



Correlação dos componentes tecnológicos da cana-de-açúcar com a quantidade de carbono orgânico num latossolo em Rio Brillhante, MS

Linear and spatial correlation of technology components of sugar cane with organic carbon an oxisol in Rio Brillhante, MS

Rafael Montanari¹, Max Alexandre Oliveira Honorato², Arthur Pereira da Silva¹, Elizeu de Souza Lima¹, Adriany Rodrigues Correa¹, Douglas Martins Pereira Pellin³, Evelize Nayara Santana da Silva²

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia (FEIS), Campus de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. R. Monção, 226, Bairro Zona Norte, Ilha Solteira, SP, CEP: 15385-000. Email: montanari@agr.feis.unesp.br.

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Faculdade de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Unidade de Aquidauana, Aquidauana, MS.

³ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Dourados, MS

Recebido em: 09/04/2014

Aceito em: 02/09/2014

Resumo. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) tornou-se uma das culturas de maior importância econômica em todo mundo. Este fato é devido à sua múltipla utilização que proporcionou, concomitantemente, rápido crescimento da economia brasileira e aumento das especulações e dúvidas a respeito de seu cultivo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do cultivo intensivo da área, sobre alguns componentes tecnológicos da cana-de-açúcar correlacionados com atributos químicos do solo, nas camadas 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m. O experimento foi realizado na Usina Odebrecht Agroindustrial (ETH) de Bioenergia Eldorado localizada no Município de Rio Brillhante, sendo um total de 80 amostras todas georreferenciadas. Os componentes tecnológicos avaliados foram: açúcares totais recuperáveis (ATR), expresso em kg t⁻¹; sólidos solúveis totais (BRI), sacarose no caldo (POL), pureza aparente (PUR) e fibra (FIB), expressos em %. Já os atributos do solo foram: estoque de carbono (EC) e carbono orgânico (CO). O teor de carbono orgânico e o seu estoque revelaram-se como atributos potencialmente aptos para a definição de duas zonas específicas de manejo do solo. Em futuros trabalhos voltados à agricultura de precisão, que empreguem os mesmos atributos do solo e da planta que os do presente estudo, os alcances recomendados deverão estar compreendidos entre 119 e 922 m.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, manejo do solo, *Saccharum* spp.

Abstract. The sugar cane (*Saccharum* spp) has become one of the most economically important crops worldwide. This fact can be attributed to its multiple use, which made while the Brazilian economy to grow more rapidly, also raises speculation and doubt regarding its cultivation. The study aimed to evaluate the effect of intensive cultivation area, about some technological components of cane sugar correlated with soil chemical properties for the layers 0.00-0.20 and 0.20-0.40 m. The experiment was conducted at ETH Bioenergy Eldorado Plant located in the Municipality of Rio Brillhante, with a total of 80 samples all georeferenced. The technological components were assessed: total recoverable sugars (TRS), expressed in kg t⁻¹, soluble solids (SS), sucrose in juice (SJ), apparent purity (AP) and fiber (FIB), expressed in %, as soil attributes were: carbon stock (EC) and organic carbon (OC). Thus, to obtain maximum productivity, searched for variety, the ideal plant population is 14 plants per meter. The organic carbon content and its stock, revealed as potentially suitable attributes to define two zones specific soil management. In future work focused on precision agriculture, employing the same soil properties and plant those in this study, the recommended ranges should be between 119 and 922 m.

Keywords: precision agriculture, geostatistics, soil management soil, *Saccharum* spp.



Introdução

A importância da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para o Brasil, bem como para o estado do Mato Grosso do Sul, deve-se ao uso da matéria-prima para a produção do etanol utilizado pelos veículos automotores, além da sua destinação para a produção do açúcar, um dos principais produtos de exportação nacional. De acordo com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014) o setor sucroalcooleiro nacional tem uma previsão de moer na safra 2014/2015 cerca de 671,69 milhões de toneladas, com aumento de 2,0% em relação à safra 2013/2014, que foi de 658,82 milhões de toneladas, equivalendo a 12,87 milhões de toneladas a mais que a moagem da safra anterior.

O sucesso do cultivo da cana-de-açúcar é influenciado por alguns fatores de caráter edafoclimático, e entre os mesmos é possível destacar as condições de manejo e manutenção do solo, uma vez que este visa dar suporte para todo o desenvolvimento da cultura. Em solos tropicais a matéria orgânica é um dos principais fatores responsáveis pela manutenção da qualidade e fertilidade do solo, no entanto, a remoção da vegetação nativa e preparos convencionais de solo tem causado redução dessa matéria orgânica (Martins et al., 2009). A maior expansão em área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil está concentrada na região central e norte do país, sendo a maioria desses solos pertencentes à classe dos Latossolos, com isso, é importante estudar medidas que visem reduzir o efeito negativo e garantir a qualidade do solo e consequentemente a quantidade de carbono orgânico no mesmo (Dalmolin et al., 2006).

É de vital importância a manutenção da matéria orgânica no solo, pois a mesma possui funções em processos químicos, biológicos e físicos, e nos agrossistemas brasileiros, o estudo da matéria orgânica é a chave para a sustentabilidade da agricultura (Coleman et al., 1989). Em solos do cerrado, os quais são mais intemperizados, a dinâmica da matéria orgânica é de grande importância, pois a mesma irá influenciar na qualidade do solo, e consequentemente na produtividade da cultura, pois, níveis ideais de matéria orgânica auxiliam na manutenção da fertilidade (Simões et al., 2010).

