

Cadernos do CR Campeiro N.º 5

Análise da variabilidade espacial das características químicas e físicas do solo e da produção, utilizando ferramentas da agricultura de precisão.

**Fátima Cibeles Soares
Márcia Xavier Peiter
Adroaldo Dias Robaina**

**Laboratório de Geomática / UFSM
Santa Maria, RS
2009**

Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática

Endereço:

Campus Universitário - Camobi

Prédio 42, Sala 3335

Fone: 55 – 3220-8788

giotto@smail.ufsm.br

Tiragem: 500 exemplares

Capa e Projeto Gráfico: Elódio Sebem (UFSM)

Editoração Eletrônica: Elódio Sebem (UFSM)

S676a Soares, Fátima Cibele

Análise da variabilidade espacial das características químicas e físicas do solo e da produção, utilizando ferramentas da agricultura de precisão / Fátima Cibele Soares, Márcia Xavier Peiter, Adroaldo Dias Robaina – Santa Maria: UFS/Laboratório de Geomática, 2009.

34 p. : il. (Cadernos do CR Campeiro, n.5)

1. Geomática 2. Agricultura de precisão 3. Irrigação 4. Variabilidade espacial 5. *Software* 6. CR Campeiro I. Peiter, Márcia Xavier II. Robaina, Adroaldo Dias III. Título IV. Série

CDU: 631:004.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

Apresentação

A Série Técnica Cadernos do CR-Campeiro é uma publicação constituída de monografias seriadas, que se propõe a apresentar temas técnicos científicos e de divulgação, metodologias operacionais, experiências práticas-profissionais, referentes ao emprego do Sistema CR-Campeiro em atividades de ensino, pesquisa e extensão acadêmica, bem como, resultantes de aplicações práticas em atividades profissionais por parte da comunidade de usuários do sistema.

Estas monografias terão autoria de Professores, Pesquisadores, Alunos de Graduação e Pós Graduação e de Técnicos das mais diferentes áreas de formação profissional, mas todas relacionadas ao ponto comum que é o uso do Sistema CR-Campeiro.

Neste número trataremos da análise da variabilidade espacial das características químicas e físicas do solo e da produção, utilizando ferramentas da agricultura de precisão, em uma lavoura sob condições de irrigação em um pivô central. Este trabalho é um artigo científico de autoria de uma aluna de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFSM, com a participação de professores desta área.

Corpo Editorial

Prof. Dr. Enio Giotto – Laboratório de Geomática/UFSM

Prof. Dr. José Américo de Mello Filho – PPG em Geomática/UFSM

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira – Departamento de Engenharia Rural

Prof. Dr. Elódio Sebbem – CST em Geoprocessamento

Bel. André Luiz V. Hoeher - Programa de Pós Graduação em Geomática

MS. Luiz Marchiotti Fernandes - Biblioteca Setorial do Centro de Ciências
Rurais

Corpo de Revisores da Série

Prof. Dr. Enio Giotto – UFSM

Prof. Dr. José Américo de Mello Filho – UFSM (Geoprocessamento)

Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina – UFSM (Engenharia de Água e Solo)

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira – UFSM (Sensoriamento Remoto)

Prof. Dr. Julio Farret – UFSM (Geodésia e Topografia)

Prof. Dr. Elódio Sebbem – UFSM (Geoprocessamento)

Prof. Dr. Fernando Schlosser– UFSM (Mecanização – Agricultura de Precisão)

Prof. Dr. Reges Duringon– UFSM (Mecanização – Agricultura de Precisão)

Prof. Dr. Jerson Guedes – UFSM (Entomologia – Agricultura de Precisão)

Prof. Dr. Telmo Amado – UFSM (Solos – Agricultura de Precisão)

Prof. Dr. Luciano Farinha Watslawik – UNICENTRO (Manejo Florestal)

Prof. Dr. Gláucio Roloff – UFPR (Agricultura de Precisão)

Prof. Dra. Claire Delfini Cardoso – ULBRA (Geografia)

Prof. Dr. Antônio L. Santi – UNOCHAPECO (Agricultura de Precisão)

Análise da variabilidade espacial das características químicas e físicas do solo e da produção, utilizando ferramentas da agricultura de precisão.

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Material e Métodos	10
2.1. Área do Trabalho	10
2.2. Metodologia desenvolvida no trabalho.....	10
2.3. Marcação dos pontos de coleta com GPS	11
2.3.1. Geração dos mapas através do sistema CR Campeiro.....	12
3. Resultados encontrados com a pesquisa	17
3.1. Resultados químicos do solo	17
3.1.1. Matéria orgânica.....	17
3.1.2. Fósforo (P).....	18
3.1.3. Potássio (K).....	18
3.1.4. Acidez do solo (pH).....	19
3.1.5. CTC do solo.....	20
3.1.6. Cálcio (Ca).....	21
3.1.7. Magnésio (Mg).....	22
3.1.8. Alumínio (Al).....	22
3.2. Resultados das características físicas no solo.....	23
3.3. Resultados da produção da área	26
4. Conclusões obtidas com a pesquisa	28
5. Referências Bibliográficas	29

Análise da variabilidade espacial das características químicas e físicas do solo e da produção, utilizando ferramentas da agricultura de precisão.

FÁTIMA CIBELE SOARES¹
MÁRCIA XAVIER PEITER²
ADROALDO DIAS ROBAINA³

1. Introdução

A crescente globalização da economia e o aumento constante de competitividade nas atividades agropecuárias vêm obrigando o setor agrícola a buscar um melhor controle de informações dentro das áreas cultivadas, uma maior eficiência na utilização de insumos e, principalmente, dos recursos naturais como a água e o solo. Segundo Johann, (2004) a agricultura brasileira necessita, assim, do desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a competição de seus produtos no mercado mundial, através da ampliação da produtividade, o que é normalmente obtido pelo aumento do uso dos insumos agrícolas, porém, a falta de conhecimentos adequados, tecnologias inadequadas têm contribuído para a perda de competitividade econômica do setor agrícola e para a degradação ambiental.

Os problemas ambientais que podem surgir no setor agrícola envolvem: água, ar, qualidade dos alimentos e a depreciação de recursos naturais. De acordo com Rocha & Lamparelli (1998) as aplicações convencionais de fertilizantes atualmente realizadas pelos agricultores, significam aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras, em função da não uniformidade natural existente nos solos, desta forma, a adequação da utilização de insumos dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura, é essencial para a promoção da sustentabilidade do setor, tanto a nível econômico como ambiental.

Segundo Vieira et al. (1981) a preocupação com a variabilidade espacial de atributos do solo pode ser encontrada já em trabalhos da primeira metade do século XX. A variabilidade espacial tem sido considerada um dos fatores importantes para elevar-se a produtividade e reduzir os custos na

¹ Aluna de mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Santa Maria – fatimacibele@yahoo.com.br

² Prof^ª Adj. do departamento de Engenharia Rural / Centro de Ciências Rurais / Universidade Federal de Santa Maria – mpeiter@smail.ufsm.br

³ Prof^º Tit. do departamento de Engenharia Rural / Centro de Ciências Rurais / Universidade Federal de Santa Maria – robaina@smail.ufsm.br

produção agrícola, sendo que são muitas as circunstâncias em que se torna importante conhecer a variabilidade do solo, seja em estudos da variabilidade espacial das propriedades químicas para indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas (TRAGMAR et al., 1985), seja para aumentar a possibilidade de estimar-se respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994).

