A dependência espacial pelo cálculo do semivariograma foi realizada com o *Gamma Design Software 7.0*.

Com o pacote computacional SAS, foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre: 1) a PRO (variável dependente) em função dos atributos da planta da cana-de-açúcar (variáveis independentes), e 2) a PRO (variável dependente) em função dos atributos químicos pesquisados (variáveis independentes) em cada camada de solo estudada. Selecionaram-se os atributos que proporcionariam as melhores equações para estimar a PRO, por intermédio do *stepwise*, a 10 % de probabilidade para a inclusão e exclusão de variáveis no modelo. O desempenho das equações foi analisado pelo coeficiente de determinação (r²).

Na indefinição de estacionaridade para o atributo, retirou-se a tendência dos dados pela técnica da regressão múltipla polinomial, assim como os critérios de seu ajustamento. Estes atributos ficaram precedidos do símbolo # quando referidos na análise semivariográfica e na validação cruzada e, nos mapas de krigagem, ficou representado pelo símbolo £. No ajustamento dos modelos experimentais (linear, esférico, exponencial e gaussiano) foram considerados: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); b) o maior coeficiente de determinação (r²) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE).

A análise do avaliador da dependência espacial (ADE), que mede a contribuição da variância estrutural sob o patamar $[C/(C+C_0)]_{100}$, foi conforme sugestões de Dalchiavon e Carvalho (2012), a saber: a) ADE < 20 % = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) 20 % ≤ ADE < 40 % = baixa dependência (BA); c) 40 % ≤ ADE < 60 % = média dependência (ME); d) 60 % ≤ ADE < 80 % = alta dependência (AL) e e) 80 % ≤ ADE < 100 % = muito alta dependência (MA). Por outro lado, utilizou-se a validação cruzada como ferramenta para avaliar modelos alternativos de semivariogramas pela técnica krigagem ordinária com mínima variância. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de krigagem para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o Quadro 1, a produtividade de colmos por hectare (PRO), plantas por metro (PPM), açúcares totais recuperáveis (ATR), percentual de sacarose (POL) e pureza (PUR), apresentaram, respectivamente, CV de 12,0%, 14,6%, 10,5%, 11,0% e 13,3%, variabilidade média. Dutra Filho *et al.* (2011), analisando os atributos tecnológicos de diferentes variedades de cana observaram CV médio para POL, confirmando a representatividade dos dados. Para a PRO, os dados do CV foram semelhantes aos encontrados por Souza *et al.* (2010) obtidos para a cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho-Amarelo. A distribuição de frequência dos atributos da planta foram todos do tipo normal, desta forma os atributos analisados foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), oscilando entre 0,289 a 0,704.

A PRO média obtida foi de 94,6 t ha⁻¹ (Quadro 1), superior à produtividade média brasileira para aquele ano, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2011), que na safra 2010/2011 foi de 77,5 t ha⁻¹. Contudo, está de acordo com as produtividades obtidas por Dalchiavon *et al.* (2013b; 2014), que foram de 89,5 e 89,2 t ha⁻¹, respectivamente, todos em estudos desenvolvidos na mesma região.

Em relação aos atributos do solo (Quadro 2), foi constatada alta variabilidade para os atributos cálcio, na profundidade de 0-0,2 m (Ca1) e na profundidade de 0,20-0,40 m (Ca2), magnésio, na profundidade 0,20-0,40 (Mg2), soma de bases, nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m (S1 e S2), com valores que variaram entre 25,1 e 28,1%. O fósforo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m (P1 e P2), matéria orgânica, na profundidade 0-0,20 m (MO1), potássio, nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m (K1 e K2) e magnésio, na profundidade 0-0-20 (Mg1), apresentaram variabilidade muito alta nos dados, oscilando entre 30,4 e 91,8%. O valor alto do CV de P pode ser atribuído ao modo de aplicação desse nutriente, mecanicamente e no sulco de plantio e também à sua baixa mobilidade no solo (Machado *et al.*, 2007).

Distribuição de frequência do tipo normal foram verificadas nos atributos pH, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m (pH1 e pH2), K1, saturação por bases, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m (V%1 e V%2) e para o Mg2 (Quadro 2), sendo estes significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), pois seus valores variaram de 0,051 a 0,476.

A matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos da cultura da cana-de-açúcar (PRO,

PPM, ATR, BRI, POL, PUR, FIB) e os atributos químicos do solo (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, S, T, V%) revelou que, dentre os atributos da planta, o componente da produção que mais incrementou a PRO foi a PPM, apresentando significância estatística (PRO × PPM; $r = 0,725^{**}$), ficando de acordo com Dalchiavon *et al.* (2014), que também observaram correlação entre tais atributos (PRO × PPM; $r = 0,430^{**}$). Assim, quanto maior o número de plantas por metro maior será a PRO. De acordo com Silva (2008), a população ideal das plantas está entre 10 e 12 plantas por metro linear, neste caso, os valores condizem com a quantidade média de plantas encontrada nesta pesquisa (Quadro 1).

