

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Francis Luan Schons

**ANÁLISE TÉCNICA DE DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS PARA
IDENTIFICAR A VARIABILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO
SOLO**

Santa Maria, RS
2017

Francis Luan Schons

**ANÁLISE TÉCNICA DE DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS PARA IDENTIFICAR
A VARIABILIDADE DE FÓSFORO E PÓTASSIO NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Schons, Francis Luan

Análise técnica de diferentes grids amostrais para identificar a variabilidade de fósforo e potássio no solo / Francis Luan Schons.- 2017.

38 f.; 30 cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2017

1. Agricultura de Precisão 2. Variabilidade Espacial
3. Coeficiente de Desvio Relativo I. Pes, Luciano Zucuni
II. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Francis Luan Schons. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: francis_schons@hotmail.com

Francis Luan Schons

**ANÁLISE TÉCNICA DE DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS PARA IDENTIFICAR
A VARIABILIDADE DE FÓSFORO E PÓTISSIO NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2017:

**Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)

Ademir Wendling, Dr. (Base Precisão na Agricultura)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Gostaria, inicialmente, de agradecer a Deus, que me concedeu saúde e persistência para seguir em busca deste meu objetivo.

Agradeço aos meus pais, Jorge e Márcia e a minha namorada Laisa, pelos incentivos, pelo total apoio, por todo enorme carinho, paciência e compreensão.

Aos meus colegas, Francisco Giraldi e Kelly Veiverberg, que sempre estiveram dispostos a ajudar na elaboração da dissertação, pelo apoio e pelo socorro nos momentos mais críticos, para que eu pudesse concluir este objetivo.

Agradeço a coordenação, em nome do Juliano, pelo apoio e pela luta perante o DERCA/UFSM, para validar o teste de suficiência feito na UFSC.

A Universidade de Santa Maria, pela oportunidade de cursar um mestrado profissional.

Ao meu orientador, professor Luciano Pes, pela confiança depositada.

A empresa Cotrijal, pelo apoio no momento da coleta dos dados amostrais.

A empresa Itaimbé Máquinas, local em que trabalhei em praticamente todo o período do mestrado e que me proporcionou o tempo necessário para que eu me dedicasse às aulas na UFSM.

Agradeço à minha banca por aceitar avaliar minha dissertação.

Muito obrigado!

RESUMO

ANÁLISE TÉCNICA DE DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS PARA IDENTIFICAR A VARIABILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

AUTOR: Francis Luan Schons
ORIENTADOR: Luciano Zucuni Pes

A fertilidade do solo manejada pela agricultura de precisão tem como uma das principais formas de coletas de dados a amostragem do solo georreferenciada. Embora exista grande aceitação da tecnologia, há necessidade de melhorar as técnicas, em diferentes ambientes e sistemas de produção. O objetivo principal do trabalho foi de analisar diferentes grids amostrais para identificação da variabilidade do fósforo e do potássio no solo. O estudo foi realizado no município de Victor Graeff, Rio Grande do Sul, em uma área de 19,3 hectares. Foram gerados três grids amostrais, com quadrículas regulares, cujas dimensões foram, 71,71x71,71 m (0,5 ha), 71,71x141,42 m (1 ha) e 141,42x141,42 m (2 ha), totalizando 36, 18 e 9 pontos amostrais, respectivamente. Foi realizada uma análise descritiva dos dados e avaliação do coeficiente de desvio relativo (CDR), que demonstrou que tanto para o fósforo, quanto para o potássio, à medida em que se aumenta a dimensão do grid e a distância entre os pontos, eleva-se a dissimilaridade dos mapas, quando comparados com o grid de referência (71,71x71,71 m). Com base no estudo, recomenda-se a utilização de grids de amostragem mais densos, com um número maior de amostras, para gerar mapas temáticos com a representação adequada da variabilidade espacial do fósforo e do potássio.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Variabilidade Espacial. Coeficiente de Desvio Relativo.