O estoque de carbono no solo está relacionado às frações minerais como os resíduos vegetais que existem dentro ou entre os agregados do mesmo, e seu acúmulo apresenta enorme variabilidade conforme a região de estudo, principalmente devido às diferenças de clima, solo, temperatura e tipos de manejo do solo (Marriott & Wander, 2006). Práticas adequadas de manejo do solo aumentam a quantidade de carbono orgânico no solo, reduzem a taxa de decomposição e contribuem para a não emissão de gases CO₂ para a atmosfera (Bronick & Lal, 2005). Quanto maior a quantidade de carbono orgânico no solo, maior será a retenção de nutrientes no mesmo, contribuindo para a manutenção das propriedades físicas do solo melhorando sua estrutura, proporcionando menor erosão e maior retenção de água (Hassink et al., 1997).

Vários estudos têm sido conduzidos com o intuito de quantificar o carbono orgânico nos solos com diferentes culturas e sistemas de manejo, verificando-se que os teores desse atributo variam com o tipo/textura do solo e o manejo empregado na área (Amado et al., 2001; Bayer et al., 2006). Neste sentido, a utilização da geoestatística, ferramenta essencial à agricultura de precisão, possibilita uma análise detalhada da variabilidade e da correlação espacial dos atributos do solo, podendo ser indicador de alternativas de manejo, que possam reduzir os seus efeitos sobre a perda de carbono para atmosfera (Frazão et al., 2010; Gatto et al., 2010; Dalchiavon et al., 2012).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a correlação espacial e linear entre os componentes tecnológicos da cana-de-açúcar com o carbono orgânico em um Latossolo Vermelho distroférrico, no município de Rio Brillhante, MS.

Material e Métodos

O estudo foi realizado a campo, durante os ciclos de cana soca (2004/2011). A área experimental, de propriedade da Usina ETH Bioenergia S/A localiza-se nas coordenadas 21° 40' 10" S "e 53° 50' 15" W, no município de Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul a uma altitude de 312 m. O trabalho foi desenvolvido num talhão de cana-de-açúcar, no sistema de colheita mecanizada sem queima prévia (*cana crua*), em solo caracterizado

como Latossolo Vermelho distrófico, conforme metodologia da EMBRAPA (2006), com textura argilosa, apresentando em média $36,55 \text{ g kg}^{-1}$ de areia, $5,75 \text{ g kg}^{-1}$ de silte e $57,70 \text{ g kg}^{-1}$ de argila, representando aproximadamente 80 ha o talhão amostrado. O clima da região foi classificado como C_{wa} , mesotérmico úmido, verões quentes e invernos

secos, com precipitação média de 1200 mm ano^{-1} , com a temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C (Fietz & Fisch, 2008). Durante o desenvolvimento da pesquisa foi registrada precipitação pluvial média acumulada de 1.600 mm e temperatura média de 27°C .

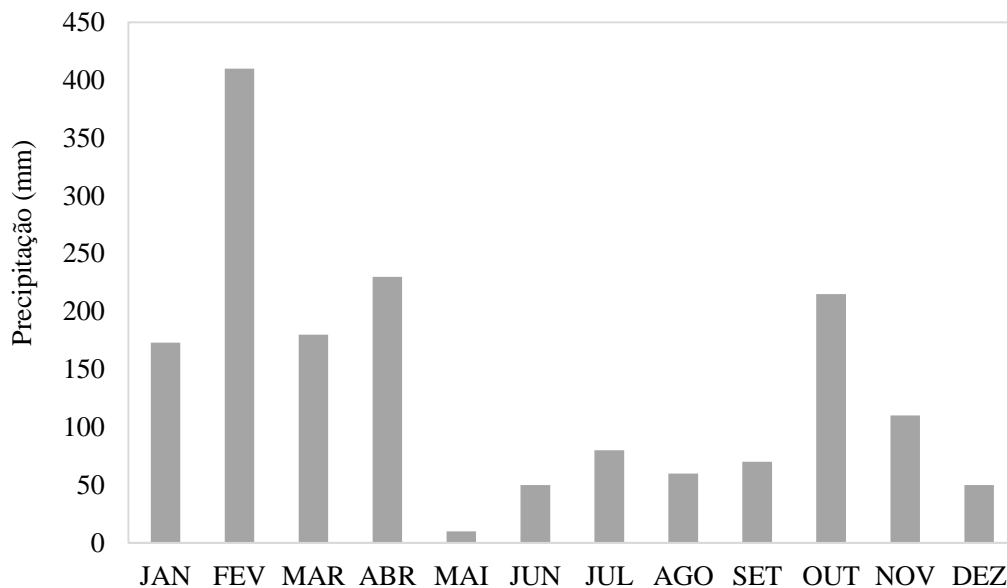


Figura 1. Variação de pluviosidade média anual em Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, no ano de 2011.