Levando em consideração a correlação linear entre atributos da planta e atributos químicos na camada superficial do solo, destaca-se a PRO × K1 ($r = 0,212^*$), sendo este, o elemento químico que mais influenciou a produtividade da cana-de-açúcar. O K apresentou correlação com a PRO por ser o nutriente de maior exigência pela cultura da cana-de-açúcar (Dinardo-Miranda, 2008). Souza *et al.* (2010) também encontraram correlação entre a produtividade de colmos da cana-de-açúcar e os teores de potássio no solo, assim como Caione *et al.* (2011) relataram haver correlação entre a produtividade de colmos da cana-de-açúcar e as doses de

Quadro 1 - Medidas estatísticas descritivas da produtividade e de componentes tecnológicos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia -SP)

Medidas estatísticas	Atributos ^(a)						
	PRO	PPM	ATR	BRI	POL	PUR	FIB
	t ha ⁻¹	pl. m ⁻¹	kg t ⁻¹	-----	%	-----	-----
Média	94,6	11,48	131,8	15,3	16,3	87,1	13,8
Mediana	94,9	11,60	132,4	15,3	16,3	87,1	13,8
Mínimo	69,3	7,90	99,0	11,6	12,1	79,5	12,2
Máximo	119,7	15,80	170,6	19,8	20,9	94,5	16,0
Desvio padrão	11,4	1,68	13,9	1,5	1,8	2,9	0,7
Coefficiente de Variação (%)	12,0	14,6	10,5	9,6	11	13,3	4,9
Coefficiente de Curtose	-0,497	-0,485	0,060	0,306	-0,149	0,224	0,562
Coefficiente de Assimetria	0,072	-0,067	-0,016	-0,032	-0,063	-0,179	0,255
Probabilidade do teste ^(b) Pr<w	0,289	0,439	0,531	0,704	0,704	0,549	0,486
DF	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

^(a) PRO, PPM, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a produtividade de colmos por hectare, população de plantas por metro, açúcares totais recuperáveis, percentual de sólidos solúveis totais, percentual de sacarose, pureza e percentual de fibra; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, do tipo normal.

Quadro 2 - Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia -SP) nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m

Medidas estatísticas	Atributos ^(a)									
	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	-	-----			mmol _c dm ⁻³	-----		%
<i>Profundidade 0-0,20 m</i>										
Média	6,1	17,2	5,3	4,2	21,8	9,7	21,5	35,5	57,5	61,6
Mediana	6,0	17,0	5,3	4,3	20,0	9,0	22,0	34,4	58,0	62,0
Mínimo	2,0	10,0	4,6	0,8	11,0	3,0	13,0	18,5	37,7	42,0
Máximo	11,0	24,0	5,8	7,6	38,0	19,0	29,0	58,8	83,8	80,0
Desvio padrão	1,84	2,57	0,24	1,47	5,75	3,14	3,50	8,90	10,71	6,76
Coef. Variação (%)	30,4	14,9	4,5	34,9	26,4	32,3	16,3	25,1	18,6	11,0
Coef. Curtose	-0,034	24,370	-0,291	-0,584	-0,572	0,361	-0,317	-0,086	-0,957	0,332
Coef. Assimetria	0,280	4,777	-0,177	0,065	0,001	-0,333	0,111	-0,185	0,075	-0,262
Prob. teste ^(b) Pr<w	4,9.10 ⁻³	2,5.10 ⁻³	0,056	0,476	0,115	0,050	0,015	0,027	1,2.10 ⁻³	0,283
DF	IN	IN	NO	NO	LN	LN	IN	TL	IN	NO
<i>Profundidade 0,20-0,40 m</i>										
Média	4,3	13,9	5,2	2,4	21,4	10,2	21,1	34,0	55,4	61,1
Mediana	4,0	14,0	5,2	2,3	21	10,0	21,0	33,5	56,9	62,0
Mínimo	1,0	10,0	4,5	0,5	12	4,0	15,0	18,5	34,5	42,0
Máximo	9,0	19,0	6,0	5,0	36	16,0	29,0	58,8	77,5	79,0
Desvio padrão	1,72	2,09	0,245	0,96	6,01	2,84	3,48	8,60	9,98	6,93
Coef. Variação (%)	40,4	15,1	4,7	39,4	28,1	27,8	16,5	25,3	18,0	11,3
Coef. Curtose	-0,025	-0,473	0,789	-0,035	-0,899	-0,574	-0,710	-0,609	-0,997	0,628
Coef. Assimetria	0,428	0,077	0,152	0,425	0,003	0,062	0,313	0,270	0,080	-0,628
Prob. teste ^(b) Pr<w	10 ⁻⁴	3,0.10 ⁻⁴	0,051	0,015	0,027	0,056	6,0.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻²	1,3.10 ⁻³	0,120
DF	IN	IN	NO	TL	TL	NO	IN	IN	IN	NO

(a) P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, S, T, V%, são respectivamente o fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada (1) 0-0,20 e (2) 0,20-0,40 m; (b) DF = distribuição de frequência, sendo IN, NO, LN e TL respectivamente do tipo indeterminado, normal, lognormal e tendendo à lognormal.

potássio pesquisadas, denotando a alta demanda da cultura por este nutriente.

Para a correlação PPM × K1 ($r = 0,196^*$), foi verificado que este nutriente proporcionou aumento do perfilhamento da planta, o que já havia sido observado por Otto *et al.* (2010) em um Latossolo Vermelho distrófico durante o ciclo de cana-planta (cana de primeiro corte), com o cultivar SP90 3414, corroborando o presente estudo.

