



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INTER-RELAÇÕES DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO
PAULISTA**

EDJAIR AUGUSTO DAL BEM

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Ilha Solteira – SP
2013

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INTER-RELAÇÕES DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO
PAULISTA**

EDJAIR AUGUSTO DAL BEM

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP – Campus de Ilha
Solteira, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Agronomia.
(Sistemas de Produção)

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- D137i Dal Bem, Edjair Augusto.
Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um argissolo vermelho eutrófico paulista / Edjair Augusto Dal Bem. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
84 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção.
Orientador: Morel de Passos e Carvalho
Inclui bibliografia
1. Geoestatística. 2. Krigagem. 3. Semivariograma. 4. Fertilidade do solo. 5. Saccharum Spp..



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INTER-RELAÇÕES DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO PAULISTA

AUTOR: EDJAIR AUGUSTO DAL BEM

ORIENTADOR: Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CASSIANO GARCIA ROQUE

Departamento de Agronomia / Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Data da realização: 25 de janeiro de 2013.

O primeiro gesto é de agradecimento a DEUS do qual todas as coisas dependem e que, com a sua infinita bondade, concedeu-me a oportunidade de, na aspérrima caminhada, experimentar a inefável sensação de galgar um patamar a mais.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Dirce do Carmo Malfato e ao meu pai Jair Trevisan Dal Bem, que toda a vida me deram a devida educação, carinho, amor e me ensinando o caminho da hombridade e retidão, e que sempre esteve comigo nesta jornada e incondicionalmente me apoiaram e me motivaram na busca do aprender. A minha namorada Clenis Araújo de Medeiro que sem medir esforços sempre esteve ao meu lado em todos os momentos dedicando seu carinho e seu tempo para que pudesse alcançar sempre todos os meus objetivos na vida. Aos meus irmãos Rodrigo Fiorello Dal Bem, Janaina Aline Vivian Dalben, Fabiane Malfato Venâncio Pereira e também a Edvaldo Venâncio Pereira e a todos os familiares que sempre me deram forças, apoio e carinho que por onde eu for sempre vão estar em meu coração. Cleves Pinto de Almeida e Aldenisa Araújo de Lima Almeida que tanto me deram forças e incentivaram a realizar este sonho. Aos meus amigos Claudinei Kappes, Marcelo Fernando Pereira Souza, Flavio Carlos Dalchiavon, Diego Gonçalves Feitosa e Hugo Rodrigo Macedo, sendo pessoas de fundamental importância nesta conquista, pela ajuda, dedicação e principalmente amizade, pois me ajudaram de tal forma que todas as palavras de agradecimentos ainda seriam poucas para expressar minha gratidão. E ao Professor Dr. Morel de Passos e Carvalho que neste período foi muito mais que um orientador sendo um verdadeiro amigo que em momentos bons ou ruins me aconselhou e me deu um norte que levarei por toda a vida. E a todos que contribuem e se alegram com o sucesso alheio.

AGRADECIMENTOS

Em nome do professor Dr. Ricardo Antônio Ferreira Rodrigues com sua amizade e respeito venho agradecer de forma geral a todos os professores que contribuíram para meu aprendizado e pela amizade conquistada.

Agradeço também ao professor e amigo Dr. Marcos Antônio Camilo de Carvalho e ao Dr. Cassiano Garcia Roque que desde a minha graduação me incentivaram a buscar grandes conquistas na vida.

A Usina Vale do Paraná pela concessão da área de estudo e o fornecimento de pessoal para serem realizados todos os processos de execução do cronograma de tarefas, em nome de Douglas Fracari de Souza e Itamar Vieira Coqueiro agradeço a todos os funcionários que contribuíram de alguma forma para a execução deste trabalho.

Meus agradecimentos também ao professor Dr. Francisco Maximino Fernandes pelo aprendizado e companheirismo, responsável pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual Paulista (UNESP) permitiu a execução das análises químicas, e aos técnicos João Batista Mariano Carvalho, Carlos Araújo da Silva, Dr. Ronaldo Cintra e ao Sr. Valdivino dos Santos que além de ajudar na execução deste trabalho confiaram vossos votos de amizade a minha pessoa e meu gesto de agradecimento também se estende a João Josué Barbosa diretor da biblioteca da UNESP/Ilha Solteira que tanto me auxiliou na conclusão deste trabalho, agradeço também a todos os funcionários da UNESP- campus de Ilha Solteira, que de forma direta ou indireta contribuíram por mais esta conquista.

Gesto de agradecimento também a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" pela oportunidade concedida para minha formação, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos companheiros Mateus Sarto, Diego Genuário Gomes, Fabiana Morbi que estiveram fortemente a campo nas coletas de dados. A amiga Nidia Costa pela sua amizade, compreensão e toda ajuda que me proporcionou neste tempo.

Agradeço também a Thaisa Grasiella Barreto de Souza pela paciência e ajuda com a execução deste trabalho, auxiliando de forma sem tamanho.

Aos Amigos de república Victor Alberto Garcia, Henrique dos Santos Lopes, Murilo de Paula, Juliano Costa da Silva, que com a amizade e respeito muito me ajudaram neste período.

E aos amigos Flavio Hiroshi Kaneko, João Paulo Ferreira, Rafael G. Vilela e namorada Ana Paula Rodrigues Barakat, Aline Franco, Sr. Faissal Barakat e esposa Maria da Graça Rodrigues Barakat, José Roberto Portugal, Alex Rangel Gonzaga, Donário Teixeira, Marcus Damião Lacerda, Rubens Ribeiro, Raissa Mazarelli, Paula Koga, Graciele Neves, Belisa Saito e namorado Leandro Sanches Silva, Antônio Flávio Ferreira, Maria Suellen Silva, Anderson Teruo, Renato Goes, Flavio Franzote, Andrews Molnar, Gustavo Caione, Felipe Moreira de Souza, Darci Barbieri Júnior, Sr^a Aparecida Rangel Martos Pereira seu esposo José Levir Pereira e filhos Aline Rangel Pereira e Diogo Rangel Pereira, Daniel Rubert Manfio, Felipe Manente Garcia, Fábio Rodrigo Gonçalves, Leovergildo Ferreira, Darci Barbieri Junior, a todos do Bar do Tuita que proporcionaram momentos agradáveis de descontração e aos amigos que conviveram no dia a dia nesta jornada.

Agradeço a oportunidade que Deus me deu de viver e dado o dom da sabedoria e as oportunidades concedidas de estudar, que com isso, ajudar de forma direta a nação, a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pela oportunidade de ter cursado ENGENHARIA FLORESTAL com minha formação possa contribuir com a melhora da qualidade ambiental e consequentemente ajudar nossos semelhantes e poder contribuir com nossa nação com os conhecimentos adquiridos nesta vida acadêmica.

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar representa hoje grande fonte de divisas para o Brasil, seja pela produção de açúcar quanto pela produção de álcool etílico. A modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa da variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados. Acessar essa variabilidade faz da geoestatística uma eficiente ferramenta de suporte na decisão do manejo do solo para incremento de produtividade das culturas. Este trabalho teve como objetivo analisar as correlações, lineares e espaciais, entre a produtividade da cana de açúcar e os atributos químicos do solo, determinando aqueles que melhor se relacionaram com o aumento da produtividade agrícola em questão. O trabalho foi realizado no município de Rubinéia (SP), cujo solo da área é um Argissolo Vermelho Eutrófico. O local das coletas de dados de fertilidade do solo e da produtividade da planta foram através da alocação de uma malha geoestatística com 121 pontos amostrais em duas profundidades (0-0,20 e 0,20-0,40m), numa área de 1,30 ha, com a distância entre os pontos de 10 x 13 metros. As análises de produtividade foram realizadas a campo por meio de contagem de número de plantas e pesagem de colmos em uma área de 9 m² por ponto amostral. A série de dados foi normal para todos os atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, enquanto que, para os atributos do solo na profundidade de 0-0,20 m os atributos que apresentaram normalidade dos dados foram o pH, o potássio e a saturação por bases (V%), e na profundidade de 0,20-0,40 foram o pH, o teor de magnésio e a saturação por bases. A média da produtividade de colmos foi de 94,6 t ha⁻¹ e a número de colmos com média de 11,48 colmo m². Para os atributos do solo, os que apresentaram maiores médias foram o potássio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 (K1 e K2), magnésio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 (Mg1 e Mg2) e cálcio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 (Ca1 e Ca2). Os atributos foram analisados tanto linear quanto espacialmente, e a número de colmos e os teores químicos do solo correlacionaram-se de forma direta com a produtividade da cana-de-açúcar, sendo que a número de colmos, teor de K na camada de 0-0,20 e de Ca na camada de 0,20-0,40 m interferiram diretamente na produtividade da cana-de-açúcar. Os atributos que apresentaram maior dependência espacial com a produtividade de colmos (PRO) foram os atributos do solo #K e soma de bases (#S) na profundidade de 0-0,20m. Entre os atributos da cana-de-açúcar e atributos químicos do solo, o que interferiu diretamente na produtividade foi a quantidade de colmos por metro, o teor K na profundidade de 0,20-0,40 m pode ser considerado como indicador de qualidade do solo, pois apresentou o melhor ajuste semivariográfico.

Palavras chave: Geoestatística. Krigagem. Semivariograma. Fertilidade do solo. *Saccharum* spp.

ABSTRACT

The culture of sugarcane today represents big source of hard currency for Brazil, either by production of sugar or by production of ethyl alcohol. The geospatial modeling allows the quantitative description of the spatial variability of soil attributes and unbiased estimate of the minimum variance values of these attributes in locations non-sampled. Access this variability makes geostatistical an efficient decision support tool in of the soil management to increase crop productivity. This work had as objective analyze the correlations, linear and space between the productivity of sugarcane (*Saccharum* spp.) and soil chemical attributes, determining those that best correlated with the increase in agricultural productivity at issue. The work was conducted in the municipality of Rubinéia (SP), the soil in the area is an Red Ultisol eutrophic. Installed a geostatistical grid for data collection of soil and plant, with 121 sampling points in two depths (0-0.20 and 0.20-0.40 m), an area of 1.30 ha, with distance between dots of 10 x 13 meters. The analysis was conducted field productivity means for counting number of plants and weighing of stems in an area of 9 m² per sample point, analysis of the technological plants were performed in the laboratory of power plant Vale do Parana S/A using the methodology of CONSECANA. The data series was normal for all the technological attributes of sugarcane, whereas for the soil attributes in the 0-0.20 m depth the attributes of the data were presented normality pH, potassium (K) and base saturation (V%), and in depth from 0.20-0.40 the pH, magnesium (Mg) and V%. The average production was found in 94.6 t ha⁻¹ and plant population obtained an average 11.48 p. m⁻². For the attributes of the soil, to the highest averages were potassium layers 0-0.20 and 0.20-0.40 (K1 and K2), Magnesium layers 0-0.20 and 0.20-0.40 (Mg1 and Mg2) and Calcium layers 0-0.20 and 0.20-0.40 (Ca1 and Ca2). The attributes were analyzed both linear and spatially plant population and soil chemical levels correlated directly with the productivity of sugarcane, and the population of plants, in the depth of 0-0.20 K and Ca in the 0.20-0.40 m layer interfered directly in the productivity of sugarcane. The attributes with the highest spatial dependence with sugarcane yield (PRO) were soil attributes # K and sum of bases (S #) at 0-0.20 m depth. With the results obtained we can conclude that among the attributes of sugarcane and soil chemical attributes, which directly interfered in productivity was the number of plants per meter K at a depth of 0.20-0.40 m is the element that can be considered as an indicator of soil quality, as it showed the best adjustment semivariográfico.

Keywords: Geostatistics. Kriging. Semivariogram. Soil fertility. *Saccharum* spp.

LISTA DE FIGURAS

1- Precipitação pluvial e médias térmicas, obtidas na área experimental, durante o período de julho de 2010 a julho de 2011	30
2 - Croqui da área de pesquisa Fazenda Jóia 2, Rubinéia-SP.....	31
3 - Locação da malha de coleta de dados, Fazenda Jóia 2, Rubinéia SP.....	32
4 - Exemplos de semivariogramas: (a) não-estacionário e (b) estacionário	36
5 - Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM, ATR, BRI, POL e PUR) em Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	52
6 - Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO e PPM) com os atributos químicos do solo (K1, Ca1, S1 e T1) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	53
7 - Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM e PUR) com os atributos químicos do solo (pH2, Ca2, S2, T1 e V2) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	54
8 - Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM, ATR, BRI, FIB, POL e PUR) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP).....	62
9 - Semivariogramas simples de atributos químicos do solo (P1, MO1, pH1, K1, Ca1, Mg1, H+Al1, S1 e V1) na profundidade 0-0,20 m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	63
10 - Semivariogramas simples de atributos químicos do solo (P2, MO2, pH2, K2, Ca2, Mg2, H+Al2, S2 e V2) na profundidade 0,20-0,40 m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP).	64
11 - Mapas de krigagem de atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM, POL e PUR) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	67
12 - Mapas de krigagem de atributos químico do solo (P1, MO1, K1, Ca1, Mg1,S1 e T1) na profundidade de 0-0,20m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	68
13 - Mapas de krigagem de atributos químico do solo (P2,MO2, K2, Ca2, S2 e T2) nas profundidades de 0,20-0,40 m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	69
14 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da PPM, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	72
15 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da #K1 em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	73

16 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da PPM em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	74
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

1 - Cálculo do semivariograma.....	23
2 - Estimador para estimar valores (z^*) para qualquer local (x_0).....	25
3 - Variância	25
4 - Variograma apenas os pares de amostras que se encontram a uma distância h	25
5 - Variograma para média espacial constante	26
6 - Variograma para todas as distancias e medias de semivariograma	26
7 - Avaliador do grau da Dependência Espacial (ADE).....	27
8 - Co-krigagem.....	28
9 - Soma de Bases.....	33
10 - Capacidade de Troca Catiônica Total (T)	33
11 - Saturação por Bases (V%).....	33
12 - Avaliador da Dependência Espacial conforme CAMBARDELLA et al. (1994)	35
13 - Exclusão de Tendência.....	36
14 - Expressão linear	36
15 - Expressão quadrática.....	36
16 - Expressão cúbica	36
17 - Cálculo do Resíduo	36
18 - Krigagem.....	36
19 - Análise da regressão linear múltipla entre os atributos.....	55

LISTA DE QUADROS

1 - Análise descritiva da produtividade e de componentes tecnológicos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP).....	40
2 - Análise descritiva de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0-0,20 m... ..	41
3 - Análise descritiva de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0,20-0,40 m	42
4 - Matriz de correlação dos atributos da produtividade e de componentes tecnológicos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP).....	46
5 - Matriz de correlação entre atributos da cana-de-açúcar e atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0-0,20m	47
6 - Matriz de correlação entre atributos da cana-de-açúcar e atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0-0,20 m	48
7 - Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da PRO em função dos atributos da cultura da cana-de-açúcar e químicos de um Argissolo	55
8 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados de atributos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)	59
9 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados da produtividade da cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade de 0-0,20m	60
10 - Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade de 0,20-0,40 m	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	HISTÓRICO DA CULTURA.....	15
2.2	ANATOMIA DA PLANTA	16
2.2.1	SISTEMA RADICULAR	16
2.2.2	FOLHAS	17
2.2.3	COLMO	18
2.2.4	FLORESCÊNCIA	18
2.3	AMBIENTE DE PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.)	19
2.4	FERTILIDADE DO SOLO PARA A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.)	21
2.5	PRODUÇÃO DE CANA SAFRA 2011-2012.....	22
2.6	GEOESTATÍSTICA	22
2.7	O SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL	23
2.8	KRIGAGEM	24
2.9	VARIOGRAMA	25
2.10	PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA	27
2.11	COKRIGAGEM.....	28
2.12	GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	LOCAL DE ESTUDO	30
3.2	INSTALAÇÃO DA MALHA.....	32
3.3	COLETA DOS DADOS E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	33
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS.....	34
3.5	EXCLUSÃO DA TENDÊNCIA QUANDO DA NÃO FORMAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE	35

4	RESULTADO E DISCUSSÃO	38
4.1	VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS.....	38
4.1.1	ATRIBUTOS DA PLANTA	38
4.1.2	ATRIBUTOS DO SOLO	38
4.2	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS ATRIBUTOS	42
4.2.1	ATRIBUTOS DA PLANTA	42
4.2.2	ATRIBUTOS DO SOLO	43
4.3	VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS	43
4.3.1	ATRIBUTOS DA PLANTA	43
4.3.2	ATRIBUTO DO SOLO	44
4.4	ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS	45
4.4.1	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES	45
4.4.1.1	MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS	45
4.4.1.2	ATRIBUTOS DA PLANTA VERSUS ATRIBUTOS DA PLANTA.....	45
4.4.1.3	ATRIBUTOS DA PLANTA VERSUS ATRIBUTOS DO SOLO	49
4.4.1.4	ATRIBUTO DO SOLO VERSUS ATRIBUTOS DO SOLO	50
4.5	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS	51
4.6	REGRESSÃO LINEAR MULTIPLA ENTRE OS ATRIBUTOS	55
4.7	ANÁLISE GEOESTATISTICA DOS ATRIBUTOS.....	56
4.7.1	ANÁLISE SEMIVARIOGRÁFICA SIMPLES	56
4.7.1.1	AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS SIMPLES DOS ATRIBUTOS	56
4.7.1.2	VALIDAÇÃO CRUZADA DOS SEMIVARIOGRAMAS SIMPLES AJUSTADOS PARA OS ATRIBUTOS	57
4.7.1.3	MAPAS DE KRIGAGEM DOS ATRIBUTOS.....	65
4.8	ANÁLISE SEMIVARIOGRÁFICA CRUZADA	70
4.8.1	AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS CRUZADOS E MAPAS DE COKRIGAGEM DOS ATRIBUTOS	70
5	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar representa hoje grande fonte de divisas para o Brasil, seja 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., 2005).

A expansão do cultivo da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) se deu com maior intensidade na década de 70, com a criação do Programa Nacional do Álcool ou Proálcool, criado de acordo com o decreto nº 76.593 de 14 de novembro de 1975 (BRASIL, 1975), com o objetivo de estimular a produção do álcool, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. De acordo com o decreto, a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras.

Para tal sucesso, o crescimento da área de plantio da cana-de-açúcar se tornou necessário, e se fez presente por todo o país, sendo cultivada sobre os mais diferentes tipos de solos, muitas vezes com características adversas dos ideais exigidos pela cultura.

A cultura é a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil com 12,6% de participação na matriz energética atual, considerando-se o álcool combustível e a c

ogeração de eletricidade, a partir do bagaço, e o álcool pode ser obtido de diversas formas de biomassa, sendo a cana a realidade econômica atual.

Considerando-se a busca pela associação da agricultura de precisão e maior produtividade da cultura da cana-de-açúcar, aliado a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo, e necessidade do conhecimento prévio das características químicas dos solos a ser

trabalhado com estudos dos aspectos da produtividade da cana cultivada em um Argissolo Vermelho Eutrófico para se obter elevado nível tecnológico de produção, propôs-se deste trabalho que teve como objetivo analisar as correlações, lineares e espaciais, entre a produtividade da cana soca de segundo ciclo com os atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico determinando aqueles que melhor se relacionam com o aumento da produtividade agrícola em questão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DA CULTURA

A cana-de-açúcar é uma planta de ciclo semi-perene, pertencente à família das Poaceae, de clima tropical e subtropical (GOMES, 2006). A cana-de-açúcar tem sua origem na Nova-Guiné e foi levada para o sul Asiático, sendo usada inicialmente como xarope. As evidências iniciais foram do açúcar em sua forma sólida, datado de 500 a.C. , na Pérsia. A propagação da cultura, no norte da África e sul da Europa, deveu-se aos Árabes, na época das invasões (SEGATO et al., 2006).

Segundo a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo – (UNICA, 2007), com a descoberta do Brasil, a cana-de-açúcar foi trazida para a América, as primeiras mudas chegaram em 1532, na expedição de Martim Afonso de Souza, e aqui a planta espalhou-se no solo fértil de massapê, com a ajuda do clima tropical quente e úmido e da mão-de-obra escrava trazida da África.

Os maiores produtores atualmente são Brasil, Índia, Cuba México e China. A cana-de-açúcar é cultivada em todos os Estados brasileiros, mas é em São Paulo que se concentra a maioria das lavouras dessa cultura: são mais de 40% da área de cana no Brasil. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2006)

A importância econômica da cana-de-açúcar é grande, visto que dela se produz diversos alimentos para o homem e para animais, e no caso brasileiro é amplamente utilizado na produção de álcool combustível para a indústria automobilística.

A cana-de-açúcar atualmente cultivada no Brasil e no mundo é na verdade utilizando-se de híbridos, sendo que até meados da metade da década de 1920 no Brasil os genótipos cultivados eram da espécie *S. officinarum*, conhecidas popularmente como Riscada, Roxa, Cristalina, Manteiga, Caiana e Preta (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

2.2 ANATOMIA DA PLANTA

A cana-de-açúcar apresenta uma peculiaridade de muita relevância que é o fato de ser uma planta que perfilha, influenciando todo o manejo da cultura. A propagação se dá de forma assexuada definindo o número de gemas por metro. Estes perfilhos apresentam independência pois apresentam órgãos próprios (raízes, folhas e frutos) mas os componentes de uma touceira apresentam ligações entre os indivíduos, podendo trocar nutrientes e água (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

As características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo que a expressão desses caracteres são muito influenciadas pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas (HOFFMANN, 2008).

Em explanação de Oliveira et al. (2005), o crescimento da parte aérea da cana ocorre de forma sigmoide e pode ser dividida em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento; fase de crescimento rápido, que ocorre pelo surgimento e alongamento de entrenós, onde se acumula 75% da fitomassa total e a fase final, de crescimento lento (maturação).

A identificação da capacidade produtiva de diferentes variedades e a investigação dos efeitos do manejo da cultura são geralmente realizadas pela análise de crescimento com avaliações de alguns parâmetros morfológicos das plantas (altura, número de plantas por metro, área foliar e produção) (ALMEIDA et al., 2008).

2.2.1 SISTEMA RADICULAR

O sistema radicular da cana é a parte fundamental na produção de açúcar, pois por ele que a planta consegue suprir as necessidades de água e nutrientes. Quanto mais amplo for este sistema radicular maior sua capacidade de exploração do solo, tendo relevância ainda maior o tamanho desse sistema quando se trata de solos de baixa fertilidade e deficiência hídrica (KORNDORFER et al., 1989).