Considerando-se que a variabilidade existente, esta deverá ser incorporada aos procedimentos e tecnologias aplicados na agricultura, há alguns anos agricultores estão adotando um novo sistema de produção denominado, no Brasil, Agricultura de Precisão. Seu principal conceito é aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (MANZATTO et al., 1999).

A adoção desta nova tecnologia se justifica porque, atualmente, a grande maioria dos produtores agrícola considera uniforme o solo de cada área de cultivo e cada talhão pode ter consideráveis variações em seus atributos, tais como variabilidade espacial do tipo de solo, da produtividade, da declividade e da necessidade de nutrientes. Assim, a otimização das quantidades aplicadas de corretivos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e água irrigada, pode ajudar a maximizar os lucros e proteger o meio ambiente com a redução do uso indiscriminado e irracional de insumos e, para tanto, há necessidade de se conhecer os diversos fatores que influenciam a produtividade de uma cultura, em que uma das formas é o estudo da variabilidade espacial existente no solo, no intuito de minimizar análises laboratoriais e despesas com coleta de dados a campo (JOHANN, 2004).

Na agricultura brasileira, atualmente, grandes áreas são consideradas homogêneas, nelas a necessidade média de utilização dos insumos promove o uso de doses iguais de fertilizantes, desconsiderando a variabilidade espaço-temporal, podendo sobrecarregar uma gleba que é fértil e não atingir níveis ótimos para uma alta produtividade em outras glebas deficientes. Como consequência, há desbalanço no uso de fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras e tornando alto o custo de produção. Essa condição pode ocasionar menor produção da área e maior impacto ambiental. Se essa variabilidade espacial de atributos químicos puder ser medida e registrada, essas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações em cada ponto, aumentando a produtividade e diminuindo problemas ambientais, (KNOB, 2006).

Segundo Johann, (2004) os parâmetros que influenciam a agricultura são variáveis em relação ao tempo e ao espaço. Dada a gama de fatores e parâmetros envolvidos, a agricultura de precisão requer um monitoramento

contínuo, espacial e temporal, da área estudada, resultando em um grande volume de dados derivados de sensores ou de observações a campo, através de análises laboratoriais. Assim, cada vez mais o manuseio de ferramentas e técnicas como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sensoriamento Remoto (SR) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) serão necessários.

Enquanto em agricultura de precisão os mapas de variabilidade espacial da produtividade são gerados a partir de um conjunto de sensores (ex: de fluxo de massa e de posicionamento espacial), permitindo uma cobertura de toda a área, os dados relativos às variáveis ligadas ao solo são baseados em processos de amostragem, havendo necessidade de se gerar uma superfície contínua, expressa em um mapa, por meio de um processo de interpolação digital, (QUEIROZ et al., 2000).

Sendo que na agricultura de precisão o mapa de fertilidade é de suma importância para o ciclo, pois as propriedades químicas variam altamente em glebas aparentemente homogêneas (BLU & MOLINA, 1999). Segundo Giotto et al. (2004) a maior importância na elaboração destes mapas, bem como mapas de atributos físicos do solo é sua posterior utilização na interpretação dos mapas de produtividade e para confecção de mapas de aplicação variável (fertilidade, semeadura e preparo do solo).

Esta obra teve por finalidade apresentar os resultados de um trabalho de pesquisa, onde empregou-se o Sistema CR-Campeiro 6 para realização de mapas de fertilidade e de produção em área agrícola no município de Jaguari-RS. Sendo que nesta pesquisa objetivou mapear as variações espaciais dos atributos químicos e físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico, antecedente ao cultivo de milho e posterior mapeamento da produção da área.

2. Material e Métodos

2.1. Área do Trabalho

O trabalho foi realizado no ano agrícola 06/07, em área experimental no Centro Tecnológico do Vale do Jaguari (CTVJ), município de Jaguari - RS. A latitude local é de 29°27'36"S, longitude de 54°43'44,11"W e altitude média de 390m. O solo da área é classificado como um Argissolo Vermelho Distrófico, unidade de Mapeamento São Pedro (Podzólico Vermelho-Amarelo), (EMBRAPA, 1999).

2.2. Metodologia desenvolvida no trabalho

Na área em estudo foi implantada a cultura do milho em sistema de plantio direto na palha, através da cobertura de nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*), que foi semeado na área no período de outono/inverno, seguido de dessecação e finalização da área para semeadura da cultura.

O híbrido de milho utilizado foi o BM 1120, semeado em espaçamento de 0,8 m entre linhas e 5 plantas por metro linear, com população aproximada de 62.500 plantas ha⁻¹.

A área experimental localizava-se sob um pivô setorial, perfazendo uma circunferência com 135,9 m de raio irrigado e um ângulo de irrigação de 270° (4,35 ha). Este ângulo setorial irrigado foi subdividido em seis setores de 45° (Setores 1, 2, 3, 4, 5 e 6), (Figura 01). A fim de contemplar cada setor com duas cultivares de híbridos de milho, a semeadura foi realizada em linhas circulares, seguindo o alinhamento dos rodados das torres do pivô.

A irrigação foi realizada uniformemente para toda a área experimental com taxa única. O cálculo do valor desta lâmina foi determinado pela evapotranspiração da cultura determinada pelo tanque classe A.

Foram realizadas as análises físicas e químicas da área em estudo, em pontos aleatórios dentro da área do pivô. As amostras coletadas para as determinações químicas foram encaminhadas para o Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria para análise.

Foram determinadas as seguintes características químicas: matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), acidez do solo (pH), capacidade de troca catiônica (CTC), cálcio (Ca), magnésio (MG) e alumínio (Al).

As amostras destinadas à característica física do solo foram coletadas nas profundidades de 0-30 e 30-60cm e analisadas no laboratório de física dos solos da URI-Campus Santiago, onde a caracterização textural do solo foi realizada de acordo com metodologia proposta por Vettori (1969) e a

densidade do solo foi determinada de acordo com método apresentado por Cauduro & Dorfman (1992) – método do anel volumétrico.

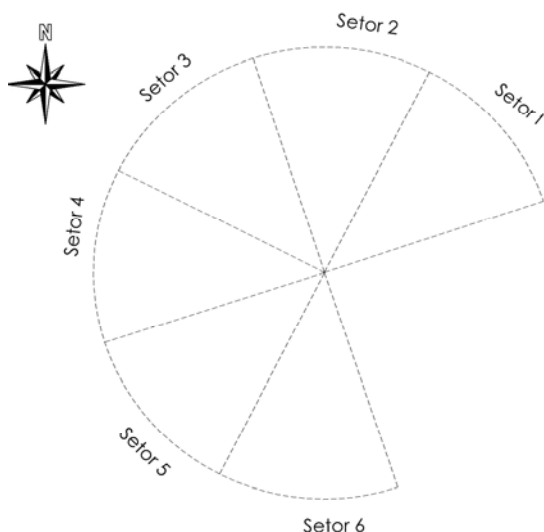


Figura 01. Divisão da área do pivô em seis setores. Jaguarí, RS, 2007.