ABSTRACT

TECHNICAL ANALYSIS OF DIFFERENT SAMPLING GRID TO IDENTIFY THE VARIABILITY OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE SOIL

AUTHOR: FRANCIS LUAN SCHONS
ADVISOR: LUCIANO ZUCUNI PES

Soil fertility managed by precision agriculture has georeferenced sampling grid as its main data collection method. Although technology is well-accepted, there is a need to improve how techniques are applied in different environments and production systems. The main objective of this study was to analyze different sampling grids in order to identify soil variability of phosphorus and potassium. The research was carried out in the city of Victor Graeff, Rio Grande do Sul, in an area of 19.3 hectares. Three grid samples with regular squares were generated: 71,71x 71,71m (0.5 ha), 71,71x141,42 m (1 ha) and 141,42x141,42 m (2 ha), a total of 36, 18 and 9 sampling points, respectively. A descriptive analysis of the data and an evaluation of the relative standard deviation (RSD) was performed, which showed that for both phosphorus and potassium, as the sampling grid size increases and the distance between the points, the dissimilarity of maps increases as well, while evaluating reference sampling grid (71,71x 71,71 m). According to the study, it is recommended to use thicker sampling grid, with a larger number of samples to generate thematic maps with a suitable representation of the spatial variation of phosphorus and potassium.

Keywords: Precision Agriculture. Spatial Variability. Relative Deviation Coefficient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Procedimento de coleta de amostras georeferenciadas de solo. 16
- Figura 2 - Espacialização dos teores de fósforo (1) e potássio (2), em diferentes grids, sendo que $a = 71,71 \times 71,71$ m; $b = 71,71 \times 141,42$ m e $c = 141,42 \times 141,42$ m, em área agrícola de Victor Graeff, RS. 29
- Figura 3 - Coeficientes de desvio relativo (cdr) entre os mapas dos teores de fósforo e potássio, de diferentes grids amostrais, em relação ao grid referência de $71,71 \times 71,71$ m, em área agrícola em Victor Graeff, RS. 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos teores de fósforo e potássio em diferentes grids, em área agrícola de Victor Graeff, RS.....	27
Tabela 2 - Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os mapas dos teores de fósforo e de potássio, em diferentes grids, em área agrícola de Victor Graeff, RS.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	HIPÓTESE.....	11
1.2	OBJETIVOS.....	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO	12
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE	14
2.3	Variabilidade espacial	17
2.4	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	18
2.5	Inverso do quadrado da distância (IQD)	19
2.6	Coefficiente de desvio relativo (CDR).....	20
2.7	Coefficiente de correlação linear de Pearson	21
3	ARTIGO 1 – VARIABILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS	22
4	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio, no ano de 2016, representou 23%, ou seja, R\$ 1,425 trilhões do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2016). Deste valor, o segmento da agricultura representa, aproximadamente, 24%, ou seja, R\$ 343,3 bilhões, ficando atrás apenas do segmento da pecuária (CNA, 2016).

No estado do Rio Grande do Sul, o agronegócio representou entre os anos de 2010 a 2013, 13% do PIB, segundo dados da Fundação de Economia e Estatística (FEIX; JUNIOR, 2015). O desafio para os próximos anos será manter os tetos produtivos e a participação na geração de riquezas, de forma eficiente e sustentável, tanto nos recursos financeiros, como nos insumos produtivos.

Desta forma, gerar e gerenciar informações detalhadas sobre os processos de produção é imprescindível. Neste cenário, a agricultura de precisão (AP) surge como uma poderosa ferramenta de gestão, capaz de oferecer suporte para a tomada de decisão, com base na variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produtividade das culturas agrícolas. A caracterização da variabilidade espacial na AP baseia-se na coleta de informação, que pode ser através de um grid, de diversas variáveis. A repetição das coletas, ao longo dos anos, caracteriza a variabilidade temporal do atributo em avaliação. De posse das informações, estas são processadas através de programas específicos e são apresentadas em forma de mapas.

Entre as variáveis ambientais que podem ser controladas pelo homem, a fertilidade do solo apresenta relação direta com a produtividade agrícola. A manipulação da fertilidade do solo através da adubação representa, em média, 18% do custo de produção das culturas anuais de verão no estado do Rio Grande do Sul, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016). Nesse sentido, caracterizar a fertilidade do solo e maneja-la de forma eficiente resulta em elevação da produtividade e dos lucros.

A fertilidade do solo, manejada com auxílio de ferramentas da AP, no Brasil, tem como princípio a amostragem georreferenciada do solo e intervenção através de mapas de recomendação e aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes à taxa variável. A aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes visa aumentar a eficiência da aplicação de insumos, em quantidades adequadas, resultando em um

manejo da fertilidade do solo mais detalhado, de acordo com as variações que ocorrem dentro dos talhões.

Embora exista grande aceitação dessa tecnologia no mercado agrícola brasileiro, ainda há necessidade de aferição de sua efetividade técnica em diferentes ambientes e sistemas de produção, justificando-se, desta forma, a realização do presente trabalho.