Segundo Doorenbos e Kassan (1979), o sistema radicular da cana-de-açúcar pode atingir até 5 m de profundidade, sendo que 75% do volume das raízes se encontram nos primeiros 0,40 m de profundidade. A arquitetura do sistema radicular da planta é influenciada pela idade da planta, compactação do solo e profundidade efetiva do solo entre outros fatores, o sistema radícula da cana planta explora com mais veemência as camadas

superficiais do terreno, quando comparadas com canas socas verifica que pode apresentar tendências a explorar em maior volume as camadas sub superficiais do solo. (SCARPARI E BEAUCLAIR, 2008).

De acordo com Dinardo-Miranda e Vasconcelos (2006), a cana planta apresenta maior eficiência de absorção por superfície de área, pois apresentam conjuntura de raízes mais novas e mais tenras em relação a cana soca.

2.2.2 FOLHAS

As folhas são expansões laterais do caule e tem como principais funções a realização da fotossíntese, transpiração e a respiração, sendo formado pelos tecidos epiderme, mesófilos e os tecidos condutores xilema e floema. Apresentam como estrutura o limbo, que corresponde a lâmina foliar, ou seja, a parte mais larga da folha, e tricomas e glândulas presentes geralmente no limbo, o pecíolo, sendo a estrutura que une o limbo ao caule e a BAINHA, cuja parte basal da folha envolve o caule, total ou parcialmente. (SANTOS et al., 2010a).

A folha da cana-de-açúcar consiste de uma lâmina e uma bainha envolvendo o colmo, distribuindo-se de forma alternada e oposta. (BLACKBURN, 1984).

Na as folhas costumam ter bordas serrilhadas sendo ainda, que algumas variedades apresentam pelos finos denominados de joçal. A partir da nervura central saem em ângulos nervuras paralelas contendo um feixe vascular cada uma, e apresentam estômatos distribuídos em fileiras nas duas faces da folha, sendo mais abundante no limbo inferior (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

Para se determinar a densidade da área foliar que cobre um terreno, costuma-se utilizar o índice de área foliar descrito por Watson (1947), como sendo a área de folhas por unidade de terreno (m^2 de folhas m^{-2} de terreno).

Sendo que os valores de índice de área foliar variam de acordo com autores. Os resultados encontrados por Varela (2002) em cana soca, aponta 7,08 como o IAF máximo da cultura, atingindo tal valor aos 288 dias.

O índice de área foliar decresce com a redução do número de perfilhos m^{-1} e da área foliar. Esta, por sua vez, decresce com a redução da umidade do solo (FARIAS et al., 2007).

2.2.3 COLMO

Colmos são caules geralmente ramificados e com uma nítida divisão de nós e entrenós e com folhas desde a base. Os colmos podem ser: Cheios: (apresentam os entrenós com medula como a cana-de-açúcar e o milho. Fistulosos: (quando quase toda a medula desaparece na região dos entrenós, permanecendo apenas na região dos nós no bambu (COSTA, 2007).

De acordo com Martin (1961), os componentes de um colmo de cana são os nós, regiões onde se inserem as bainhas das folhas, a zona radicular que inclui uma gema e vários primórdios radiculares, o anel de crescimento, região com células que permitem o alongamento do entrenó e a zona cerosa e por ultimo o entrenó.

Cada nó tem uma gema protegida pela bainha das folhas, e estas gemas variam de formato, desde triangular até imbricada. Com a queda das folhas mais velhas, ocorre de formação de uma cicatriz foliar e logo acima destas cicatrizes ocorrem os primórdios radiculares, e abaixo destas estão as zona cerosas que tem aumentado o potencial de exploração econômica da cultura para fins industriais. A quantidade de fibras varia de variedade para variedade, mas em média variam de 9 a 20%. (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

2.2.4 FLORESCÊNCIA

A inflorescência da cana-de-açúcar é uma panícula aberta, chamada de bandeira ou flecha (MOZAMBANI et al., 2006). O florescimento da cana-de-açúcar é influenciado principalmente por fotoperíodo, temperatura, umidade e radiação solar. (CASTRO, 2001).

Nos canaviais para fins industriais, a inflorescência tem sido considerada prejudicial ao acúmulo de sacarose, uma vez que a formação da flor drena considerável quantidade de sacarose, o que acarreta prejuízos à qualidade da matéria-prima fornecida à indústria sucroalcooleira (LEITE ; CRUSCIOL, 2008).

A inflorescência ou panícula da cana-de-açúcar é chamada de flecha, bandeira ou flor, apresentando tamanho, cor e forma diferente dependendo das espécies ou cultivares (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008). É originária da gema apical, com um eixo principal ou ráquis, prolongamento do último entrenó do ápice da cana. Do ráquis saem os eixos secundários e destes os terciários, diminuindo a ramificação de baixo para cima, dando o

aspecto piramidal da inflorescência. Nas ramificações terciárias da base e secundárias do ápice, localizam-se as espiguetas, com uma flor cada (RODRIGUES, 1995).

Quando o Fotoperíodo ficando próximo de 12,5 horas e temperaturas noturnas entre 20°C e 25°C induzirão o início da floração. Condições de crescimento favoráveis a uma inibição no florescimento, sendo também influenciada por condições de stress (SUGARCANECROPS, 2012).

2.3 AMBIENTE DE PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)

O ambiente de produção consiste no levantamento de solos associado com dados climáticos e conhecimento do nível tecnológico da empresa (DEMATTE, 2007).

Prado et al. (2007), define ambientes de produção de cana-de-açúcar em função das condições físico-hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos, sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, palha, controle de ervas daninhas e pragas, sempre associadas com as propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, com o clima local (precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, evaporação).

Segundo Prado (2008), os componentes dos ambientes de produção, como a profundidade do solo tem relação direta com a disponibilidade de água e o volume de solo explorado pelas raízes. Além deste componente, a fertilidade do solo como fonte de nutrientes para as plantas, a textura que está relacionada com os níveis de matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions e disponibilidade hídrica, e pela água como parte da solução do solo, são de vital importância para a sobrevivência das plantas.

Cavalcante (2010), afirma que os ambientes de produção permitem conhecer as produtividades potenciais, e os incrementos obtidos pelo correto manejo de solos e variedade, explorando o melhor potencial genético da planta na sua correta alocação.

A definição de Ambiente de Produção é baseada em um conjunto de fatores relacionados à produção, a exemplo do clima e manejo, mas o solo merece destaque por ser a base de sustentação da produção agrícola (CANAVIEIROS, 2008).

Levando em consideração o solo como a base da sustentação agrícola, e conseqüentemente de suma importância no ambiente de produção da cana-de-açúcar, Staut (2007), afirma que a cana por ser uma cultura semiperene e com ciclo de cinco a sete anos, o seu sistema radicular se desenvolve em maior profundidade e assim passa a ter uma estreita

relação com pH, saturação por bases, porcentagem de alumínio e teores de cálcio nas camadas mais profundas do solo.

Além da importância do solo no meio de produção outro fator muito importante é a disponibilidade de água no solo. Conforme Leonidio (2010), as condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar vão de 1000 a 1500 mm anuais, que devem ser distribuídos de maneira uniforme durante o período de crescimento vegetativo.

Cavalcante (2010) explica ainda que o estudo da água para o ambiente de produção tem enorme destaque, pois quando limitante reduz significativamente a produtividade da cana-de-açúcar até mesmo em solos mais férteis. Entre tanto quando em quantidade adequada melhora esse ambiente até mesmo para solos com baixo potencial químico.

De acordo com Leonidio (2010), a cana exige calor e água disponível, sendo que o melhor crescimento ocorre quando a temperatura está entre 25 a 35 °C, pois abaixo de 20 °C e acima de 35°C a cana tem sua taxa de crescimento muito lenta, e em temperaturas superiores a 38°C não há crescimento da planta.

Para Bandinelli (2010), a cana é uma planta de clima tropical, desenvolvendo-se com maior facilidade em locais de ampla radiação solar, sendo que a intensidade dos raios solares interfere diretamente no perfilhamento, ou seja, quanto menores as horas de incidência solar para a cultura, menores serão suas taxas de crescimento, pois este fator está inteiramente interligado aos processos fotossintéticos.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, há amplas possibilidades de se fundamentar o crescimento econômico no potencial do uso do solo, sendo, para isto, imprescindível o conhecimento de sua aptidão para os diversos tipos de exploração agropecuária e florestal, preservação, expansão de áreas urbanas e industriais e locação de rodovias e ferrovias, segundo planejamento ideal de ocupação, em harmonia com o meio ambiente (EMBRAPA, 1995).

Conforme CANAVIEIRO (2008), o levantamento de solos é a caracterização morfológica, física, química e geográfica dos solos de uma área e pode ser utilizado para diversos fins. Os solos são classificados após a descrição da cor e textura, estrutura e consistência, análise química dos elementos em diferentes horizontes.

De acordo com Landell (2009), a classificação pedológica, aliada com a época de colheita, é importante para previsão de produtividade e, principalmente, para alocação de cultivares, conforme o seu perfil de resposta.

Segundo Prado (2006), a classificação do solo não é um parâmetro absoluto para estimar o potencial de produção de um determinado ambiente, ficando isso condicionado à interação com o regime hídrico local e capacidade de armazenamento do solo em questão.

2.4 FERTILIDADE DO SOLO PARA A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar, por produzir grande quantidade de massa vegetal, extrai do solo e acumula na planta grande quantidade de nutrientes. Sendo assim, deve-se conhecer a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, para, se necessário, complementá-la com adubações e se constatada a presença de elementos em níveis tóxicos, reduzir seus efeitos pela calagem e/ou gessagem (OLVEIRA et al., 2007).

Segundo Rossetto et al. (2005), correção da acidez do solo melhora o aspecto químico do solo, disponibilizando nutrientes à planta, principalmente a do potássio que é altamente extraído pela cultura da cana-de-açúcar. Mesmo a cultura apresentando uma boa tolerância e adaptabilidade à acidez do solo, em condições de extrema adversidade à cultura responde positivamente à prática da calagem.

O potássio participa da síntese de açúcares e proteínas, no aumento da clorofila bruta e conversão de energia nos cloroplastos, e na abertura e fechamento de estômatos. É cofator de aproximadamente 60 enzimas, principalmente ligadas ao metabolismo de açúcares, transformações anabólicas e catabólicas de sacarose e hexose. Assim baixos níveis de sacarose estão associados à deficiência de K (CASOTI, 2008).

Malavolta et al. (1989), explicam que o nitrogênio é importante na nutrição e fisiologia da cana-de-açúcar, pois, desempenha papel importante, sendo constituinte das proteínas e dos ácidos nucléicos. Segundo Lima et al. (1987), o acúmulo desse macronutriente pela cana-de-açúcar varia de acordo com os seguintes fatores: idade da cultura; disponibilidade do N na solução de solo e fatores edafoclimáticos.

Para se ter maior eficiência na adubação nitrogenada, é recomendado parcelar a dosagem e a época de adubação adequada, diminuindo as perdas e aumentando a absorção. (ZILLO, 1993).

Oliveira et al (2007), aborda, que o fósforo aplicado por ocasião do plantio da cana assegura, na maioria das vezes, suprimento adequado do elemento para a cana-planta e para a primeira rebrota, devendo-se utilizar formulações contendo P na adubação das rebrotas posteriores.

De acordo com Orlando Filho (1993), a importância dos micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar é evidenciada quando se observam as quantidades extraídas dos mesmos. São quantidades relativamente baixas quando comparadas à extração de macronutrientes, porém de fundamental importância ao desenvolvimento da cultura. Reduções na produtividade e até morte de plantas são consequências naturais advindas de desarranjos nos processos metabólicos, ocasionados pela carência de micronutrientes.

2.5 PRODUÇÃO DE CANA SAFRA 2011-2012

De acordo com CONAB (2011), a área cultivada com cana-de-açúcar que foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira estava estimada em 8.443 mil hectares, sendo que os maiores produtores são os estados de São Paulo com 52,8%, seguido por Minas Gerais com 8,77%, Goiás com 7,97%, Paraná com 7,33%. Ainda estima que a produtividade média brasileira esteja entorno de 76.039 kg/ha, 1,8% menor que a da safra 2010/11, que foi de 77.446 kg/ha. Esta redução da produtividade tem por consequência a estiagem prolongada (abril a novembro do ano de 2010), principalmente na região Centro-Oeste e Sudeste.

2.6 GEOESTATÍSTICA

Geoestatística é um ramo da estatística que une o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, gerando um novo conceito de funções aleatórias, que são posteriormente processadas por aplicativos computacionais (BEDREGAL 2008).

Pelo uso destas técnicas, dentre as quais se destacam a krigagem e a simulação estocástica, é possível calcular um valor de um dado atributo para cada centro da célula de uma malha tridimensional, valor este condicionado aos dados e a uma função de correlação espacial entre estes dados.

A geoestatística assume que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para todo o depósito, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos. Em outras palavras, diferenças nas variáveis devem ser consistentes, não constantes, para o depósito - hipótese intrínseca ou quase-estacionariedade (CLARK; HARPER, 2000).

2.7 O SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL

Uma explicação que pode ser aceita sobre semivariograma é a proposta por McBratney e Webster (1986), que explicam que o semivariograma é a parte central da Geoestatística, capaz de descrever a estrutura de dependência espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico (krigagem). Estes fatos demonstram a importância de se tratar adequadamente a questão da seleção e ajuste de modelos espaciais para semivariogramas experimentais.

Conforme Vieira et al. (1983), para o cálculo da semivariograma, obtêm-se pares de valores de semivariâncias $[g(h)]$ e distâncias (h) , os quais deverão ser dispostos em um gráfico de dispersão, tendo como valores de y, as semivariâncias, e de x, as distâncias, e desses pontos, deverá ser ajustado um modelo. Para propriedades espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre valores $[Z(x_i)-Z(x_i+h)]$, em média, seja crescente com a distância até um determinado ponto, a partir do qual se estabiliza num valor, denominado patamar (C) e aproximadamente igual à variância dos dados. Esta distância recebe o nome de alcance (a) e representa o raio de um círculo, dentro do qual os valores são tão parecidos uns com os outros que são correlacionados.

O valor da semivariância na interseção do eixo y tem o nome de efeito pepita (CO) e representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamentos menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial de um atributo. (VIEIRA et al., 1983).

O semivariograma é estimado por:

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

Onde $N(h)$ é o número de pares experimentais de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ "versus" os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e direção de h .

2.8 KRIGAGEM

O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (DELFINER; DELHOMME, 1975).

Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, pois utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

Segundo Landin e Sturaro (2002), krigagem é um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Como no cálculo dessa função, a somatória de diferenças ao quadrado é dividida por número de pares de valores, o termo correto seria semi-variograma, porém é usual o emprego do termo variograma, mais sintético. Ainda segundo os autores, as formas mais usuais são a krigagem simples e a krigagem ordinária. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área, e a krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou móvel por toda a área.

O reconhecimento do padrão de dependência espacial (ou continuidade), necessário à prática da krigagem, requer a criação e a análise de semivariogramas, que descrevem a variância em função da distância entre pontos experimentais observados (VALERIANO, 2002).

A estimativa dos valores da variável nos pontos desejados (no caso, a grade regular) é feita com a ponderação das observações experimentais em função do alcance, da escala e do efeito pepita do semivariograma, calculados com análise geoestatística. (BURROUGH, 1987).

Conforme explica Vieira (2000), a krigagem tem capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, porque está baseada na diminuição ou eliminação da tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas. Além disto, quando se trabalha considerando a dependência espacial, podem-se reduzir os erros aleatórios pelo controle de parcela deste erro associada à dependência espacial.

O estimador que permite estimar valores (z^*) para qualquer local (x_0), onde não se tem valores medidos é:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \dots\dots\dots (2)$$

em que: N é o número de valores medidos, $z(x_i)$, envolvidos na estimativa, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $z(x_i)$.

Os resultados destes estudos podem ser expressos em forma de mapas de isolinhas (mapas de recomendações ou prescrições e mapas de desenhos) ou mapa de superfície tridimensional. Sendo que as precisões destes mapas dependem da intensidade e esquema de amostragem e escolha do método de interpolação dos dados (BRAGA, 2011).

2.9 VARIOGRAMA

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada pela autocorrelação que é de grande utilidade quando se está fazendo amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções (x, y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma (SILVA, 1988).

Conforme Huijbregts (1975), variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigeagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. Considere duas variáveis regionalizadas, X e Y , onde $X = Z(x)$ e $Y = Z(x+h)$.

O nível de dependência entre essas duas variáveis regionalizadas, X e Y , é representado pelo variograma, $2\gamma(h)$, o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância h .

De acordo com Soares (2006), $\mu = E(Z)$ é o valor esperado (média) de uma dada amostragem Z então a sua dispersão estatística pode ser calculada com a variância:

$$\text{Var}(Z) = E((Z - \mu)^2) \dots\dots\dots (3)$$

No entanto esta medição não dá qualquer informação sobre a sua dispersão espacial. Portanto é utilizado o método do variograma para, re-amostrando as populações de acordo com a distância entre pares de pontos, calcular a variância, considerando apenas os pares de amostras que se encontram a uma distância h . Assim o variograma é dado pela seguinte fórmula:

$$2\gamma(x, x+h) = \text{var}(Z(x) - Z(x-h)) = E([(Z(x) - E(x)) - (Z(x+h) - E(x+h))]^2) \dots\dots (4)$$

Onde o valor de $\gamma(x, x + h)$ é chamado de **semi-variograma** (o semi-variograma é também muitas vezes, no campo da geoestatística, designado variograma). Se assumir que a média é constante por todo o campo espacial considerado então o variograma é:

$$2\gamma(x, x + h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{N(h)} [Z(x) - Z(x + h)]^2 \dots\dots\dots (5)$$

Onde o $N(h)$ é o número de pares de pontos à distância de h . Repare-se que ao fazer este cálculo para re-amostragens de pontos com diferentes distâncias h é possível fazer uma previsão da variância espacial expectável para a amostragem Z .

Ainda de acordo com Soares (2006), o critério da distância não é o único que pode ser utilizado na caracterização espacial da variância (variograma). Também a orientação pode ser usada na re-amostragem da mesma população. Se a orientação de uma direção sobre um dado referencial for dada pelos ângulos " α, β " então a re-amostragem para o cálculo do valor do variograma só poderá ter em conta pares de pontos que se encontrem com uma orientação espacial em relação ao referencial usado de " α, β " à distância de h . Quando a orientação das re-amostragens para o cálculo do variograma é desconsiderada, este é comumente designado por variograma omni-direcional caso contrário trata-se de um variograma direcional com orientação " α, β ".

Soares (2006) ainda explica que o chamado variograma experimental (ou variograma empírico) deve estar relacionado ao estudo do valor de variograma (entenda-se semi-variograma quando se refere ao variograma experimental) e este consoante a distância considerada visualizando o resultado por meio de um gráfico de dispersão. Assumindo que re-amostramos uma dada população Z e calculámos o valor do semi-variograma para as distâncias de h_1, h_2, h_3, h_4 e h_5 , obtemos a previsão experimental da variação espacial da população Z .

É importante ressaltar que calcular o variograma de todos os pares de amostras a uma distância h ou calcular o valor esperado (média) dos vários variogramas individuais é equivalente:

$$E[\gamma(h)] = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} E[|Z(x_i) - Z(x_j)|^2] = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} 2\gamma(x_j - x_i) \dots\dots\dots (6)$$

2.10 PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA

O padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $\{Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})\}$ decresçam à medida que $\mathbf{h}$, a distância que os separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\gamma(\mathbf{h})$ aumente com a distância $\mathbf{h}$ (HUIJBREGTS, 1975).

Os parâmetros do semivariograma podem ser:

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})]$) torna-se invariante com a distância.
- Efeito Pepita (CO): idealmente, $\gamma(0)=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (CO), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.
- Contribuição (C1): é um parâmetro do modelo de ajuste, cujo valor é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (Co).
- Avaliador do grau da dependência espacial (ADE): calculado pela expressão (LIMA et al., 2007):

$$\text{ADE} = [C/(C + C_o)] 100 \dots\dots\dots (7)$$

Em que ADE é o avaliador da dependência espacial; C é a variância estrutural; e C + Co é o patamar.

A interpretação proposta para o ADE é a seguinte: $\text{ADE} \leq 25 \%$ indica variável espacial fracamente dependente; $25 \% < \text{ADE} \leq 75 \%$ indica variável espacial moderadamente dependente; e $\text{ADE} > 75 \%$ indica variável espacial fortemente dependente.

2.11 COKRIGAGEM

A cokrigagem é um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da krigagem quando para cada local amostrado obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor (LANDIN; STURARO, 2002).

A cokrigagem é uma técnica de avaliação geoestatística que permite estimar uma variável primária de interesse pelo uso de uma variável secundária. Para que sua aplicação seja possível é necessário que ambas estejam correlacionadas, para que o variograma cruzado seja representativo. A dedução matemática a seguir foi feita com base em duas variáveis; entretanto, a técnica pode ser expandida para múltiplas variáveis. A cokrigagem, segundo Isaacks & Srivastava (1989), é uma combinação linear de variáveis primárias e secundárias, expressa da seguinte forma:

$$\hat{\mu}_0 = \sum_{i=1}^n a_i \mu_i + \sum_{j=1}^m b_j v_j \quad \dots\dots\dots (8)$$

Em pesquisa realizada por Angelico (2006), investigando a eficiência do método estatístico da co-krigagem na estimativa do pH e do Mn de acordo com a matéria orgânica, os autores obtiveram margens de erros associadas a esta técnica por comparação dos valores estimados com aqueles determinados em laboratório. Portanto, os resultados mostraram que a co-krigagem foi capaz de estimar as variabilidades dos solos com grande exatidão.

2.12 GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Bolf e Gomes (2005), afirmam que a modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa da variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados. Acessar essa variabilidade faz da geoestatística uma eficiente ferramenta de suporte a decisão no manejo de solo e água (irrigação e drenagem) das culturas. As intervenções para corrigir variações indesejáveis da oferta de nutrientes e água passam a ser balizadas por mapas de isovalores das variáveis de interesse.

