

## VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR<sup>1</sup>

DOUGLAS MARTINS PEREIRA PELLIN<sup>2\*</sup>, RAFAEL MONTANARI<sup>3</sup>, ELIZEU DE SOUZA LIMA<sup>4</sup>, LENON HENRIQUE LOVERA<sup>4</sup>, ADRIANY RODRIGUES CORRÊA<sup>4</sup>

**RESUMO** - O objetivo desta pesquisa foi selecionar, entre os atributos físicos do solo, aquele com melhor representatividade para explicar a variabilidade dos componentes tecnológicos da cana-de-açúcar. O estudo foi realizado na Usina ETH Eldorado, em Rio Brillhante, MS, no ano agrícola 2011/2012, em um Latossolo Vermelho distrófico, onde foi instalada uma malha geoestatística para a coleta de dados do solo e planta, com 80 pontos amostrais em uma área de 80 ha. Do ponto de vista linear e espacial, o TCH foi explicado em função da umidade volumétrica, coletada na profundidade de 0,00-0,20 m, onde apresentou valores entre 0,240 a 0,270 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, resultando em sítios com as mais elevadas produtividade de cana-de-açúcar por hectare entre 64 a 70 t ha<sup>-1</sup>. Visando auxiliar futuros trabalhos voltados à agricultura de precisão, os quais venham utilizar os mesmos atributos que os do presente trabalho, os valores de alcance da dependência espacial a serem empregados deverão estar compreendidos entre 81 e 487 metros.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.* Manejo e conservação do solo. Variabilidade espacial. Agricultura de precisão.

## VARIABILITY OF PHYSICAL PROPERTIES OF AN OXISOL UNDER CULTIVATION OF SUGAR CANE

**ABSTRACT** - The goal of this paper was to select among the attributes surveyed soil, one with better representation to explain the variability of the technological components of sugar cane. The study was conducted at ETH Eldorado Plant in Rio Brillhante, MS, in the agricultural year 2011/2012, in a Oxisol, which was installed a geostatistical grid for data collection of soil and plant, with 80 sampling points, a 80 ha area. From the standpoint of linear and spatial TCH has been explained as a function of volumetric moisture. The volumetric moisture collected at a depth of 0.00 to 0.20 m, which had values between 0,24 to 0,270 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, resulted in sites with the highest productivity of sugar cane per hectare from 64 to 70 t ha<sup>-1</sup>. To aid future studies aimed at precision agriculture, which will use the same attributes as those of the future works, the values of ranges of spatial dependence to be used should be between 81 and 487 meters.

**Keywords:** *Saccharum spp.* Management and soil conservation. Spatial variability. Precision agriculture.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 28/01/2013; aceito em 14/10/2014.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Aluno de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, UGFD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12, s/n, CEP: 79.804-970. Dourados (MS), [douglas.martins@agronomo.eng.br](mailto:douglas.martins@agronomo.eng.br).

<sup>3</sup>Professor Assistente Doutor, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, DEFERS, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Rua Monção, 226, CEP: 15385-000, Ilha Solteira (SP), [montanari@agr.feis.unesp.br](mailto:montanari@agr.feis.unesp.br).

<sup>4</sup>Alunos de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Campus de Ilha Solteira, UNESP/FEIS, CEP: 15385-000, Ilha Solteira (SP), [elizeu.florestal@gmail.com](mailto:elizeu.florestal@gmail.com), [lenon\\_lovera@hotmail.com](mailto:lenon_lovera@hotmail.com), [adryany\\_rc@hotmail.com](mailto:adryany_rc@hotmail.com).

## INTRODUÇÃO

A importância da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para o Brasil, bem como para o Estado do Mato Grosso do Sul, é muito importante, sendo a principal matéria-prima para a produção do etanol utilizado pelos veículos automotores, além de ser destinado para a produção do açúcar, um dos principais produtos de exportação nacional. De acordo com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012), o setor sucroalcooleiro nacional previu moer na safra 2012/2013 cerca de 602,2 milhões de toneladas, com aumento de 5,4% em relação à safra 2011/12, com 571,4 milhões de toneladas, equivalendo a 30,7 milhões de toneladas a mais que a moagem da safra anterior.

No cultivo da cana-de-açúcar são necessárias diversas operações de preparo do solo, com a utilização de grades, arados, subsoladores, uso de tratores e outros implementos que contribuem para a degradação da estrutura do solo para a efetuação do plantio (SOUZA et al., 2006). O preparo intensificado do solo para o cultivo da cana, segundo Carvalho et al. (2012), causa modificação na sua estrutura. Para Souza et al. (2010a), saber quantificar os atributos do solo é fundamental para a tomada de decisão mais adequada quanto ao preparo e manejo do solo visando a obtenção de maiores produtividades.

O preparo inadequado do solo atua diretamente na compactação, proporcionando aumento na densidade e, por conseguinte, alterações em outras propriedades físicas, tais como: porosidade, retenção de água, aeração e a resistência do solo à penetração de raízes (MONTANARI et al., 2010).

O uso da geoestatística pode indicar alternativas de manejo que propiciem a minimização do efeito da variabilidade dos atributos físicos do solo sobre os cultivos, permitindo modelar e analisar a variabilidade espacial dos atributos de interesse agrícola, gerando mapas de variabilidade espacial sem tendência e com variância mínima por meio da técnica de interpolação por krigagem (SOUZA et al., 2010a).

Diante do exposto, esta pesquisa objetivou: a) analisar a variabilidade dos atributos estudados da planta e do solo; b) definir as correlações lineares e espaciais entre os atributos de planta e do solo; c) identificar, entre os atributos físicos estudados, aqueles que melhor se correlacionem espacialmente com os atributos da cultura da cana-de-açúcar para elaboração de mapas de variabilidade espacial, estabelecendo, assim, zonas específicas de manejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado durante o ano agrícola 2011/2012, na Usina Eldorado ETH – Bioenergia S/A localizada na Latitude 21° 48'S e Longitude 53° 59'W, município de Rio Brilhante, Estado do Mato

Grosso do Sul, com altitude de 312m. O trabalho foi desenvolvido em um talhão de cana-de-açúcar cultivado no sistema de colheita mecanizada sem queima prévia (cana crua), em solo caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013) apresentando textura argilosa com área de aproximadamente 80 ha. O clima da região é classificado como C<sub>wa</sub>, caracterizado pelo clima mesotérmico úmido, com precipitação média de 1200 mm por ano e com a temperatura média anual de 22°C (FIETZ; FISCH, 2008).