O plantio do talhão foi realizado no dia 04 de março de 2003. Para o mesmo utilizaram-se dois colmos de cana (colmo-semente) do cultivar RB 85 5536, que foram depositados 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. Em seguida aplicou-se a adubação de plantio, que consistiu na adição de 25 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, 150 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio (KCl) e 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples. Após 10 dias do corte da cana planta realizou-se a aplicação mecanizada de 140 kg ha^{-1} de N na forma de uréia e 110 kg ha^{-1} de K_2O , 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 GPS de bolso Garmin etrex alimentado por essa planilha de coordenadas os pontos foram materializados num talhão de cana-de-açúcar.

Para a coleta dos atributos da planta definiu-se como área útil, duas linhas de 3 m de cultivo, totalizando uma área de $9,0 \text{ m}^2$ ao redor do ponto amostral. Para a obtenção do atributo número de colmos (NC), expresso em planta m^{-2} , utilizou-se uma trena de bolso para marcar 3 m e assim executou-se a contagem do número de colmos industrialmente viáveis por ponto.



Para o atributo massa de cana-de-açúcar por hectare (MCH), expresso em $Mg\ ha^{-1}$, utilizou-se uma balança eletrônica portátil com capacidade de 50 kg e precisão de 20 g. Para tanto, os colmos da área útil foram cortados simulando a colheita mecanizada, os colmos foram organizados em feixes, pesados e somando-se para a obtenção da massa por ponto. Após a coleta dos dados de MCH, em uma planilha realizou-se a extrapolação da área útil de 9,0 m² para 1,0 ha. Para a obtenção dos dados tecnológicos da planta, foram retirados 10 colmos industrializáveis, retirados em sequência, os feixes foram despontados, despalhados, etiquetados e encaminhados ao laboratório da Usina Eldorado ETH – Bioenergia S/A, onde se obteve: açúcares totais recuperáveis (ATR), expresso em $kg\ Mg^{-1}$; sólidos solúveis totais (BRI), sacarose no caldo (POL), pureza aparente (PUR) e fibra (FIB), expressos em %; seguindo a metodologia determinada (Consecana, 2003). Dessa forma os atributos de planta são: MCH, ATR, BRI, POL, PUR e FIB, e os mesmos foram coletados e analisados na primeira quinzena do mês de outubro de 2011.

Os atributos químicos do solo amostrados foram estoque de carbono (EC) e teor de carbono orgânico (CO). Para a determinação dos atributos carbono orgânico (CO) e estoque de carbono no solo (EC), foram retiradas amostras deformadas, com um trado de caneco, uma por ponto e por profundidade, ensacadas, numeradas e enviadas para o laboratório de Geoestatística Aplicada ao Solo e a Planta da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), onde foram submetidas à análise. O laboratório utiliza metodologia preconizada (Raij, 1987) para obtenção do carbono orgânico do solo (COS) (combustão úmida via calorimétrica). Desta forma os dois atributos citados foram obtidos segundo as seguintes equações:

$$CO = COS \cdot 2.106 / 106 \dots\dots\dots (1)$$

em que: CO é o carbono orgânico do solo ($Mg\ ha^{-1}$),
COS é o carbono orgânico do solo ($g\ dm^{-3}$).

$$EC = CO \cdot DS \dots\dots\dots (2)$$

em que: EC é o estoque de carbono do solo ($Mg\ ha^{-1}$),
CO é o carbono orgânico do solo ($Mg\ ha^{-1}$) e DS é a densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$).

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m. Portanto, a síntese dos atributos do solo nas respectivas profundidades foi: a) profundidade 1: EC1 e CO1; b) profundidade 2: EC2 e CO2. Optou-se estudar até a profundidade de 0,40 m, pois é a camada mais susceptível às alterações físicas e químicas do solo, no qual o sistema radicular atua com maior intensificação (Prado et al., 2002).

Para cada atributo estudado, efetuou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997), em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Posteriormente, realizou-se a identificação dos *outliers*, efetuando a substituição dos seus valores pelo valor médio dos circunvizinhos contidos na malha. Para testar a hipótese de normalidade, ou de log-normalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro e Wilk a 5%. Também, foi montada a matriz de correlação, objetivando efetuar as correlações lineares simples entre todos os atributos estudados, assim como apresentar as análises de regressões para os pares de maior interesse. Assim, selecionaram-se aqueles de maior correlação linear e que, portanto, poderiam apresentar semivariograma cruzado e a consequente cokrigagem. Isoladamente para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma simples. Contudo, para aqueles que apresentaram interdependência espacial, calcularam-se também seus semivariogramas cruzados, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS⁺, 2004). 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 (RSS); (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 atestada pela validação cruzada, assim como para a definição do



tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (C0), o patamar (C0+C) e o alcance (A). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a Equação 3:

ADE = [C/(C0+C)]. 100(3)

em que: ADE é o avaliador da dependência espacial; C, a variância estrutural; e C0+C, o patamar. A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: 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) (Dalchiavon et al., 2012).

Resultados e Discussão

De acordo com Pimentel Gomes & Garcia (2002) a variabilidade é mensurada e classificada de acordo a grandeza de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa (CV ≤ 10%), média (10% < CV ≤ 20%), alta (20% < CV ≤ 30%) e muito alta (CV > 30%). Dentre os atributos da planta estudados, o MCH, ATR, BRI, POL, FIB foram os que apresentaram média variabilidade com os seguintes valores de coeficientes de variação 19,9, 14,4, 10,6, 15,2 e 13,3% respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise descritiva inicial da produtividade, componentes tecnológicos e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS sob cultivo de cana-de-açúcar

Table with 11 columns: Atributo (a), Média, Mediana, Valor (Máximo, Mínimo), Desvio Padrão, Coeficiente (Variação (%), Curtose, Assimetria), and Probabilidade do teste (b) (Pr<w, DF). Rows include plant attributes (MCH, NC, ATR, BRI, POL, PUR, FIB) and soil attributes (CO1, EC1, CO2, EC2) at different depths.