1.1 HIPÓTESE

A hipótese geral do trabalho é de que o grid de amostragem mais denso, ou seja, aquele com o menor tamanho de quadrículas, será o que melhor vai representar a variabilidade do fósforo e do potássio do solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar diferentes grids amostrais para identificação da variabilidade do fósforo e do potássio no solo

1.2.2 Objetivos específicos

- Utilizar o coeficiente de desvio relativo (CDR) como parâmetro de comparação de mapas temáticos;
- Indicar o grid que melhor represente a variabilidade do fósforo e do potássio no solo da área avaliada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

No Brasil, as primeiras iniciativas em AP surgiram por volta de 1990. Desde então, vêm ganhando espaço como prática agronômica, adotada por um número crescente de empresas agrícolas, dedicadas à produção de culturas econômicas no país (WILDA, 2014).

O advento da AP, com a incorporação de tecnologias avançadas no campo, vem provocando uma revolução nos processos, sistemas e métodos de manejo agrícola, trazendo, principalmente, novas soluções para as questões do aumento da produtividade, em conjunto com a redução do impacto ambiental (CRUVIEL et al., 2005).

O conceito de AP possui definições variadas. Para Pontelli (2006), é uma ferramenta tecnológica que proporciona a exploração de todos os componentes do sistema solo, de uma forma precisa e individual, permitindo a realização de correlações posteriores entre os atributos do solo e, conseqüentemente, o diagnóstico de problemas específicos, que poderão receber tratamentos diferenciados. Já Molin (2000), define AP como o conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para que sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

Segundo Manzatto et al. (1999), a principal vantagem da AP é a possibilidade de aplicar insumos no local correto, no momento adequado, nas quantidades necessárias à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos os permitam.

A AP é, portanto, um conceito de manejo de solo e planta, baseado em princípios de gerenciamento agrícola, de informações sobre as variabilidades dos fatores de produção e da própria produtividade. A adoção desta tecnologia justifica-se pelo fato de que a maioria das áreas agrícolas são manejadas uniformemente, sem levar em consideração as variações em seus atributos, tais como: tipo de solo, produtividade, características físicas e químicas do solo (MERCANTE et al., 2003).

A AP tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e culturas no espaço e no tempo. Dessa maneira, Mulla e Schepers (1997) ressaltam que sem

essa variabilidade, o conceito de AP tem pouco significado e nunca teria evoluído, pois ela engloba aspectos da variabilidade dos solos, clima, diversidades de culturas, desempenho de máquinas agrícolas e insumos (físicos, químicos e biológicos), usados na produção das culturas.

O estudo das características dos solos nos sistemas de AP apresenta grande interesse científico e comercial. Várias pesquisas têm visado o desenvolvimento de técnicas que possibilitem diferentes metodologias de amostragem de solos, para buscar alternativas, visando reduzir os custos desta atividade.

O solo possui uma variabilidade que é consequência dos fatores de formação (material de origem, clima, relevo, organismos e o tempo) e, principalmente, do manejo agrícola. A utilização de fertilizantes em faixas ou em linhas poderá, com o passar do tempo, agir no aumento da heterogeneidade química do solo, implicando na variação da produtividade em áreas agrícolas (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000). Com o avanço da AP, torna-se possível a geração de mapas de produtividade das culturas, relacionando a qualidade do solo com a produtividade das culturas (AMADO et al., 2004).

Além disso, o gerenciamento da fertilidade do solo na AP é baseado em quatro etapas: a amostragem, com informação georreferenciada sobre o estado de fertilidade do solo ao longo do talhão; o processamento e gerenciamento dos dados; a aplicação *in situ* dos insumos agrícolas e a avaliação dos resultados (SARAIVA et al., 2000).

A aplicação das técnicas de AP no manejo da fertilidade do solo desperta o interesse de agricultores, consultores e empresas prestadoras de serviços. O ponto de partida é a realização de amostragens que permitam caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo relacionados à produtividade das culturas, em uma determinada área. Para tanto, normalmente, têm sido coletadas amostras georeferenciadas dispostas em um grid, de modo a permitir que os resultados das análises possam ser processados por meio de geoestatística e, posteriormente, sejam elaborados mapas interpolados, que representam a variação espacial nos valores de cada atributo analisado (RESENDE et al., 2010).