Assim, forma de atuação aproxima-se do conceito da Agricultura de Precisão e se utiliza de tecnologia factível ao padrão tecnológico e de capital de uma importante fatia do

agronegócio brasileiro. Diversos são os métodos geoestatísticos utilizados no processo de geração desses mapas; entretanto, uma vez que os dados foram coletados em número razoável de pontos amostrais, é pequena a diferença em eficiência de um método para outro.

Os métodos geoestatísticos de interpolação, em especial o da Krigagem, apresentam propriedades ótimas de estimativas em dados esparsos. Para a aplicação das técnicas de geoestatística, necessita-se, primeiramente, detalhar a área onde será implantado o estudo. Para tanto, todas as informações devem ser conhecidas e localizadas com o uso de um processo de amostragem dentro de uma região geográfica definida. Esse processo é viabilizado pela implantação de um sistema de coordenadas locais ou geográficas, onde cada atributo ou característica do solo terá suas informações quantitativas e/ou qualitativas associados a um ponto no espaço. Essas informações podem ser obtidas por meio de coleta “in loco”, mapas temáticos, imagens de satélite ou fotografias aéreas. Para referenciar essas informações utiliza-se o GPS, ou de forma mais simplificada pela topografia convencional, obtendo coordenadas locais (BOLF ; GOMES 2005).

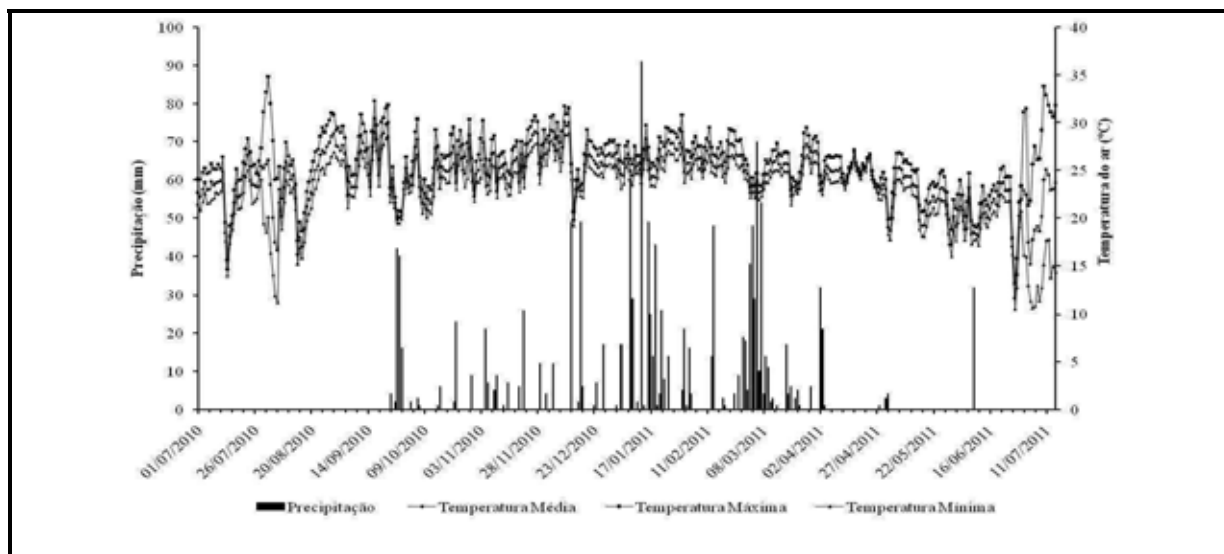
Em etapa posterior, utilizam-se os SIG's (Sistemas de Informações Geográficas) para processar e fornecer as informações da variabilidade espacial dos atributos do solo (variáveis independentes – X) e suas inter-relações com os aspectos de produtividade (variáveis dependentes – Y) da espécie florestal de interesse. Os SIG's realizam funções de análises espaciais baseados nos atributos das entidades gráficas armazenadas na base de dados e a partir de módulos específicos, geram um conjunto de dados estimados (semivariograma), utilizando-se dos pontos (X_i , Y_i , Z_i , $i=1,2,3,...n$) amostrados nos pontos de coleta da informação, em que as variáveis X e Y representaram a posição desses pontos (coordenadas geográficas ou locais) e a variável Z, os atributos do solo, estimando o valor dos parâmetros nos locais não amostrados (VIEIRA et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O projeto de pesquisa foi implantado no município de Rubinéia, Estado de São Paulo, em um talhão estabelecido com a cultura da cana-de-açúcar pertencente à Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, num Argissolo Vermelho Eutrófico conforme EMBRAPA (2006). As análises iniciais físico-químicas realizado nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m foram: pH (CaCl₂) = 4,8 e 5,3; MO = 15 e 11 g dm⁻³; P (resina) = 5 e 3 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e H+Al = 1,2 e 0,7; 18 e 16; 8 e 6; e 18 e 16 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 silte e de 844 e 778 g kg⁻¹ de areia. O local apresenta como coordenadas geográficas 20°17' de Latitude Sul e 51°02' de Longitude Oeste, com altitude média de 335 metros. Conforme preceitos de Köppen, o clima da região é o tropical úmido megatérmico (Aw), com temperaturas elevadas, chuva no verão e seca no inverno. Os dados climáticos da a condução do experimento estão dispostos na figura 1.

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



Fonte: Dados da pesquisa

Para a implantação da cultura da cana-de-açúcar (variedade RB855035) sob área de pastagem (braquiária), foi necessário dessecá-la com herbicida glifosato na dose de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ 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 $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (PRNT 85%), com incorporação, por arado de aivecas, a $0,35 \text{ m}$ de profundidade, finalizando-o com uma grade niveladora. Na sulcação adubou-se a área com 500 kg ha^{-1} da fórmula 06-30-24 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 $1,50 \text{ m}$ entre linhas, e desde então a cana vem 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 à lanço 500 kg ha^{-1} da fórmula 23-00-15.

Figura 2 - Croqui da área de pesquisa Fazenda Jóia 2, Rubinéia-SP



Fonte: Google Earth

3.2 INSTALAÇÃO DA MALHA

Foi montada uma malha geoestatística com 1,30 ha no período entre 06 a 08 de julho de 2011, cuja locação no campo foi definida por sorteio. 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 transeções, espaçadas 13 m uma da outra, com 11 pontos amostrais cada, espaçados 10 m, totalizando 121 pontos amostrais em 13 000 m² (100 x 130 m).

Figura 3 - Locação da malha de coleta de dados, Fazenda Jóia 2, Rubinéia SP



Fonte: Google Earth

Em relação aos atributos da cana soca bisada, teve início no dia 05 de julho e término no dia 08 de julho de 2011, a produtividade de colmos (PRO), expressa em t ha⁻¹, foram obtida pela pesagem dos colmos contidos numa área útil de 9 m², sendo duas linhas de 3 m (3m x 3m) por ponto amostral. A número de colmos (PPM) do ponto amostral, com área útil de 9 m², onde seus valores foram expressos em plantas por metro. Para a determinação dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar foram coletados aleatoriamente 15 colmos por ponto amostral e então extraído os açúcares totais recuperáveis (ATR), percentual de sólidos

solúveis totais (BRI), percentual de sacarose (POL), percentual de pureza (PUR) e percentual de fibra (FIB), foram determinados no laboratório de PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose) da Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, unidade Suzanópolis-SP, conforme metodologia proposta pelo Consecana (2003).

3.3 COLETA DOS DADOS DE SOLO E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Os atributos químicos avaliados foram os teores de P e MO, valor de pH em CaCl_2 , teores de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$, Al^{+3} , valores de soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (T), saturação por bases (V%) coletados na entre linha de plantio da cana-de-açúcar e nas profundidades: 1) 0 - 0,20 m e 2) 0,20 - 0,40 m, sendo um total de 242 análises químicas. Para tal finalidade foi utilizado um trado de caneca, com diâmetro interno de 0,08 m e altura de 0,20 m, constituindo um volume de $1,005.10 \text{ m}^{-3}$ entre os dias 05 e 07 de setembro de 2011, vinte dias após a colheita dos colmos da cana soca. O solo foi seco ao ar (terra fina seca ao ar – TFSA), posteriormente passado por uma peneira com malha de 2 mm. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira.

O pH foi determinado potenciométricamente em solução de CaCl_2 0,01M (EMBRAPA, 1979). Os demais atributos químicos do solo foram determinados conforme Raij et al. (2001). Os teores de P (mg dm^{-3}), Ca, Mg e K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) disponíveis no solo foram quantificados pelo método de extração pela resina trocadora de íons. A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$) determinada em extrator acetato de cálcio 1 N, dada em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e os valores da S, T e V% foram quantificados indiretamente pelas seguintes expressões:

$$S = \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ \dots\dots\dots (9)$$

$$T = S + (\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}) \dots\dots\dots (10)$$

$$V\% = (S/T) \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Onde: S é a soma de bases trocáveis e T é a capacidade de troca catiônica, ambos expressos em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V é a saturação por bases, expressas em porcentagem (%).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Para cada atributo estudado foram efetuadas as análises descritivas com o auxílio da estatística clássica, utilizando o Software SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), sendo calculados a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e análise da distribuição de frequência.

Seguidamente, foram identificados os outliers, conforme identificação do gráfico dos atributos analisados, efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos. Assim, para testar a hipótese da normalidade, ou da lognormalidade dos atributos, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%. Nele, a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

Na sequência, com o auxílio da planilha de cálculos Excel, foi montada a matriz de correlação, para posteriormente modelar as regressões de interesse para as combinações, duas a duas, entre os atributos estudados. Por outro lado, utilizando-se do pacote computacional SAS, foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre: 1) a PRO (variável dependente) em função dos outros atributos da planta (variáveis independentes), e 2) a PRO (variável dependente) em função dos atributos químicos pesquisados (variáveis independentes) para cada camada de solo estudada, no intuito de selecionar aqueles atributos que, nos devidos casos, 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 (R^2).

Para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, pelo uso do pacote computacional Gamma Design Software 7.0 (GS⁺, 2004). No caso da não-estacionariedade de um atributo qualquer, pode-se efetuar a retirada da tendência dos dados pela técnica da regressão múltipla polinomial (DAVIS, 1986). Os ajustes dos semivariogramas (krigagem e cokrigagem), em função de seus modelos (linear, esférico, exponencial e gaussiano), foram efetuados pela seleção inicial de: 1) a menor soma dos quadrados dos desvios (**RSS**); 2) o maior coeficiente de determinação (r^2), e 3) o maior avaliador da dependência espacial (**ADE**).

A decisão final do modelo representante do ajuste foi por meio da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionaria a melhor malha de krigagem e/ou cokrigagem.

Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (C_0), o patamar (C_0+C) e o alcance (A_0). A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi efetuada conforme sugestões de Cambardella et al. (1994), modificada por GS⁺ (2004) conforme a seguinte expressão (Equação 7):

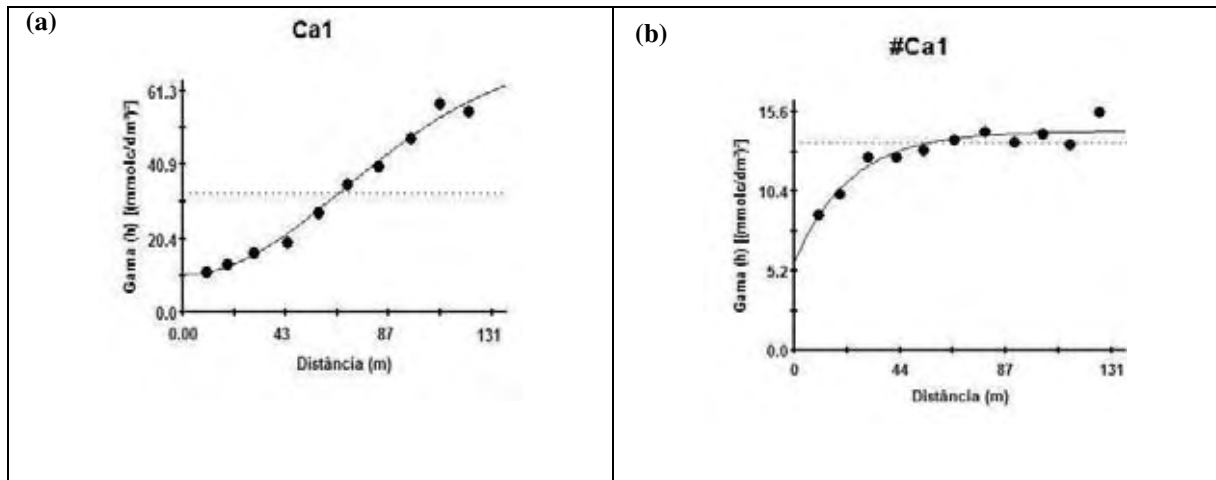
$$\mathbf{ADE} = [C/(C+C_0)].100..... (12)$$

Onde: **ADE** é o avaliador da dependência espacial; **C** é a variância estrutural; **C+C₀** é o patamar. No entanto, a interpretação proposta para o **ADE** foi conforme Dalchiavon & Carvalho (2012), da seguinte forma: 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). Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados.

3.5 EXCLUSÃO DA TENDÊNCIA QUANDO DA NÃO-FORMAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE

No caso da não-estacionariedade de um atributo qualquer, pode-se efetuar a retirada da tendência dos dados pela técnica da regressão múltipla polinomial. A geoestatística é a ciência que trata da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas, utilizada na estimativa de fenômenos geológicos. Dessa forma, uma variável **Z**, que é distribuída ordenadamente no espaço **s**, é tida como variável regionalizada **Z(s)**. Portanto, pode ser representada espacialmente pelo semivariograma, partindo-se do pressuposto de que seja intrínseca, isto é, de que seus incrementos sejam estacionários. Entretanto, em muitos casos ela não satisfaz essa condição, de forma a caracterizar o fenômeno por exibir uma tendência, isto é, de não ser intrínseca e, portanto, não-estacionária. A Figura 4 ilustra tipicamente o semivariograma não-estacionário e o estacionário.

Figura 4 - Exemplos de semivariogramas: (a) não-estacionário e (b) estacionário.



Fonte: Dados da pesquisa

Assim, por se tratar de variável não-estacionária, se decompõe em:

$$\mathbf{Z(s)} = \mathbf{t(s)} + \mathbf{R(s)} \dots\dots\dots (13)$$

onde: $\mathbf{t(s)}$ é a tendência ou deriva e $\mathbf{R(s)}$ é o resíduo (MATHERON, 1962; ARMESTO, 1999).

Segundo Davis (1986), a tendência $\mathbf{t(s)}$ da variável $\mathbf{Z(s)}$, que depende exclusivamente da localização geográfica (coordenadas cartesianas x , y) do ponto amostral, na qual o componente aleatório vai ficar modelado no resíduo, pode ser obtida pela técnica da regressão múltipla polinomial, quando $\mathbf{t(s)}$ é obtida em função dos valores das coordenadas cartesianas (x , y) do ponto. As expressões testadas são a linear, quadrática e a cúbica, relacionadas respectivamente nas equações a seguir:

$$\mathbf{t(x,y)} = \mathbf{a_0 + a_1.x + a_2.y} \dots\dots\dots (14)$$

$$\mathbf{t(x,y)} = \mathbf{a_0 + a_1.x + a_2.y + a_3.x^2 + a_4.y^2 + a_5.xy} \dots\dots\dots (15)$$

$$\mathbf{t(x,y)} = \mathbf{a_0 + a_1.x + a_2.y + a_3.x^2 + a_4.y^2 + a_5.xy + a_6.x^3 + a_7.y^3 + a_8.x^2y + a_9.y^2x} \dots\dots\dots (16)$$

Dessa forma, a eleição da tendência $\mathbf{t(s)}$, efetuada pelo ajuste dos mínimos quadrados para cada modelo, é obtida pela escolha daquele que apresentar o maior coeficiente de determinação (r^2). Definido o modelo, pode-se calcular o resíduo $\mathbf{R(x,y)}$, a partir da equação 16, efetuando-se:

$$\mathbf{R(x,y)} = \mathbf{Z(x,y) - t(x,y)} \dots\dots\dots (17)$$

Portanto, com tais resíduos poderão ser efetuados os tratamentos necessários aos dados, tais como o ajuste do semivariograma e sua validação. Finalmente, a soma dos

resíduos aos respectivos desvios resultará na estimativa da variável $Z^*(x,y)$, com a qual poderá ser efetuada a krigagem, conforme a equação 17:

$$Z^*(x,y) = t^*(x,y) + R^*(x,y) \dots \dots \dots (18)$$

Onde: $Z^*(x,y)$ é a estimativa da variável não-estacionária $Z(s)$, $t^*(x,y)$ é a tendência da variável $t(s)$, e $R^*(x,y)$ é a estimativa do resíduo resultante da krigagem. Assim, calcula-se novamente o semivariograma, com os resíduos obtidos deste procedimento, e a designação dos atributos aos quais foi extraída a tendência é #atributo. Portanto, na interpretação dos mapas de krigagem, para os atributos que apresentaram tendência e indicam na legenda do mapa de krigagem valores variando entre positivos e negativos, devido tais valores serem os resíduos, para que na legenda do mapa de krigagem possam aparecer os valores originais do atributo que se está estudando, efetua-se a interpolação do mapa de krigagem com os valores dos resíduos. Assim, quando é realizado este cálculo pelo programa GS⁺ (2004), é gerado um arquivo Excel, que possui todas as interpolações calculadas para o número de vizinhos estipulado anteriormente. A partir do número ideal de vizinhos, estipulado pela validação cruzada prévia, pode-se calcular o $R^*(x,y)$. Seguidamente, pode-se calcular a $t^*(x,y)$ pelo uso dos coeficientes adjuntos calculados pela expressão ajustada anteriormente. A partir do conhecimento do $R^*(x,y)$ e da $t^*(x,y)$ podem ser calculados os valores do atributo retrotransformados pelo uso da equação 17. Com isso, retorna-se ao GS⁺ e efetua-se a krigagem com tais valores retrotransformados (£atributo), obtendo-se o mapa de krigagem final.

Após a exclusão da tendência nos dados dos atributos, estes ficaram precedidos do símbolo # quando referidos na análise semivariográfica e na validação cruzada (#ATR). Já quando referidos no mapa de krigagem e/ou cokrigagem ficaram precedidos por £ (£ATR).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS

4.1.1 ATRIBUTOS DA PLANTA

O coeficiente de variação quando apresentar valores elevados pode ser considerado o primeiro indicador da existência de heterogeneidade nos dados, além de ser adimensional e permitir a comparação de valores entre diferentes atributos (CAMPOS et al., 2009). O coeficiente de variação pode ser classificado como baixo ($CV \leq 10\%$), médio ($10\% > CV \leq 20\%$), alto ($20\% > CV \leq 30\%$) e muito alto ($CV > 30\%$) (PIMENTEL-GOMES ; GARCIA, 2002). Assim sendo, no Quadro 1 consta a análise descritiva dos atributos analisados.

Analisando os dados, verificou-se que o CV para os atributos da planta, percentual de sólidos solúveis totais (BRI) e percentual de fibras (FIB) foram baixos (9,6% e 4,9%), indicando baixa variabilidade dos dados, um dos fatores que pode explicar o baixo valor do °BRIX é a uniformidade na maturação da cana.

Para os demais atributos tecnológicos da cana de açúcar, produtividade de colmos por hectare (PRO), plantas por metro (PPM), teor de açúcar totais recuperáveis (ATR), percentual de sacarose (POL) e pureza (PUR) os CVs foram de 12,0%, 14,6%, 10,5%, 11,0% e 13,3% respectivamente. e portanto, de média variabilidade. 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 o atributo PRO, os dados se assemelharam com os relatados por Souza et al. (2010), para CVs médios no cultivo da cana de açúcar em um Argissolo vermelho-amarelo, demonstrando homogeneidade dos dados.

4.1.2 ATRIBUTOS DO SOLO

Conforme os dados apresentados nos Quadros 2 e 3 com a análise descritiva dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, constatou-se que o

pH1 e pH2 apresentaram homogeneidade nos dados, com CVs baixos, 4,5% e 4,7% respectivamente. Os baixos valores do coeficiente de variação do pH se deveu ao calculo para sua determinação onde é retirado o $\log^{-1}$. Os valores obtidos se assemelharam aos resultados encontrados por Silveira et al. (2000), no estudo da variabilidade espacial das características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Prevedello (1987) quando avaliou na cultura do arroz de sequeiro a magnitude da variabilidade espacial no antigo solo Terra Roxa Estruturada, também verificou CV baixo para pH do solo.

Os atributos H+Al (16,3% e 16,5%), Matéria Orgânica (MO1e MO2), (14,9 e 15,1%), capacidade de troca catiônica total (T), (18,6% e 18,0%), e saturação por bases (V%), (11,0% e 11,3%) apresentaram CVs médios (Quadro 1). Os resultados de CV para T1 e T2, assemelharam-se com valores encontrados por Cavalcante et al. (2007), que avaliaram a variabilidade espacial do solo sob manejos de plantio direto. Mesma classificação para MO2, concordando com a justificativa do autor, que constatou uma diminuição dos teores de MO em profundidade, corroborando com este trabalho, devido a deposição de material vegetal na cultura de cana se dá em maior quantidade na superfície do solo.

Foram verificados altas variabilidade para os atributos Ca1 e Ca2, Mg2, S1 e S2, demonstrando valores entre 25,1 e 28,1%. Contudo para P1 e P2, K1 e K2, Mg1, ocorreram variabilidades muito altas nos dados, oscilando entre 30,4% e 40,4%. O valor alto do teor de P pode ser atribuído ao modo de aplicação contínua desse nutriente por meio de adubação e também à sua baixa mobilidade no solo (MACHADO et al., 2007), o que pode ser estendido também ao K, Ca e Mg.

Os resultados dos atributos químicos do solo se assemelharam aos obtidos por Souza et al. (2007), que avaliando a influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cana soca. Se tratando de uma área de cultivo intenso da cana-de-açúcar e práticas culturais pontuais, como aplicação de fertilizantes, este fato contribui para a variabilidade dos atributos químicos do solo, além de fatores naturais como ação de formação do solo e material de origem que contribuem para a variabilidade dos atributos químicos no solo.

De acordo com Montanari et al. (2005), a relação solo/topografia, em um solo de mesma classe em uma área de histórico de manejo de cana-de-açúcar, durante vários anos, influenciam de maneira sistemática a variabilidade dos atributos químicos dos solos, o que pode também ser observado na área de pesquisa em questão.