Na área útil de cada setor, foram avaliados os componentes da produção: número de vagens por planta, número médio de sementes por vagem, massa de 100 sementes e produção de sementes, para estimativa da produtividade que foi corrigida para 13% de umidade, como segue a expressão.

$$\text{Produção} = 10 \cdot \frac{n^{\circ} \text{ plantas}}{m^2} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ espigas}}{\text{planta}} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ grãos}}{\text{espiga}} \cdot \text{massa sec a do grão (g)} \cdot 1,13 \quad [1]$$

Os resultados foram submetidos à análise estatística, pelo programa SASM-Agri (Sistema para Análise e Separação de Médias em experimentos agrícolas). Foi realizada a análise da variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

2.3. Marcação dos pontos de coleta com GPS

Em cada coleta realizada, tanto para as caracterizações físicas e químicas como para a estimativa da produção, os pontos foram georreferenciados através de um receptor de sinais GPS, Garmin 12 XL, a fim de que os resultados de cada uma das análises fossem associados à

localização dentro de cada setor correspondente em todo o experimento.

Os arquivos com os pontos da área georreferenciada foram visualizados através do sistema CR Campeiro 6 desenvolvido pelo Laboratório de Geomática do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. Através deste software foi possível gerar mapas para visualizar os dados da caracterização física e química da área.

Ainda, o sistema CR Campeiro 6 foi utilizado para visualizar os dados de produtividade, permitindo a identificação das áreas de maior e menor produtividade.

Com essa ferramenta foi possível comparar os dados de produtividade da cultura pelo método de amostragem de plantas, com os valores das propriedades físicas e químicas do solo da área.

2.3.1. Geração dos mapas através do sistema CR Campeiro

A seguir será descrito o procedimento utilizado neste trabalho para a geração e visualização do modelo digital dos parâmetros analisados. Este procedimento de geração de mapas é descrito com maiores detalhes no Manual de Agricultura de Precisão do sistema CR Campeiro, (GIOTTO et al., 2004).

Os mapas das características químicas, físicas e da produção da área experimental foram gerados a partir de pontos marcados manualmente. Os passos que foram seguidos para geração dos mapas serão apresentados a seguir:

1º passo: Digitar as coordenadas de cada ponto (latitude, longitude e a variável observada), que foram obtidas com o auxílio de um GPS, em um arquivo no formato .xls, (Figura 02).

2º passo: Converter o arquivo .xls para o formato .txt, substituindo vírgula por ponto, e realizar a separação entre as coordenadas (x, y e z) com o uso de vírgula (,), como pode ser observada na Figura 03.

3º passo: abrir o sistema CR Campeiro e converter o arquivo .txt em .csv, da seguinte maneira:

> versão 2006 => arquivo => conversão de dados => arquivo csv/txt.

Um procedimento detalhado da importação e conversão de arquivo .csv, e todas as operações que deverão ser realizadas, são encontradas em Giotto, (2008).

	A	B	C	D	E	F	G
1	X	Y	Z				
2	7202207.34	67382024.81	165.07				
3	7202377.97	67381772.30	165.07				
4	7202388.75	67381662.23	165.07				
5	7202215.94	67381800.84	165.07				
6	7201785.94	67382013.98	165.07				
7	7201810.16	67381720.27	127.17				
8	7201930.63	67381556.38	127.17				
9	7202040.00	67381359.62	127.17				
10	7201820.78	67381453.22	127.17				
11	7201583.28	67381717.91	127.17				
12	7201364.22	67381985.12	167.36				
13	7201544.06	67381940.53	167.36				
14	7201541.72	67381920.78	167.36				
15	7201376.25	67381899.38	167.36				
16	7201352.19	67381911.09	167.36				
17	7201388.28	67382096.65	97.45				
18	7201411.88	67382110.31	97.45				
19	7201542.66	67382195.60	97.45				
20	7201617.19	67382197.58	97.45				
21	7201461.88	67382249.69	97.45				
22	7201022.97	67381982.11	185.88				
23	7200912.50	67381866.60	185.88				
24	7200954.22	67381810.20	185.88				
25	7200720.94	67381686.30	185.88				
26	7200616.25	67381673.84	185.88				
27	7200569.06	67381710.08	160.96				
28	7200465.00	67381727.91	160.96				
29	7200452.19	67381763.66	160.96				

Figura 02. Estruturação dos dados na planilha do Excel.

X	Y	Z
7202207.34,67382024.81,165.07		
7202377.97,67381772.30,165.07		
7202388.75,67381662.23,165.07		
7202215.94,67381800.84,165.07		
7201785.94,67382013.98,165.07		
7201810.16,67381720.27,127.17		
7201930.63,67381556.38,127.17		
7202040.00,67381359.62,127.17		
7201820.78,67381453.22,127.17		
7201583.28,67381717.91,127.17		
7201364.22,67381985.12,167.36		
7201544.06,67381940.53,167.36		
7201541.72,67381920.78,167.36		
7201376.25,67381899.38,167.36		
7201352.19,67381911.09,167.36		
7201388.28,67382096.65,97.45		
7201411.88,67382110.31,97.45		
7201542.66,67382195.60,97.45		
7201617.19,67382197.58,97.45		
7201461.88,67382249.69,97.45		
7201022.97,67381982.11,185.88		
7200912.50,67381866.60,185.88		
7200954.22,67381810.20,185.88		
7200720.94,67381686.30,185.88		
7200616.25,67381673.84,185.88		
7200569.06,67381710.08,160.96		
7200465.00,67381727.91,160.96		
7200452.19,67381763.66,160.96		
7200312.50,67381870.02,160.96		
7200279.06,67381688.22,160.96		
7200127.03,67381540.34,151.46		
7200194.84,67381356.47,151.46		
7200174.22,67381157.51,151.46		
7200229.84,67381054.28,151.46		
7200331.88,67380987.88,151.46		
7200430.78,67381075.74,178.69		
7200537.50,67381098.38,178.69		
7200532.19,67380963.71,178.69		
7200589.38,67380978.31,178.69		
7200618.44,67380952.27,178.69		
7200445.63,67380456.91,252.69		
7200425.63,67380445.86,252.69		
7200385.16,67380230.47,252.69		
7200593.91,67380060.96,252.69		

Figura 03. Transformação dos dados de .xls para .txt.

Na Figura 04 é apresentado um modelo da tela da função de conversão do arquivo .txt em .vet, que deverá surgir.

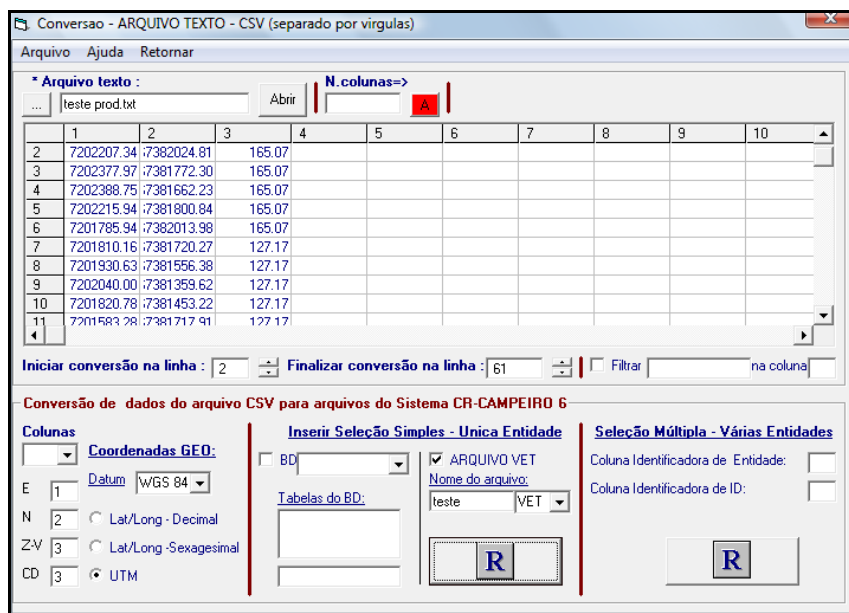


Figura 04. Importar .txt e converter .vet.