A correlação PRO × Ca2 ($r = 0,271^{**}$) indicou que a PRO foi influenciada positivamente pelos teores de

Ca na profundidade de 0,20-0,40 m. Este nutriente está correlacionado com a diminuição da acidez do solo, além de ser um nutriente atuante no sistema radicular da planta. Bittencourt *et al.* (2003), analisando fontes de cálcio num Latossolo Vermelho escuro, observaram um aumento na produção de colmos de cana-de-açúcar com o incremento nas doses de Ca, o que explica outra interação observada neste estudo, a da PPM × Ca2 ($r = 0,257^{**}$).

A regressão da PRO em função do K1 (Figura 2), com relação potencial positiva, foi expressa pelo modelo matemático $y = 8,54.10.x^{0,0692^*}$. Assim, por

meio desta equação é possível estimar a PRO, de forma que quando os teores de K variaram de 0,8 a 7,6 mmol_c dm⁻³ (Quadro 2), a mencionada PRO variou entre 83,21 a 99,30 t ha⁻¹. Esta equação é de grande importância no manejo da fertilidade do solo e na produção da cana-de-açúcar, o que também foi evidenciado por Prado *et al.* (2003) ao constatarem haver aumento linear na produção de colmos de cana-de-açúcar com o aumento nas doses de K na adubação, assim como Caione *et al.* (2011), no entanto, estes obtiveram um modelo polinomial quadrático.

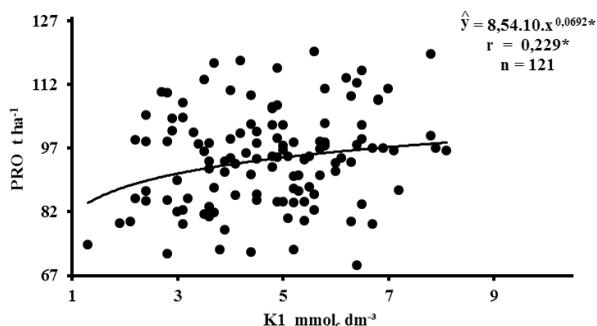


Figura 2 - Equação de regressão da produtividade de cana-de-açúcar em função do K na profundidade de 0-0,20 m de um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia -SP).

Para a regressão entre da PRO em função do Ca₂ (Figura 3), o efeito da variável independente sobre a dependente foi potencial positivo, sendo expressa pelo modelo matemático $y = 6,41.10.x^{0,126**}$. Assim, quando os teores de Ca (0,20-0,40 m) variaram de 12 a 36 mmol_c dm⁻³ (Quadro 2), a produtividade de colmos ficou entre 87,69 a 100,71 t ha⁻¹, representando um incremento de 13 t ha⁻¹, ou de 15%. No Havaí, a aplicação de cálcio na forma de silicatos em Latossolos também incrementou a produção de cana-de-açúcar em até 12 t ha⁻¹ (Fox *et al.*, 1967; Prado, 2001), demonstrando que o efeito positivo do cálcio na produção de cana-de-açúcar se mantém em diferentes ambientes, mas podendo mudar a intensidade deste.

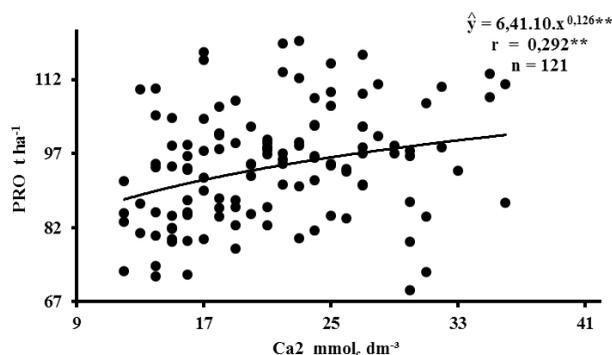


Figura 3 - Equação de regressão da produtividade de cana-de-açúcar em função do Ca na profundidade de 0,20-0,40 m de um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia -SP).

Na análise da regressão linear múltipla da variável dependente PRO em função das variáveis independentes, tanto da planta quanto do solo, o modelo testado (Equação 1) explicou aproximadamente 38,33% da variação da produtividade de colmo de cana-de-açúcar ($R^2 = 0,3833***$).

$$PRO = 41,30 + 3,87***. PPM + 0,16*.T2 \quad (1)$$

onde: PRO = produtividade de colmos de cana-de-açúcar (t ha⁻¹), PPM = plantas por metro (pl. m⁻¹) e T2 = capacidade de troca catiônica do solo na profundidade 2 (mmol_c dm⁻³); *** = significativo a 1%; ** = significativo a 5% e * = significativo a 10%.

Os demais atributos que influenciaram na PRO não entraram no modelo de regressão porque não foram significativos a 10% de probabilidade, conforme preconizado por Maia *et al.* (2001) e Dalchiavon *et al.* (2012b; 2014).

Observa-se, para os semivariogramas simples (Quadros 3 e 4), que os maiores valores do coeficiente de dependência espacial (r^2) foram: (1) K2 (0,994); (2) #S1 (0,980); (3) #S2 (0,979), #P1 (0,973) e (4) #T1 (0,973). Por meio das análises da determinação espacial, verificou-se que o atributo K2 apresentou $r^2 = 0,994$, sendo o atributo de melhor ajustamento semivariográfico, apresentando ADE médio (59,3%), com alcance de 113,4 metros e modelo esférico. Estes resultados estão de acordo com os de Souza (2010). Dalchiavon *et al.* (2013b)

também obtiveram alcance próximo ao mencionado (120,0 m), $r^2 = 0,537$, ADE médio (56,3%) e modelo exponencial.