Com o conhecimento destes dados, e consequentemente, a variação dos atributos químicos, se faz de suma importância para o planejamento de práticas culturais como a adubação, sendo uma ferramenta para a correção de áreas pontuais no que diz respeito a fertilidade do solo.

Quadro 1 - Análise descritiva da produtividade e de componentes tecnológicos da cana soca em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)

Atributo (a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	do teste (b)	
									Pr<w	DF
PRO (t ha ⁻¹)	94,6	94,9	69,3	119,7	11,4	12,0	-0,497	0,072	0,289	NO
PPM (pl. m ⁻¹)	11,48	11,60	7,9	15,8	1,68	14,6	-0,485	-0,067	0,439	NO
ATR (kg t ⁻¹)	131,8	132,4	99,0	170,6	13,87	10,5	0,060	-0,0164	0,531	NO
BRI (%)	15,3	15,3	11,6	19,8	1,47	9,6	0,306	-0,032	0,704	NO
POL (%)	16,3	16,3	12,1	20,9	1,79	11,0	-0,149	-0,063	0,704	NO
PUR (%)	87,1	87,1	79,5	94,5	2,89	13,3	0,224	-0,179	0,549	NO
FIB (%)	13,8	13,8	12,2	16,0	0,67	4,9	0,562	0,255	0,486	NO

^(a) PRO, PPM, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a produtividade de colmos, número de colmos, 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 - Análise descritiva de atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0-0,20 m

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor					Coeficiente			Probabilidade de teste ^(b)	
	Média	Mediana	Desvio		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF	
			Padrão							
			Mínimo	Máximo						
P1 (mg dm ⁻³)	6,1	6,0	2,0	11,0	1,84	30,4	-0,034	0,280	4,9.10 ⁻³	IN
MO1 (g dm ⁻³)	17,2	17,0	10,0	24,0	2,57	14,9	24,37	4,777	2,5.10 ⁻³	IN
pH1	5,3	5,3	4,6	5,8	0,24	4,5	-0,291	-0,177	0,056	NO
K1 (mmol _c dm ⁻³)	4,2	4,3	0,8	7,6	1,47	34,9	-0,584	0,065	0,476	NO
Ca1 (mmol _c dm ⁻³)	21,8	20,0	11,0	38,0	5,75	26,4	-0,572	0,001	0,115	LN
Mg1 (mmol _c dm ⁻³)	9,7	9,0	3,0	19,0	3,14	32,3	0,361	-0,333	0,050	LN
H+Al1 (mmol _c dm ⁻³)	21,5	22,0	13,0	29,0	3,5	16,3	-0,317	0,111	0,015	IN
S1 (mmol _c dm ⁻³)	35,5	34,4	18,5	58,8	8,9	25,1	-0,086	-0,185	0,027	TL
T1 (mmol _c dm ⁻³)	57,5	58,0	37,7	83,8	10,71	18,6	-0,957	0,075	1,2.10 ⁻³	IN
V%1 (%)	61,6	62,0	42,0	80,0	6,76	11,0	0,332	-0,262	0,283	NO

^(a) P1, MO1, pH1, K1, Ca1, Mg1, H+Al1, S1, T1, V%1, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0-0,20 m; ^(b) DF = distribuição de freqüência, sendo IN, NO, LN e TL respectivamente do tipo indeterminada, normal, lognormal e tendendo à lognormal.

Quadro 3 - Análise descritiva de atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0,20-0,40 m

Atributo (a)	Medidas estatísticas descritivas									
									Probabilidade	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			do teste(b)	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
P2 (mg dm⁻³)	4,3	4,0	1,0	9,0	1,72	40,4	-0,025	0,428	10 ⁻⁴	IN
MO2 (g dm⁻³)	13,9	14,0	10,0	19,0	2,09	15,1	-0,473	0,077	3,0.10 ⁻⁴	IN
pH2	5,2	5,2	4,5	6,0	0,245	4,7	0,789	0,152	0,051	NO
K2 (mmol_c dm⁻³)	2,4	2,3	0,5	5,0	0,96	39,4	-0,035	0,425	0,015	TL
Ca2 (mmol_c dm⁻³)	21,4	21,0	12	36	6,01	28,1	-0,899	0,003	0,027	TL
Mg2 (mmol_c dm⁻³)	10,2	10,0	4,0	16,0	2,84	27,8	-0,574	0,062	0,056	NO
H+Al2 (mmol_c dm⁻³)	21,1	21,0	15,0	29,0	3,48	16,5	-0,710	0,313	6,0.10 ⁻⁴	IN
S2 (mmol_c dm⁻³)	34,0	33,5	18,5	58,8	8,60	25,3	-0,609	0,270	1,2.10 ⁻²	IN
T2 (mmol_c dm⁻³)	55,4	56,9	34,5	77,5	9,98	18,0	-0,997	0,080	1,3.10 ⁻³	IN
V%2 (%)	61,1	62,0	42,0	79,0	6,93	11,3	0,628	-0,628	0,120	NO

^(a) P2, MO2, pH2, K2, Ca2, Mg2, H+Al2, S2, T2, V%2, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0,20-0,40 m; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo IN, NO e TL respectivamente do tipo indeterminado, normal e tendendo à lognormal.

4.2 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS ATRIBUTOS

4.2.1 ATRIBUTOS DA PLANTA

A distribuição de frequência dos atributos estudados PRO, PPM, ATR, BRI, POL, PUR e FIB, foram do tipo normal (Quadro 1). Os coeficientes de assimetria positiva ficaram entre 0,072 (PRO) e 0,255 (FIB) e a negativa entre -0,0164 (ATR) e -0,179 (PUR). Para os valores de coeficiente de curtose positiva os valores foram de 0,060 (ATR) e 0,562 (FIB), para os coeficientes de curtose negativa variaram de -0,149 (POL) a -0,497 (PRO). Contudo, os atributos analisados foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), apresentando uma oscilação entre os valores de 0,289 (PRO) e 0,704 (BRI e POL).

4.2.2 ATRIBUTOS DO SOLO

Dentre os atributos do solo analisados, apenas pH1 e pH2, K1, Mg2, V%1 e V%2, apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Quadros 2 e 3). Os coeficientes de assimetria positiva ficaram entre 0,062 (Mg2) e 0,152 (pH2) e a negativa entre -0,177 (pH1) e -0,628 (V%2). Para os valores de coeficiente de curtose positiva os valores 0,332 (V%1) e 0,789 (pH2), para os coeficiente de curtose negativa variaram de -0,291 (pH1) a -0,584 (K1). Desta forma, estes atributos foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), observando valores de probabilidade entre 0,051 (pH2) e 0,476 (K1).

Para os atributos químicos P1, P2, MO1, MO2, H+Al1, H+Al2, T1, T2 e S2, as distribuições de frequência (Quadros 2 e 3), foram do tipo indeterminado (IN). Já os atributos S1, K2 e Ca2 apresentaram distribuição de frequência tendendo a logonormal (TL) e, por fim, Ca1 e Mg1 com distribuição de frequência logonormal.

4.3 VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS

4.3.1 ATRIBUTOS DA PLANTA

A PRO média obtida foi de 94,6 t ha⁻¹ (Quadro 1), estando acima da produtividade média brasileira, de acordo com Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2011) que na safra 2010/2011 foi de 77,5 t ha⁻¹, sendo 18,08% superior a produtividade media nacional e inferior a verificada por Watanabe et al. (2004), que relataram valor médio de 100 t ha⁻¹ para a variedade RB85-5536 de terceiro corte em um Latossolo Vermelho distroférrico. A população encontrada nesta pesquisa foi de 11,48 pl. m⁻², quando o ideal para o espaçamento utilizado deveria ser pelo menos 14,0 pl. m⁻², de acordo com Braga (2011).

Em relação ao atributo tecnológico ATR, o valor médio observado de 131,8 kg ha⁻¹, ficou acima do valor mínimo tido como referência (121,97 kg ha⁻¹) pelo Consecana (2003). Os valores estimados pela UNICA (2011) (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR) a quantidade de ATR por tonelada de cana-de-açúcar na safra 2011/2012 deve se de 140,80 t ha⁻¹. Contudo, os baixos valores obtidos para a PPM justificam-se por se tratar de cana bisada de segundo ciclo, e também, as condições climáticas influenciaram devido a seca que assolou a região na safra 2010/2011, além desta variedade não ser adequada para a região. Para os teores de BRI, POL, PUR e FIB, os valores médios obtidos foram, respectivamente, de 15,3; 16,3; 87,1 e 13,8%. Conforme Fernandes (2000), o teor de POL considerado

adequado para o início da colheita da cana-de-açúcar. Tasso Júnior (2007) verificou resultados semelhantes para BRI, POL, PUR e FIB em um tratamento com cana soca variedade SP 81-3250.

4.3.2 ATRIBUTO DO SOLO

Os atributos químicos do solo que apresentaram redução nos teores da primeira para a segunda profundidade foram o P, MO, pH, K, Ca, H+Al, S, T, V% (Quadros 2 e 3). Muzilli (2002) verificou no sistema de plantio direto, que a disponibilidade de fósforo tende a ter maior concentração nas camadas mais superficiais do solo, explicado pela baixa mobilidade do elemento e do não revolvimento do solo, informação também relevante para a cultura da cana-de-açúcar, pelo pouco revolvimento do solo em canaviais estabelecidos. Para o K que foi avaliado em menor concentração nas camadas sub-superficiais, uma explicação provável é a de Giacomini et al. (2003), que afirmaram que o nutriente não faz parte de componentes estruturais na planta, e é encontrado na forma iônica no vacúolo das células, portanto, facilmente liberado na decomposição da palhada, sendo encontrado em maior concentração na camada superficial do solo.

O atributo químico que apresentou elevação de valores em profundidade foi o Mg, uma explicação para tal resultado pode ser o método de preparo do solo onde, foi aplicado e incorporou o calcário com arado de aivecas a 0,35 m de profundidade e, com isso reverteu-se a camada superficial com o calcário para as camadas mais profundas do solo, proporcionando a maior concentração de Mg. Outro fato que pode ser levado em consideração é que o magnésio não é tão adsorvido, e assim sua lixiviação tende a ser maior.

Quando considerado os limites de interpretação dos principais atributos químicos do solo propostos por Raij et al. (1997), notou-se que estes encontravam-se em baixos teores (P1, P2, MO1 e MO2), médios (pH1, pH2, V%1 e V%2) e altos (K1, K2, Mg1, Mg2, Ca1 e Ca2), conforme os Quadros 2 e 3. Os teores de MO verificados no trabalho, assemelham-se com os obtidos por Souza et al. (2010a), que avaliaram os mesmos atributos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado há mais de 35 anos com cana-de-açúcar.

4.4 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS

4.4.1 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

4.4.1.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS

Nos Quadros 4, 5 e 6 estão apresentados as matrizes de correlação linear de Pearson entre os atributos 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%).

4.4.1.2 ATRIBUTOS DA PLANTA VERSUS ATRIBUTOS DA PLANTA

Para as correlações dos atributos da planta (Quadro 4), apresentaram significância os pares PPM x PRO ($r = 0,725^{**}$), BRI x ATR ($r = 0,965^{**}$), POL x ATR ($r = 0,967^{**}$), POL x BRI ($r = 0,916^{**}$), PUR x ATR ($r = 0,587^{**}$) PUR x BRI ($r = 0,389^{**}$) PUR x POL ($0,634^{**}$). Pelos valores de r , ficou evidenciado a importância da quantidade de colmos por metro (PPM) como componente da produção no incremento da PRO. Assim sendo, quanto maior o número de colmos por metro maior a PRO. De acordo com Silva (2008), a população ideal de colmos esta entre 10 e 12, valor que condiz com a quantidade média obtida nesta pesquisa. O que pode explicar a forte correlação dos demais atributos tecnológicos da planta é que um atributo tecnológico esta diretamente ligado para a determinação do outro, o que também foi constatado por Nóbrega e Paiva (2009), verificando que para o calculo do ATR é a partir dos valores da Pol%, °Brix e %AR.

Quadro 4 - Matriz de correlação dos atributos da produtividade e de componentes tecnológicos da cana soca em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)					
	PRO	PPM	ATR	BRI	POL	PUR
PPM	0,725**					
ATR	-0,054	-0,103				
BRI	-0,068	-0,101	0,965**			
POL	-0,072	-0,111	0,967**	0,916**		
PUR	0,034	0,008	0,587**	0,389**	0,634**	
FIB	-0,032	-0,054	0,033	0,069	0,110	-0,055

^(a) PRO, PPM, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a produtividade de colmos, número de colmos, açúcares totais recuperáveis, percentual de sólidos solúveis totais, percentual de sacarose, pureza e percentual de fibra; ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

Quadro 5 - Matriz de correlação entre atributos da cana soca e atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0-0,20 m

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)													
	PRO	PPM	ATR	BRI	POL	PUR	FIB	PI	MOI	pHI	KI	CaI	MgI	H+AlI
PI	-0,035	-0,005	-0,088	-0,058	-0,066	-0,122	0,043							
MOI	-0,005	0,035	0,081	0,080	0,070	0,105	-0,147	-0,088						
pHI	-0,027	-0,005	0,081	0,062	0,083	0,155	0,001	-0,004	0,002					
KI	0,212*	0,196*	-0,127	-0,086	-0,134	-0,137	-0,075	-0,211*	0,310**	0,065				
CaI	0,188*	0,159	0,037	0,038	0,006	0,037	-0,306**	-0,272**	0,405**	0,292**	0,499**			
MgI	0,098	0,092	0,041	0,041	0,010	0,098	-0,242**	-0,308**	0,460**	0,349**	0,496**	0,829**		
H+AlI	0,108	0,077	-0,038	0,026	-0,047	-0,251*	-0,113	-0,109	0,311**	-0,676**	0,212*	0,119	0,060	
SI	0,147	0,145	0,001	0,008	-0,027	0,027	-0,262**	-0,341**	0,463**	0,251**	0,617**	0,925**	0,914**	0,181*
TI	0,207*	0,189*	0,000	0,027	-0,032	-0,065	-0,287**	-0,307**	0,495**	0,022	0,641**	0,911**	0,823**	0,442**
VI	0,109	0,096	0,018	-0,007	-0,002	0,156	-0,197*	-0,196*	0,213*	0,686**	0,432**	0,778**	0,772**	0,760**

^(a) P1, MOI, pHI, KI, CaI, MgI, H+AlI, SI, TI, V%I, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0-0,20 m;; ^(b) ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

Quadro 6 - Matriz de correlação entre atributos da cana soca e atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0,20 - 0,40 m

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)															
	PRO	PPM	ATR	BRI	POL	PUR	FIB	P2	MO2	pH2	K2	Ca2	Mg2	H+Al2	S2	T2
P2	-0,146	-0,195*	-0,037	-0,018	0,001	-0,135	0,181*									
MO2	0,040	0,078	-0,022	0,006	-0,046	-0,117	-0,055	0,131								
pH2	0,046	0,049	0,043	0,004	0,063	0,180*	-0,161	-0,058	-0,067							
K2	0,135	0,114	-0,126	-0,111	-0,131	-0,090	-0,116	-0,017	0,265**	0,232**						
Ca2	0,271**	0,257**	0,049	0,051	0,042	0,063	-0,280**	-0,526**	0,295**	0,433**	0,375**					
Mg2	0,170	0,143	0,029	0,025	-0,005	0,037	-0,243**	-0,489**	0,231**	0,301**	0,364**	0,663**				
H+Al2	0,042	0,042	-0,121	-0,074	-0,134	-0,224*	0,018	-0,208*	0,415**	-0,636**	0,061	0,094	0,178*			
S2	0,251**	0,213*	0,022	0,018	0,008	0,061	-0,276**	-0,542**	0,315**	0,401**	0,468**	0,941**	0,825**	0,139		
T2	0,270**	0,227*	0,000	0,017	-0,020	-0,028	-0,253**	-0,492**	0,436**	0,146	0,480**	0,882**	0,791**	0,432**	0,918**	
V2	0,215*	0,195*	0,086	0,059	0,080	0,172	-0,268**	-0,388**	0,016	0,772**	0,386**	0,800**	0,644**	-0,427**	0,794**	0,565**

^(a) (a) P2, MO2, pH2, K2, Ca2, Mg2, H+Al2, S2, T2, V%2, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0,20-0,40 m 1 e 2; ^(b) ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

4.4.1.3 ATRIBUTOS DA PLANTA VERSUS ATRIBUTOS DO SOLO

Nas correlações entre os atributos do solo (Quadros 5 e 6) com atributos da planta (Quadro 4), a PRO apresentou valores positivos e significativos com o K1 ($r = 0,212^*$), Ca1 ($r = 0,188^*$), Ca2 ($r = 0,271^{**}$), T1 ($r = 0,207^*$), S2 ($r = 0,251^{**}$), T2 ($r = 0,270^{**}$) e V%2 ($r = 0,215^{**}$). O potássio apresentou correlação com a produtividade, pois é o elemento de maior exigência pela cana, de acordo com Dinardo-Miranda et al. (2008) verificaram esta máxima sobre a exigência pelo K pela cultura da cana-de-açúcar, e que a maior parte do K absorvido se encontra nos colmos. Para Rossetto et al. (2008a), constataram aumento na produtividade da cana planta em função da adubação de K_2O .

A correlação da produtividade de colmos com o Ca pode ser atribuído ao fato do nutriente estar correlacionado com a redução da acidez e ser atuante no sistema radicular das plantas. Como o calcário é fonte de Ca^{2+} , no solo ele libera Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{2-} , este ultimo proporciona a formação de OH^- (e posteriormente o HCO_3^-), sendo o CO_3^{2-} uma base fraca, ocasionando a formação de OH^- relativamente lenta e parcial, e o OH^- produzido neutralizará o H^+ da solução, responsável pela sua acidez.

Bittencourt et al. (2003) analisando fontes de cálcio num Latossolo Vermelho escuro encontraram aumentos na produção de colmos de cana-de-açúcar com o acréscimo de doses de Ca, o que explica as interações PPM x Ca1 ($r = 0,188^*$) e PPM x Ca2 ($r = 0,257^{**}$). Os atributos T e V% apresentaram correlação com a produtividade, pois são derivados de K e Ca, que com o aumento de seus valores proporcionou interferência direta na produção da cana soca, o que também foi verificado por Vargas e Demattê (1995), que avaliando o efeito do calcário, ao qual notaram incremento de valores de pH, teores de Ca e Mg e conseqüente aumento da saturação de bases (V%), resultando em acréscimos na produção de cana-de-açúcar.

Para a correlação PPM x K1 ($r = 0,196^*$), como explicado anteriormente, o K é o elemento exigido em maior quantidade pela cana e este elemento proporciona o aumento do perfilhamento. Com base nesta afirmativa, OTTO et al. (2010) observaram o aumento no número de perfilhos com o aumento de doses de K_2O em um Latossolo Vermelho distrófico durante o ciclo de cana-planta, com variedade SP-90 3414.

Outras correlações que apresentaram valores positivos foram as de PPM com V%2 ($r = 0,195^*$) podendo ser explicado pelo fornecimento de bases (Ca, Mg, K), resultados estes contrario dos obtidos por Oliveira et al. (2010) que observaram que a saturação por bases (V%) não influenciou o número de perfilhos, e Fortes (2006), que concluiu que apenas a altura

dos perfilhos é influenciado pela elevação de saturação por bases. O mesmo pode se estender para as interações entre PPM x T1 ($r = 0,189^*$), PPM x T2 ($r = 0,227^{**}$), PPM x S2 ($r = 0,213^{**}$).

Avaliando a correlação entre PUR x pH2 ($r = 0,180^*$) constatou que a diminuição da acidez do solo elevou o atributo pureza, onde a elevação do pH proporciona a diminuição das cargas do solo ocupado por Fe^{+3} , Mn^{+2} e Al^{+3} , aumentando a disponibilidade de cargas ocupadas por Ca, Mg, P e principalmente o K^+ , este fato pode ser comprovado com o estudo realizado por Leite et al. (2009) que avaliando a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, variedade RB855453, em função da aplicação nitrato de potássio obtiveram um aumento na percentagem de PUR.

Para os atributos FIB x P2, cuja correlação também foi positiva ($r = 0,181^*$), os resultados se pareceram aos obtidos por Santos et al. (2008) que analisando doses crescentes de P_2O_5 verificaram aumento na percentagem de fibras da variedade RB867515.

4.4.1.4 ATRIBUTO DO SOLO VERSUS ATRIBUTO DO SOLO

Dentre as correlações dos atributos do solo o fósforo se correlacionou de forma negativa com os demais atributos analisados, tanto na profundidade de 0 – 0,20 m quanto na profundidade de 0,20-0,40 m, sendo estas correlações na profundidade de 0 – 0,20 m de P1 x K1 ($-0,211^*$), P1 x Ca1 ($-0,272^{**}$), P1 x Mg1 ($-0,308^{**}$), P1 x S1 ($-0,341^{**}$), P1 x T1 ($-0,307$), P1 x V1 ($-0,196$), e as correlações da profundidade de 0,20-0,40 m de P2 x Ca2 ($-0,526^{**}$), P2 x Mg2 ($-0,489^{**}$), P2 x H+Al2 ($-0,208$), P2 x S2 ($-0,542^{**}$), P2 x T2 ($-0,492$), P2 x V2 ($-0,388^{**}$). Nestas interações negativas um fato que deve ser considerado é a precipitação dos elementos juntamente com o fósforo. Fato este que é constatado por Frota (1973), que analisando o aumento de doses de fósforo no solo observou a diminuição dos níveis de cálcio pela precipitação destes elementos, chegando a verificar um valor de $r = 0,99$ na correlação fósforo fixado e a quantidade de cálcio trocável.

A matéria orgânica apresentou correlação positiva com os atributos do solo analisado, sendo que na camada de 0-0,20 m as interações variaram entre MO1 x V%1 ($0,213^*$) e MO1 x T1 ($0,495^{**}$) e na camada de 0,20-0,40 as interações variaram entre MO2 x Mg2 ($0,231^{**}$) à MO2 x T2 ($0,436^{**}$). A matéria orgânica fornece nutrientes pela sua decomposição, aumentando assim os teores destes no solo, o que explica as correlações positivas. Quanto mais aumenta a matéria orgânica no solo, maior a disponibilidade de nutrientes, sendo que, em seus estudos Almeida Junior (2010) encontrou também uma correlação direta entre MO e

o K, ($r = 0,59^{**}$). Ciotta et al. (2003) também verificaram que o aumento da matéria orgânica contribuiu no aumento dos valores de CTC, resultados estes, que se assemelham com o do presente trabalho.