(a) MCH, NC, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a megagrama 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; (b) CO, EC são respectivamente o carbono orgânico e estoque de carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40m; (c) DF = distribuição de frequência, sendo NO, ND e TN respectivamente do tipo normal, não determinado e tendendo a normal.



Esses dados foram semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2010) e Gioia (2011) que, trabalhando com um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontraram também média variabilidade para essas variáveis. Porém o valor observado em MCH diverge com os valores obtidos por Braga (2011), que encontrou valor de coeficiente de variação alto para o mesmo. Para o atributo PUR que apresentou coeficiente de variação classificado com baixo tendo o valor 4,3%, esse valor ficou análogo com o valor obtido por Gioia (2011).

Já para os atributos físicos-químicos estudados nas profundidades de (0,00-0,20 m) e (0,20-0,40 m), os atributos CO1, EC1, CO2, EC2 apresentaram coeficientes de variação tidos como alto sendo os valores 21,2, 21,4, 26,6, 26,5% respectivamente (Tabela 1), ficando assim próximos as valores encontrados por Chaves & Farias (2008) que ao trabalharem com cana-de-açúcar sob um Argissolo para três profundidades (0-0,30 m, 0,30-0,63 m, 0,63-0,100 m,) encontraram valores de coeficientes de variação acima de 50 % nas três profundidades para tais atributos. Os altos valores de coeficientes de variação encontrados para os atributos podem ser explicados em função da colheita mecanizada, o que proporciona maior aporte de resíduos vegetais ao solo.

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em equivalência, caso a distribuição seja lognormal a medida mais adequada será a mediana. Os atributos da planta estudados MCH, NC, ATR, BRI, POL e PUR apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 1), com valores do teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965) que variaram de 0,030, a 0,599 respectivamente, a 5% de probabilidade. Por outro lado, a FIB apresentou se distribuição de frequência do tipo não determinado. Valores semelhantes foram obtidos por Souza (2010) e Gioia (2011). Os atributos químicos EC1, CO2, EC2, apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, sendo apenas CO1 tendo obtido distribuição de frequência tendendo a normal (Tabela 1).

A média da produtividade da cultura (MCH) foi 59,64 Mg ha⁻¹, valor este abaixo da média nacional (70,29 Mg ha⁻¹), da região centro-oeste (69,64 Mg ha⁻¹) e do estado de Mato Grosso do Sul (70,10 Mg ha⁻¹)

(Conab, 2012). O baixo valor obtido para MCH é devido à cana-de-açúcar já se encontrar na sua 8ª safra. A população de plantas (POP) apresentou uma média de 37,09 plantas m⁻², ou seja, um estande de 89,46 plantas por metro, considerando o espaçamento de 1,5 m, valor acima do trabalho realizado por Braga (2011) que em um Argissolo Vermelho eutrófico obteve uma população de 10,5 plantas m⁻² e considerou que é o ideal, para uma máxima produtividade sob as condições que foram realizadas a pesquisa, seria de 14 plantas m⁻² equivalente a 21,9 plantas por metro. Valores baixos de população de plantas permitem inferir que a baixa produtividade obtida na pesquisa atual foi em consequência do baixo valor de NC.

Para Silva (2008) a recomendação para um bom estande de plantas de cana-de-açúcar é de 10 a 12 plantas por metro. O valor médio encontrado para o atributo ATR foi de 105,9 kg Mg⁻¹, considerado abaixo do referencial para o estado de Mato Grosso do Sul (135,6 Mg ha⁻¹) pela Conab (2012) e com padrão médio em torno de 30% abaixo do verificado por Braunbeck & Oliveira (2006) na região de Piracicaba (151,4 Mg ha⁻¹).

Para os outros atributos tecnológicos da cana-de-açúcar observou-se que a média do BRI ficou em 12,68 %, abaixo da faixa de 18 a 25 %, recomendada por Fernandez (2000), corroborando os resultados de Braga (2011) (15,25 %) e discordando dos valores encontrados por Rapassi et al. (2009) e Gioia (2011) que observaram uma média de 21,88 e 19,58 %, respectivamente. A média da POL foi de 12,97%, inferior ao observado no trabalho de Lavanholi (2008) e superior àquele encontrado na pesquisa Rapassi et al. (2009), o que pode ser decorrente de ser cana-de-açúcar de último corte ou até mesmo variações ambientais como temperatura e pluviosidade que fizeram com que a cultivar a campo não desenvolvesse todo seu potencial em relação à quantidade de sacarose produzida.

De acordo com Ripoli & Ripoli (2004) que observaram valores médios de PUR em torno de 89,15%, superiores aos observados no presente trabalho (82,12%), pode-se verificar que o manuseio das amostras e o método de transporte das mesmas influencia no resultado deste atributo. O atributo FIB apresentou valor médio de 14,19%, ou seja, superior



ao observado no trabalho realizado por Scapari & Beuclair (2008), com várias cultivares na região de Dracena, sendo assim os valores estão de acordo com o padrão recomendado pelos mesmos, que concluíram que o valor de fibras na cultura pode variar de 9-20% durante a safra.