O preparo do solo para o plantio foi constituído por duas gradagens pesadas, uma subsolagem até 0,45 m de profundidade e uma gradagem leve. Em seguida foi aplicado a adubação de plantio, que consistiu na adição de 25 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl) e 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, calculados com base nos resultados da análise química do solo.

O plantio do talhão foi realizado em março de 2003, após 8 anos sem reforma da área. Nele foram utilizados dois colmos de cana (colmo-semente) do cultivar SP 80 3280, com espaçamento entre linha de 1,50 m, onde foram distribuídos no sulco de plantio e posteriormente cortados, de modo que os toletes (rebolos) com três a quatro gemas permanecessem paralelos (pé com ponta), proporcionando a distribuição de 15 a 18 gemas viáveis por metro de sulco. Após 10 dias do corte da cana planta de ano e meio (Agosto 2004) foi realizado a aplicação mecanizada de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl) ao lado da linha de cana.

Um croqui georreferenciado foi confeccionado contendo 80 pontos distribuídos aleatoriamente de forma a cobrir a área do talhão escolhido para amostragem (80 ha). Suas coordenadas originaram uma planilha de dados de latitude e longitude de cada ponto no espaço. Com o auxílio de um receptor GPS (Garmin Etrex) alimentado por essa planilha de coordenadas os pontos foram materializados em um talhão de cana-de-açúcar.

Para a obtenção dos dados da planta foi definido uma área útil, qual seja, duas linhas de 3 m de cultivo, totalizando uma área de 9m<sup>2</sup> ao redor do ponto amostral. Para a obtenção do atributo população de plantas (POP) foi utilizada uma trena para marcar 3m lineares com fim a executar a contagem do número de colmos industrialmente viáveis por ponto.

Para a tonelada de cana-de-açúcar por hectare (TCH) foi utilizada uma balança eletrônica portátil com capacidade de 50kg e precisão de 20g. Para tanto, os colmos da área útil foram cortados simulando a colheita mecanizada, organizados em feixes, pesados e somados para a obtenção do peso por ponto. Após a coleta dos dados de TCH fora realizado a extrapolação da área útil de 9 m<sup>2</sup> para 1 ha.

Para a obtenção dos componentes tecnológi-

cos da planta foram retirados 10 colmos industrializáveis, retirados em sequência na touceira, e os feixes despontados, despalhados, etiquetados e encaminhados ao laboratório da Usina Eldorado ETH – Bioenergia S/A, onde se obteve: açúcares totais recuperáveis (ATR); sólidos solúveis totais (BRI); sacarose no caldo (POL); pureza aparente (PUR); e fibra (FIB), seguindo a metodologia determinada por Consecana (2006).

Para a obtenção dos atributos físicos do solo foram analisados individualmente, entorno do ponto e dentro da área útil: densidade do solo (DS); resistência à penetração do solo (RP); densidade da partícula (DP); umidade gravimétrica (UG); umidade volumétrica (UV); porosidade total (PT); diâmetro médio geométrico de agregados (DMG); e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP). As profundidades em que as amostras foram coletadas e analisadas para fins de discussão foram denominadas: profundidade 1 (0,00-0,20 m); e profundidade 2 (0,20-0,40 m).

Os dados do atributo resistência mecânica à penetração do solo (RP) foram obtidos utilizando-se um penetrômetro de impactos, modelo IAA/Planalsucar/Stolf, em que os perfis de resistência à penetração foram avaliados para as duas profundidades e a expressão utilizada para o cálculo, determinada por Stolf (1991), foi a mesma utilizada por Montanari et al. (2010).

$$RP = \{5,581 + 6,891 \cdot \{N/(P-A)\} \cdot 10\} \cdot 0,0981 \dots\dots(01)$$

onde RP é a resistência mecânica do solo à penetração [MPa], N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura e A e P são as leituras antes e depois da realização dos impactos [cm], respectivamente.

As amostras de solo deformadas para a obtenção da umidade gravimétrica (UG) foram coletadas no momento da obtenção da resistência à penetração do solo, utilizando-se um trado de caneca, no qual foram acondicionadas pequenas porções de solo em pequenos sacos plásticos bem fechados e numerados. No laboratório da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – UEMS o material coletado foi submetido à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas e em seguida determinado por meio de equações os seguintes atributos: densidade do solo; densidade da partícula; umidade volumétrica; e porosidade total (EMBRAPA, 1997).

Para as análises de estabilidade de agregados, as coletas de solo foram realizadas na profundidade de 0,00-0,20 m, onde monólitos de solos de dimensões de 0,2 x 0,2 x 0,1 m foram retirados, preservando a estrutura do solo.

Inicialmente com as amostras secas ao ar foi realizado um peneiramento a seco para a separação dos agregados de diâmetro entre 8,00 mm e 4,00 mm em agitador mecânico SOLOTEST® pelo tempo de um minuto na escala 10 do aparelho. Da fração retida

na peneira de 4,00 mm foram separadas 50g de agregados, quantidade a qual foi umedecida com água por capilaridade sobre papel filtro durante 10 minutos. Após este processo as amostras foram colocadas em agitador mecânico de oscilação vertical do tipo Yoder a uma frequência de 30 oscilações por minuto, utilizando-se durante 10 minutos um jogo de peneiras com malhas de abertura de 2,00 mm, 1,00 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,125 mm (KEMPER; CHEPIL, 1965)

A fração de agregados retida em cada peneira foi colocada em copos de alumínio com auxílio de jatos d'água e levada a estufa a uma temperatura de 105°C. Após 24 horas, as amostras foram pesadas e os resultados corrigidos em função da umidade inicial da amostra. Com a massa das frações retidas em cada peneira foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados retidos em cada peneira. Os valores de DMP foram calculados de acordo com o método apresentado por Kiehl (1979).

Todas as amostras de plantas e solo foram coletadas em março de 2012.

Para cada atributo estudado foi realizada a análise descritiva clássica com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAYER; LITTELL, 1997). Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro e Wilk (1965) a 5%.

Os ajustes dos semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); b) maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ); e c) maior avaliador da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou co-krigagem, realizadas por meio da krigagem em blocos. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita ( $C_0$ ), o alcance ( $A_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C$ ). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a expressão contida em Montanari et al. (2010), qual seja:

$$ADE = [C/(C + C_0)] \cdot 100 \quad (02)$$

onde ADE é o avaliador da dependência espacial, C a variância estrutural e  $C + C_0$  o patamar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados. De acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes são determinadas como baixa ( $CV \leq 10\%$ ), média ( $10\%$

< CV ≤ 20%), alta (20% < CV ≤ 30%) e muito alta (CV > 30%) que implicam em precisões experimentais alta, média, baixa e muito baixa, respectivamente.