O pH apresentou interações positivas com os atributos Ca1 (0,292**), Mg1 (0,349**), S1 (0,251**), V1 (0,686**), K2 (0,232**), Ca2 (0,433**), Mg2 (0,301**), S2 (0,401**) e V%2 (0,772**), indicando que com o aumento do pH no solo, haverá também maior disponibilidade de bases no complexo de troca do solo. O que foi corroborado por Montezano et al (2006), que em suas pesquisas encontraram correlação com valores positivos para as interações acima citadas. Já a correlação negativa do pH com H+Al1 (-0,676) e H+Al2 (-0,636) demonstram que com o aumento do pH reduz a acidez potencial, resultados semelhantes aos obtidos por Braga (2011) quando analisou estes atributos em um solo cultivado com cana soca bisada.

As bases trocáveis do solo K, Ca e Mg, correlacionaram-se diretamente com a S, T e V% nas duas profundidades, com altas correlações de Ca1 x S1 (0,925**), Mg1 x S1 (0,914**), o que é esperado, pois com o aumento das bases há um aumento concomitante dos valores de S, T e V%, pois os teores de bases são utilizados para os cálculos de S, T e V%. Estas correlações se assemelham com os resultados verificado por Santos et al. (2010b) que constatarem correlações positivas entre as bases do solo e os valores de T, S e V%.

4.5 REGRESSÃO LINAR SIMPLES ENTRE OS ATRIBUTOS

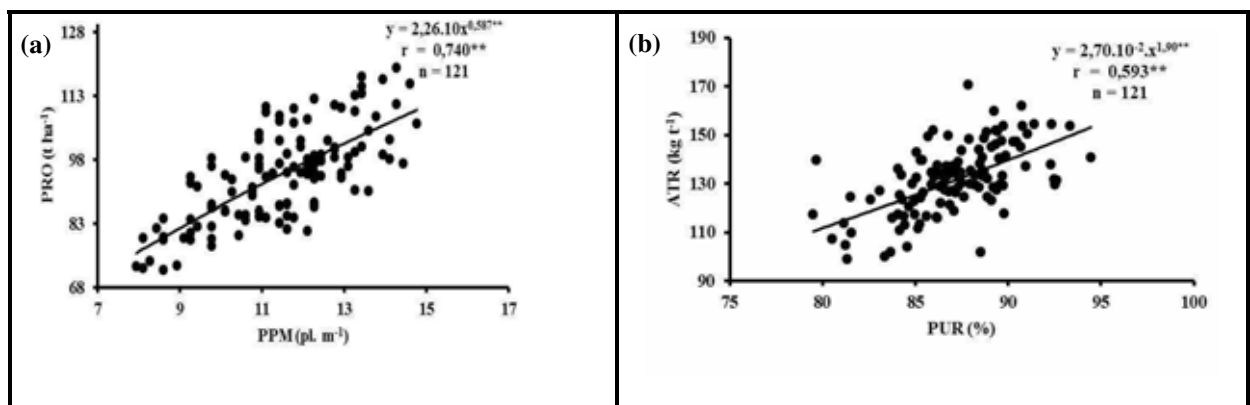
Pela análise de regressão entre os atributos da planta, foi observada relação potencial entre os atributos da planta, PRO e PPM (Figura 5a; $r = 0,740^{**}$), ATR e PUR (Figura; 5b $r = 0,593^{**}$), BRI e PUR (Figura 5c; $r = 0,398^{**}$) e POL e PUR (Figura 5d; $r = 0,641^{**}$). Considerando os atributos da planta e os atributos químicos do solo, foram obtidas relações lineares entre a PPM e T1 (Figura 6e; $r = 0,189^{*}$), PRO e T2 (Figura 6c; $r = 0,210^{**}$) e PPM e V%2 (Figura 7h; $r = 0,195^{*}$) e potencial para as relações PRO e K1 (Figura 6a; $r = 0,229$), PRO e Ca1 (Figura 6b; $r = 0,193^{*}$), PRO e T1 (Figura 6c; $r = 0,210^{*}$), PRO e Ca2 (Figura 7a; 0,292**), PRO e S2 (Figura 7b; $r = 0,264^{**}$), PRO e o V%2 (Figura 7d; $r = 0,220^{*}$), PPM e o K1 (Figura 6d; $r = 0,221^{*}$), PPM e o Ca2 (Figura 7e; $r = 0,270^{**}$), PPM e o S2 (Figura 7f; $r = 0,227^{**}$), PPM e o T2 (Figura 7g; $r = 0,231^{**}$), PUR e o pH2 (Figura 7i; $r = 0,180^{*}$)

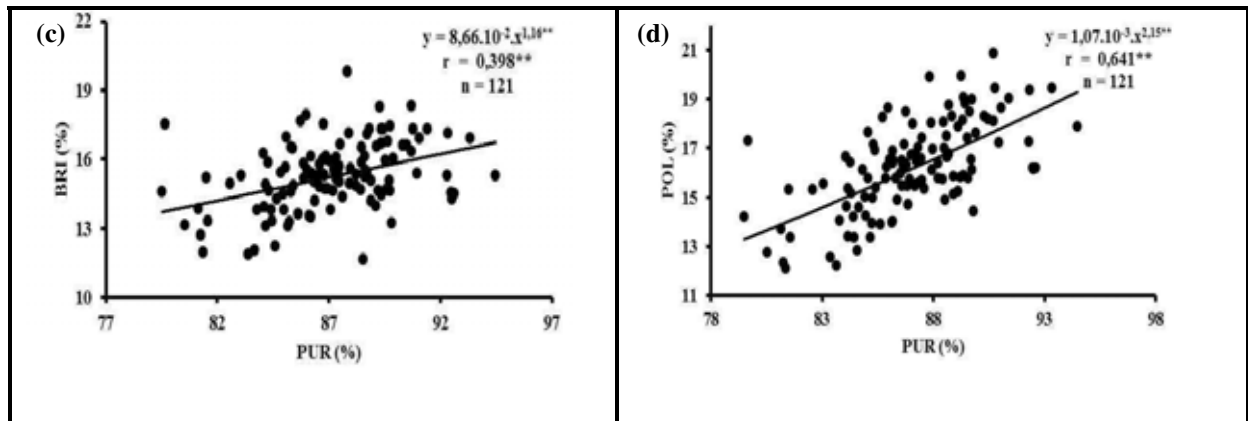
Entre as regressões modeladas, destacou-se a da produtividade de colmos de cana soca em função do número de colmos por metro (PRO x PPM) (planta x planta) e em virtude de sua importância agronômica, a produtividade de colmos de cana em função do teor de Cálcio

no solo (PRO x Ca1) (planta x solo) e a produtividade de colmos de cana em função do teor de K1. Desta forma a relação potencial entre a PRO e a PPM (Figura 5a), com o modelo matemático $y = 2,26.10x^{0,587**}$ ($R^2 = 0,740**$), pode-se estimar que quando o número de colmo variou entre 7,9 e 15,8 pl.m⁻² a produtividade variou entre 76,03 e 114,21 t ha⁻¹, e com uma média populacional de 11,48 pl.m⁻² a produtividade média obtida foi de 94,68 t ha⁻¹. Em seu trabalho Braga (2011) constatou que a determinação da população ideal é um fator de extrema importância fitotécnica por apresentar estreita relação com a produtividade de colmos.

A regressão da PRO em função da Ca1, apresentou relação potencial positiva (Figura 3b), com o modelo matemático $y = 7,15.10.x^{0,0894*}$ ($r = 0,193*$), onde as variações dos teores de Ca1 ficou entre 11,0 e 38,0 mmol_c dm⁻³. Levando em conta estes valores, a PRO variou entre 88,59 a 98,98 t ha⁻¹. Para a regressão da PRO em função do K1, com relação potencial também foi positiva, expressa pelo modelo matemático $y = 8,54.10.x^{0,0692*}$ ($r = 0,221*$), os teores de K variaram de 0,8 a 10,3 mmol_c dm⁻³ e a produtividade variou entre 83,21 a 99,30 t ha⁻¹. Estes resultados se assemelham aos relatados por Prado et al. (2003), que encontraram aumento linear na produção de colmos de cana-de-açúcar com o aumento de doses de K₂O na adubação. Estas equações apresentam importância no manejo da fertilidade do solo, uma vez que além de ser de suma importância na produtividade de colmo, são fundamentais nos cálculos para a determinação de S, T e V%.

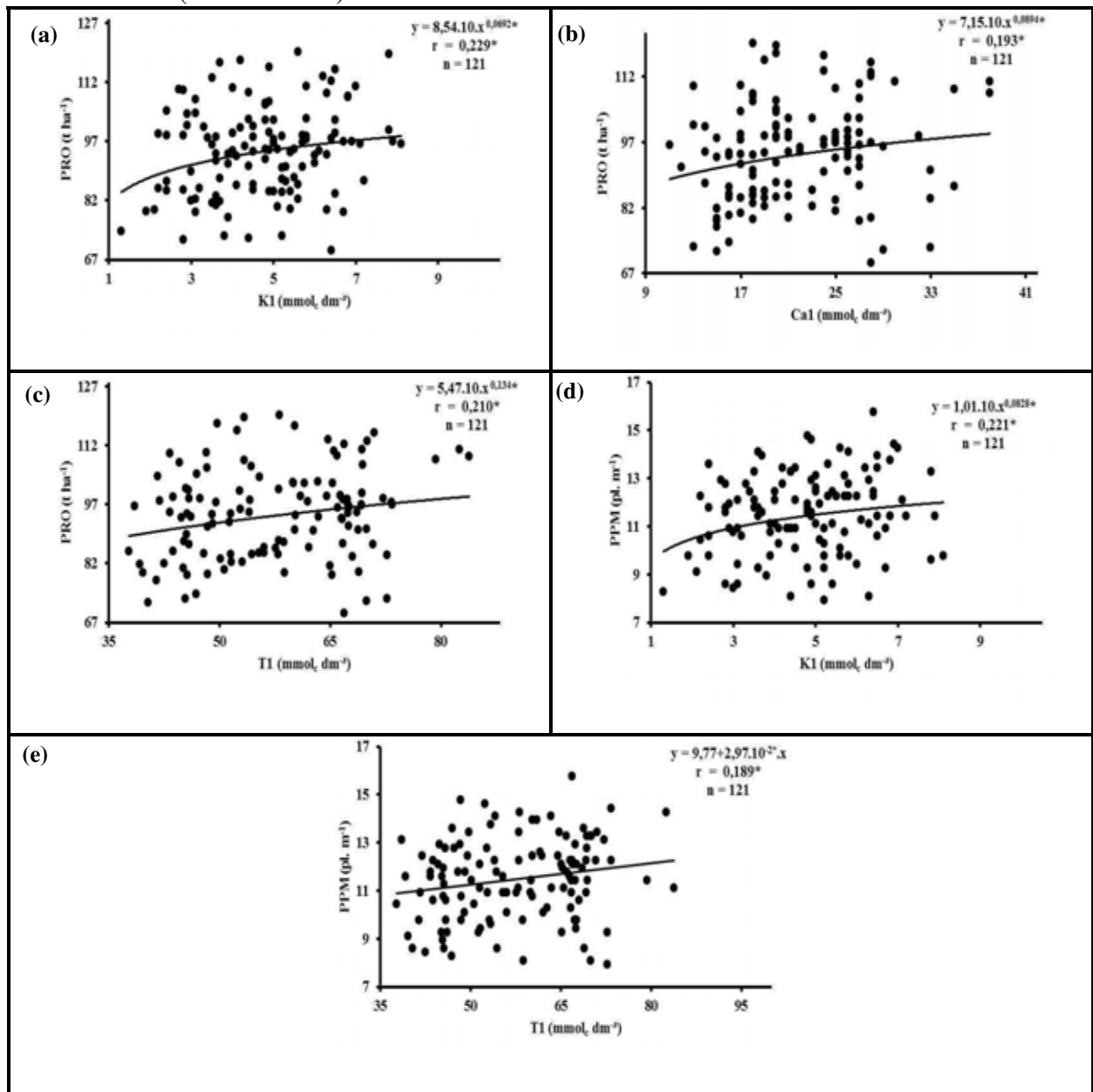
Figura 5: Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM, ATR, BRI, POL e PUR) em Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)





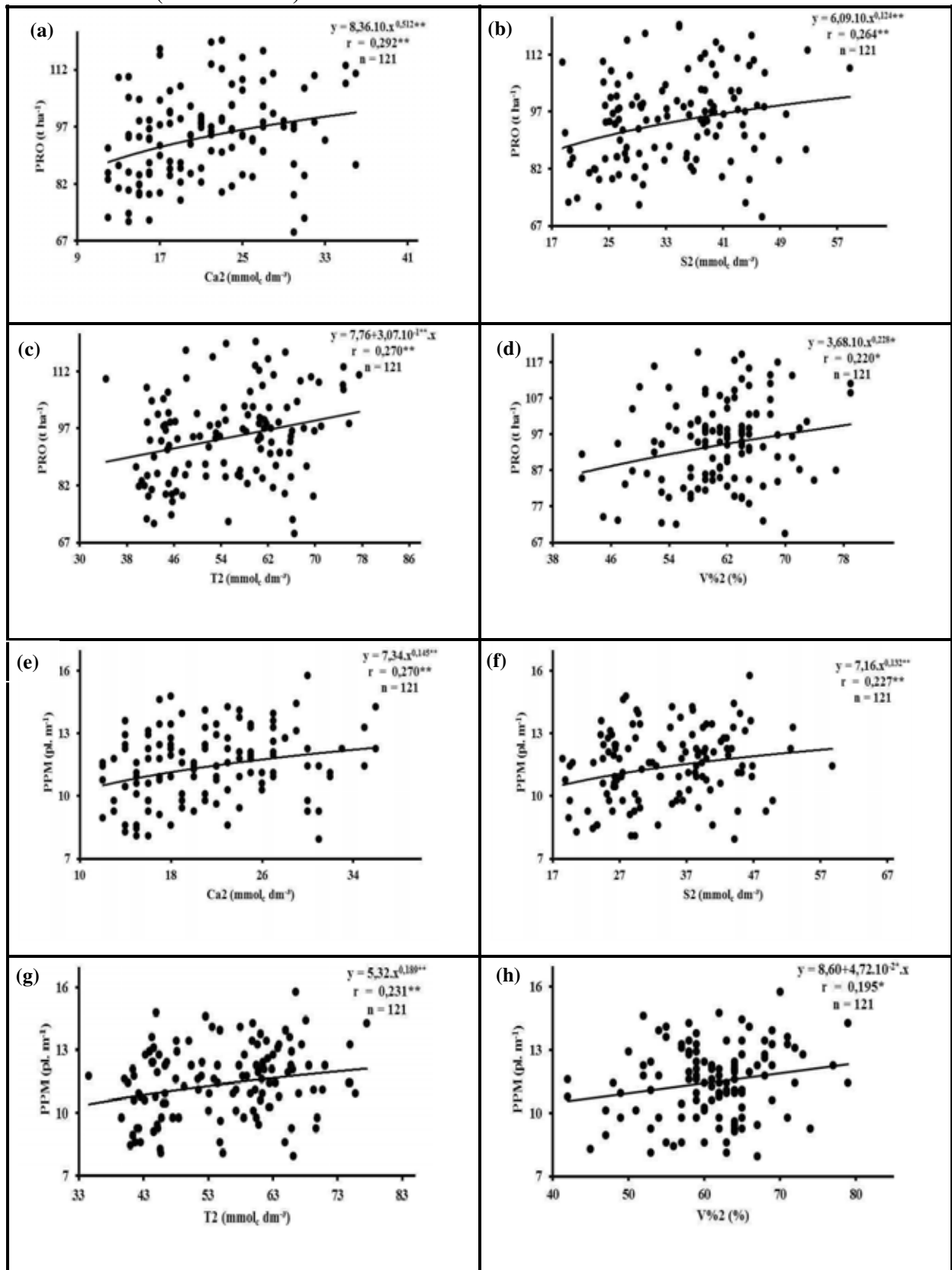
Fontes: Dados da pesquisa

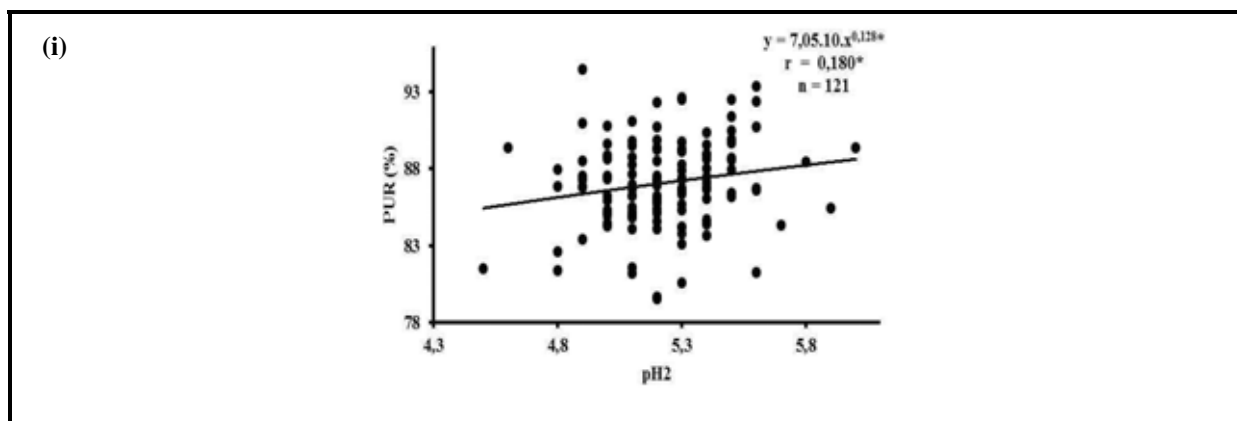
Figura 6 - Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO e PPM) com os atributos químicos do solo (K1, Ca1, S1 e T1) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fontes: Dados da pesquisa

Figura 7: Equação de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM e PUR) com os atributos químicos do solo (pH2, Ca2, S2, T1 e V2) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)





Fontes: Dados da pesquisa

4.6 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ENTRE OS ATRIBUTOS

Na análise da regressão linear múltipla da variável dependente PRO em função das demais variáveis independentes, tanto para os atributos da planta quanto os do solo, o modelo testado (Equação 18) explicou aproximadamente 38,33% da variação da produtividade de colmos de cana soca ($R^2 = 0,3833^{**}$).

$$\text{PRO} = 41,30 + 3,87^{***} \cdot \text{PPM} + 0,16^* \cdot \text{T2} \dots \dots \dots (19)$$

Onde: **PRO** = produtividade de colmos de cana-de-açúcar (t ha^{-1}), **PPM** = colmos por metro (pl. m^{-1}) e **T2** = capacidade de troca catiônica do solo na profundidade 2 ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

*** = significativo a 1%, ** = significativo a 5% e * = significativo a 10 %.

Quadro 7: Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da PRO em função dos atributos da cana soca e químicos de um Argissolo

Causa de variação	GL	SQ	QM	F _{calc}	Pr>F
Regressão	2	5 938,63	2969,32	36,67	< 0,0001
Resíduo	118	9 555,64	80,98	-	-
Total	120	15 494,00	-	-	-

Os demais atributos que influenciaram a PRO não entraram nos modelos de regressão, que por conta de outros fatores, não foram significativos a 10% de probabilidade. Desta forma, com base na regressão linear múltipla, demonstrou-se a implicação dos atributos

pesquisados na produtividade de cana soca, levando em conta os valores obtidos das análises químicas do solo, bem como da população de colmos na área de estudo.

4.7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS

4.7.1 ANÁLISE SEMIVARIOGRÁFICA SIMPLES

4.7.1.1 AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS SIMPLES DOS ATRIBUTOS

Enquanto na estatística clássica as coletas de amostras são feitas ao acaso, ignorando-se sua posição geográfica, na geoestatística os locais de amostragem são importantes, porque se considera dependência espacial entre as medidas. Nesse contexto, a geoestatística é uma importante ferramenta a ser considerada, uma vez que é capaz de propiciar o desenvolvimento de técnicas para a amostragem e descrever a variabilidade das características do meio físico de um sistema (LIBARDI et al., 1986). Na geoestatística, mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo (SOUZA et al., 2004).

Nos Quadros 8, 9 e 10 estão apresentados os parâmetros do semivariogramas simples ajustados para os atributos da planta bem como para os atributos químicos do solo no qual o experimento foi instalado. Nas Figuras 8, 9 e 10 estão presentes seus respectivos semivariogramas.

Os atributos ATR, BRI, POL, pH1, H+Al1, #V%1, pH2, #Mg2, #H+Al2 e V%2, apresentaram efeito pepita puro. Sendo o efeito pepita um tipo extremo de comportamento do variograma próximo à origem e reflete a variação espacial de um fenômeno de transição onde para um dado valor de patamar a amplitude terá um valor infinitesimalmente menor que as distâncias de observação (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Nos semivariogramas simples o coeficiente de determinação espacial (r^2) decresceu a seguinte ordem: (1) K2 (0,994); (2) #S1 (0,980); (3) #S2 (0,979), (4) #T1 (0,973); (5) #P1 (0,973); (6) #Mg1 (0,972); (7) #T2 (0,960); (8) #Ca1 (0,908); (9) #K1 (0,823); (10) #MO2 (0,879); (11) #Ca2 (0,863); (12) #P2 (0,651); (13) #MO1 (0,510).

Pelas análise da determinação espacial (Quadros 9 e 10), verificou-se que o atributo K2, com r^2 (0,994), foi o atributo de melhor ajuste semivariográfico, apresentando o ADE médio (59,3%), com alcance de 113,4 metros e modelo esférico. O segundo melhor atributo que se ajustou foi o #S1, com $r^2 = 0,980$, e apresentando um ADE de (56,7%), sendo

classificado como médio e alcance de 48,5 metros e com ajuste esférico. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Souza et al. (2010a), que compararam a eficiência da interpolação de dados regionalizados por meio da krigagem ordinária e do inverso do quadrado da distância na estimativa de atributos químicos do solo, e cujos resultados para o atributo S foram $r^2 = 0,922$ com ADE de 58,2% classificado como médio, alcance de 58,0 metros e o modelo de ajuste também esférico.