A média do atributo CO1 foi de 10,91 g dm⁻³ e para CO2 de 8,33 g dm⁻³ (Tabela 1). Esses valores de carbono orgânico, que representam a matéria orgânica do solo, foram classificados como baixos (Raij, 1987). O valor médio encontrado para o atributo EC1 foi de 20,16 Mg ha⁻¹ e para EC2 de 15,57 Mg ha⁻¹. Esses valores ficaram próximos aos encontrados por Frazão et al. (2010) que quantificaram estoques de carbono (EC) em um Neossolo Quartzarênico em diferentes usos agrícolas no cerrado brasileiro e observaram variações de 15,8 a 28,1 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0,00-0,30 m do solo, e ficam abaixo dos valores encontrados por Leite et al. (2003), quantificando o estoque de carbono orgânico em um argissolo sob floresta e sob milho com adubação mineral e orgânica.

Na Tabela 2 está apresentada a matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos estudados da cultura da cana-de-açúcar (MCH, POP, ATR, BRIX, POL, PUR e FIB) e os atributos químicos do solo estudado (CO e EC), nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m. Foram constatadas correlações entre a MCH, com CO e EC para as duas profundidades estudadas com coeficientes de correlação positivos, ou seja, com o aumento do carbono orgânico e estoque de carbono ocorrerá um incremento da produtividade da cultura da cana-de-açúcar, apresentando dessa maneira os seguintes pares: MCH x CO1 (r = 0,242*), MCH x EC1 (r = 0,271*), MCH x CO2 (r = 0,370*), MCH x EC2 (r = 0,382**). Gioia (2011) estudando correlação linear de Pearson para atributos da cana-de-açúcar e químicos do solo encontrou os mesmos pares do presente estudo com coeficientes de correlação distintos, sendo eles: MCH x CO1 (r = 0,295**), MCH x EC1 (r = 0,295**), MCH x CO2 (r = 0,221*), MCH x EC2 (r = 0,221**).

Tabela 2. Matriz de correlação entre a produtividade, componentes tecnológicos e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS sob cultivo de cana-de-açúcar

| Atributos ^(a) | Coeficiente de correlação ^(b) | | | | | | |
|----------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MCH | POP | ATR | BRIX | POL | PUR | FIB |
| Profundidade de 0,00-0,20m | | | | | | | |
| CO1 | 0,242* | -0,089 | 0,170 | 0,152 | 0,213 | 0,253* | 0,273* |
| EC1 | 0,271* | -0,088 | 0,135 | 0,103 | 0,154 | 0,207 | 0,263* |
| Profundidade de 0,20-0,40m | | | | | | | |
| CO2 | 0,370* | -0,132 | 0,269* | 0,296* | 0,260* | 0,339* | 0,136 |
| EC2 | 0,382** | -0,107 | 0,259* | 0,279* | 0,226* | 0,310* | 0,095 |

^(a) MCH, POP, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a massa 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; CO e EC são respectivamente, o teor de carbono orgânico e o estoque de carbono, coletados nas profundidades do solo de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

Foram descritos os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais dos atributos analisados (Tabela 3 e Figura 2). Os atributos POP, BRI, POL, PUR apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não foi observada dependência espacial para esses atributos, evidenciando que sua distribuição no espaço é aleatória para essa escala de trabalho. Para os demais

atributos foram observadas dependência espacial evidenciando uma distribuição não aleatória. O ajuste dos modelos matemáticos aos semivariogramas experimentais indicou que o coeficiente de determinação espacial (r²) decresceu na seguinte ordem CO1 (0,968); EC2 (0,867); FIB (0,860); CO2 (0,812); EC2 (0,812); ATR (0,388) e MCH (0,360). Desta maneira, em relação aos primeiros, que tiveram



os mais elevados coeficientes de determinação espacial observou-se o seguinte: CO1, seu r^2 (0,968) indicou ser o melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE alto (62,6%), com alcance de 922 metros e modelo gaussiano; EC2, seu r^2 (0,867) foi o segundo melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE muito alto (96,7%), com

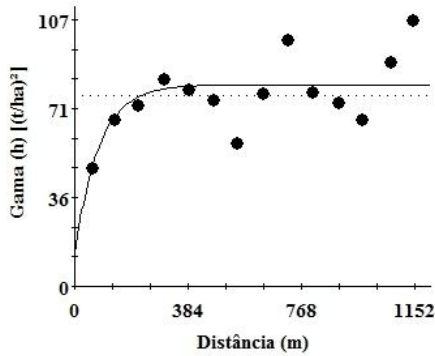
alcance de 119 metros e modelo gaussiano; FIB, seu r^2 (0,860) foi o terceiro melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE médio (53,9%), com alcance de 487 metros e modelo esférico; EC1, seu r^2 (0,812) foi o quarto melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE muito alto (81,4%), com alcance de 291 metros e modelo esférico (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para a produtividade, componentes tecnológicos e atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brilhante, MS sob cultivo de cana-de-açúcar