Deve-se realizar primeiramente, até este 3º passo, a estruturação dos dados com as coordenadas do perímetro da área, pois somente a partir da realização deste será possível gerar os modelos digitais das variáveis analisadas.

4º passo: consiste na estruturação do modelo digital, a partir da seleção da seguinte função no menu principal:

> sistemas especiais => análises de solos-agricultura de precisão, a partir deste, selecionar no menu principal :

> agricultura de precisão => modelos digitais => estruturação – arquivos VET/VPP.

Após a realização deste passo irá surgir uma tela como pode ser observado na Figura 05, para gerar a partir do arquivo .vet um modelo MDT, que será usado para a visualização do modelo digital.

No lado esquerdo da tela clicar no arquivo que contém as coordenadas do perímetro da área, enquanto que no lado direito da tela, selecione VET e escolha o arquivo que contenha as coordenadas da variável em que se deseja gerar o modelo digital.

5º passo: visualização do modelo digital, clicar no menu principal do

sistema de agricultura de precisão, seguindo os seguintes passos:

> modelos digitais => visualização dos modelos digitais.

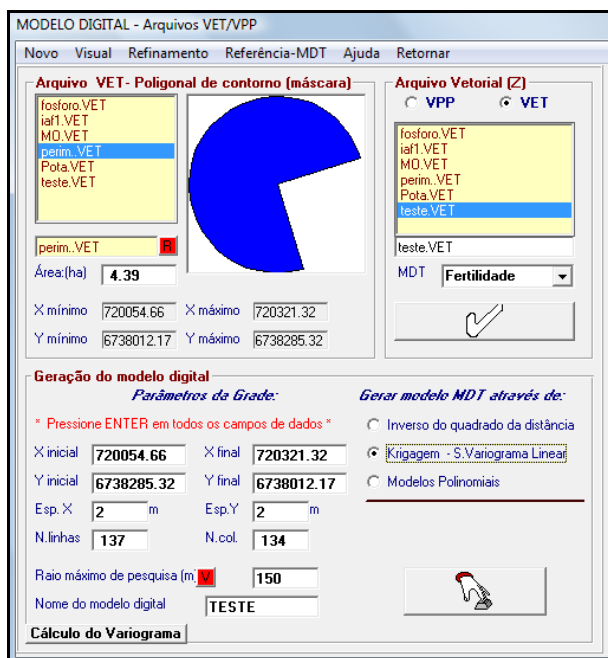


Figura 05. Estruturação do modelo digital.

Também pode ser encontrado em Sulzbach (2001) e Antunes (2006) um melhor detalhamento da metodologia de como estruturar um modelo digital com o sistema CR Campeiro.

Na Figura 06 é apresentado o mapa de classes de produção da área, gerados a partir do modelo digital I.

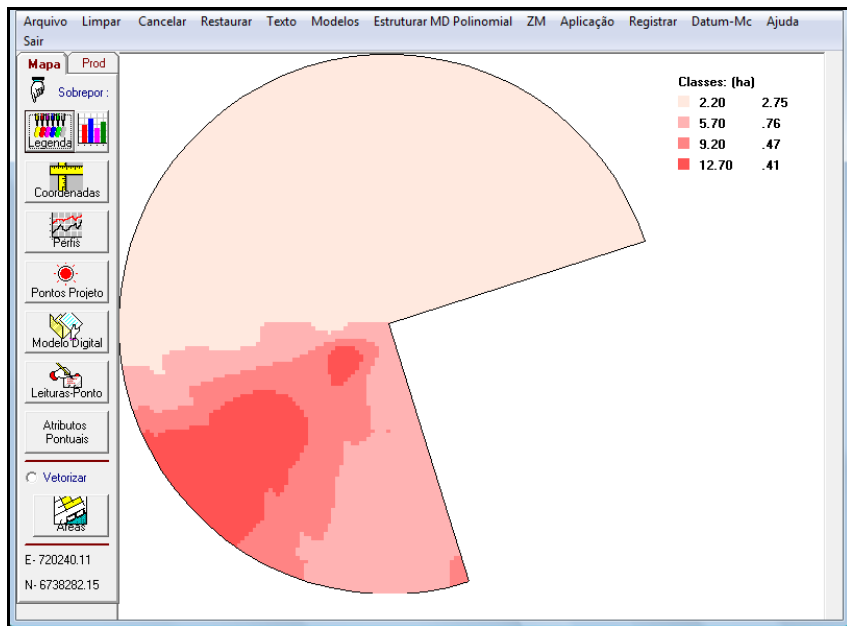


Figura 06. Visualização do modelo digital I. Áreas de cada classe.

3. Resultados encontrados com a pesquisa

Os resultados foram expressos na forma de mapas no modelo digital I, com preenchimento em cores visando facilitar a interpretação da distribuição espacial dos parâmetros estudados. Assim, optou-se pela cor vermelha para os maiores valores com redução na tonalidade para os menores valores.

3.1. Resultados químicos do solo

As Figuras 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13 e 14 expressam os resultados obtidos para as características químicas do solo. Todos os resultados da análise química do solo foram interpretados de acordo como a Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS, (2004).

3.1.1. Matéria orgânica

O nitrogênio é indicado pelo parâmetro matéria orgânica sendo esta considerada baixa em todos os setores, com valores menores que 2,5, a Figura 07 apresenta o mapa com a variabilidade espacial da matéria orgânica.

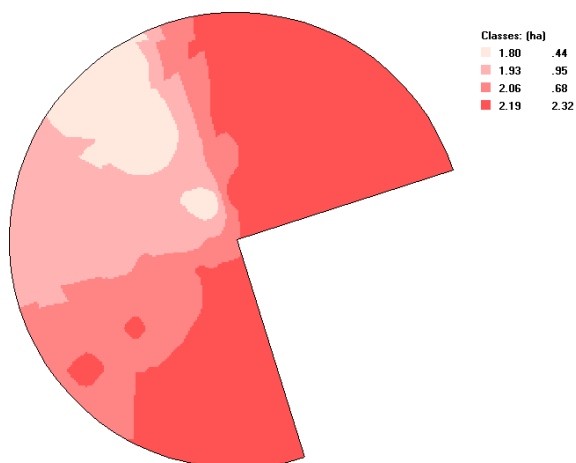


Figura 07. Mapa de variabilidade para Matéria Orgânica (MO). Jaguari - RS, 2007.