Os valores dos alcances dos atributos pesquisados (Quadros 8, 9 e 10) apresentaram os seguintes valores decrescentes: (1) #MO2 (124,5 m), (2) K2 (113,4 m), (3) #T2 (83,1 m), (4) #S2 (73,6 m), (5) #Ca1 (68,7 m), (6) #T1 (53,1 m), (7) #S1 (48,5 m), (8) #P2 (42,9 m), (9) #P1 (36,0 m), (10) #MO1 (29,4 m), (11) #K1 (28,8 m), (12) #Mg1 (28,1 m), (13) #Ca2 (27,3 m), mostrando que houve maior homogeneidade dos atributos na camada de 0,20-0,40 m, que conforme Corá et al. (2004) que avaliando a variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho eutroférico cultivado a mais de 30 anos com a cultura da cana-de-açúcar, constataram como característica intrínseca a homogeneidade dos atributos do solo ao longo do perfil, sendo que os autores apontaram como provável hipótese o manejo do solo, que foi realizado de forma superficial, acarretando na alteração da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo ao longo do perfil.

Estimativas realizadas por interpolação de krigagem, com valores de alcance maiores são mais confiáveis e apresentam mapas com maior representação das condições reais (CORÁ et al. 2004). Assim sendo, as estimativas obtidas por interpolação por krigagem para os teores de #MO1, #K1, #Mg1 e #Ca2 não apresentaram muita confiabilidade para fins práticos, em razão dos baixos valores de alcance de dependência espacial apresentados por estes atributos. Contribuindo com estes resultados, Braga (2011) trabalhando com cana soca, obteve resultados que permitem explicar que para manejos específicos e localizados, os alcances não deverão ser menores do que 55,0 metros, por representarem a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são iguais entre si.

4.7.1.2 VALIDAÇÃO CRUZADA DOS SEMIVARIOGRAMAS SIMPLES AJUSTADOS PARA OS ATRIBUTOS

Os parâmetros das validações cruzadas referentes à krigagem para os atributos da planta (Quadro 8) em função dos atributos químicos do solo (Quadros 9 e 10), apresentaram as seguintes ordem decrescente de grandeza do coeficiente de correlação (r): (1) K2 (0,574); (2)

#T1 (0,566); (3) #P2 (0,520); (4) FIB (0,453); (5) #Ca1 (0,415); (6) #MO1 (0,414); (7) #S1 (0,410); (8) #P1 (0,397); (9) PRO (0,377); (10) #S2 (0,375); (11) #T2 (0,361); (12) #Mg1 (0,352); (13) PPM (0,351); (14) #Ca2 (0,315), (15) #K1 (0,255); (16) #MO2 (0,249); (17) PUR (0,190).

Pelas análises dos dados os três atributos que apresentaram as melhores validações cruzadas foram K2 (0,574); #T1 (0,566); #P2 (0,520), diferindo dos dados obtidos por Braga (2011) que teve seus melhores resultados obtidos pelos atributos #pH1, BRI, #S1, H+Al2 e S2. Os coeficientes angulares (b) das retas das validações cruzadas (Quadros 8, 9 e 10) estão apresentados em ordem decrescente, na seguinte sequência: (1) K2 (0,999); (2) #T1 (0,988); (3) #Ca1 (0,956); (4) #S1 (0,951); (5) PPM (0,931); (6) PRO (0,926); (7) #MO1 (0,913); (8) #S2 (0,877); (9) #P2 (0,876); (10) #T2 (0,849); (11) FIB (0,823); (12) #P1 (0,822); (13) #Ca2 (0,783); (14) #MO2 (0,750); (15) #Mg1 (0,680); (16) #K1 (0,565) e (17) PUR (0,526).

Com estas análises constatou-se que o atributo K2 resultou em maior coeficiente de determinação espacial (r^2), assim como o maior coeficiente de correlação (r) para a validação cruzada, sendo este atributo, por meio da geoestatística, apresentando-se como um potencial indicador da qualidade química do solo para o Argissolo Vermelho eutrófico.

Quadro 8 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados de atributos da cana soca em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)

Parâmetros do ajuste											
Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	C _o	C _o +C	A _o (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples</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) cruzado</i>											
PRO=f(PPM)	Exp (73)	2,97	8,99	56,4	0,845	2,20	67,0	AL	3,95.10	0,581	0,381

^(a) PRO, PPM, ATR, BRI, POL, PUR e FIB são respectivamente a produtividade de colmos, número de colmos, açúcares totais recuperáveis, percentual de sólidos solúveis totais, percentual de sacarose, pureza e percentual de fibra;; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; ^(b) Exp = exponencial e Epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta e AL = alta.

Quadro 9 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados da produtividade da cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia-SP) na profundidade 0-0,20m

Atributo ^(a)	Parâmetros do ajuste										
	Modelo ^(b)	C _o	C _o +C	A _o (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h)</i> simples – solo											
#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	1,90	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	1,20	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	0,00	0,68	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	0,41
#T1	Exp (98)	4,30	3,9.10	53,1	0,973	1,23.10	89,0	MA	-5,00.10 ⁻²	0,988	0,566
#V %1	Epp	3,46.10	3,46.10	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h)</i> cruzado – planta x solo											
PRO=f(#K1)	Gau (149)	1,15.10 ⁻¹	3,24	100,10	0,834	2,32	96,4	MA	3,59.10	0,618	0,385
PRO=f(#S1)	Gau (72)	4,11.10 ⁻¹	2,84	40,0	0,313	9,63	85,5	MA	4,92.10	0,480	0,350

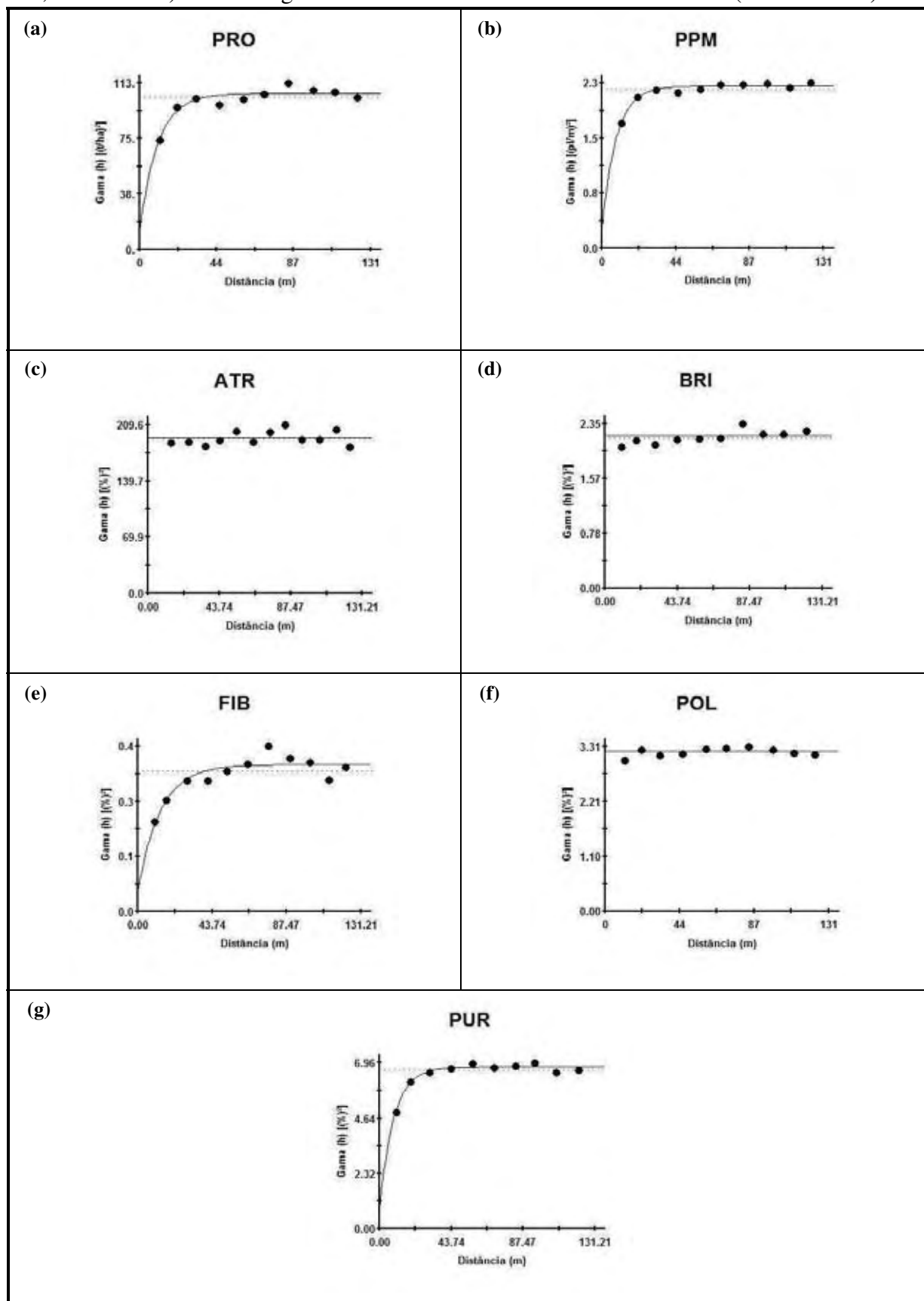
^(a) P1, MO1, pH1, K1, Ca1, Mg1, H+Al1, S1, T1, V%1, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0-0,20 m; # 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.

Quadro 10 - Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP) na profundidade 0,20-0,40 m

Parâmetros do ajuste											
Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	C _o	C _o +C	A _o (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h)</i> simples – solo											
#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	-	-	-	-	-	-	-	-

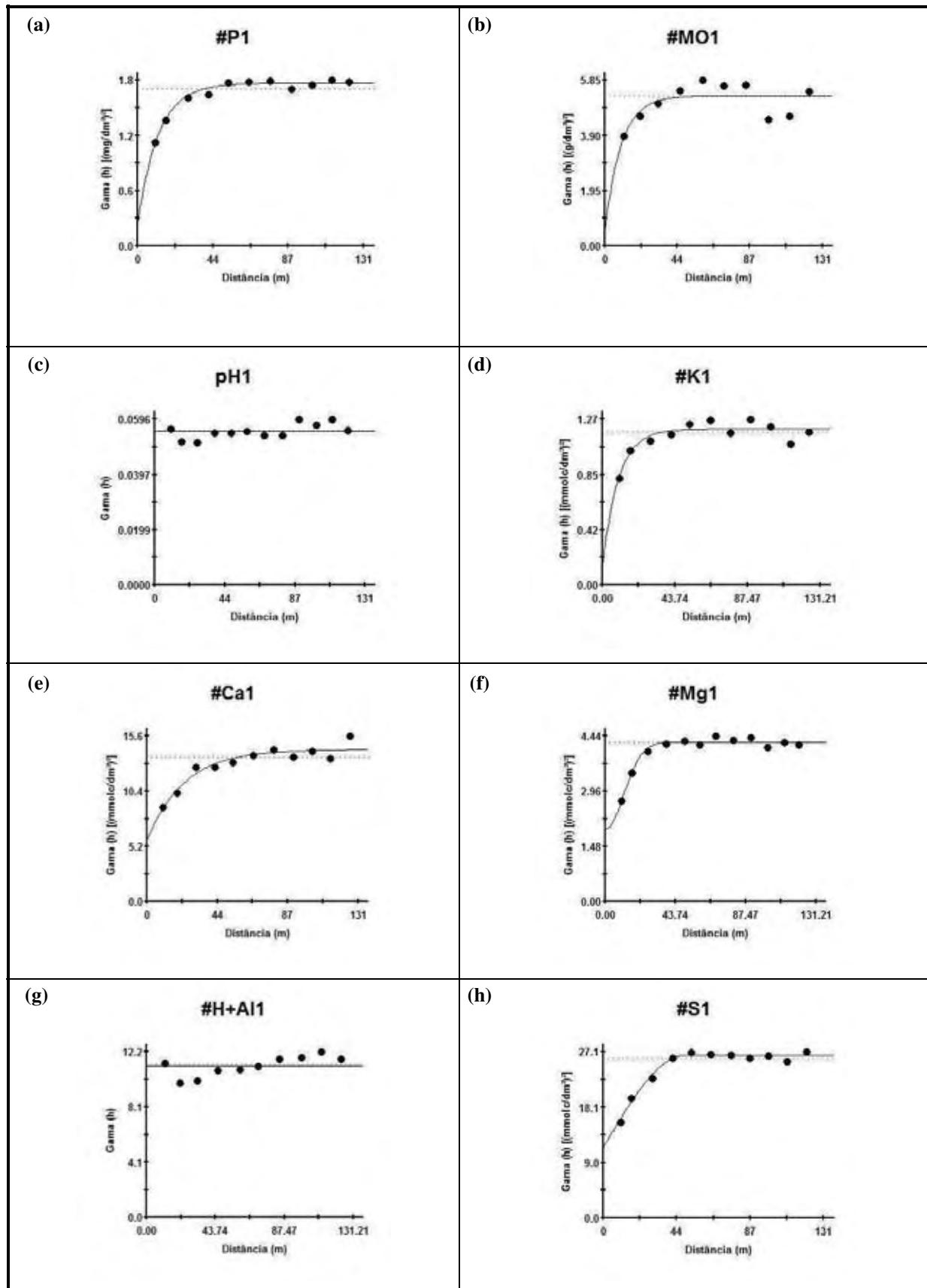
^(a) P2, MO2, pH2, K2, Ca2, Mg2, H+Al2, S2, T2, V%2, são respectivamente o teor de fósforo, matéria orgânica, valor de potencial hidrogeniônico, teores de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, analisados na camada 0,20-0,40 m; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; ^(b) Esf = esférico, Exp = exponencial e Epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo AL = alta, ME = média e MA = muito alta.

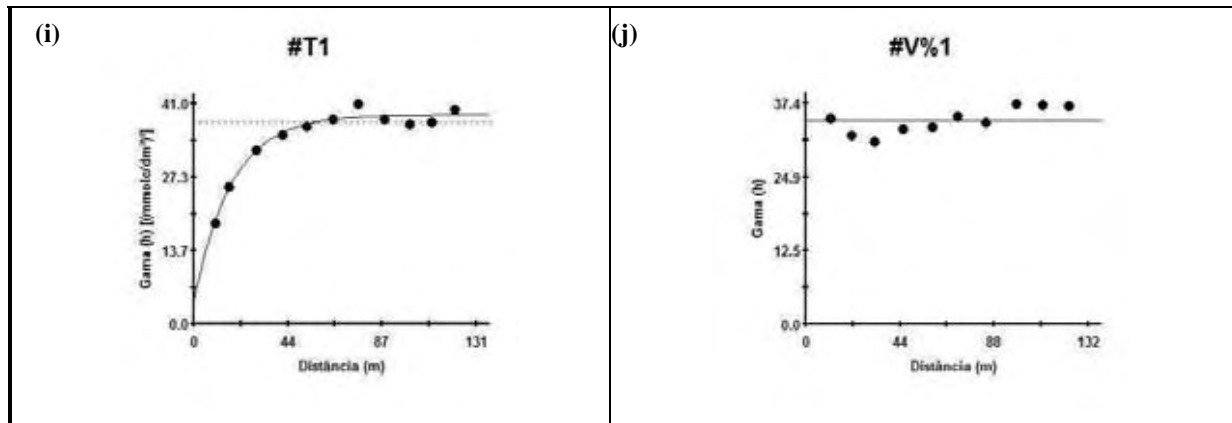
Figura 8 - Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar (PRO, PPM, ATR, BRI, FIB, POL e PUR) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fonte: Dados da pesquisa

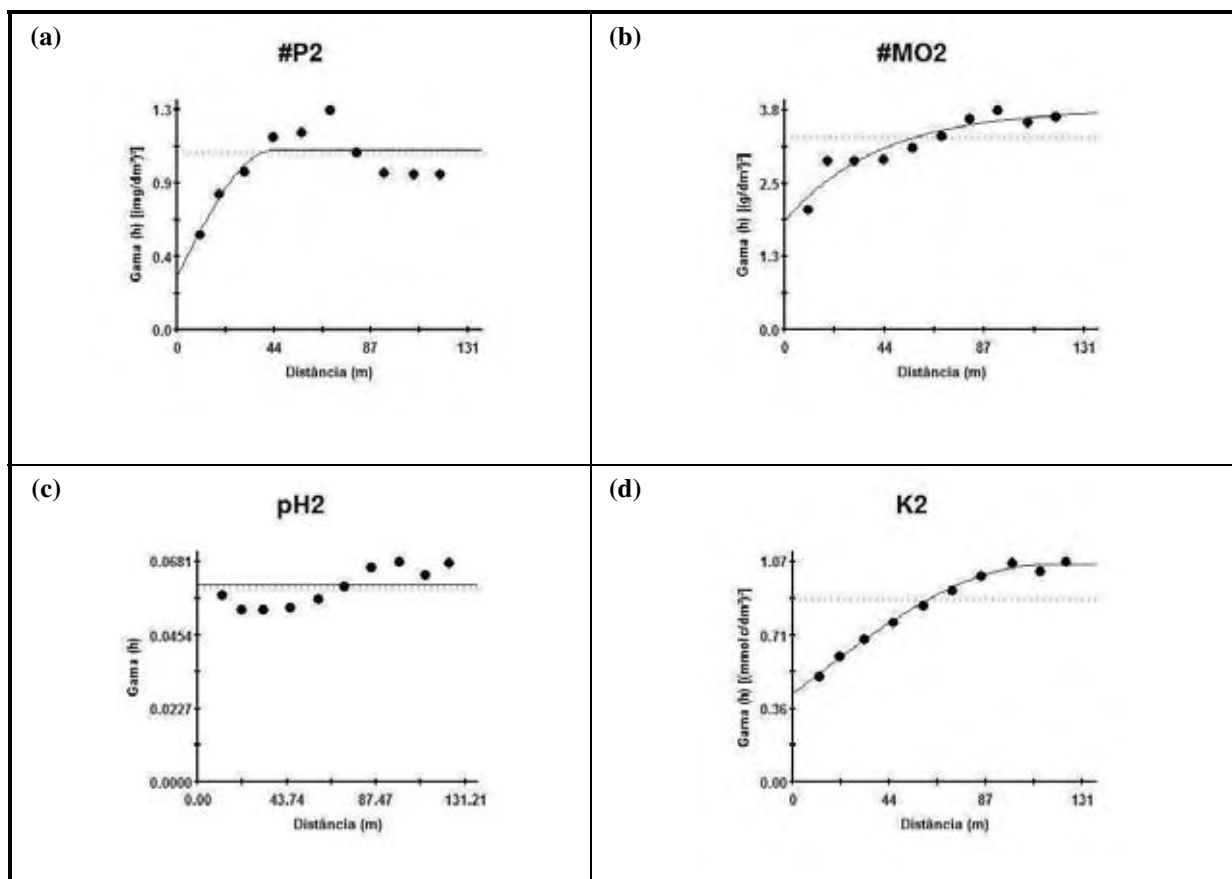
Figura 9 - Semivariogramas simples de atributos químicos do solo (P1, MO1, pH1, K1, Ca1, Mg1, H+Al1, S1 e V1) na profundidade 0-0,20 m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)

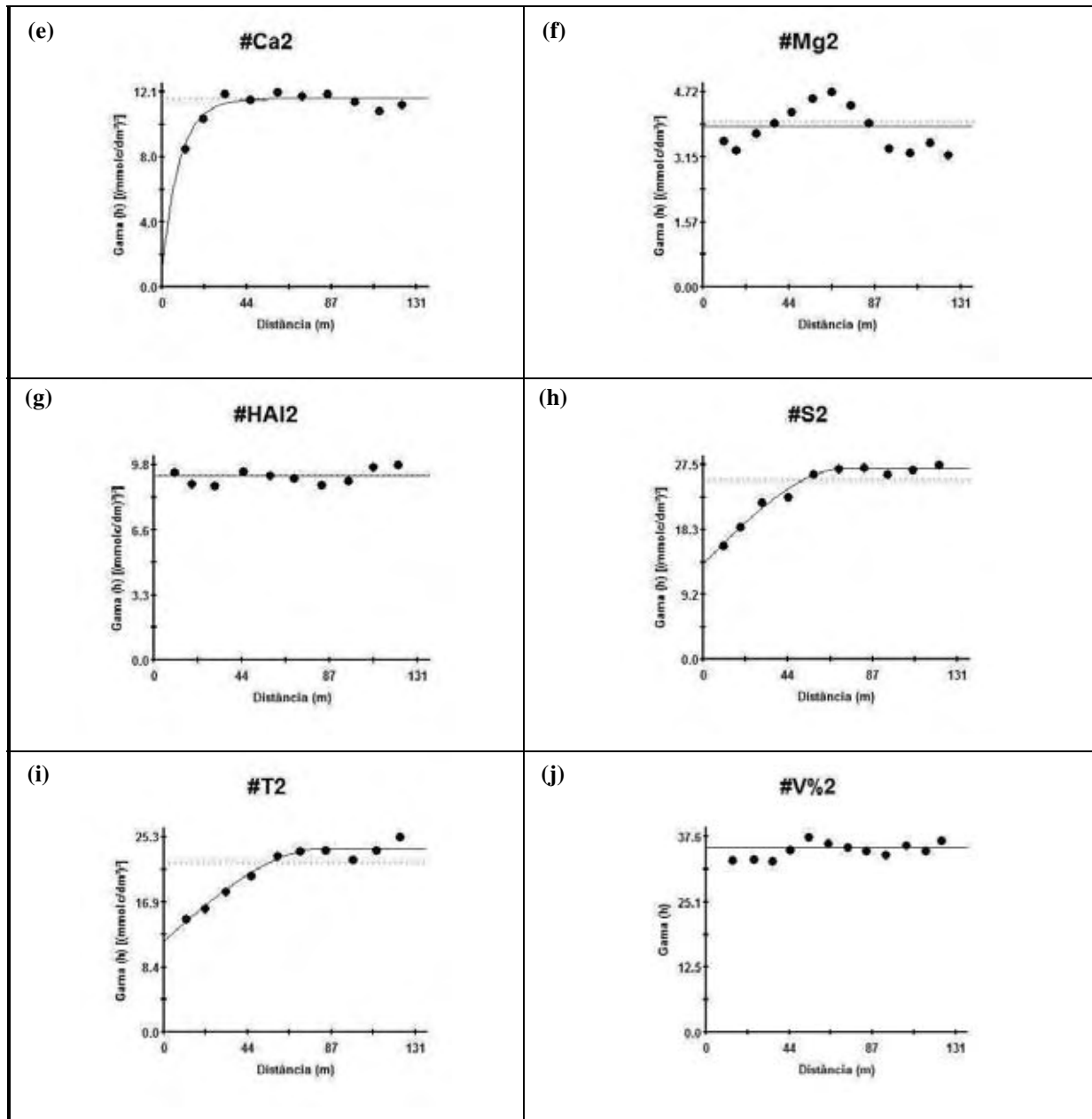




Fonte: Dados da pesquisa

Figura 10 - Semivariogramas simples de atributos químicos do solo (P2, MO2, pH2, K2, Ca2, Mg2, H+Al2, S2 e V2) na profundidade 0,20-0,40 m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)





Fonte: Dados da pesquisa

4.7.1.3 MAPAS DE KRIGAGEM DOS ATRIBUTOS

Nas Figuras 11, 12 e 13 estão demonstrados os mapas de krigagem simples dos atributos da planta e os atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP). Em relação aos mapas de krigagem simples da PRO, PPM, £P1, £MO1 e £K1 (Figuras 11 e 12) houve elevada correlação espacial direta. Analisando de uma forma geral, onde a PRO apresentou valores elevados chegando a atingir $109,3 \text{ t ha}^{-1}$, entre as distâncias 33 e 67 m do eixo y do mapa e na distância x de 0 a 43 metros, no terço central houve regiões onde a PRO chegou a $104,3 \text{ t ha}^{-1}$. Em relação a PPM, no primeiro terço vertical

e algumas regiões da parte nordeste apresentaram valores de número de colmos que chegaram a 13,1, coincidindo com o mapa de PRO nas regiões de elevadas produtividades.