No geral, os alcances semivariográficos (Quadros 3 e 4) ficaram entre 25,5 (PPM) e 124,5 m (#MO2), indicando que para manejos específicos e localizados, os valores referenciais utilizados na agricultura de precisão não deverão ser menores do que 25,5 m (Quadro 3), ou seja, as amostras de solo não devem ser coletadas em grelhas com quadrículas menores que 650 m² (25,5 × 25,5 m), por representarem a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo apresentam correlação espacial entre si. Assim, estimativas feitas com interpolação por krigagem utilizando os maiores valores do alcance tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representam melhor a realidade

(Dalchiavon *et al.*, 2011). Por outro lado, quanto menores os alcances, mais importante será a interpolação e, por isso, os semivariogramas devem ser mais precisos, especialmente em pequenas distâncias (Vieira *et al.*, 2010).

A ordem decrescente da grandeza do coeficiente de correlação das validações cruzadas (r) foi: (1) K2 (0,574); (2) #T1 (0,566); (3) #P2 (0,520); (4) FIB (0,453) e (5) #Ca1 (0,415), assim como os coeficientes angulares (b) das retas das validações cruzadas foram: (1) K2 (0,999); (2) #T1 (0,988); (3) #Ca1 (0,956) e (4) #S1 (0,951). Com estas análises pode-se constatar que o atributo K2 resultou em maior r^2 , assim como o maior r para a validação cruzada, apresentando-se, por meio da geoestatística, um potencial indicador da qualidade química do solo.

Quadro 3 - Parâmetros dos semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia - SP) na profundidade 0-0,20 m

Atributo (a)	Parâmetros de ajuste										
	Modelo ^(b)	C ₀	C ₀ +C	A ₀ (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada ^(e)		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) Simples Planta</i>											
PRO	Exp (168)	1,25.10	1,06.10 ²	30,9	0,875	1,26.10	88,2	MA	6,75	0,926	0,377
PPM	Exp (179)	2,70.10 ⁻¹	2,27	25,5	0,951	1,23.10 ⁻²	88,1	MA	7,40.10 ⁻¹	0,931	0,351
ATR	Epp	1,94.10 ²	1,94.10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
BRI	Epp	2,177	2,177	-	-	-	-	-	-	-	-
POL	Epp	3,22	3,22	-	-	-	-	-	-	-	-
PUR	Exp (96)	8,20.10 ⁻¹	6,79	25,8	0,964	1,23.10 ⁻¹	87,9	MA	4,13.10	0,526	0,190
FIB	Exp (94)	4,6.10 ⁻²	3,36.10 ⁻¹	39,9	0,823	4,05.10 ⁻³	86,9	MA	2,44	0,823	0,453
<i>γ(h) Simples Solo Prof. 0-0,20 m</i>											
#P1	Exp (98)	2,35.10 ⁻¹	1,75	36,0	0,973	1,24.10 ⁻²	86,6	MA	2,00.10 ⁻²	0,822	0,397
#MO1	Exp (213)	5,3.10 ⁻¹	5,30.10 ⁻¹	29,4	0,510	1,9	90,0	MA	5,00.10 ⁻²	0,913	0,414
pH1	Epp	5,54.10 ⁻²	5,54.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
#K1	Exp (182)	1,42.10 ⁻¹	1,2	28,8	0,823	3,30.10 ⁻²	88,2	MA	-2,00.10 ⁻²	0,565	0,255
#Ca1	Exp (103)	5,73	1,43.10	68,7	0,908	3,29	60,0	AL	-4,00.10 ⁻²	0,956	0,415
#Mg1	Gau (101)	1,94	4,28	28,1	0,972	7,78.10 ⁻²	54,7	ME	0	0,680	0,352
H+Al1	Epp	1,11	1,11	-	-	-	-	-	-	-	-
#S1	Esf (92)	1,15.10	2,65.10	48,5	0,980	2,69	56,7	ME	-8,00.10 ⁻²	0,951	0,410
#T1	Exp (98)	4,3	3,9.10	53,1	0,973	1,23.10	89,0	MA	-5,00.10 ⁻²	0,988	0,566

^(a) Vide Quadros 1 e 2; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; ^(b) Exp = exponencial, Epp = efeito pepita puro, Gau = gaussiano e Esf = esférico; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta e ME = média; ^(e) a, b e r, são, respectivamente, os coeficientes lineares, angulares e de correlação das retas das validações cruzadas.

Quadro 4 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados da produtividade da cana-de-açúcar e de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia - SP) nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m