De acordo com Gonçalves JR (2008) dentre os elementos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, destaca-se a

função que o nitrogênio (N) desempenha nas plantas de milho, como constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas. Como a formação dos grãos depende de proteínas na planta, a produção do milho está diretamente relacionada com o suprimento de N (YAMADA, 1997). Portanto a adubação nitrogenada influencia não só a produtividade, mas também a qualidade do produto em consequência do teor de proteína nos grãos de milho (FERREIRA et al., 2001).

3.1.2. Fósforo (P)

Os teores de fósforo é muito baixo para os setores S1, S2, S3 e S4 (valores menores que 4), enquanto que para os setores S5 e S6 o fósforo é classificado como alto (valores entre 12,1 e 24,0), a Figura 08 apresenta a variabilidade do fósforo na área.

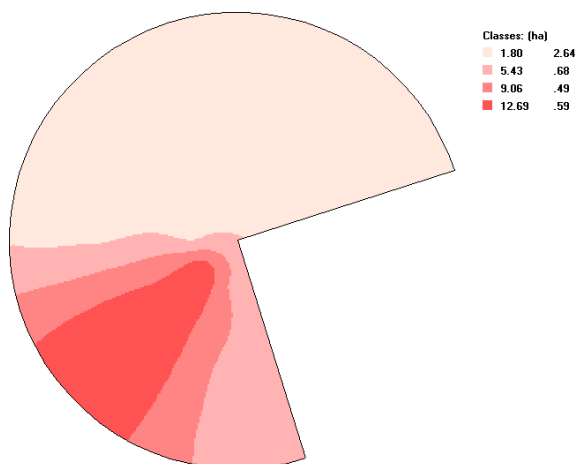


Figura 08. Mapa de variabilidade para o fósforo (P). Jaguarí - RS, 2007.

A deficiência do fósforo (P) limita a produtividade do milho, por ser uma cultura mais exigente em P por ocasião da formação e desenvolvimento dos grãos. A deficiência deste elemento ocasiona a formação de espigas malformadas, tortas e com falhas, além de causar atraso e desuniformidade na maturação (LUCENA et al., 2000).

3.1.3. Potássio (K)

O teor de potássio no S2 é considerado muito baixo (valores menores

ou iguais a 20), médio nos setores S1, S3 e S4 (valores entre 41 e 60) e alto nos setores S5 e S6 (valores entre 61 e 120), esta variabilidade pode ser observada na Figura 09.

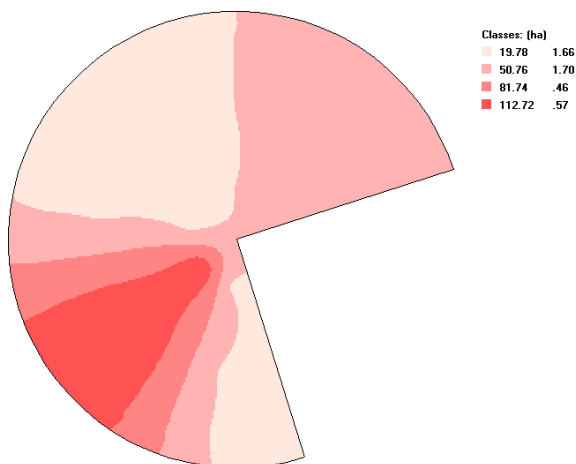


Figura 09. Mapa de variabilidade para o potássio (K). Jaguarí - RS, 2007.

O potássio (K) na planta de milho tem alta mobilidade tanto entre células individuais como entre tecidos e também alta mobilidade no transporte a longa distância via xilema e floema. É o cátion mais abundante no citoplasma, também ocorrendo em alta concentração no cloroplasto, sendo necessário para neutralizar ânions orgânicos e inorgânicos e para estabilizar o pH da planta entre 7,0 e 8,0 que é a faixa ótima para a maioria das reações enzimáticas (MALAVOLTA et al., 1997).

3.1.4. Acidez do solo (pH)

Observa-se através da Figura 10 que ocorreu variabilidade espacial quanto ao teor de acidez do solo presente na área. Apresentando pH nos setores S1, S2, S3 e S4 são muito baixos (valores menores que 5,0), no setor S5 o pH é baixo (valores de 5,1 – 5,4), o setor S6 tem pH médio (valores de 5,1-5,4).

Segundo Veloso, (2001) para o sucesso do cultivo do milho, a correção da acidez do milho é fundamental, pelos efeitos que causa na neutralização de elementos tóxicos, como alumínio e o manganês, na elevação do pH do solo, no aumento da disponibilidade de nutrientes e na melhoria de ambiente radicular.

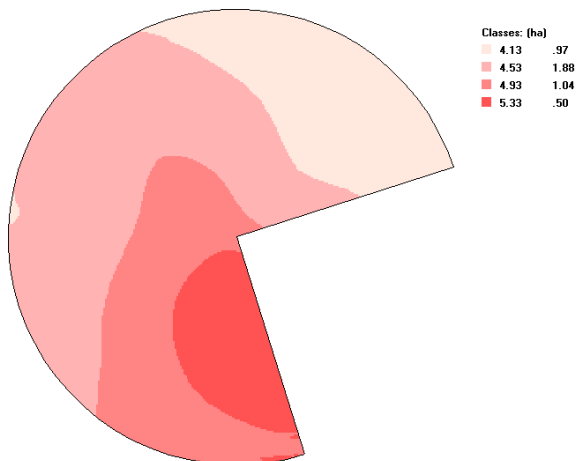


Figura 10. Mapa de variabilidade para a acidez do solo (pH). Jaguari - RS, 2007.

3.1.5. CTC do solo

Na Figura 11 observa-se que valores superiores a 5,0 cmolc.dm^{-3} , podem ser encontrados na maior parte da área, sendo considerado por Rajj et al. (1997) como valores alto.

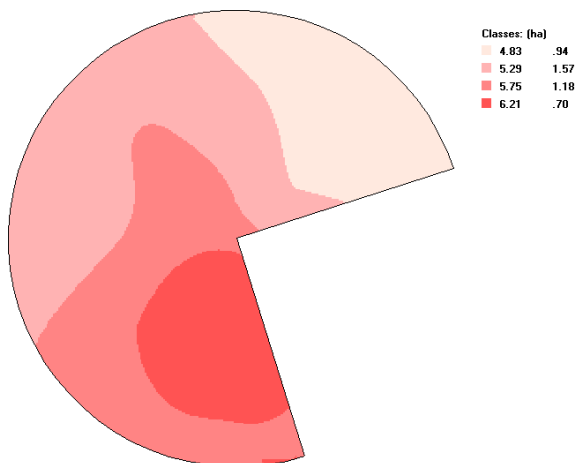


Figura 11. Mapa de variabilidade para a Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Jaguari - RS, 2007.

A CTC é classificada como média (valores entre 5,1 e 15,0) para todos os setores, com teores de argila na classe 3 (valores entre 21 e 40).

A variabilidade da CTC do solo apresenta em algumas regiões da área amostrada relação com a variabilidade da matéria orgânica (MO).

3.1.6. Cálcio (Ca)

O mapa de variabilidade para cálcio (Figura 12) mostrou que este apresenta teores variáveis para a área de estudo. Com teores de cálcio nos setores S1 e S2 são interpretados como baixos (valores menores ou iguais a 20), nos setores S3, S4 e S5 os teores de cálcio são classificados como médio (valores entre 2,1 e 4,0), enquanto que no setor S6 o teor de cálcio é alto (valores maiores que 4,0).