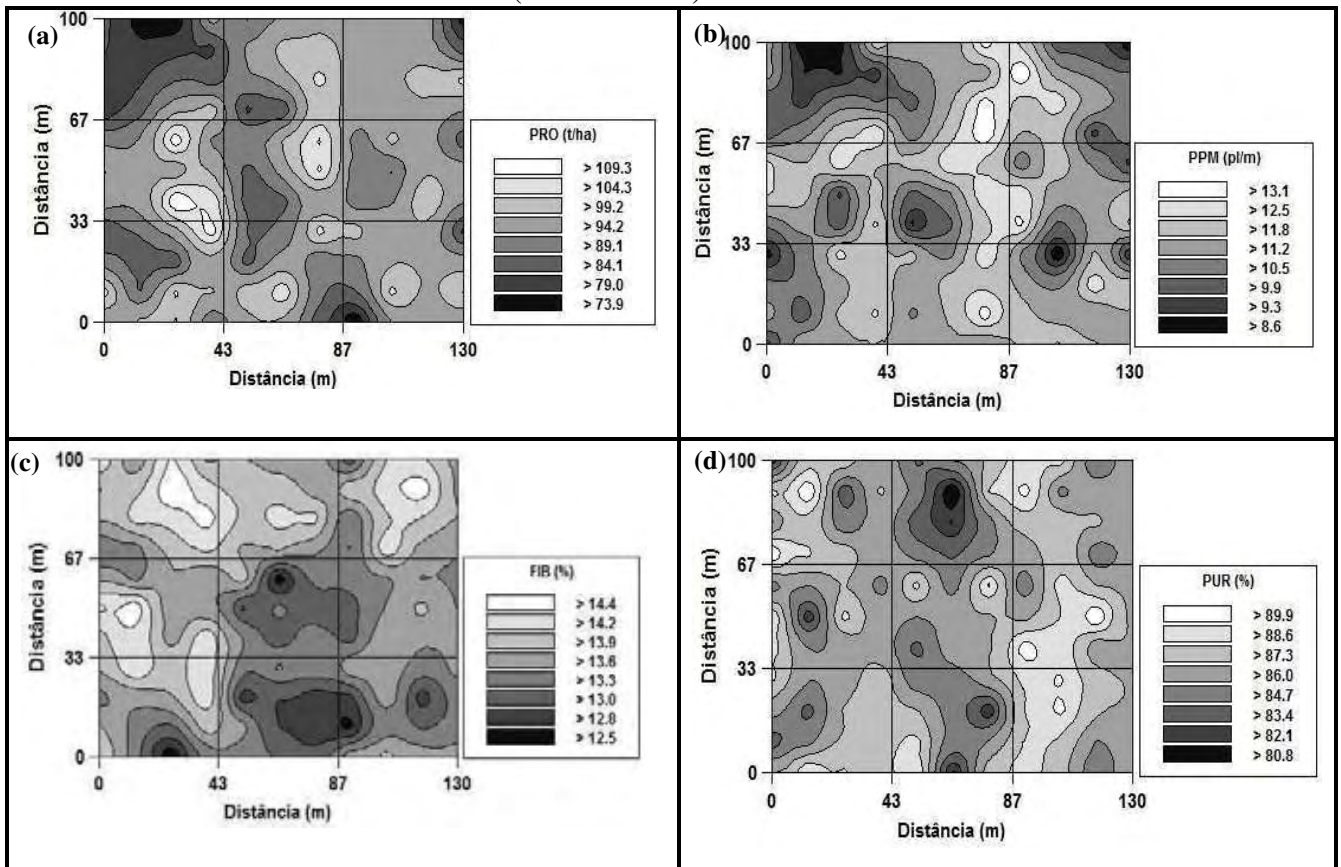
A £MO1, em quase todos os sítios do mapa apresentou predominância dos valores mais altos, variando entre 17,4 a 20,5 g dm⁻³. Já o £K1, os valores máximos variaram entre 4,0 e 5,1 mmol_c dm⁻³, sendo os maiores teores na região nordeste do mapa, o que coincidiu com as áreas de maiores teores de MO, o que é explicado por Rossetto et al. (2008b), pois cerca de 45% do potássio absorvido é armazenado nas folhas e o K não tem função estrutural, estando prontamente disponibilizado pela matéria orgânica. Nas demais regiões dos mapas, principalmente os dois primeiros quadrantes do terço horizontal superior, foram encontrados os menores valores de PRO e PPM, além de valores mais baixos para £MO1 e £K1.

De acordo com o mapa da PRO (figura 11) houve manchas de produtividade com muita disparidade de valores, indicando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, o que também foi evidenciado por Molin et al., (2007) e Braga (2011). Observou-se no mapa da PRO e nos mapas de £Ca1, £Mg1, £S1 e £T1 semelhanças nas áreas que foram registradas os maiores valores de PRO e maiores valores dos atributos descritos.

Analisando os mapas unicamente dos atributos do solo, semelhanças diretas ocorreram nos mapas de krigagem entre os atributos £K1, £Ca1, £Mg1, £S1 e £T1, onde os atributos apresentaram elevados valores nas mesmas regiões. Os valores vão aumentando do terço inicial vertical para o terço final vertical. Como nessas regiões foram constatados os maiores teores das bases do solo £K1, £Ca1 e £Mg1, consequentemente, os valores de £S1 e £T1 foram mais elevados apresentando relação direta com as bases do solo.

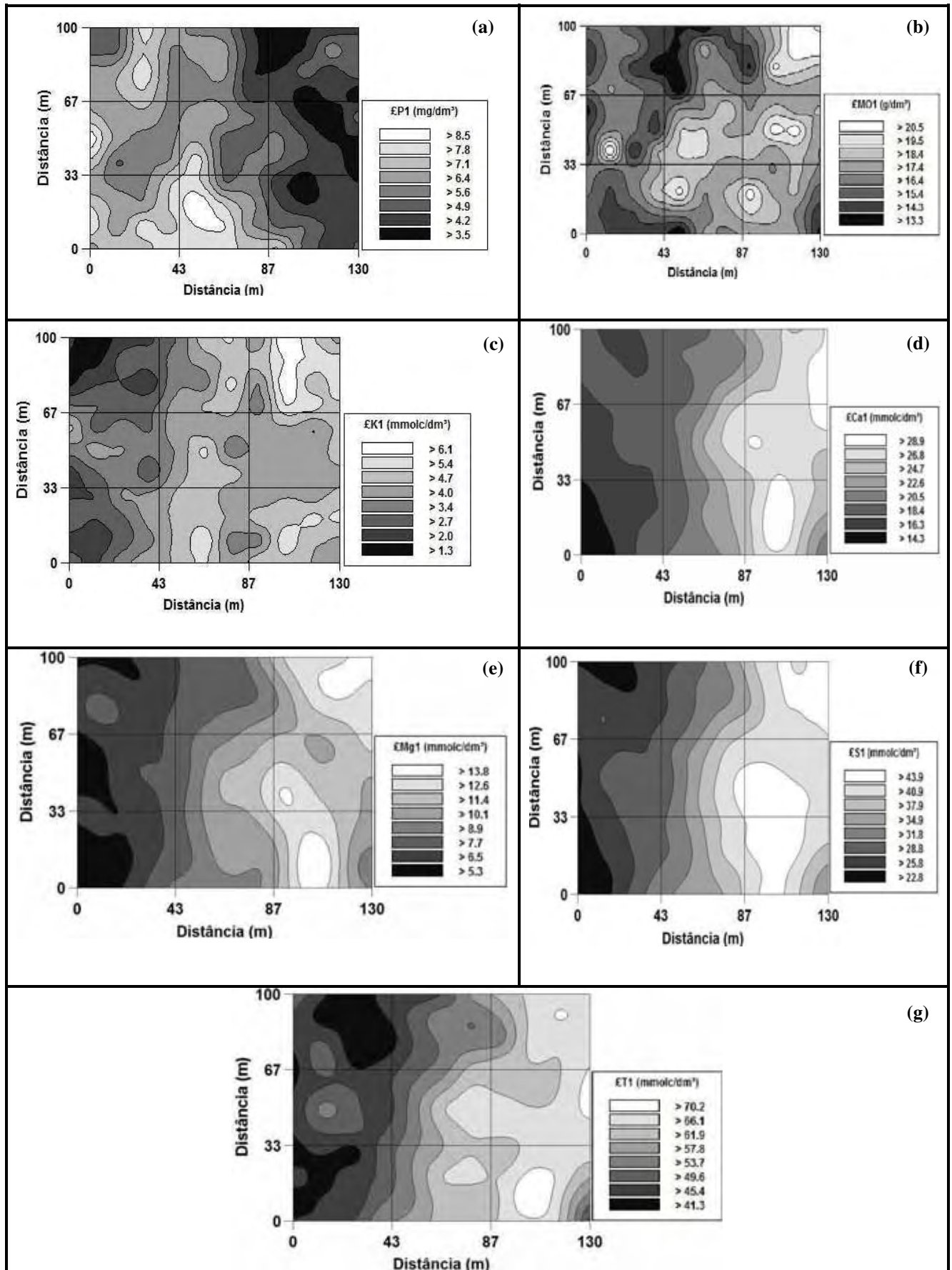
Relação contrária foi verificada para os teores de £P1, sendo observados baixos teores de £P1 nos locais onde se constatou maiores teores de £Ca1, £Mg1 e £K1, e nesta situação o inverso também foi verdadeiro. Estes resultados estão de acordo com os verificados por Campos et al (2008), que avaliaram a necessidade de fertilizantes e calcário para implantação da agricultura de precisão, a partir do comportamento espacial de atributos químicos de um Latossolo após o corte da cana-planta, e verificando baixos teores de fósforo no mesmo local onde foram observados os mais altos teores de potássio. De acordo com Borges (2004) o aumento dos teores de potássio no solo causa a inibição da absorção de fósforo, sendo que, a deficiência de potássio provoca uma elevação nos teores de P.

Figura 11- Mapas de krigagem de atributos da cana soca (PRO, PPM, POL e PUR) em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



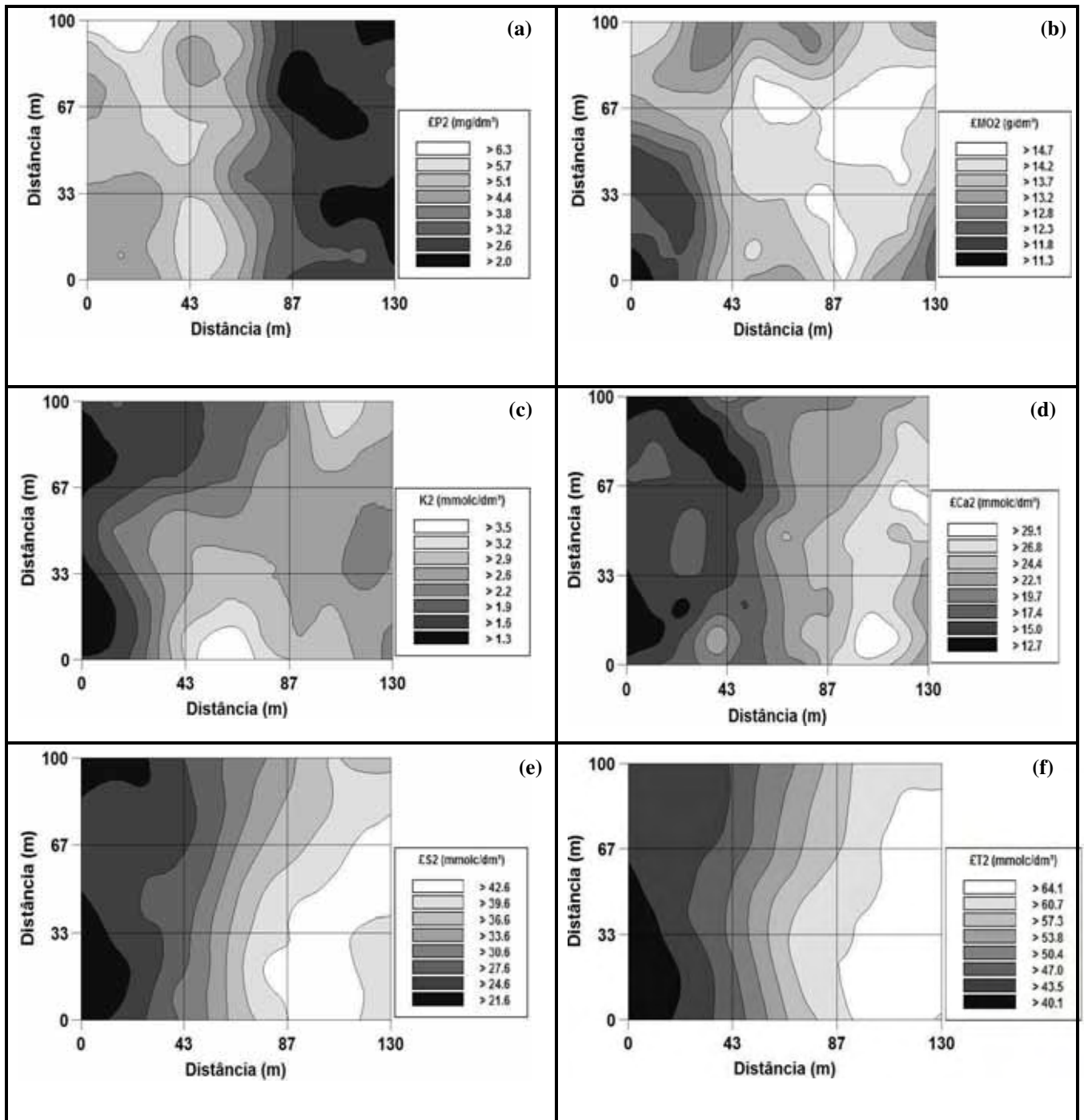
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 12 - Mapas de krigagem de atributos químicos do solo (P1, MO1, K1, Ca1, Mg1, S1 e T1) na profundidade de 0-0,20m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 13 - Mapas de krigagem de atributos químicos do solo (P2, MO2, K2, Ca2, S2 e T2) na profundidade de 0,20-0,40m, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fonte: Dados da pesquisa

4.8 ANÁLISE SEMIVARIOGRÁFICA CRUZADA

4.8.1 AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS CRUZADOS E MAPAS DE COKRIGAGEM DOS ATRIBUTOS

Quando dois atributos apresentaram elevado coeficiente de Pearson e são significativos e ou se estes apresentarem semivariograma, a cokrigagem vai existir. A cokrigagem pode não existir caso os atributos apresentem baixo coeficiente de correlação de Pearson ou não sejam significativos não apresentando semivariograma. Com base nestas informações estão presentes nos Quadros 8 e 9 os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre a produtividade de colmos de cana soca e números de colmos por metro em função dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP). As cokrigagens significativas foram: $PRO=f(PPM)$, $PRO=f(\#K1)$, $PRO=f(\#S1)$ apresentaram dependência espacial.

A relação decrescente dos coeficientes de determinação espacial (r^2) dos semivariogramas cruzados (Quadros 8 e 9) foram o seguinte: 1) [$PRO=f(PPM)$] (0,845), 2) [$PRO=f(\#K1)$] (0,834), 3) [$PRO=f(\#S1)$] (0,313). Quando considerada a relação decrescente das validações cruzadas analisadas a partir da grandeza do coeficiente de correlação (r), temos a seguinte relação decrescente: 1) [$PRO=f(\#K1)$] (0,385), 2) [$PRO=f(PPM)$] (0,381), 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), 3) [$PRO=f(\#S1)$] (0,480), sendo que quanto mais próximo do valor 1,00 melhor é o coeficiente angular.

Nas Figuras 14, 15 e 16 estão presentes os semivariogramas cruzados, as validações cruzadas e os mapas de cokrigagem entre a PRO e PPM e $\#K1$ e $\#S1$. Nas cokrigagens atestadas pelo coeficiente de determinação espacial (r^2) entre PRO e PPM (Quadro 8, Figura 14) mostraram que 84,5% da variabilidade espacial da PRO foram explicados pela variabilidade espacial da PPM. Isto mostra que, nas regiões com os maiores valores da PPM (Figura 11b) observaram-se os maiores valores da PRO (Figura 11a e 14c), sendo o inverso também verdadeiro. A análise espacial da área de pesquisa mostrou que nos sítios onde a cana soca da variedade RB 855035 apresentou uma PPM variando entre 11,8 e 13,1 $pl. m^{-2}$, a PRO estimada foi de 100,7 a 112,1 $t ha^{-1}$, e quando a variação de PPM estiver entre 8,6 e 10,5 $pl. m^{-2}$, a PRO estimada vai ser de 72,2 a 83,6 $t ha^{-1}$. Para esta cokrigagem o modelo de ajuste foi o exponencial, com alcance de 56,4 metros, e um ADE alto (67,0%).

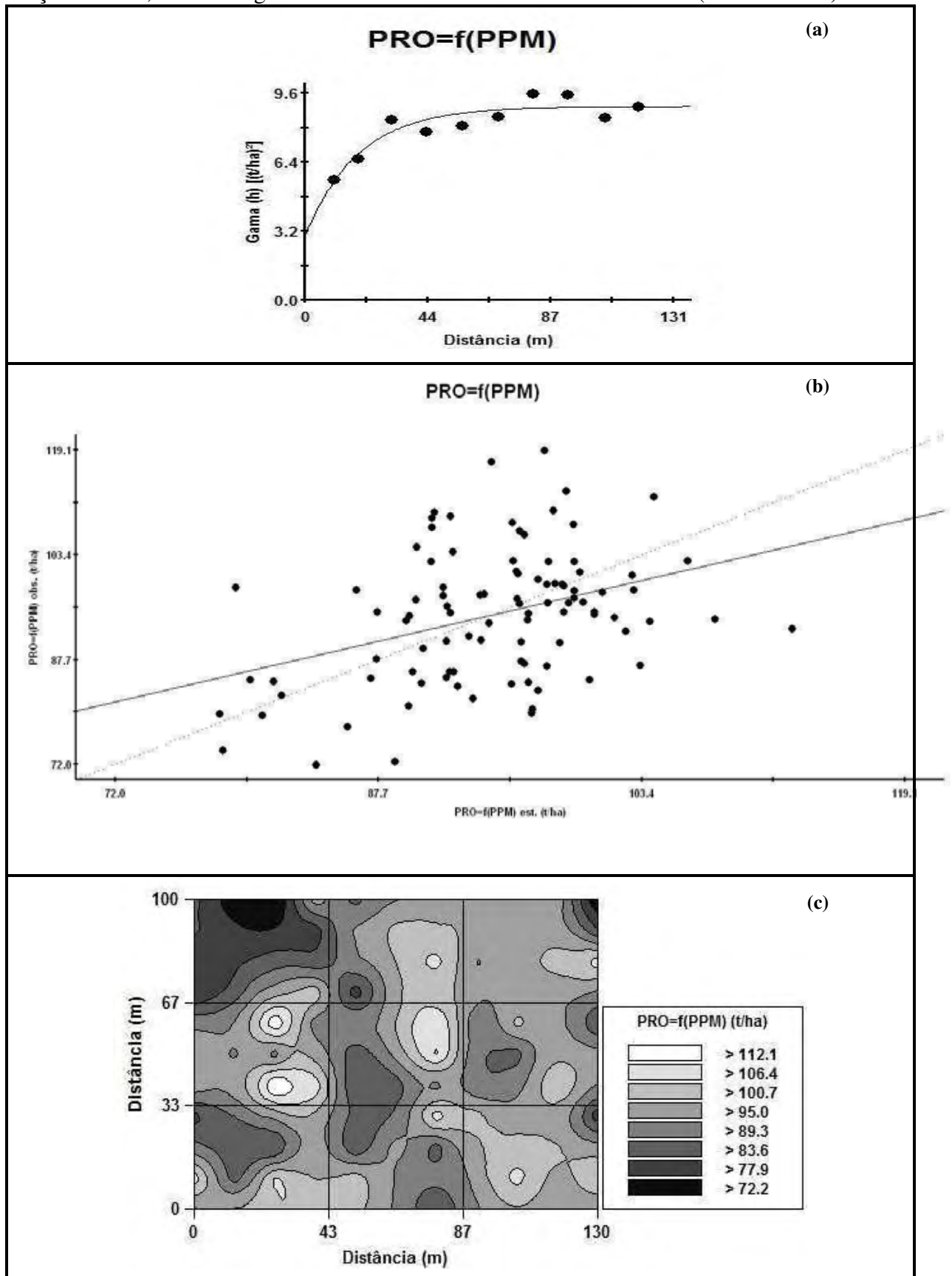
Para os semivariogramas cruzados dos atributos do solo com a PRO, (Figuras 15 e 16), o semivariograma cruzado, a validação cruzada e o mapa de cokrigagem da PRO em função de #K1 (Figura 14) apresentaram ajuste com o modelo gaussiano. Para o semivariograma em questão, com alcance de 100,10 metros e um ADE muito alto de 96,4% (Quadro 9), 83,4% da variabilidade espacial da PRO foi explicado pela variabilidade espacial do £K1. Mostrando que nas regiões onde os maiores teores de £K1 (Figura 12c) também ocorreram os maiores valores da PRO (Figura 11a e 15c), sendo que o inverso também foi constatado. A análise espacial da área de pesquisa mostrou que nos sítios onde o £K1 variou entre 4,7 e 6,1 mmol_c dm⁻³ a PRO estimada foi de 99,6 a 110,5 t ha⁻¹, e quando a variação do £K1 estiver entre 1,3 e 2,7 mmol_c dm⁻³ a PRO estimada estará entre 72,4 a 83,3 t ha⁻¹.