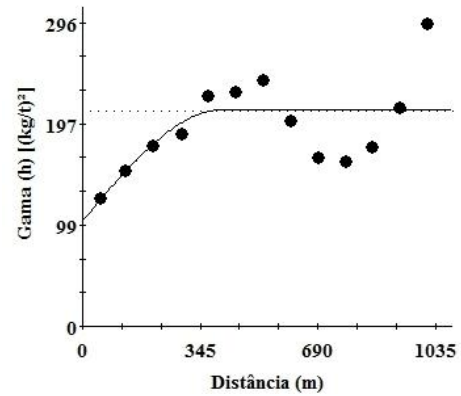
| Atributos ^(a) | Modelo ^(b) | Parâmetros | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|--------|------------------------|-------|-------|
| | | Efeito pepita (C ₀) | Patamar (C ₀ + C) | Alcance (A ₀) (m) | r ² | SQR ^(c) | ADE ^(d) | | Validação cruzada | | |
| | | | | | | | % | Classe | a | b | r |
| <i>γ(h) simples dos atributos da planta</i> | | | | | | | | | | | |
| MCH (Mg ha ⁻¹) | exp. (89) | 1,270.10 | 8,070.10 | 246 | 0,36 | 1,937.10 ³ | 84,3 | MA | 4,050.10 | 0,312 | 0,134 |
| POP(pl m ⁻²) | epp. | 0,597.10 | 0,597.10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ATR (kg Mg ⁻¹) | esf. (51) | 1,027.10 ² | 2,109.10 ² | 410 | 0,38 | 1,478.10 ⁴ | 51,3 | ME | 2,858.10 | 0,730 | 0,106 |
| BRI(%) | epp. | 1,695 | 1,695 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| POL(%) | epp. | 3,741 | 3,741 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PUR(%) | epp. | 1,192.10 | 1,192.10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| FIB(%) | esf.(80) | 1,546 | 3,354 | 487 | 0,86 | 5,200.10 ⁻¹ | 53,9 | ME | 7,600.10 ₋₁ | 0,945 | 0,533 |
| <i>γ(h) simples dos atributos químicos do solo</i> | | | | | | | | | | | |
| CO1 (g dm ⁻³) | gau.(97) | 2,680 | 7,162 | 922 | 0,97 | 5,800.10 ⁻¹ | 62,6 | AL | 0,25 | 0,977 | 0,392 |
| EC1 (Mg ha ⁻¹) | esf.(50) | 7,060 | 2,270.10 | 291 | 0,81 | 1,19 | 81,4 | MA | 0,94 | 0,887 | 0,255 |
| CO2 (g dm ⁻³) | exp.(50) | 8,600.10 ⁻¹ | 4,626 | 291 | 0,81 | 1,19 | 81,4 | MA | 0,94 | 0,887 | 0,255 |
| EC2 (Mg ha ⁻¹) | gau.(50) | 5,200.10 ⁻¹ | 1,563.10 | 119 | 0,86 | 1,180.10 | 96,7 | MA | 5,15 | 0,669 | 0,154 |
| <i>γ(h) cruzado planta x planta</i> | | | | | | | | | | | |
| MCH= (ATR) | gau. (58) | -1,000.10 ⁻¹ | -5,131.10 | 135,1 | 0,36 | 1,369.10 ³ | 99,8 | MA | 5,595.10 | 0,054 | 0,031 |

^(a)MCH, POP, ATR, BRI, POL, PUR, FIB, CO, EC e MCH=f(ATR) são, respectivamente, a megagrama 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, carbono orgânico e estoque de carbono e megagrama de colmos por hectare em função do açúcar total recuperável, coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; ^(b)exp = exponencial, epp = efeito pepita puro, gau = gaussiano, esf = esférico, com seus devidos pares de lags; ^(c)SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d)ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta e ME = média.