Portanto, os atributos TCH, ATR, BRI, POL e FIB apresentaram média variabilidade com valores de coeficientes de variação de 19,9, 14,4, 10,6, 15,2 e 13,3%, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2010a), Gioia (2011) e Souza et al. (2010b), onde os autores trabalharam em Argissolo Vermelho e um Latossolo Vermelho encontrando valores de 11,0 a 18,8%, respectivamente. Por outro lado, o coeficiente de variação do atributo TCH divergiu do valor encontrado por Braga (2011), de 27,3%.

O atributo PUR apresentou baixa variabilidade

de com coeficiente de variação de 4,3%, concordando com os resultados obtidos por Braga (2011) e Gioia (2011), correspondente a 3,7 e 8,9%. O baixo valor obtido para este atributo infere que a coleta e o carregamento manual dos feixes acarretaram em menos impurezas nas amostras.

Para os atributos físicos do solo RP1 e RP2 foi conferido variabilidade espacial muito alta com coeficientes de variação de 34,2 e 41,0%, respectivamente. Já o DMG1 apresentou alta variabilidade com coeficiente de variação de 27,6%. Para os atributos UG1, UG2, UV1, UV2, DMP1, PT1 e PT2 foram observados média variabilidade com coeficientes de variação entre 10,8 a 15,8%.

**Tabela 1.** Análise descritiva inicial dos componentes tecnológicos da cultura da cana-de-açúcar e atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillante, MS.

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor		Coeficiente			Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>				
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
<i>Atributos da planta</i>										
TCH (t ha <sup>-1</sup> )	59,64	59,11	101,11	31,9	11,910	19,9	1,114	0,695	0,065	NO
POP (pl m <sup>-2</sup> )	37,09	42,0	55,0	9,0	8,948	24,1	0,430	-0,536	0,124	NO
ATR(kg t <sup>-1</sup> )	105,9	106,8	137,3	55,13	15,230	14,4	0,523	-0,351	0,087	NO
BRI (%)	12,68	12,7	15,77	10,23	1,313	10,6	-0,389	0,192	0,157	NO
POL (%)	12,97	13,3	16,83	9,38	1,968	15,2	-0,984	0,002	0,030	NO
PUR (%)	82,12	82,41	88,68	72,36	3,530	4,3	-0,493	-0,288	0,599	NO
FIB (%)	14,19	14,34	14,35	10,36	1,880	13,3	-1,300	-0,272	-	ND
<i>Atributos do solo</i>										
RP1 (MPa)	3,51	3,51	6,96	1,62	1,197	34,2	0,030	0,599	0,025	TN
RP2 (MPa)	5,97	5,73	13,19	1,56	2,440	41,0	0,429	0,736	0,014	TN
UG1 (kg kg <sup>-1</sup> )	0,11	0,11	0,16	0,08	0,017	15,8	-0,075	0,080	0,832	NO
UG2 (kg kg <sup>-1</sup> )	0,11	0,11	0,15	0,07	0,017	16,7	0,036	0,174	0,694	NO
UV1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,21	0,21	0,32	0,14	0,034	16,4	0,827	0,556	0,115	NO
UV2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20	0,20	0,29	0,13	0,033	16,9	-0,046	0,160	0,974	NO
DS1 (kg dm <sup>-3</sup> )	1,85	1,86	2,04	1,59	0,104	5,6	-0,060	-0,570	0,050	NO
DS2 (kg dm <sup>-3</sup> )	1,87	1,87	2,04	1,59	0,104	5,6	-0,06	-0,570	0,050	NO
DP1 (kg dm <sup>-3</sup> )	2,75	2,74	2,89	2,63	0,052	1,9	-0,013	0,260	0,050	NO
DP2 (kg dm <sup>-3</sup> )	2,76	2,77	2,86	2,63	0,054	2,0	-0,386	0,521	0,001	ND
DMG1(mm)	2,35	2,30	3,97	1,13	0,647	27,6	-0,124	0,457	0,084	NO
DMP1(mm)	3,56	3,59	4,52	2,34	0,507	14,3	-0,130	-0,304	0,186	NO
PT1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,33	0,32	0,42	0,25	0,036	11,2	-0,440	0,385	0,027	TN
PT2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,32	0,32	0,42	0,24	0,035	10,8	-0,440	0,385	0,0266	TN

<sup>(a)</sup> TCH, POP, ATR, BRI, POL, PUR, FIB, RP, UG, UV, DS, DP, DMG1, DMP1 e PT são, respectivamente, a tonelada de colmos por hectare, população de plantas em três metros quadrados, açúcares totais recuperáveis, percentual de sólidos solúveis totais, percentual de sacarose, pureza e percentual de fibra, resistência à penetração, umidade gravimétrica, umidade volumétrica, densidade do solo, densidade da partícula, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e porosidade total, coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e ND, respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e não determinado.

Quando uma variável estatística qualquer possui distribuição de frequência do tipo normal, a

medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, pode

ser explicada pela mediana ou pela média geométrica, caso possua distribuição de frequências do tipo lognormal (ROSA FILHO et al., 2009).

Os atributos de planta TCH, POP, ATR, BRI, POL e PUR apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, com valores do teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), variando de 0,030 a 0,599 a 5% de probabilidade. Esse tipo de distribuição para atributos de origem biológica é comum, cujos atributos podem ser representados por seus valores médios (ROSA FILHO et al., 2009).

Esses dados corroboram com os de Braga (2011) para TCH, POP e BRI, com valores de 0,108, 0,306 e 0,087, respectivamente, e Gióia (2011) para TCH, POP, ATR, BRI e POL, com valores de 0,070 a 0,875, porém não se aplica para o atributo PUR, o qual apresentou distribuição de frequência do tipo tendendo a normal com valores do teste de normalidade de 0,034. Para o atributo FIB, o tipo de distribuição de frequência foi o não determinado. Os atributos físicos do solo UG1, UG2, UV1, UV2, DS1, DS2 e DP1 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 1), com valores de teste de normalidade variando de 0,050 a 0,974 a 5% de probabilidade.