O semivariograma cruzado, a validação cruzadas e o mapa de cokrigagem da PRO em função de #S1 (Figura 16) apresentaram ajuste gaussiano para o semivariograma, com alcance de 40,0 metros e um ADE muito alto de 85,5% (Quadro 9), mostrando que 31,3% da variabilidade espacial da PRO foi explicada pela variabilidade espacial do £S1. Assim, nas regiões com os maiores valores da £S1 (Figura 12e), foram observados as maiores PRO (Figura 11a e 15c). A análise espacial da área de pesquisa mostrou que nos locais onde apresentou o £S1, este variou entre 37,9 e 43,9 mmol_c dm⁻³, a PRO estimada foi de 104,3 a 119,3 t ha⁻¹ e quando a variação do £S1 estiver entre 22,8 e 28,8 mmol_c dm⁻³ a PRO estimada será entre 67,0 a 81,9 t ha⁻¹.

De acordo com a pesquisa, a quantidade de colmos por metro (PPM), os níveis de potássio (#K1) e soma de bases do solo (#S1), se apresentaram como bons indicadores da produtividade de colmos de cana soca (PRO), mas o melhor atributo em função do seu maior valor de r^2 foi o atributo PPM, ($r^2 = 0,845$) e o melhor atributo do solo com correlação espacial com a produtividade foi o #K1 ($r^2 = 0,834$).

Devido às variações das características químicas de um mesmo solo em uma mesma localidade considerando também as variações na produtividade, verificou-se com o presente estudo, infere-se que seria interessante delimitar as glebas de acordo com a fertilidade do solo, a fim de aumentar a produtividade e facilitar o manejo de correções e adubações para aumentar o potencial de cada gleba.

Figura 14 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da PPM, em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 15 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da #K1 um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)

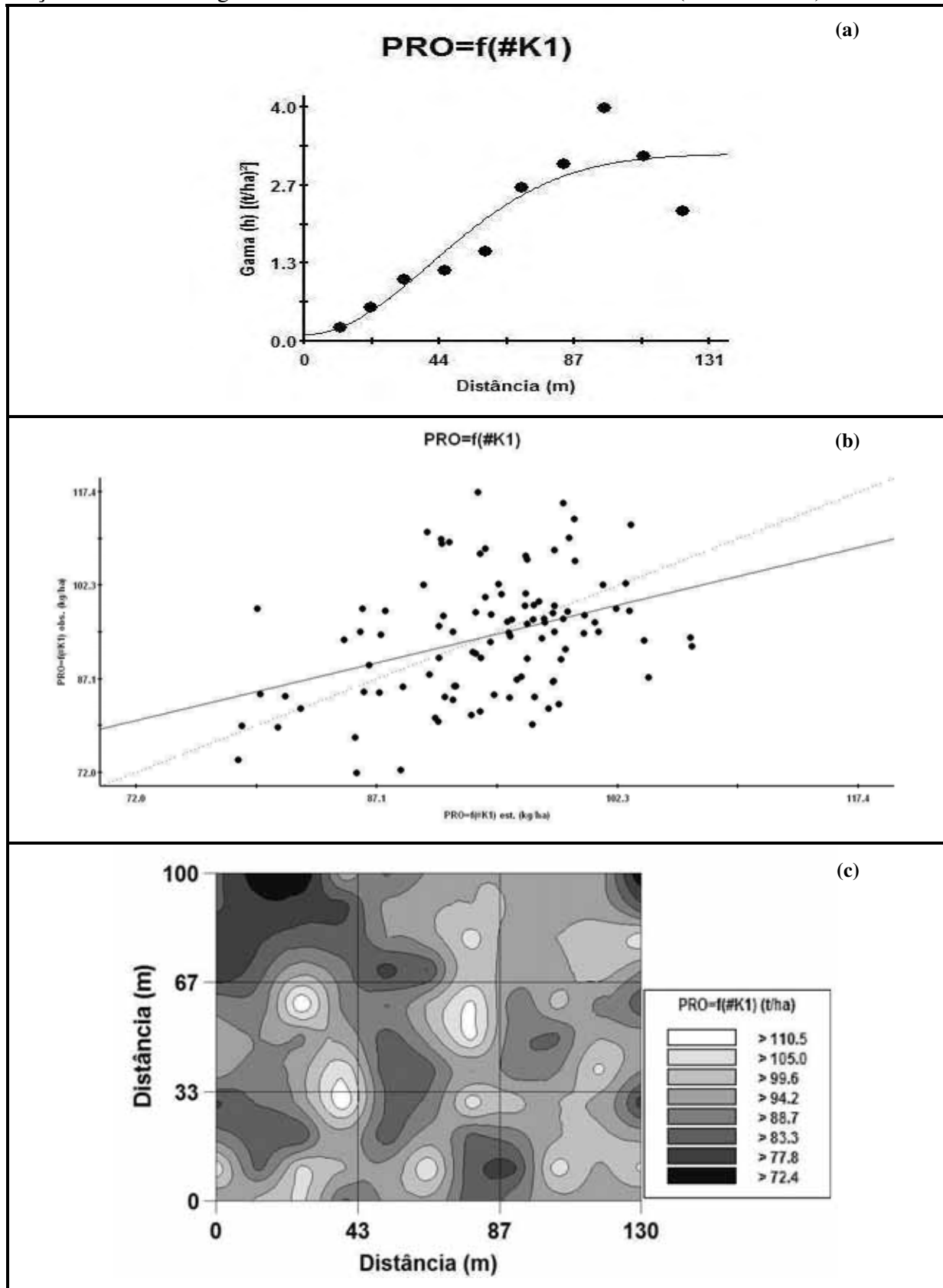
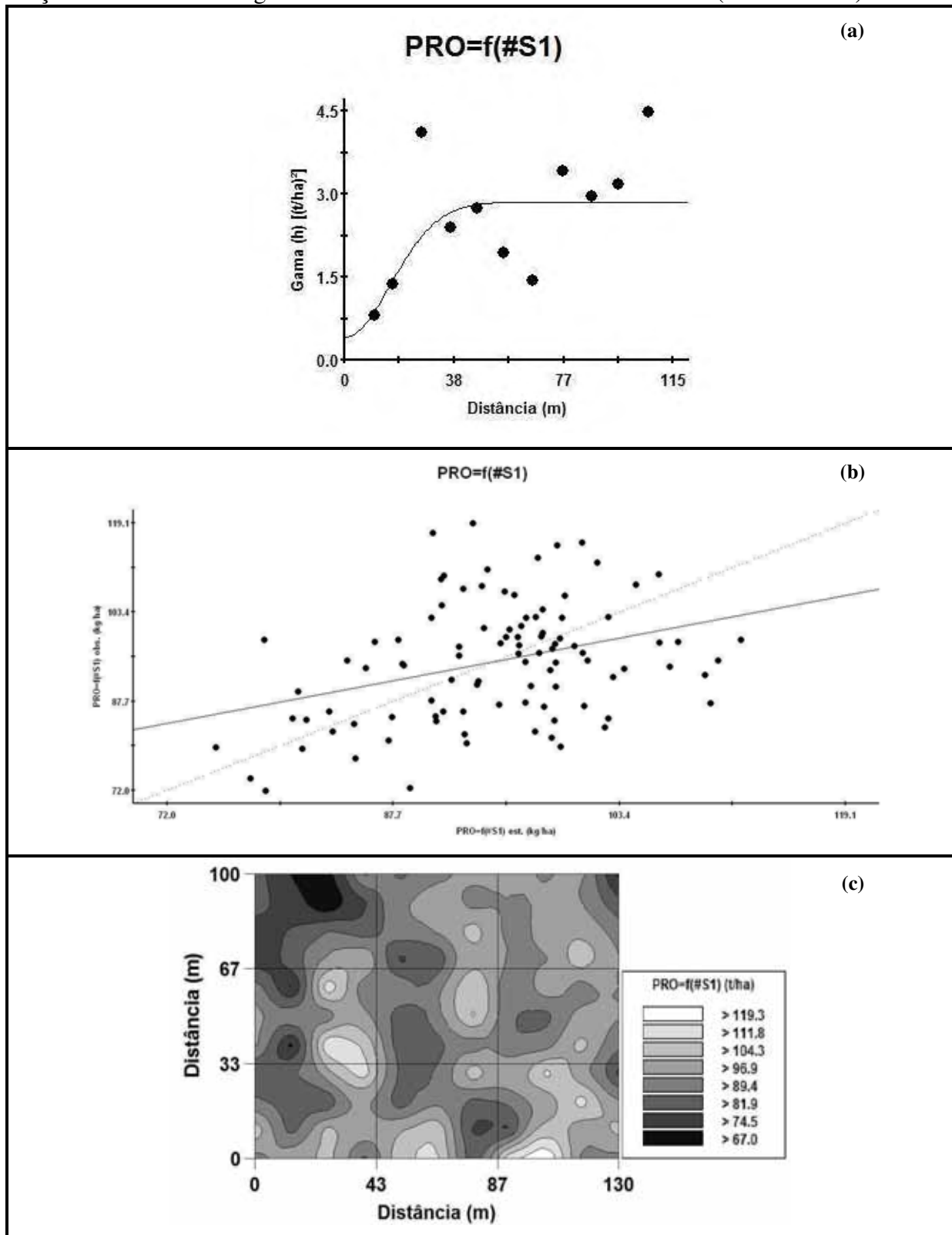


Figura 16 - Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da #S1 em um Argissolo Vermelho Eutrófico da Fazenda Jóia 2 (Rubinéia -SP)



Fonte: Dados da Pesquisa

5 CONCLUSÕES

1- O atributo da planta que interferiu linear e diretamente na produtividade de cana soca bisada variedade RB 85 5035 foi o número de colmos, apresentando também a maior correlação espacial com a produtividade de colmos de cana soca.

2- Na camada superficial (0-0,20 m) o atributo do solo que mais influenciou a produtividade de colmos foi o teor de K, e na camada de 0,20-0,40 m foi o teor de Ca.

3- O atributo do solo de maior correlação espacial com a produtividade de colmos de cana soca foi o potássio na profundidade de 0-0,20. Sendo assim, o teor de potássio pode ser considerado como indicador de qualidade do solo na profundidade de 0,20-0,40 m.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32. n. 5. p. 1441-1448. 2008
- ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30. n. 6, p. 931-936, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n6/a02v30n6.pdf> >. Acesso em: 13 jan. 2011.
- ARMESTO, M. V. **Variabilidade espacial e temporal da erosión en solos de cultivo**. 1999. 118 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências, Universidade de La Coruña, Coruña, 1999.
- BANDINELLI, D. G. **Aspectos relacionados à cultura da cana-de-açúcar**. Júlio de Castilho: IFF, 2010. 19 p.
- BEDREGAL M. A. P. **Análise estatística e geoestatística de dados geoquímicos de superfície aplicada a exploração de hidrocarbonetos**. 2008. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- BITTENCOURT, M. F.; NOKAGHI, R. M.; KORNDORFER, G. H.; VOSS, L. V.; JARUSSI, J. R.; CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S. Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar: usina Equipav. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBSC, 2003. p. 66.
- BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York: Longman, 1984. 414 p.
- BOLFE, E. L.; GOMES, J. B. V. **Geoestatística como subsídio à implantação de agricultura de precisão**. 2005. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=210>>. Acesso em: 17 jun. 2011.
- BORGES, A. L. **Interação entre nutrientes em bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2004. (Banana em Foco, 55). Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto_em_foco/banana_55.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2012.
- BRAGA, J. A. **Inter-relações da produtividade de cana de açúcar com atributos físico-químicos de um argissolo vermelho eutrófico paulista**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.
- BRASIL. Decreto nº 75.966, de 11 de Julho de 1975. Dispõe sobre a produção e a comercialização do álcool anidro carburante e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 dez. 1975. Seção 1, p. 8603.

- BURROUGH, P. A. **Spatial aspects of ecological data**. In: JONGMAN, R. H.; TER BRAAK, C. J. F.; TONGEREN, O. F. R. Data analysis in community and landscape ecology. Wageningen: Pudoc, 1987. p. 213-251.
- 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**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas Geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4. p. 974-980, 2008
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI R.; Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n, 3, p. 297-304, 2009.
- CANAVIEIROS. Carta de solos e ambientes de produção: tecnologia para elevar a produtividade, reduzir custos e reforçar a sustentabilidade. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, 2008. Disponível em: < <http://www.agrofit.com.br/portal/cana/46-cana/178-carta-de-solos-e-ambientes-de-producao-tecnologia-para-elevar-a-produtividade-reduzir-custos-e-reforcar-a-sustentabilidade-?format=pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- CASOTI, R. O. **Adubação nitrogenada e potássica na cultura da cana-de-açúcar e seus efeitos na produção e qualidade nutricional**. 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Faculdade de Medicina e Veterinária, Araçatuba, 2008. Disponível em: < http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bfo/33004021075P8/2008/casoti_ro_me_araca.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.
- CASTRO, P. R. C. **Fisiologia vegetal aplicada à cana-de-açúcar**. Maceió: UFA, 2001. 7 p.
- CAVALCANTE, E. P. Ambientes de produção de cana-de-açúcar de latossolos da região de Araxá-MG. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, n. 2, p. 115 – 124, 2010.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2. p. 394-400, 2007
- CIOTTI, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 33, n. 6. p. 1161 – 1164, 2003.
- CLARK, I. ; HARPER, W. V. **Practical geostatistics**. Ohio: Ecosse North America, 2000. 442 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, maio/2011** - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, DF : Conab, 2011. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_27_11_53_13_boletim_cana_portugues_-_maio_2011_1o_lev..pdf>. Acesso em: 15 jul. 2012.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA DE AÇÚCAR. Açúcar e álcool do Estado de São Paulo - CONSECANA. **Manual de instruções**. 4. ed. Piracicaba, 2003. 115 p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004

COSTA, A. **Morforlogia vegetal: tronco**. Joinville: Instituto de Biologia/UFU, 2007. p. 8-13.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 541-552, 2012.

DAVIS, J. C. **Statistics and analysis in geology**. 2.ed. New York: John Wiley, 1986. 646 p.

DELFINE, P.; DELHOMME, J. P. Optimum interpolation by kriging. In: DAVIS, J. C. ; McCULLAGH, M. J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, 1975. p. 96 – 114.

DEMATTE, J. A. **Levantamento semi-detalhado de solos relacionados aos grupos de manejo em ambientes de produção das terras da Alcoolvale**. [S.l.:S.n.], 2007. (CD-ROOM).

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. (Riego e Drenaje). Roma: FAO, 1979. 212 p. (Boletim, n.33).

DUTRA FILHO, J. A.; MELO, L. J. O. T.; RESENDE, L. V.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J.; BASTOS, G. Q. Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1. p. 185-192. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**/ Umberto Gonçalves dos Santos. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/Solos, 2006. 306 p.

FARIAS, C. H. A.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 45-55. 2007.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, 2000. 193 p.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para a produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2006.

FROTA, J. N. E. Fixação de fósforo em solos aluviais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 3, p. 89-94, 1973.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 09, p. 1097-1104, 2003.

GOMES, G. (Ed.). **Engenho e arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.

GS⁺: geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

GOOGLE EARTH (2008), KML Gallery: Explore the Earth on Google
[consultado em 05/05/2012]

Acessível em: <http://earth.google.com/gallery/index.html>

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

HOFFMANN, H. P. Variedade e manejo varietal da cana-de-açúcar, a obtenção de novos clones. A RIDESA. In: ETHANOL WEEK: SHARING THE BRAZILIAN EXPERIENCE, 1, 2008, São Carlos. **Week...** São Carlos: UFSCar, 2008.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J. C.; MCCULLAGH, M. J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data**. New York, John Wiley, 1975. p. 38-53.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como método de análise de dados demográficos. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13, 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFMG, 2002. 21 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

KORNDORFER, G. H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. **Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana de açúcar em solo LVA**. São Paulo: Copersucar, 1989. p. 32-36, 1989. (Boletim Técnico Copersucar, 47).

LANDELL, M. G. A. **Matriz de ambientes aplicada ao manejo varietal em cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2009.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP/ Lab. Geomatemática, 2002. 19 p. (Texto Didático, 06).

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOLI, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

- LEITE, G. H. P.; CRUSCIOLI C. A. C.; SILVA, M. A.; VENTURINI FILHO, W. G.; SURIANO, A. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 726-732. 2009.
- LEONIDIO, D. M. **Projeto de exploração de cultura**: condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar. Anápolis: UNUCET, 2010. 26 p.
- LIBARDI, P. L.; PREVEDELLO, C. L.; PAULETTO, E. A. ; MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10. p. 85-90, 1986.
- LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M. ; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa,, v. 31, p. 1233-1244, 2007.
- LIMA, E.; BODDEY, R. M.; DOBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugarcane using a ^{15}N - aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 19, p. 165-170, 1987.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3. p. 591-599. 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.
- MATHERON, G. **Traite de geostatistique appliquee**. Technip: Memories du Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, 1962. 2 v.
- MARTIN, J. P.; the anatomy of the sugar cane plant. In: MARTIN, J. P.; ABBOTT, E. V.; HUGHES, C. G. **Sugar-cane diseases of the world**. Amsterdam: Elsevier, 1961. p. 1-52 1961.
- McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 617-39, 1986..
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Pecuária e Abastecimento – MAPA- Tomada de contas, consolidada relatório de gestão exercício – 2006. Brasília – DF. 2006. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/image/RELATORIO_GESTAO/SDA/2006.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- MOLIN, J. P.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; FAULIN, G. di C.; MASCARIN, L. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à número de colmos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2007.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V. E.; MATTIUZ, C. F. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Cadernos Planalsucar, 2006. p.11-18.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 100, p. 6-10, 2002.

NÓBREGA, I. C.C.; PAIVA, J. E.; Tecnologia pós-colheita da cana-de-açúcar. **Apostila de tecnologia de produtos agropecuários**. Recife: UFPE, 2009. 79 p.

OLIVEIRA M. W., FREIRE F. M., MACÊDO G. A. R., FERREIRA J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, C. M. R.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; DOS REIS, E. F.; STURM, G. M.; SOUZA, R. B.; Corretivos da acidez do solo e níveis de umidade no desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 1. p. 25-31. 2010.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 6, n. 1/2, p. 85-89, 2005.

ORLANDO FILHO, O. J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/ USP, 1993. p. 133-146.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; CERQUEIRA LUZ P. H. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34. p. 1137-1145, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 11.ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PRADO, H.; VAN LIER, Q. J.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. **Classes de disponibilidade de água para cana-de-açúcar nos principais solos da região centro-sul do Brasil**, Campinas, 2007.

Disponível em:<http://www.pedologiafacil.com.br/artig_4.php>. Acesso em: 19 fev. 2011.

PRADO, H. **Solos e ambientes de produção: cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 179-204.

PRADO, H. **Ambiente de produção de cana**, Jornalcana, Artigo 52, Fevereiro 2006.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista/ Instituto de Biociências, 1995. p. 19.
Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/6301126/Canadeacucar-Ecofisiologia>>. Acesso em: 14 abr. 2012.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; JARDIM, J. J. Adubação e calagem em cana-de-açúcar. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 22-23, 2005.

ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Manejo e conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana de açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.124. p. 8-13. 2008a

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S.; Potássio IN, DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A.; **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008b, 882 p.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, F. S.; AGUILAR, J. B. V.; OLIVEIRA, M. M. A. **Biologia ser protagonista**. São Paulo: Cultura, 2010a. 448 p.

SANTOS, A. C.; VILELA, L. C.; BARRETO, P. M.; CASTRO, J. G. D.; SILVA, J. E. C. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 77-83, 2010b.

SCARPARI M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F.; Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008. 882 p.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. 415 p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysys 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, p. 109-117, 2008.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 10. p. 2057-2064, 2000.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES P. G.; MANDONI, R. J. 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**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010a.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.

SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2. p. 371-377, 2007.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1. p. 73-81. 2010b.

STAUT, L. A. Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v. 110, n. 660, p. 31-33, 2007.

SUGARCANE CROPS **growth morphology**. Disponível em: <<http://www.sugarcane crops.com>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, O.; FRANCO A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R.; Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283. 2007

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA (2007). **Produção de cana-de-açúcar no Brasil**.

Disponível em: <<http://www.unica.com.br/releases/show.asp?rlsCode=%7B1E81FC2A-57E4-4A9E-B034-213A0CF93956%7D>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – UNICA (2011). São Paulo, 2006/2007/2008/2009. Disponível em: <<http://www.unica@unica.com.br>>. Acesso em: 07 ago. 2011.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE, 2002. 56 p.

VARELA, A. C. G. **Análise do comportamento morfofisiológico da cana-de-açúcar irrigada, variedades SP 791011 e SP 716949, nos tabuleiros costeiros paraibanos**. 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

VARGAS, J. T. D.; DEMATTE, J. L. I. Efeito do calcário aplicado em profundidade no solo e na cultura de cana-de-açúcar. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. v. 2, p. 1114-1116.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. ; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, p. 1-75, 1983.

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

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR, 2, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, p. 93-100, 2004.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947

ZILLO, F. J. **Modo de aplicação e doses de nitrogênio e potássio na produção de cana-de-açúcar**. 1993. 88 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.