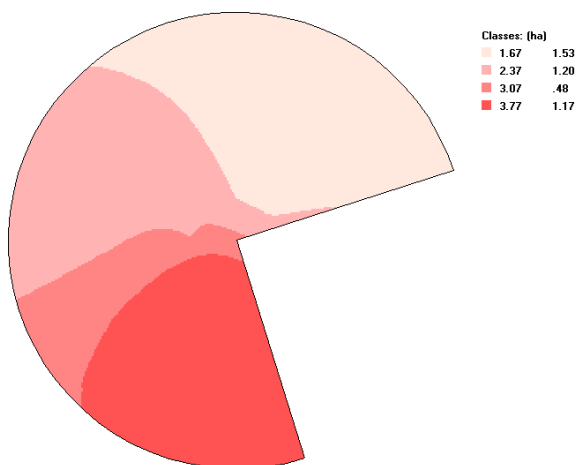


Figura 12. Mapa de variabilidade para Cálcio (Ca). Jaguari - RS, 2007.

O cálcio, em geral, é o elemento que apresenta a terceira maior taxa de absorção pelo milho, entretanto, em razão da sua baixa mobilidade na planta, não ocupa a mesma posição relativa quanto à exportação. No sistema, o cálcio é pouco móvel, notadamente por lixiviação, contribuindo significativamente para aumento do pH e redução da taxa de alumínio no solo, fatores expressos pela relação entre a soma de bases e a capacidade de troca catiônica potencial do solo, denominada saturação por bases (V%), os quais interferem diretamente na nutrição das plantas (DORAN & PARKIN, 1996; RAIJ et al., 1996; BURROUGH, 1999).

3.1.7. Magnésio (Mg)

Observa-se na Figura 13 a variabilidade espacial que o magnésio apresentou na área, em geral, o magnésio é o quarto elemento mais absorvido pelas plantas de milho, sendo, entretanto, sua exportação inferior à do fósforo. Segundo Rajj et al., (1996) e Burrough, (1999) a importância do magnésio é semelhante à do cálcio para a nutrição das plantas, sendo a relação cálcio e magnésio ideal entre três e cinco, com reflexos, principalmente, sobre a absorção de potássio.

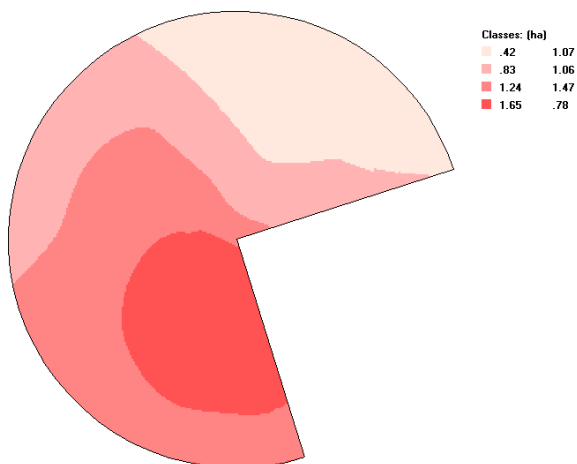


Figura 13. Mapa de variabilidade para Magnésio (Mg). Jaguari - RS, 2007.

3.1.8. Alumínio (Al)

Através da Figura 14 observou-se que ocorreu variabilidade do teor de alumínio, sendo que elevados teores de alumínio causa toxicidade as plantas de milho, sendo que os sintomas se manifestam nas folhas e raízes. Nas folhas, assemelham-se à deficiência de fósforo ou cálcio e, nas raízes, ocorrem crescimento reduzido, engrossamento, poucas ramificações e ineficiência na absorção de nutrientes e água (FOY et al., 1978).

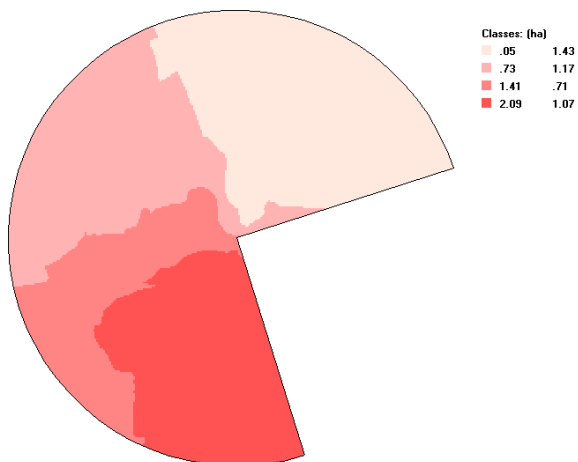


Figura 14. Mapa de variabilidade para Alumínio (Al). Jaguari - RS, 2007.

3.2. Resultados das características físicas no solo

As Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 mostram o comportamento espacial da granulometria do solo em estudo, nas profundidades de 0-30 e 30-60 cm, visualizado através do sistema CR CAMPEIRO 6.

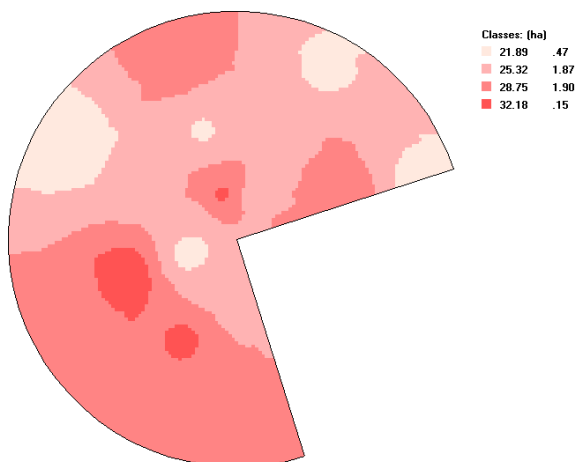


Figura 15. Mapa da variabilidade do teor de argila na profundidade 0-30 cm. Jaguari - RS, 2007.

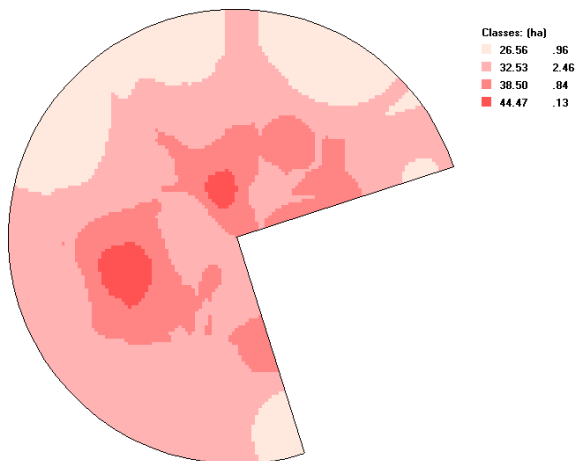


Figura 16. Mapa da variabilidade do teor de argila na profundidade 30-60 cm.
Jaguari - RS, 2007.