Para os atributos RP1, RP2, PT1 e PT2 a distribuição de frequência foi do tipo tendendo a normal, com valores de 0,025, 0,014, 0,027, 0,026, respectivamente. A não normalidade dos dados pode estar atribuída a erros amostrais ou até mesmo a heterogeneidade da área devido ao impacto causado pela mecanização nas últimas safras, considerando que as coletas das amostras foram realizadas após a 8ª safra agrícola. Esses valores divergiram dos valores obtidos por Rosa Filho et al. (2009) para RP, onde os autores trabalharam em um Latossolo Vermelho distroférrico e encontraram distribuição de frequência do tipo normal com valores de 0,579 e 0,892, respectivamente, para o mesmo atributo nas mesmas profundidades estudadas.

Ainda na Tabela 1 é observável que a média do atributo TCH foi de 59,64 t ha<sup>-1</sup>, valor abaixo da média nacional (70,3 t ha<sup>-1</sup>) e do Estado do Mato Grosso do Sul (70,7 t ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2012). Esse dado divergiu dos obtidos por Carvalho et al. (2011) ao avaliar a produtividade de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho distrófico, onde encontraram alto valor de TCH em cana planta (146,20 t ha<sup>-1</sup>), correspondente a duas vezes superior ao da média nacional. Entretanto, Souza et al. (2010a) ao analisar os atributos do solo e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão obtiveram produtividade de 11,4% superior ao do presente trabalho. A baixa produtividade obtida ocorre devido ao fato da cana-de-açúcar estar na 8ª safra e também pelo fato de no inverno do último corte ter ocorrido forte geada, comprometendo a produtividade.

A população de plantas (POP) apresentou uma média de 37 plantas por metro quadrado, ou

seja, um estande de 12 plantas por metro, valor superior ao obtido por Braga (2011) e Gióia (2011). Estes autores obtiveram em um Argissolo Vermelho eutrófico uma população de 10,5 e 6,6 plantas por metro quadrado, respectivamente. Este valor superior do POP foi devido ao alto índice de perfilho devido à geada que ocorreu no mês de agosto de 2011. Para Silva (2008), a recomendação para um bom estande de plantas de cana-de-açúcar é de 10 a 12 plantas por metro.

Para o componente tecnológico ATR foi observado um valor médio de 105,9 kg t<sup>-1</sup>, valor considerado abaixo da referência (121,97 kg t<sup>-1</sup>) estabelecida pelo Consecana (2006). O valor médio de ATR do presente estudo também foi abaixo do obtido por Moraes et al. (2010) de 127,9 t ha<sup>-1</sup>, trabalhando com a progênie do cruzamento RB855035 x SP70-1143 no litoral norte de Pernambuco e com valores abaixo da média dos obtidos por Rapassi et al. (2009) na região oeste paulista no ano de 2007, com valor de 144,56 kg t<sup>-1</sup> e 10% abaixo do valor obtido por Carvalho et al. (2011), onde a coleta de cana-de-açúcar se encontrava no primeiro corte.

A comparação da ATR (Tabela 2) obtida no presente estudo com a obtida por Carvalho et al. (2011), ambas abaixo do valor de referência estabelecido, permite inferir que o número de cortes não influenciou os baixos valores obtidos para este atributo. Para outros atributos tecnológicos da cana-de-açúcar fora observado que a média do BRIX de 12,68% foi inferior à recomendação de Fernandez et al (2000) (18 a 25%) e se assemelha ao encontrado por Braga (2011) (15,25%), divergindo, contudo, dos valores encontrado por Rapassi et al. (2009) e Gióia (2011), os quais obtiveram uma média de 21,88 e 19,58%, respectivamente.

A média da POL foi de 12,97%, considerado abaixo ao estabelecido por Lavanholi (2008), que pode variar de 14 a 24%. Esse valor está de acordo com o obtido por Braga (2011), que também obteve valor abaixo da faixa recomendada, divergindo dos resultados obtidos por Rapassi et al. (2009) e Gióia (2011) (14, 53, 16,6%), respectivamente.

Os valores baixos de TCH, POL e BRI podem estar atribuídos ao tempo de exploração do canalial estar na 8ª safra e ter sido submetida, no inverno do último corte, a forte geada, comprometendo a produtividade. De acordo com Ripoli e Ripoli (2003), que considera que a pureza (PUR) deve estar acima de 85%, no presente trabalho fora observado uma média de 82,12%, valor similar ao obtido por Braga (2011).

O atributo FIB apresentou uma média de 14,19%, estando de acordo com o padrão recomendado por Scapari e Beuclair (2008), os quais comentam que a variação do teor de fibra pode ser de 9 a 20% durante a safra. Esse valor também ficou de acordo com os obtidos por Rapassi et al. (2009) e Braga (2011), que encontraram valores médios de 14,5 e 12,6%, respectivamente.

Em relação aos atributos do solo foi conferido

que a RP apresentou aumento dos valores medianos em profundidade (Tabela 1), de 3,51 MPa (RP1) para 5,73 MPa (RP2). Esses valores são semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2004a), que avaliaram a variabilidade espacial em um Latossolo Vermelho Eutrófico de trinta anos de cultivo de cana-de-açúcar e constataram elevados valores de resistência à penetração na profundidade de 0,20 a 0,40m acima de 4 MPa como indicativo de compactação do solo.

Para os valores presentes de UG1 e UG2 (0,11 kg kg<sup>-1</sup>) e UV1 e UV2 (0,21 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 0,20 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) os valores medianos da RP (RP1 de 3,51 MPa e RP2 de 5,73 MPa) são tidos como baixo e alto, respectivamente, o que representa restrição ao desenvolvimento radicular das culturas agrícolas em geral, uma vez que somente valores maiores que 2,0 MPa representam restrição (ARSHAD et al., 1996). Os valores crescentes de RP em profundidade provavelmente são efeitos da compactação do solo em subsuperfície decorrentes do uso do maquinário agrícola em seu preparo, nas sucessivas operações de colheita, adubação e tratamentos fitossanitários.

Os valores médios da densidade do solo (DS1 = 1,85 e DS2 = 1,87 kg dm<sup>-3</sup>) foram considerados elevados nas duas profundidades avaliadas. Segundo Arshad et al. (1996), valores acima de 1,40 kg dm<sup>-3</sup> restringem o crescimento radicular em solo argiloso. Souza et al. (2010b) verificaram em um Latossolo Vermelho eutrófico valores de densidade do solo de 1,56 e 1,58 kg dm<sup>-3</sup> nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Os autores afirmam que esse valor de densidade é muito alto e restringe o desenvolvimento do sistema radicular da cultura de cana-de-açúcar nas duas camadas pelo aumento da compactação e redução da macroporosidade do solo.