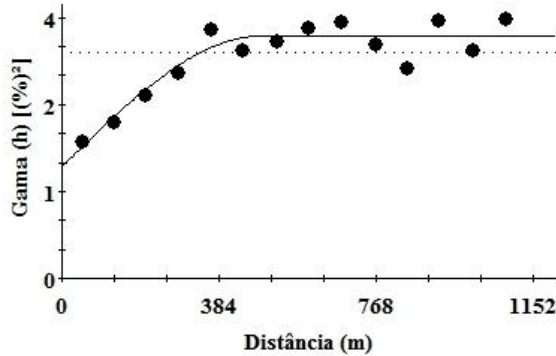
MCH



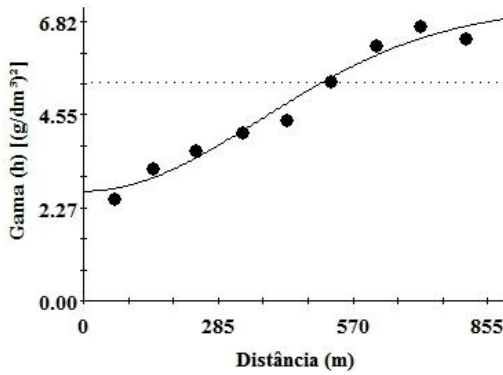
ATR



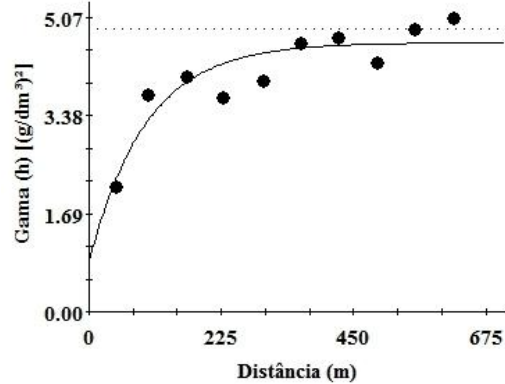
FIBRA



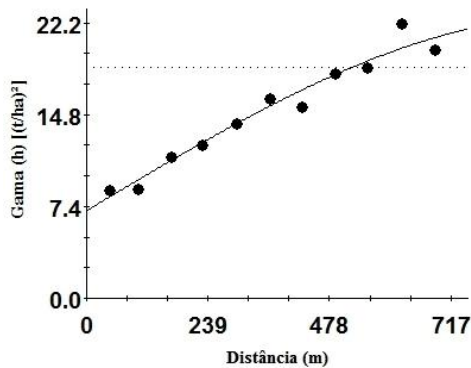
CO1



CO2



EC1



EC2

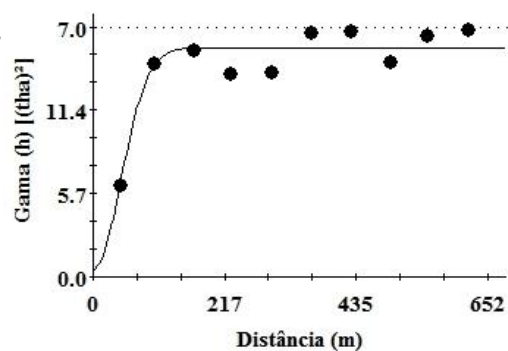


Figura 2. Semivariogramas simples da produtividade, componentes tecnológicos e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillante, MS sob cultivo de cana-de-açúcar (MCH, ATR, fibra, CO1, CO2, EC1, EC2).

Chaves & Farias (2008) modelaram semivariograma para o atributo estoque de carbono e encontraram para a profundidade de 0-0,30 m um modelo esférico, com $r^2 = 0,86$ e ADE médio (50%) segundo classificação de Cambardella et al. (1994). Já para a profundidade de 0,30-0,63 m modelaram um semivariograma do tipo exponencial, com $r^2 = 0,89$ e ADE alto (79%), ou seja, da mesma forma que no presente trabalho, uma maior dependência espacial do atributo estoque de carbono em profundidade no solo. No âmbito dos alcances, Chaves & Farias (2008) trabalhando numa malha geoestatística com 68 pontos amostrais cobrindo uma área de 790 ha constataram os maiores valores de alcances para a camada superficial. Os autores alegam que não era previsto esse maior alcance na camada subsuperficial que está menos sujeita ao efeito do preparo do solo e dessa forma é mais homogênea que a camada superficial. No entanto, declaram que o manejo do solo do local deve ter contribuído para a homogeneização da camada superficial.

Os parâmetros da validação cruzada referentes às krigagens para os atributos pesquisados que apresentaram dependência espacial estão apresentados na Tabela 3. Os ajustes obtidos e o coeficiente de

correlação (r) decresceram na seguinte ordem: 1) CO1 (0,392); 2) EC1 (0,255), CO2 (0,255); 3) EC2 (0,154); 4) ATR (0,106).

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre os atributos da planta, massa de colmo por hectare e açúcares totais recuperáveis, podendo-se observar a cokrigagem entre os mesmos $MCH = f(ATR)$ ($Mg\ ha^{-1}$). A relação do coeficiente de determinação espacial (r^2) do semivariograma cruzado foi: $[MCH = f(ATR)]$ (0,364). No entanto, se considerada a relação da validação cruzada, a partir da grandeza do coeficiente de correlação (r), o valor encontrado foi: $[MCH = f(ATR)]$ (0,001). O coeficiente angular (b) da validação cruzada foi de 0,054 $[MCH = f(ATR)]$.

Na Figura 3, está contido o semivariograma cruzado e na Figura 4, o mapa de co-krigagem dos atributos que apresentaram dependência espacial entre si. Entre os atributos de planta, a co-krigagem atestada pelo coeficiente de determinação espacial (r^2): $MCH = f(ATR)$ que evidenciou que 79,5% da variabilidade espacial da MCH foram explicadas pela variabilidade do ATR para essa co-krigagem, o modelo ajustado foi gaussiano indireto, com alcance de 135,1 m e um ADE muito alto (99,8%).

$MCH=f(ATR)$

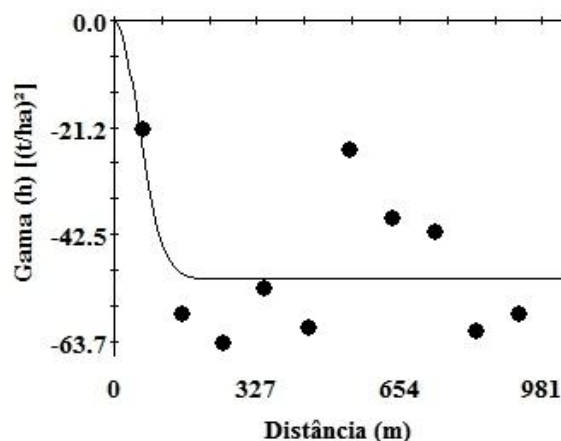


Figura 3. Semivariograma cruzado da MCH em função do ATR em um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda São Joaquim em Rio Brilhante, MS.