Atributo (a)	Parâmetros de ajuste										
	Modelo ^(b)	C ₀	C ₀ +C	A ₀ (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada ^(e)		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) Simples Solo Prof. 0,20-0,40 m</i>											
#P2	Esf (89)	3,13.10 ⁻¹	1,05	42,9	0,651	1,31.10 ⁻¹	70,3	AL	-1,00.10 ⁻²	0,876	0,520
#MO2	Exp (90)	1,88	3,82	124,5	0,879	2,93.10 ⁻¹	50,7	ME	-5,00.10 ⁻²	0,750	0,249
pH2	Epp	6,09.10 ⁻²	6,09.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
K2	Esf (201)	4,29.10 ⁻¹	1,06	113,4	0,994	2,21.10 ⁻³	59,3	ME	1,00.10 ⁻²	0,999	0,574
#Ca2	Exp (182)	1,11	1,17.10	27,3	0,863	1,37	90,5	MA	-9,00.10 ⁻²	0,783	0,315
#Mg2	Epp	3,89	3,89	-	-	-	-	-	-	-	-
#H+Al2	Epp	9,29	9,29	-	-	-	-	-	-	-	-
#S2	Esf (102)	1,35.10	2,70.10	73,6	0,979	3,07	50,0	ME	-6,00.10 ⁻²	0,877	0,375
#T2	Esf (189)	1,19.10	2,38.10	83,1	0,960	4,67	50,1	ME	-8,00.10 ⁻²	0,849	0,361
V%2	Epp	3,54.10	3,54.10	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) Cruzado Planta x Planta</i>											
PRO=f(PPM)	Exp (73)	2,97	8,99	56,4	0,845	2,2	67	AL	3,95.10	0,581	0,381
<i>γ(h) Cruzado Planta x Solo</i>											
PRO=f(#K1)	Gau (149)	1,15.10 ⁻¹	3,24	100,1	0,834	2,32	96,4	MA	3,59.10	0,618	0,385
PRO=f(#S1)	Gau (72)	4,11.10 ⁺	2,84	40,0	0,313	9,63	85,5	MA	4,92.10	0,480	0,350

^(a) Vide Quadros 1 e 2; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; ^(b) e Esf = esférico, Exp = exponencial, Epp = efeito pepita puro, Gau = gaussiano; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo, AL = alta, ME = média e MA = muito alta; ^(e) a, b e r, são, respectivamente, os coeficientes lineares, angulares e de correlação das retas das validações cruzadas.

Nas Figuras 4b,d estão demonstrados os mapas de krigagem da PRO e do £K1. A PRO apresentou valores elevados, chegando a 109,3 t ha⁻¹ entre as distâncias 33 e 67 m do eixo y do mapa e na distância x de 0 a 43 m, além do que, no terço central houve regiões onde a PRO chegou a 104,3 t ha⁻¹. O £K1 apresentou valores máximos variando entre 4,0 e 5,1 mmol_c dm⁻³, encontrados na região nordeste do mapa, o que coincidiu com as áreas de maiores teores de MO, uma vez que, segundo Rossetto (2008), cerca de 45% do K absorvido pelas raízes e armazenado nas folhas não têm função estrutural, ou seja, é prontamente disponibilizado pelos resíduos da cultura depois de devolvidos ao solo, sendo justamente este K demonstrado nos mapas de krigagem.

Estão apresentados no Quadro 4 os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre a produtividade de colmos de cana-de-açúcar e atributos da planta e atributos químicos do solo estudado, demonstrando que as cokrigagens

PRO=f(PPM), PRO=f(#K1) e PRO=f(#S1) (Figura 5) apresentaram dependência espacial. O semivariograma cruzado PRO=f(#K1) ratificou o modelo de regressão linear simples também obtido entre tais atributos.

A relação decrescente dos r² dos semivariogramas cruzados (Quadro 4) foi a seguinte: 1) [PRO=f(PPM)] (0,845), 2) [PRO=f(#K1)] (0,834) e 3) [PRO=f(#S1)] (0,313). Quando considerada a relação decrescente das validações cruzadas analisadas a partir da grandeza do r, tem-se a seguinte relação decrescente: 1) [PRO=f(#K1)] (0,385), 2) [PRO=f(PPM)] (0,381) e 3) [PRO=f(#S1)] (0,350). Os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas tiveram o seguinte comportamento: 1) [PRO=f(#K1)] (0,618), 2) [PRO=f(PPM)] (0,581) e 3) [PRO=f(#S1)] (0,480). Dalchiavon *et al.* (2014) também verificaram existir correlação espacial entre PRO=f(PPM), tendo obtido um semivariograma cruzado do tipo exponencial, com alcance geoestatístico de 357,3 m, r² de 0,781 e ADE médio (50,0%), enquanto que Miguel (2010)