A diminuição da porosidade e o aumento dos valores de densidade do solo demonstram a compactação pelas modificações em sua estrutura (Montanari et al., 2010). Resultados semelhantes foram observados por Centurion et al. (2007) em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar, onde as alterações dos atributos físicos do solo promoveram redução da infiltração de água e condutividade hidráulica saturada.

Para os valores de DP observa-se que a média da DP1 foi de 2,75 kg dm<sup>-3</sup> e a mediana da DP2 de 2,77 kg dm<sup>-3</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos por Jorge et al. (2012) que encontraram valor médio de (DP = 2,66 kg dm<sup>-3</sup>). O valor da mediana da DP2 diverge do obtido por Pariz et al. (2011), onde avaliaram a variabilidade espacial da produtividade da *Brachiaria decumbens* e atributos físicos no cerrado brasileiro em um Latossolo Vermelho distroférrico (DP2 = 1,54 kg dm<sup>-3</sup>).

No âmbito da porosidade total, os valores da mediana para as profundidades estudadas foi de 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Esses valores divergem, contudo, de Carvalho et al. (2012) e Wendling et al. (2012) ao trabalharem em um Latossolo Vermelho (0,49 e 0,55 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Os baixos valores encontrados nas profundidades estudadas podem ser atribuída ao aumento da densidade e pelo número de operações de máquinas realizadas em cada safra até o presente estudo.

Para Kiehl (1979), o solo ideal para a produção agrícola deve apresentar 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> de porosidade total, sendo 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos. Ainda de acordo com o autor, a maioria das plantas desenvolvem satisfatoriamente sistema radicular quando o volume de macroporos está acima de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Na Tabela 2 está apresentada a matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos estudados da cultura da cana-de-açúcar e físicos do solo. O único atributo do solo que apresentou correlação significativa com o TCH foi a UV1, com coeficiente de correlação de 0,239, significativo a 5% de probabilidade.

Cavallini et al. (2010) ao pesquisar as relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do cerrado encontraram para a camada de 0,20 a 0,30m correlação significativa positiva direta entre a umidade volumétrica com a matéria seca da forragem, indicando que com o aumento da UV obteve maior massa de matéria seca. Portanto, o solo com maior umidade volumétrica tem maior capacidade de armazenar água que será disponível para a cultura.

A correlação apresentou comportamento direto (TCH x UV1; r<sup>2</sup> = 0,239\*), significando que 23,9% da variância da TCH é explicada pela variância da UV1, em que com o aumento da UV1 também haverá um aumento da produtividade (TCH) em aproximadamente 24% devido a maior umidade volumétrica que propicia aumento na quantidade de água disponível poder suprimir as necessidade da cultura de cana-de-açúcar.

O TCH, em função do atributo do solo UV1, pôde ser estimada pela equação de regressão polinomial quadrática, qual seja:

$$TCH = 1,117.10^2 + (-5,725.10^2 \times UV1) + 1,507.10^3 \times UV1^2 \dots\dots\dots(1)$$

com (r<sup>2</sup> = 0,109\*; n = 80) indicando que uma variação do atributo UV1 entre 0,14 e 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> acarretará em uma variação da TCH entre 61,1 e 82,8 t ha<sup>-1</sup>, que corresponde a uma diferença de 21,7 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Matriz de correlação entre componentes tecnológicos da cultura da cana-de-açúcar e atributos físicos na profundidade de 0,00-0,20 e 0,20-40 m de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS.

<i>Atributos</i> <sup>(a)</sup>	<i>Coefficiente de correlação</i> <sup>(b)</sup>								
	TCH	POP	ATR	BRIX	POL	PUR	FIB	RP1	RP2
POP	-0,069	-	-	-	-	-	-	-	-
ATR	-0,006	0,004	-	-	-	-	-	-	-
BRIX	0,113	-0,016	<b>0,803**</b>	-	-	-	-	-	-
POL	0,056	0,058	<b>0,842**</b>	<b>0,854**</b>	-	-	-	-	-
PUR	0,083	0,032	<b>0,815**</b>	<b>0,877**</b>	<b>0,842**</b>	-	-	-	-
FIB	-0,051	0,024	0,126	0,174	<b>0,394**</b>	0,150	-	-	-
RP1	0,060	-0,207	-0,109	-0,033	-0,088	0,001	-0,100	-	-
RP2	-0,200	-0,106	-0,120	-0,086	-0,118	-0,076	0,051	<b>0,284*</b>	-
UG1	0,201	0,030	0,183	0,135	0,204	0,151	<b>0,224*</b>	-0,200	-0,125

**Tabela 2.** Continuação.

<i>Atributos</i> <sup>(a)</sup>	<i>Coefficiente de correlação</i> <sup>(b)</sup>									
	TCH	POP	ATR	BRIX	POL	PUR	FIB	RP1	RP2	UG1
UG2	0,166	0,080	0,122	0,088	0,184	0,044	0,217	-0,184	<b>-0,221*</b>	<b>0,783**</b>
UV1	<b>0,239*</b>	-0,012	0,143	0,072	0,133	0,088	0,256*	-0,148	-0,158	<b>0,911**</b>
UV2	0,169	0,112	0,090	0,060	0,119	-0,009	0,164	-0,194	-0,207	<b>0,703**</b>
DS1	0,105	0,016	-0,132	-0,174	<b>-0,221*</b>	-0,160	-0,038	0,109	-0,145	-0,172
DS2	0,032	0,077	-0,075	-0,102	-0,212	-0,165	-0,203	-0,057	0,045	<b>-0,235*</b>
DP1	-0,049	0,078	-0,116	0,025	-0,130	-0,028	<b>-0,225*</b>	0,000	-0,017	-0,158
DP2	-0,020	0,094	-0,171	-0,009	-0,021	-0,100	0,184	-0,049	-0,018	-0,212
PT1	-0,125	0,012	0,090	0,183	0,178	0,150	-0,038	-0,116	0,143	0,119
PT2	-0,041	-0,038	0,006	0,095	0,195	0,119	<b>0,267*</b>	0,031	-0,052	0,144
DMG1	-0,025	0,001	0,009	0,107	0,069	0,056	-0,032	0,002	0,014	0,009
DMP1	-0,012	-0,028	-0,006	0,108	0,051	0,059	-0,050	0,003	0,018	-0,002