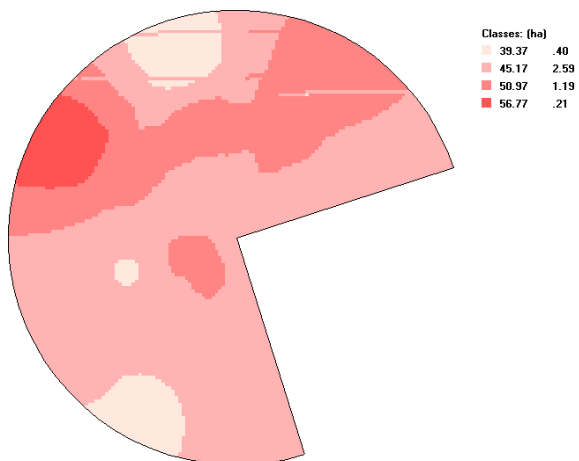


Figura 17. Mapa da variabilidade do teor de areia na profundidade 0-30 cm.
Jaguari - RS, 2007.

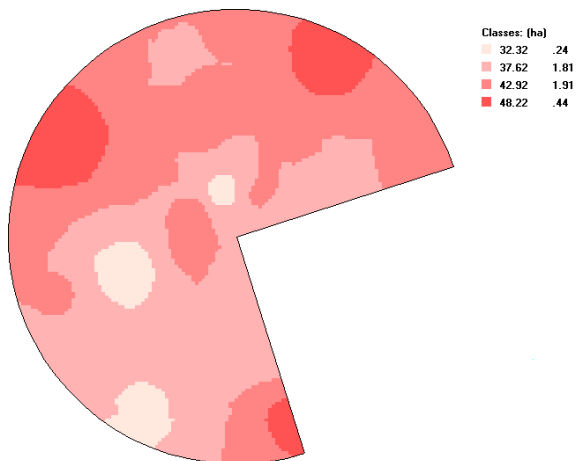


Figura 18. Mapa da variabilidade do teor de areia na profundidade 30-60 cm. Jaguari - RS, 2007.

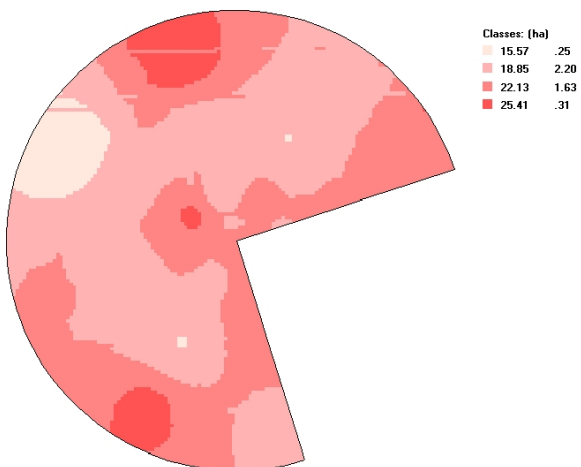


Figura 19. Mapa da variabilidade do teor de silte na profundidade 0-30 cm. Jaguari - RS, 2007.

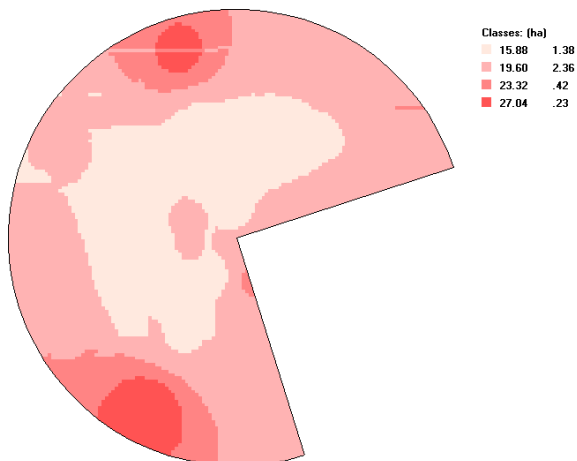


Figura 20. Mapa da variabilidade do teor de silte na profundidade 30-60 cm. Jaguari - RS, 2007.

3.3. Resultados da produção da área

Na Figura 20 é apresentada a produtividade da área através de mapa gerado pelo sistema CR campeiro. Pode-se observar através da Figura 21 que ocorreu variabilidade espacial da produtividade, sendo que esta pode estar relacionada com a variabilidade das características químicas e físicas da área em estudo.

Mapas de produtividade, segundo Molin (2000) podem ser considerados como o primeiro meio de informações para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Borém et al. (2000), considera que os mapas de produtividade das culturas podem ser utilizadas como ponto de partida, a fim de avaliar as causas da variabilidade de produtividade, bem como verificar as causas possíveis de modificação, as respostas econômicas e de impacto ambiental que o sistema de manejo em locais específicos pode trazer.

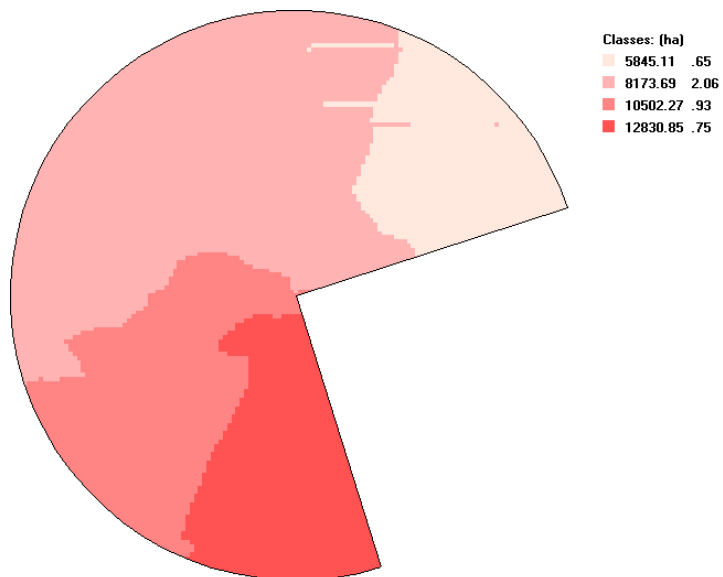


Figura 21. Mapa da variabilidade da produção do milho em (Kg.ha⁻¹). Jaguari - RS, 2007.

4. Conclusões obtidas com a pesquisa

A metodologia proposta foi capaz de avaliar ao longo de um ciclo a variabilidade espacial das características químicas, físicas e da produção da cultura do milho confirmando que não existe homogeneidade entre os setores do pivô setorial.

O mapa de produtividade apresenta, de forma geral, um padrão de variabilidade semelhante quanto à distribuição das características físicas e químicas do solo da área;

O mapeamento das variáveis estudadas permite a divisão da lavoura em subáreas, nas quais se pode realizar de maneira mais eficiente o manejo;

A investigação da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos da camada superficial e subsuperficial do solo da área estudada proporcionou a visualização e definição de zonas heterogêneas, o que permite a partir desta interpretação a adoção do sistema de agricultura de precisão.

5. Referências Bibliográficas

ANTUNES, M. U. F. Análise da Evolução Espaço-Temporal da produtividade de uma lavoura de soja (*Glycine max(L.)Merril*): Estudo de caso. Santa Maria, RS. 2006. 71f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2006.

BLU, R. O.; MOLINA, L. F. Muestreo de suelos para recomendación de fertilizantes. In: Agricultura de precisión: introducción al manejo sitio-específico. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999. p.115-133.

BORÉM, A. et al. Agricultura de precisão. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2000. p. 93-108.

BURROUGH, P. A. Soil variability: a late 20Th century view. *Soils and fertilizers*, v.56, 1999, p.529-562.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre: PRONI - IPH-UFRGS, 1992. 216p.