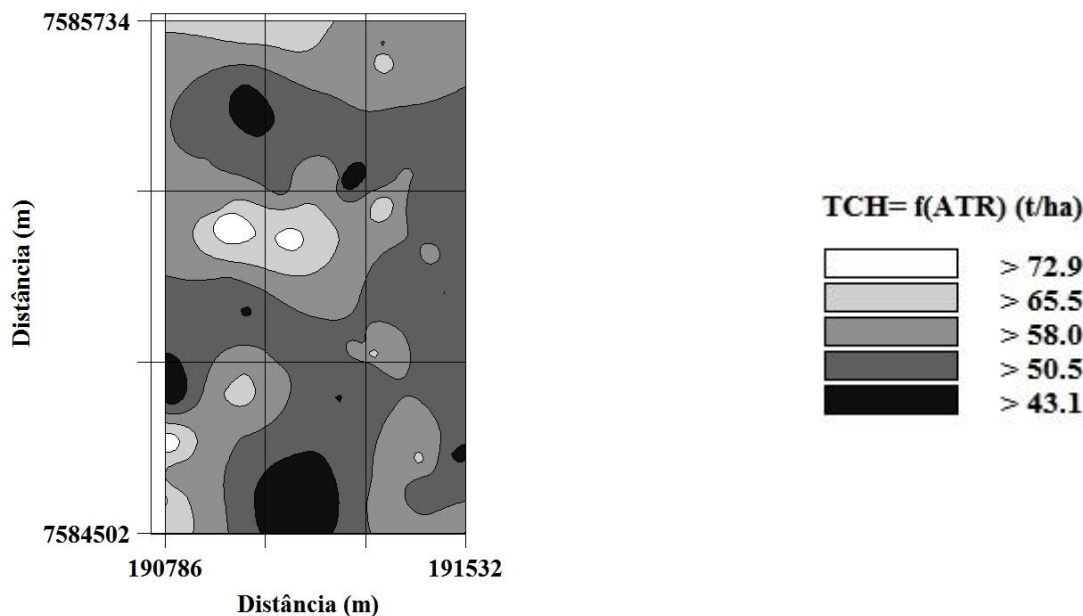


Figura 4. Mapa de co-krigagem da MCH em função do ATR em um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS.

Conclusões

A variabilidade dos valores dos atributos do solo foi alta, indicando que o manejo adotado (*cana crua*), possivelmente é um sistema que favorece a maior heterogeneidade do ambiente.

Os atributos pesquisados, que no geral não variaram aleatoriamente, seguiram padrões espaciais bem definidos, com alcances da dependência espacial entre 119 e 922 m.

O estoque de carbono e o carbono orgânico do solo apresentaram-se como potenciais indicadores dos componentes tecnológicos da cultura da cana-de-açúcar em Rio Brillhante, MS.

Agradecimentos

Ao Laboratório Sial Solo (Campo Grande, MS) pelo auxílio nas análises de solo. A Usina ETH Eldorado, Rio Brillhante, MS pela oportunidade de utilizar a área de sua propriedade e pela logística para a realização do experimento. E a UEMS/FUNDECT pela bolsa de iniciação científica concedida.

Referências

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil e Tillage Research**, v.86, n.1, p.237-245, 2006.

BRAGA, J.A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico do noroeste paulista**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, J.T.A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.300-308, 2006.



- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3–22, 2005.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.20-25, 2008.
- COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu-USA, NIFTAL Project, 1989. 200p.
- 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>>.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 4.ed. Piracicaba: **Consecana**, 2003. 115p.
- DALCHIAVON F.C. CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p. 453-461, 2012.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, D.P.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KOGEL-KNABNER, I. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climosequence in southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, n. 5, p. 644-654, 2006.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2006. 306 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. 32p.
- FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.
- GATTO A. BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; VILLANI, E.M.A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.1069-1079, 2010.
- GIOIA, M.T. **Produtividade e componentes produtivos da cana-de-açúcar correlacionados com atributos físico-químicos de um argissolo vermelho distrófico**. Ilha Solteira, SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Engenharia, 2011, 91 p. (Dissertação de Mestrado).
- GS⁺: geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.
- HASSINK, J.; WHITMORE, A.P.; KUBÁT, J. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 7, n. 1-3, p. 189-199, 1997.
- 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. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação: IAC, 2008. Cap.32, p. 697 - 722.



- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.821-832, 2003.
- MARRIOTT, E.E.; WANDER, M.M. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 950-959, 2006.
- MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico-LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 655-660, 2009.
- PIMENTEL-GOMES, F.P.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- PRADO, R.M.; ROQUE, C.G.; SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p.1795-1801, 2002.
- RAIJ, B.V. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- RAPASSI, R.M.A.; TARSITANO, M.A.A.; BOLONHEZI, A.C. 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.
- 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. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v.52, 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**, v.67, n.1, p.109-117, 2008.
- SIMÕES, S.M.O.; ZILLI, J.E.; COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F.C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 23-30, 2010.
- SOUZA, Z.M.; CERRI, D.G.P.; COLET, M.J.; RODRIGUES, L.H.A.; MAGALHÃES, P.S.G.; MANDON, F.J.A.A. 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**, v.40, n. 4, p.840-847, 2010.