**Tabela 2.** Continuação.

<i>Atributos</i> <sup>(a)</sup>	<i>Coefficiente de correlação</i> <sup>(b)</sup>									
	UG2	UV1	UV2	DS1	DS2	DP1	DP2	PT1	PT2	DMG1
UV1	<b>0,785**</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UV2	<b>0,957**</b>	<b>0,753**</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
DS1	-0,048	0,145	0,110	-	-	-	-	-	-	-
DS2	-0,105	-0,074	0,182	<b>0,556**</b>	-	-	-	-	-	-
DP1	-0,218	-0,112	-0,124	<b>0,246*</b>	<b>0,327*</b>	-	-	-	-	-
DP2	-0,045	-0,130	-0,007	0,109	0,094	0,187	-	-	-	-
PT1	-0,029	-0,192	-0,158	<b>-0,942**</b>	<b>-0,456**</b>	0,092	-0,049	-	-	-
PT2	0,087	0,021	-0,173	<b>-0,493**</b>	<b>-0,920**</b>	<b>-0,241*</b>	<b>0,303*</b>	<b>0,421**</b>	-	-
DMG1	-0,102	-0,078	-0,138	<b>-0,250*</b>	-0,118	<b>0,221*</b>	0,023	<b>0,335*</b>	0,119	-
DMP1	-0,124	-0,096	-0,157	<b>-0,244*</b>	-0,106	0,193	0,005	<b>0,318*</b>	0,101	<b>0,977**</b>

<sup>(a)</sup> TCH, POP, ATR, BRI, POL, PUR, FIB, RP, UG, UV, DS, DP, DMG1, DMP1 e PT são, respectivamente, a tonelada de colmos por hectare, população de plantas em três metros quadrados, açúcares totais recuperáveis, percentual de sólidos solúveis totais, percentual de sacarose, pureza e percentual de fibra, resistência à penetração, umidade gravimétrica, umidade volumétrica, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, densidade do solo, densidade da partícula e porosidade total, coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; <sup>(b)</sup> \*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para os componentes tecnológicos da cana-de-açúcar, bem como para os atributos físicos do solo no qual o experimento foi instalado.

Para a classificação da dependência espacial foi utilizada a classificação de Dalchiavon et al. (2012). Os atributos ATR, FIB, PT1 e DS1 apresen-

taram dependência espacial entre média (ATR; ADE = 51,3%) e alta (DS1; ADE = 64,3 %) (Tabela 3), cujos modelos de semivariogramas foram do tipo esférico, exceto para DS1, que apresentou modelo gaussiano.

Para os atributos TCH, UG1, UV1, DS2, DP2, PT2, TCH = f(ATR), TCH = f(UV1), ATR = f(DS1) e ATR = f(PT2) apresentaram dependência

espacial muito alta. Enquanto os demais (POP, BRI, POL, PUR, RP1, RP2, UG2, UV2 e DP1) apresentaram efeito pepita puro, denotando que o comporta-

mento dessas variáveis regionalizadas foi totalmente aleatório, relevando a descontinuidade do semivariograma para as distâncias menores que as amostradas.

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para componentes tecnológicos da cana-de-açúcar e de alguns atributos físicos do solo de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS.

Atributos <sup>(a)</sup>	Modelo <sup>(b)</sup>	Parâmetros									
		Efeito pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> + C)	Alcance (A <sub>0</sub> ) (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>			Validação cruzada	
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>											
TCH	exp. (89)	1,270 . 10	8,070 . 10	246	0,361	1,937 . 10 <sup>3</sup>	84,3	MA	4,050 . 10	0,312	0,134
ATR	esf. (51)	1,027 . 10 <sup>2</sup>	2,109 . 10 <sup>2</sup>	410	0,388	1,478 . 10 <sup>4</sup>	51,3	ME	2,858 . 10	0,730	0,106
FIB	esf.(80)	1,546	3,354	487	0,860	5,200 . 10 <sup>-1</sup>	53,9	ME	7,600 . 10 <sup>-1</sup>	0,945	0,533
<i>γ(h) simples dos atributos físicos do solo</i>											
UG1	exp. (50)	7.10 <sup>-5</sup>	2,600 . 10 <sup>-4</sup>	114	0,322	7,839 . 10 <sup>-9</sup>	97,3	MA	0,04	0,656	0,049
UV1	exp.(53)	7,500 . 10 <sup>-5</sup>	1,080 . 10 <sup>-3</sup>	174	0,608	9,461 . 10 <sup>-8</sup>	93,1	MA	0,09	0,554	0,063
DS1	gau.(50)	3,480 . 10 <sup>-3</sup>	9,760 . 10 <sup>-3</sup>	190,5	0,336	5,497 . 10 <sup>-5</sup>	64,3	AL	2,800 . 10 <sup>-1</sup>	0,848	0,262
DS2	exp.(125)	1,010 . 10 <sup>-3</sup>	7,610 . 10 <sup>-3</sup>	222	0,867	7,523 . 10 <sup>-7</sup>	86,1	MA	3,500 . 10 <sup>-1</sup>	0,814	0,169
DP2	exp.(53)	2,490 . 10 <sup>-4</sup>	3,068 . 10 <sup>-3</sup>	81	0,463	2,497 . 10 <sup>-7</sup>	91,9	MA	1,290	0,532	0,024
PT1	esf.(50)	6,210 . 10 <sup>-4</sup>	1,402 . 10 <sup>-3</sup>	253	0,277	9,549 . 10 <sup>-7</sup>	55,7	ME	0,08	0,756	0,136
PT2	exp. (50)	2,260 . 10 <sup>-4</sup>	1,292 . 10 <sup>-3</sup>	231	0,565	2,520 . 10 <sup>-7</sup>	82,6	MA	0,02	0,820	0,415
<i>γ(h) cruzado planta x planta e solo</i>											
TCH= f(ATR)	gau. (58)	-1,000 . 10 <sup>-1</sup>	-5,131 . 10	135,1	0,364	1,369 . 10 <sup>3</sup>	99,8	MA	-55,95	0,054	0,031
TCH= f(UV1)	esf. (50)	1,000 . 10 <sup>-4</sup>	1,032 . 10 <sup>-1</sup>	767	<b>0,560</b>	1,190 . 10 <sup>-2</sup>	99,9	MA	4,968 . 10	0,156	0,011
ATR= f(DS1)	esf. (51)	-3,03 . 10 <sup>2</sup>	-3,176 . 10 <sup>-1</sup>	419	0,267	2,100 . 10 <sup>-1</sup>	90,5	MA	5,816 . 10	0,454	0,090
ATR= f(PT2)	gau.(102)	1,000 . 10 <sup>-4</sup>	9,020 . 10 <sup>-2</sup>	342	<b>0,678</b>	2,699 . 10 <sup>-3</sup>	99,9	MA	5,524 . 10	0,481	0,106