COMISSÃO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicator of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.) *Method for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America (SSSA), 1996. p.25-38.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FOY, CD.; CHANEY, R.L & WITHE, C. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Review Plant Physiology, Palo Alto, 29:511-566, 1978.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D.; SULZBACH, L. Agricultura de precisão com o sistema CR Campeiro 5. Santa Maria: Ed.: FATEC/UFSM, 2004, 330p.

GIOTTO, E. Agricultura de precisão: estruturação de mapas de produtividade a partir de arquivos de produção em formato texto (CSV). Santa Maria: UFSM/ Laboratório de Geomática, 2008. 28 p.: II. (Cadernos do CR Campeiro; n. 1).

GONÇALVES JR, A.C.; TRAUTMANN, R.R.; MARENGONI, N.G.; RIBEIRO, O.L.; SANTOS, A.L. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em argissolo vermelho-amarelo eutrófico e latossolo vermelho eutrófico. Ciência e Agrotecnologia - UFLA, v. 31, n. 4, p. 1231-1236, 2007.

JOHANN, JERRY A.; OPAZO, MIGUEL A. U.; SOUZA, EDUARDO G. DE AND ROCHA, JANSLE V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. Rev. bras. eng. agríc. ambient. 2004, vol.8, n.2-3, pp. 212-219.

KNOB, M. J. Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades. Santa Maria, RS. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2006.

LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; DA SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITII, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos, 1999. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01>.

MOLIN, J.P. Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho. Castro: Fundação ABC, 2000. 72p.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agron. Trop.*, Maracay, v.44, p.41-65, 1994.

QUEIROZ, D.M. de DIAS, G.P. MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In. BORÉM, A.B.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.T. Agricultura de Precisão. Viçosa: UFV, 2000.p1-42.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.L. Recomendação de adubação e de calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p.

ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento. In: SILVA, F.M. Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas: UFV, 1998, cap.1, p.1-30.

SULZBACH, L. Tecnologia de Agricultura de Precisão. Estudo de Caso: Integração de modelos digitais de atributos químicos do solo e modelos digitais de culturas agrícolas. Santa Maria, RS. 2003. 168f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2003.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, Orlando, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VELOSO, C. A. C.; SOUZA, F. R. S.; PEREIRA, W. L. M.; TEMÓRIO, A. R. m. Relações cálcio, magnésio e potássio sobre a produção de matéria seca de milho. *Acta amazônica*, vol. 31. n. 2, p. 193-204, 2001.

VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro. (Boletim Técnico, 7). 1969.24p.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.45, n.2, p.1040-1048, 1981.

YAMADA, T. Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Coords.) Tecnologia da produção de milho. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. p. 121-130.

Instruções gerais

1. A Série Cadernos do CR Campeiro é um veículo de divulgação técnico profissional nas áreas de abrangência do Sistema CR Campeiro desenvolvido pelo Laboratório de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria.

2. O objetivo da Série Cadernos do CR Campeiro é o de publicar trabalhos técnicos científicos e de experiências profissionais, que tenham explicitamente utilizado funções do programa.

3. A Série Cadernos do CR Campeiro publicará trabalhos preferencialmente em português, podendo publicar também trabalhos em outras línguas, a critério do Editor.

4. A edição da Série Cadernos do CR Campeiro será coordenada pelo Professor responsável pelo Laboratório de Geomática/UFSM, com a participação de um representante do Departamento de Engenharia Rural/UFSM, de um representante do Programa de Pós Graduação em Geomática/UFSM, de um representante do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento/UFSM, de um representante da Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais e pelo representante da Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geomática, que em seu conjunto constituirão o Corpo Editorial da Série.

São atribuições do Editor:

I. Supervisionar a organização da Série Cadernos do CR Campeiro para publicação;

II. Zelar pela qualidade gráfica e editorial da Série;

III. Fazer cumprir os prazos de sua impressão gráfica, quando for o caso;

IV. Estimular as publicações junto ao corpo docente e discente dos Cursos de Pós-Graduação em Geomática e Superior de Tecnologia em Geoprocessamento, bem como estabelecer contato com pesquisadores instituições afins e usuários do Sistema, no intuito de viabilizar a publicação de artigos e trabalhos.

5. A Série Cadernos do CR Campeiro contará com um corpo de revisores, de caráter voluntário, que terá como principal atribuição a revisão de cada artigo/trabalho submetido para a publicação.

O Corpo de revisores será constituído por Professores de Instituições de Ensino Superior e Pesquisadores de Instituições de Pesquisa.

Cada trabalho antes de sua publicação será submetido à análise prévia de 3 (três) membros do comitê revisor.

6. A responsabilidade pela matéria publicada na Série Cadernos do CR Campeiro é do(s) seus(s) autor(es), podendo ser reproduzida total ou parcialmente com indicação da fonte.

7. Cada número da Série terá no mínimo cinco (5) exemplares impressos para fins de arquivamento na Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais, na Biblioteca do Colégio Politécnico da UFSM e na Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Maria.

Instruções para os Colaboradores da Série Cadernos do CR Campeiro

A fim de tornar mais eficiente o preparo de cada número da série, toda e qualquer matéria destinada à publicação deve ser enviada ao Editor da Série Cadernos do CR Campeiro em cópia legível, com margens espaçosas (esquerda 2cm, direita 2cm), espaço entre linhas “1.5”, fonte “Arial”, tamanho “9”, de modo a permitir anotações de revisão e diagramação. O texto deverá ser entregue com alinhamento “Justificado”.

As citações com mais de quatro linhas devem ser destacadas do texto normal em um novo parágrafo, reduzindo o espaço entre linhas para “simples”. As notas de pé-de-página deverão ser breves e excluir simples referências bibliográficas; estas devem ser incluídas no texto principal entre parêntesis, limitando-se ao sobrenome do autor, ano e páginas, como, por exemplo: (Moura, 2003) A referência completa deverá ser indicada nas REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, conforme o seguinte modelo:

Livro

MOURA A.C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Ed da Autora, 2003. 294p.

Capítulo de livro

GIOTTO, E. e SEBEM, E. Sistematização de Áreas. In: _____. A topografia com o Sistema CR – TP0 6.0. Santa Maria : UFSM, CCR, Departamento de Engenharia Rural : FATEC, 2001. Cap. 21. p. 329-348.

Artigo científico

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Yowa soils. Soils Science of America Journal. V.58, 1994. p 1501-1511.

Dissertações

ANTUNES, M. U. F. Análise da Evolução Espaço-Temporal da produtividade de uma lavoura de soja (*Glycine max(L.)Merril*): Estudo de caso. Santa Maria, RS. 2006. 71f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2006.

Página da Internet

CAMPO, P. Agricultura de Precisão: Inovações do Campo, Piracicaba, 2004. Disponível em: http://www.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao03.htm. Acesso em: 26 set. 2004.

Deve-se evitar o uso de negritos, itálicos e sublinhados, bem como o uso de tabulações que afetem a diagramação do texto.

Os quadros, gráficos, figuras e fotos devem ser apresentados em folhas separadas, numerados e titulados corretamente, com indicação de seu lugar no texto e de forma pronta para impressão.

Solicita-se o envio de uma cópia impressa e outra por meio eletrônico ao editor da Série Cadernos do CR Campeiro.