A AP, recentemente, tem merecido uma definição mais sistemática: uma nova forma de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola. Os sistemas de produção são otimizados, tendo como elemento-chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvido. Portanto, o sistema

de gerenciamento prescinde de uma informação, utilizando o termo “tecnologia de informação” como algo mais amplo, já que a AP é um agente gerador de bases de dados de elevado valor gerencial; este conceito foi desenvolvido para todas as atividades ligadas a ela (MOLIN, 2007).

Portanto, a AP é um instrumento de gerenciamento agrícola, que parte do registro georeferenciado de informações de solo e de culturas, completando-se com intervenções de manejo localizado (AMADO; SANTI, 2007). Em estudos agronômicos envolvendo o sistema solo-água-planta deve-se considerar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, pois os fatores e processos de formação do solo (clima, relevo, tempo, ação de organismos e material de origem), que atuaram ao longo do tempo, imprimiram-lhe heterogeneidade, que somadas ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variabilidade dos atributos do solo (ALBUQUERQUE et al., 1996).

Todos os solos, por mais homogêneos que possam parecer, apresentam variações em seus atributos físicos e químicos, até mesmo quando pertencentes a uma mesma classe de solo (AMARO FILHO et al., 2007). Estas variações ou heterogeneidades dos atributos químicos são típicas em solos cultivados, afetando diferenciadamente a produtividade das culturas.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE

A utilização de ferramentas de AP permite uma valorização da variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de maneja-la, visando aumentar a eficiência técnica e econômica do uso de insumos (SANTI et al., 2009).

A informação é o principal alicerce da AP. Desta forma, ela necessita ser consistente e representativa. Quanto mais dados disponíveis ou coletados, maior será a consistência e a representatividade da informação gerada, conseqüentemente, mais correto será o diagnóstico referente a variabilidade existente na lavoura (MOLIN et al., 2015). O solo de um talhão apresenta grande variabilidade espacial de seus atributos físicos e químicos (VENTURINI, 2014), sendo ela o fator que limita o desempenho da produção agrícola. Segundo Franchini et al. (2012), a variabilidade do solo, quando medida, pode ser utilizada para entender as limitações do sistema produtivo e provocar mudanças no manejo adotado.

Os padrões espaciais dos atributos físicos e, principalmente, os químicos do solo de uma área, dificilmente se repetem em outra área e os mesmos se alteram ao longo do tempo (RESENDE et al., 2010). A variação da interação dos fatores que formam o solo (material de origem, topografia, clima e organismos vivos), aliado às práticas de manejo, está relacionada com a variabilidade espacial dos solos (SANTI, 2013; CQFS/RS-SC, 2016). Desta forma, caracterizar a variabilidade espacial da fertilidade do solo é necessário para o sucesso da agricultura, além de torna-la mais sustentável (VENTURINI, 2014).

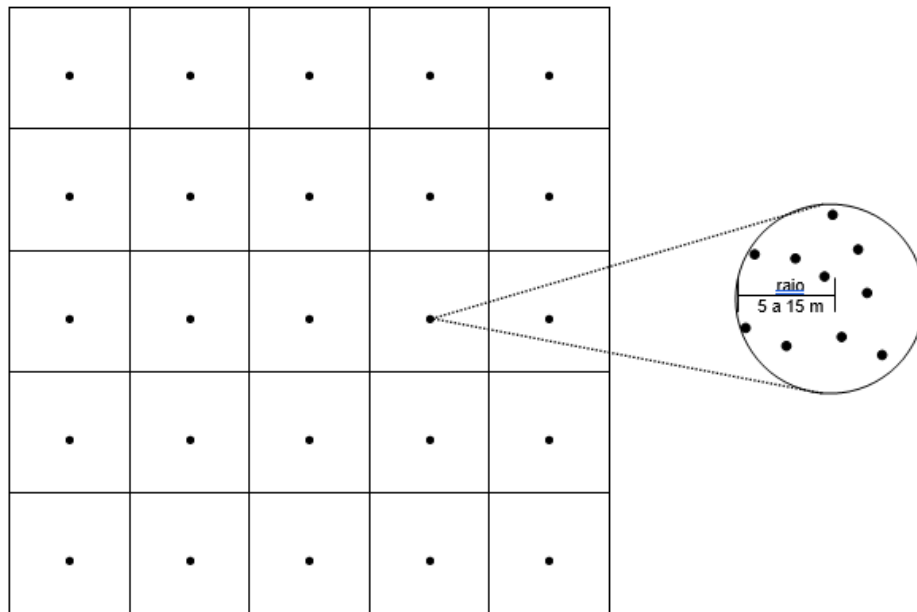
A caracterização dos atributos de solo é feita através da amostragem, que para região sul do Brasil seguem as orientações do Manual de Calagem e Adubação (CQFS/RS-SC, 2016). Em AP é utilizada a amostragem georeferenciada dos atributos do solo. Segundo Schio (2016), vários são os planos de amostragem espacial e sua escolha depende diretamente da qualidade da informação, do tempo e do recurso financeiro disponível. A amostragem sistemática em grids amostrais retangulares é a mais utilizada no Brasil, consiste em espaçamentos regulares de mesma distância entre as linhas (espaçamento y) e as colunas (espaçamento x) (GIOTTO et al., 2013). A estes espaçamentos, chamamos de grades ou células, e a quantidade deles será o mesmo número de amostras compostas que serão analisadas pelo laboratório (CQFS/RS-SC, 2016).