<sup>(a)</sup>TCH, ATR, FIB, UG, UV, DS, DP, PT, TCH=f(ATR), TCH=f(UV1), ATR=f(DS1) e ATR=f(PT2) são, respectivamente, a tonelada de colmos por hectare, açúcares totais recuperáveis, percentual de fibra, unidade gravimétrica, unidade volumétrica, densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total, tonelada de colmos por hectare em função do açúcar total recuperável, tonelada de colmos por hectare em função da umidade, açúcar total recuperável em função da densidade do solo, açúcar total recuperável em função da porosidade total, coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; <sup>(b)</sup> exp = exponencial, gau = gaussiano, esf = esférico, com seus devidos pares de lags; <sup>(c)</sup>SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup>ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta, ME = média e BA = baixo.

Dessa forma, os dois primeiros que tiveram os mais elevados coeficientes de determinação espacial (Tabela 3), fora observado: DS2, seu r<sup>2</sup> (0,867) indicou ser o melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE muito alto (84,6%), com alcance de 222 metros e modelo exponencial, ficando de acordo com Gioia (2011). O segundo melhor ajuste semivariográfico foi obtida pela fibra, seu r<sup>2</sup> (0,860) foi o segundo melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE médio (53,9%), com um alcance de 487 metros e modelo esférico, divergindo de Gioia (2011). Todavia, o TCH apresentou coeficiente de determinação espacial (r<sup>2</sup> = 0,361) inferior ao obtido por Gioia (2011), com 0,882. Por outro lado, o valor

da dependência espacial (84,3%) foi muito alta, superando o referido trabalho, com 50%.

Ainda na Tabela 3, a relação decrescente dos alcances da dependência espacial foi a seguinte: FIB (487 m); ATR (410 m); PT1 (253 m); TCH (246 m); PT2 (231 m); DS2 (222 m); DS1 (190,5 m); UV1 (174 m); UG1 (114 m); e DP2 (81 m). Portanto, com base na presente pesquisa, assim como visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances da dependência espacial a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, os quais alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão não deverão, no geral, ser menor do que 81 m, enquanto



que o componente tecnológico de TCH não deverá ser inferior que 246 m.

Na comparação inicial do mapa de krigagem simples do atributo do solo (UV1) com a de tonelada de colmos por hectare (TCH) (Figura 4a, b), cujos parâmetros dos semivariogramas constam na Tabela 3, foi verificada elevada semelhança espacial entre UV1 e TCH. Dessa forma, nas Figuras 4a e b constatou-se que nos sítios onde ocorreram as maiores e/ou menores UV1s houve o mesmo com o TCH. Entretanto, para o restante dos atributos do solo esse fato não ocorreu.

Nas figuras 4c, 4e, 4g e 4i estão contidos os semivariogramas cruzados e nas Figuras 4d, 4f, 4h, 4j estão contidos os mapas de cokrigagem entre os atributos que apresentaram dependência espacial entre si. Atestando a interrelação espacial da produtividade de colmos por hectare com os atributos do solo foi confirmado que apenas a UV1 resultou cokrigagem (Tabela 3; Figura 4e, 4f), evidenciando que 56,0% da variabilidade espacial do TCH foram explicadas pela variabilidade espacial da UV1. Assim, foi possível constatar que onde ocorreram os maiores valores da UV1 (0,240-0,270 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Figura 4a) foram mapeados os maiores valores do TCH (64-70 t ha<sup>-1</sup>; Figura 4b), sendo o inverso verdadeiro.

Nos sítios, onde a UV1 alcançou seus menores valores, ocorreu o mesmo com o TCH (45-57 t ha<sup>-1</sup>; Figura 4b; Figura 4f). Portanto, do ponto de vista espacial da área pesquisada, nos sítios em que há cultivo de cana-de-açúcar SP 80 3280 apresentam a UV1 entre 0,150-0,210 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Figura 4a), estando o TCH compreendido entre 45-57 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4b).

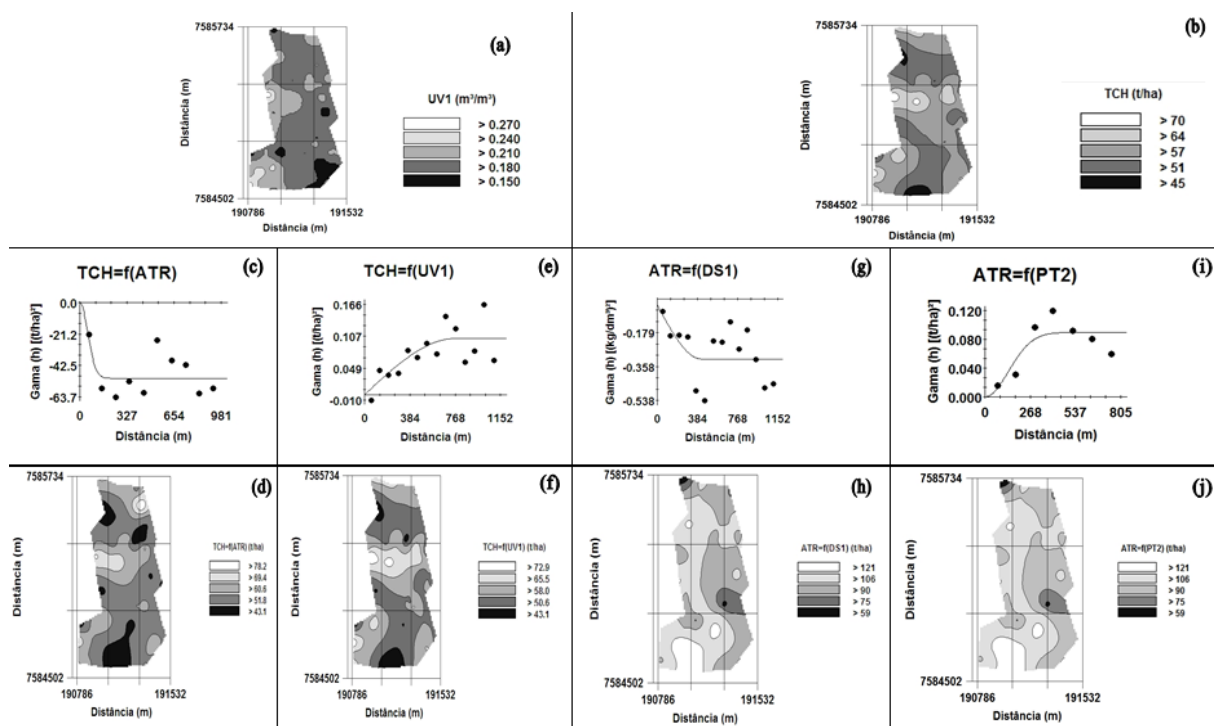
Da mesma forma, nas Figuras 4g e 4h, a cokrigagem entre ATR = f(DS1) (Figura 4g e 4h) e ATR = f(PT2) (Figura 4i, 4j) foram modelados semivariogramas cruzados do tipo esférico e gaussiano, indireto e direto, respectivamente, com DS1 explicando 26,7% da variabilidade espacial do ATR com alcance 419 metros, ADE muito alto (90,5%) (Tabela 3; Figura 4g, 4h), a PT2 explicando 67,8%