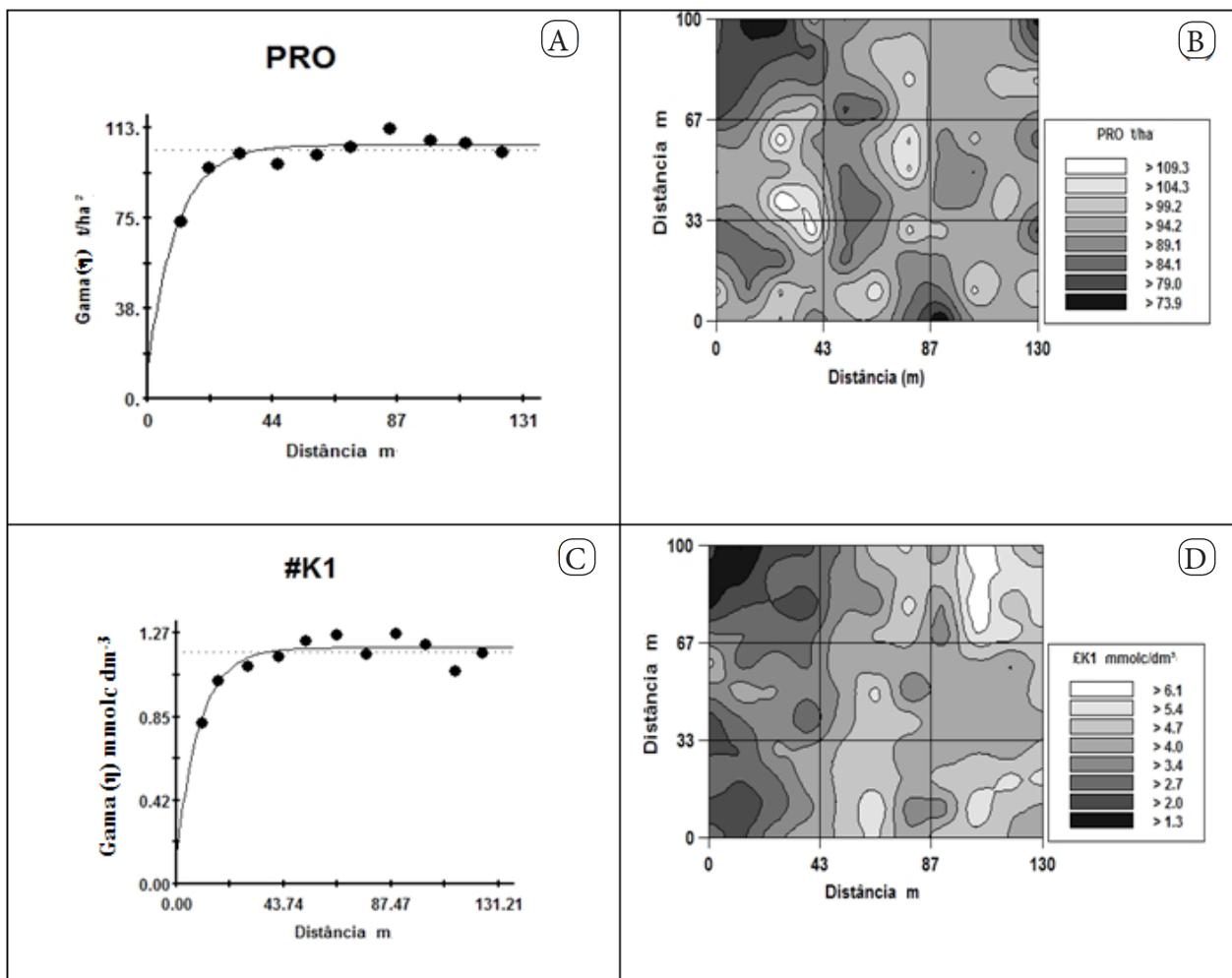


Figura 4 - Semivariogramas simples e mapas de krigagem da produtividade de colmos por hectare (a e b) e do teor de potássio (c e d) em um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia-SP).

obteve para a correlação espacial $PRO=f(\#S1)$ um semivariograma cruzado gaussiano, com alcance geoestatístico de 178,0 m, r^2 de 0,770 e ADE alto (100,0%).

Para os semivariogramas cruzados dos atributos do solo quem apresentou o melhor ajustamento foi o #K1 (Quadro 4; Figura 5), como modelo semi-variográfico gaussiano, com alcance de 100,1 m e ADE muito alto de 96,4%, denotando que 83,4% da variabilidade espacial da PRO foram explicadas pela variabilidade espacial do £K1. Assim, nas regiões onde ocorreram os maiores valores da £K1 (Figura 3d), foram observadas as maiores PRO (Figuras 4b, 5d), sendo o inverso verdadeiro. A análise espacial da área pesquisada mostrou

que nos sítios onde o £K1 variou entre 4,7 e 6,1 $mmolc/dm^3$, a PRO ficou entre 99,6 a 110,5 t/ha^{-1} , e onde a variação do £K1 esteve entre 1,3 e 2,7 $mmolc/dm^3$, a PRO esteve entre 72,4 a 83,3 t/ha^{-1} .

A mesma analogia serve para os demais semivariogramas cruzados, ou seja, as regiões onde foram mapeadas os maiores valores da PPM e da #S1, foram justamente as mesmas onde ocorreram as maiores PRO nos seus respectivos mapas (Figuras 4b, 5b, 5f), enquanto que nas regiões onde foram mapeadas os menores valores da PPM e da #S1, foram justamente as mesmas onde ocorreram as menores PRO.