da variabilidade espacial do ATR com alcance de 342 metros e ADE muito alto (99,9%), de maneira que nos sítios onde ocorreram os mais baixos valores de DS1 e PT2 (1,59 kg dm<sup>-3</sup> e 0,25 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), respectivamente, foram justamente os sítios onde a ATR apresentou os mais elevados valores (137,3 kg t<sup>-1</sup>), ao passo que nos sítios onde ocorreram os mais elevados valores da DS1 e PT2 (2,04 kg dm<sup>-3</sup> e 0,43 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) foram justamente os locais onde a ATR apresentou os menores valores (55,13 kg t<sup>-1</sup>).

A correlação linear quadrática entre o TCH e UV1 (Equação 8), assim como a apreciável cokrigagem entre TCH e UV1 (Tabela 3, Figura 4e, 4f) sugerem que tal atributo do solo (UV1) é um bom indicador da sua qualidade física quando o objetivo for implementar a tonelada de colmos por hectare. Assim, podem ser recomendadas práticas específicas conservacionistas do solo, dirigidas aos sítios onde a UV1 resultou seus menores valores, visando elevar a respectiva tonelada de colmos por hectare (TCH) local.

Ao analisarmos os mapas de krigagem nas Figuras 4a e 4b é notório observar na figura 4a a distribuição dos atributos do solo, onde os maiores, médios e menores valores da umidade volumétrica da primeira profundidade (UV1) encontram-se distribuídos nos quatro quadrantes, onde os maiores valores (0,270-0,240 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) possuem apenas 3% de abrangência da área total.

Já para o valor médio (0,210 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) possui uma abrangência de 24% e os menores valores (0,180-0,150 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) possuem em sua maioria 73% de abrangência da área total. Na Figura 4b, os valores maiores, médios e menores da tonelada de colmos por hectare (TCH) encontram-se distribuídos nos quatro quadrantes, onde os maiores valores (70-64 t ha<sup>-1</sup>) possuem 12,5% de abrangência da área total. Para o valor médio (57 t ha<sup>-1</sup>), em sua maioria, possui 47% de abrangência e os menores valores (51-45 t ha<sup>-1</sup>) abrangem 40,5% da área total.



**Figura 1.** Mapas de krigagem e cokrigagem dos atributos (UV1, TCH, TCH = f(ATR), TCH = F(UV1), ATR = f(DS1) e ART = f(PT2)) de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim, em Rio Brillhante, MS.

## CONCLUSÕES

A umidade volumétrica da primeira profundidade 0,00-0,20m apresenta correlação direta com a produtividade de colmos por hectare.

Os valores de alcance da dependência espacial a serem considerados no trator em trabalhos futuros utilizando os mesmos atributos deverão estar compreendidos entre 81 metros para densidade da partícula e 487 metros para fibra.

## REFERÊNCIAS

ARSHAD, M. A. et al. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America. 1996. Madison, USA.

BRAGA, J. A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do noroeste Paulista**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Ilha Solteira, SP - Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2011.

CARVALHO, L. A. et al. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 60-68, 2012.

CARVALHO, L. A. et al. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes siste-

mas de preparo do solo no Centro-Oeste do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 34, n. 1, p. 199-211, 2011.

CAVALLINI, M. C. et al. Relações entre produtividade de *Brachiaria Brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1007-1015, 2010.

CENTURION, J. F. et al. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 199-209, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Cana-de-açúcar**. Quadro Comparativo de Área, Produção e Produtividade, Safra 2012/2013 - 1º Levantamento. Abril 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>. Acesso em: 05 dez. 2012.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA DE AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. 5 ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

DALCHIAVON, F. C. et al. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina*, Londrina, v. 33, n. 5, p. 541-552, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRO-

- PECUÁRIA (EMBRAPA). **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, 2013. 353 p.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193 p.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p.
- GIOIA, M. T. **Produtividade e componentes produtivos da cana-de-açúcar correlacionados com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho distrófico**. 2011, 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Ilha Solteira, SP - Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2011.
- GS<sup>+</sup>: **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159 p.
- JORGE, R. F. et al. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 159-169, 2012.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.
- LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. (eds.) **Cana-de-Açúcar**, Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 2008.
- MONTANARI, R. et al. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.
- MORAES, M. F. et al. Avaliação agroindustrial e parâmetros genético de progênies de cana-de-açúcar em fase inicial na Zona Canavieira do Litoral Norte de Pernambuco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1086-1092, 2010.
- PARIZ, C. M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem de braquiária e os atributos físicos de um Latossolo Vermelho alumino-férrico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 10, p. 221-227, 2011.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- RAPASSI, R. M. A. et al. Avaliação técnica e econômica de sistemas de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região oeste do estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 11-21, 2009.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros e Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.
- ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.
- SCAPARI, M. S.; BEUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 2008. Cap. 2, p. 47-56.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS System for elementary statistical analysis**. 1997. 905p. Cary, NorthCarolina, USA.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- SILVA, M. A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 109-117, 2008.
- SOUZA, Z. M. et al. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.
- SOUZA, Z. M. et al. 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**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010a.
- SOUZA, Z. M. et al. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2010b.
- WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 05, p. 487-494, 2005.