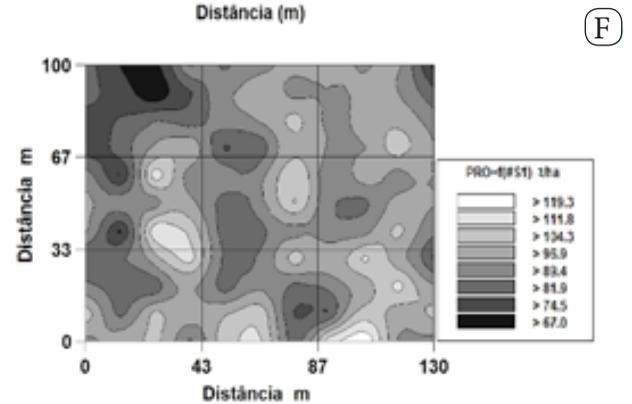
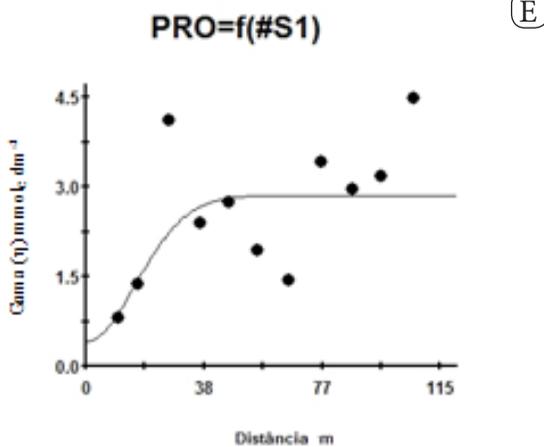
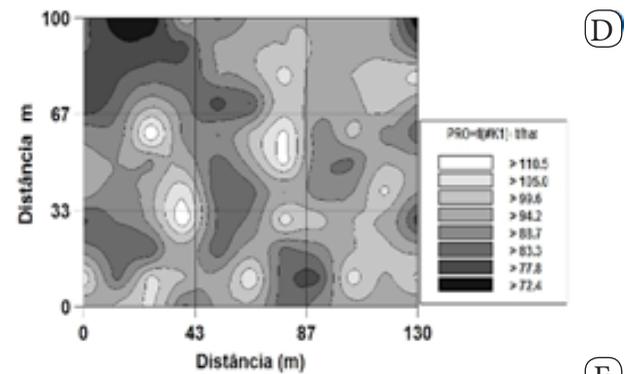
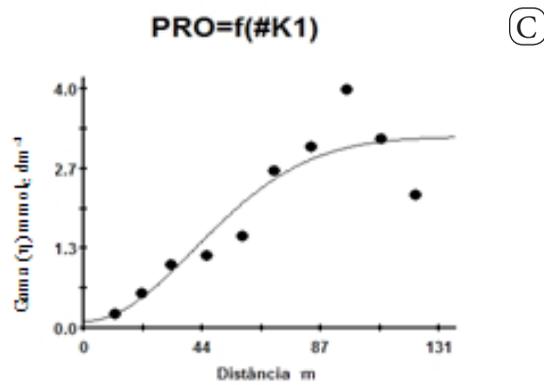
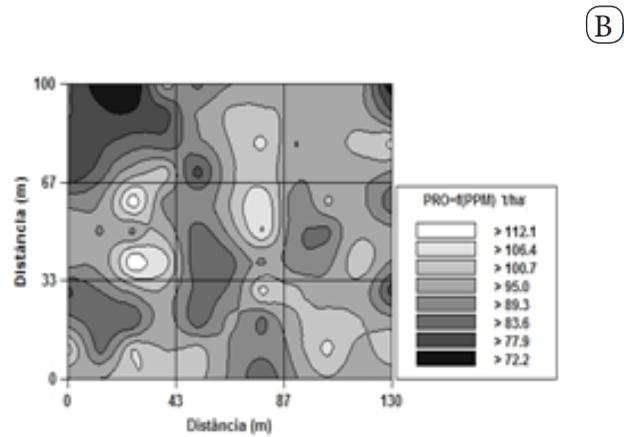
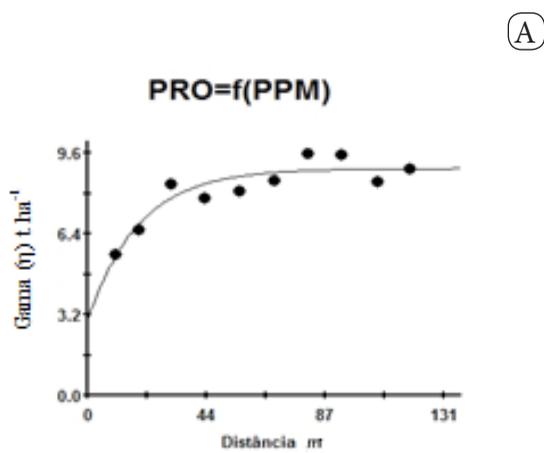


Figura 5 - Semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagem da produtividade de colmos por hectare em função da população de plantas por metro (a e b), do teor de potássio (c e d) e da soma de bases (e e f) em um Argissolo Vermelho eutrófico (Rubinéia - SP).

CONCLUSÕES

O atributo da planta apresentando maior correlação com a produtividade de colmos de cana-de-açúcar foi a população de plantas.

Na camada superficial (0-0,20 m) o atributo do solo que mais influenciou a produtividade de colmos de cana-de-açúcar foi o potássio, enquanto que na camada de 0,20-0,40 m, foi o cálcio.

O potássio extraível (0,20-0,40 m) foi ainda o atributo do solo que proporcionou o melhor ajustamento semivariográfico.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Fitotecnia (GPF) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Campo Novo do Parecis, pelo auxílio no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bittencourt, M.F.; Nokaghi, R.M.; Korndorfer, G.H.; Voss, L.V.; Jarussi, J.R.; Camargo, M.S. & Pereira, H.S. (2003) – Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar: usina Equipav. *In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 29, Campinas, 2003. *Anais*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 66. CD-ROM
- Caione, G.; Silva, A.F.; Reis, L.L.; Dalchiavon, F.C.; Teixeira, M.T.R. & Santos, P.A. (2011) – Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no Norte matogrossense. *Bioscience Journal*, vol. 27, n. 4, p. 572-580.
- Conab (2011) – *Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar*. Terceiro Levantamento, dezembro/2011, Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 20 p.
- Costa, N.R.; Dalchiavon, F.C.; Dal Bem, E.A.; Carvalho, M.P. & Caldas, R.R. (2014) – Produtividade de laranja correlacionada com atributos químicos do solo visando a zonas específicas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 44, n. 4, p. 391-398. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000400001>
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Andrade, F.G. de; Montanari, R. & Andreotti, M. (2013b) – Produtividade da cana-de-açúcar e definição de zonas específicas de manejo do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, n. 5, p. 2077-2088.
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Andreotti, M. & Montanari, R. (2012a) – Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 43, n. 3, p. 453-461.
- Dalchiavon, F.C. & Carvalho, M.P. (2012) – Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 33, n. 2, p. 541-552. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p541>
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Coletti, A.J.; Caione, G.; Silva, A.F. da & Andreotti, M. e (2012b) – Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, n. 5, p. 1629-1642. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1629>
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Montanari, R.; Andreotti, M. & Panosso, A.R. (2014) – Produtividade da cana-de-açúcar: variabilidade linear e espacial entre componentes tecnológicos e da produção. *Bioscience Journal*, vol. 30, n. 3, p. 390-400.
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Montanari, R. & Andreotti, M. (2013a) – Strategy of specification of management areas: rice grain yield as related to soil fertility. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 37, n. 1, p. 45-54. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000100005>
- Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Nogueira, D.C.; Romano, D.; Abrantes, F.L.; Assis, J.T. & Oliveira, M.S. (2011) – Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 41, n. 1, p. 8-19.

- Dalchiavon, F.C.; Montanari, R.; Andreotti, M.; Dallacort, R. & Souza, M.F.P. (2015) – Relationship between sunflower productivity and soil's chemical properties by geo-statistical techniques. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10. n. 35, p. 3525-3532. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2014.9472>
- Dinardo-Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M. & Landell, M.G.A. (2008) – *Cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agronômico. 882 p.
- Dutra Filho, J.A.; Melo, L.J.O.T.; Resende, L.V.; Anunciação Filho, C.J. & Bastos, G.Q. (2011) – Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 1, p. 185-192.
- Embrapa (2013) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 306 p.
- Fox, R.L.; Silva, J.A.; Youngue, O.R.; Plucnett, D.L. & Sherman, G.D. (1967) – Soil and plants silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 31, n. 6, p. 775-779. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1967.03615995003100060021x>
- Lima, C.G. da R.; Carvalho, M.P.; Narimatsu, K.C.P.; Silva, M.G. da & Queiroz, H.A. (2010) – Atributos físico-químicos de um Latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 1, p. 163-173. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100017>
- Machado, L.O.; Lana, Â.M.Q.; Lana, R.M.Q.; Guimarães, E.C. & Ferreira, C.V. (2007) – Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 3, p. 591-599. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300019>
- Maia, C.E.; Morais, E.R.C. & Oliveira, M. (2001) – Classificação da composição iônica da água de irrigação usando regressão linear múltipla. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 5, n. 1, p. 55-59. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100010>
- Miguel, F.R.M. (2010) – *Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar*. Campinas – SP, Instituto Agronômico. 80f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical).
- Molin, J.P.; Vieira Junior, P.A.; Dourado Neto, D.; Faulin, G.C. & Mascarin, L. (2007) – Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 6, n. 3, p. 309-324.
- Montanari, R.; Carvalho, M.P.; Silva Junior, C.A.; Corrêa, A.R.; Dalchiavon, F.C. & Paz González, A. (2013) – Relations between the yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and chemical attributes of an Acrustox under no-tillage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 13, n. 2, p. 367-379. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000030>
- Montanari, R.; Carvalho, M. P.; Andreotti, M.; Dalchiavon, F.C.; Lovera, L.H. & Honorato, M.A.O. (2010) – Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 6, p. 1811-1822.
- Otto, R.; Vitti, G.C. & Cerqueira Luz, P.H. (2010) – Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 4, p. 1137-1145. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>
- Prado, R.M.; Fernandes, F.M. & Natale, W. (2003) – Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 27, n. 2, p. 287-296. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000200009>
- Prado, R.M. & Fernandes, F.M. (2001) – Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 1, p. 199-207. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100021>
- Raij, B.V.; Andrade, J.C. de; Cantarella, H. & Quaggio, J. A. (2001) – *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico. 285 p.
- Ridesa (2010) – *Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar*. Curitiba. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. 136 p. il.
- Rossetto, R.; Dias, F.L.F.; Vitti, A.C. & Tavares, S. (2008) – Potássio. In: Dinardo-Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M. & Landell, M.G.A. (Eds.) – *Cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agronômico. 882 p.
- Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965) – An analyse of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, v.52, 611 p.

- Silva, M.A. (2008) – Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. *Bragantia*, vol. 67, n. 1, p. 109-117. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000100013>
- Souza, Z.M.; Cerri, D.G.P.; Colet, M.J.; Rodrigues, L.H.A.; Magalhães, P.G. & Mandoni, R.J.A. (2010) – Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 4, p. 840-847. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000048>
- Vieira, S.R.; Carvalho, J.R.P. & González, A.P. (2010) – Jack knifing for semivariogram validation. *Bragantia*, vol. 69, n. sup., p. 97-105. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000500011>
- Vitti, G.C.; Wit, A. & Fernandes, B.E.P. (2003) – Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: *Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira*, São Pedro, 2003, *Anais*. Piracicaba, p. 689-726.