O ponto que representa o centro de cada célula do grid será utilizado para representar a amostra composta. A CQFS/RS-SC (2016) recomenda que sejam realizadas de 5 a 8 subamostras, em um raio de 5 a 15 metros do ponto georreferenciado, preferencialmente com a pá-de-corte (Figura 1). Caso seja utilizado outro tipo de amostrador, como o trado calador ou o de rosca, o número de subamostras deve ser de 8 a 10.

Segundo Molin et al. (2015), a amostragem de solo é o método mais apropriado para coletar dados e posteriormente representar a variabilidade dos atributos avaliados. Contudo, o mesmo autor relata que a densidade dos pontos amostrados deve ser maior tanto quanto a variabilidade dos fatores analisados. Andriotti (2013) relata que a qualidade de uma amostra está na capacidade dela reproduzir as características da população que representa. Para Fiorin (2007), uma amostragem não representativa pode causar erros de até 50% na avaliação da fertilidade do solo e, conseqüentemente, no manejo da adubação. Segundo a CQFS/RS-SC (2016), o erro na amostragem é o mais prejudicial, pois não pode ser

corrigido nas etapas de análise em laboratório. Molin et al. (2015), conclui que a densidade da amostragem afetará não somente a qualidade da caracterização de determinado atributo, mas o manejo do mesmo.

Figura 1 - Procedimento de coleta de amostras georeferenciadas de solo



Fonte: Adaptado de CQFS/RS-SC (2016).

O tamanho da célula do grid apresenta correlação direta entre o número de amostras coletadas e a qualidade do resultado obtido (CHERUBIN et al., 2015). O tamanho dos grids amostrais que vem sendo utilizadas na região sul do Brasil apresentam dimensões variando de 100 x 100 m (1 amostra a cada hectare) e 173 x 173 m (1 amostra a cada três hectares). Segundo a CQFS/RS-SC (2016), a dimensão da célula amostral deve ser menor em áreas com maior variabilidade espacial dos atributos avaliados. Porém, células muito pequenas requerem maior número de amostras e, conseqüentemente, maior demanda de recursos financeiros. Cherubin (2016) afirma que não existe uma dimensão de grid ótima que possa ser recomenda para qualquer situação, devendo-se levar em conta o histórico de manejo da área, tipo de solo, topografia e, também, o histórico de produtividade.

2.3 VARIABILIDADE ESPACIAL

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo. A utilização de técnicas geoestatísticas permite avaliar e descrever detalhadamente a distribuição espacial das propriedades do solo.

Em relação às propriedades físicas do solo, a maioria dos estudos tem demonstrado uma ampla diversidade de resultados, com variação entre os locais estudados, com ou sem continuidade espacial, provavelmente associada ao sistema de manejo e às características intrínsecas dos solos (GREGO; VIEIRA, 2005).

Solos sob vegetação natural apresentam variabilidade, tanto no sentido horizontal quanto vertical, em seus atributos químicos, resultante dos seus processos de formação (MONTEZANO et al., 2006). Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo e uso das terras são fatores adicionais de variabilidade. Estudos já foram realizados enfatizando variações causadas pelo próprio uso e manejo (MELLO et al., 2006).

As estratégias de amostragem são importantes para mapear a variabilidade espacial dos solos, pois só a partir de sua modelagem é possível gerar mapas mais consistentes e com precisão. Assim, o estudo dos aspectos da amostragem do solo, a fim de subsidiar a tomada de decisão para a utilização e recomendação destas técnicas em ambientes distintos, tem sido preocupação constante dos pesquisadores (GROENIGEN et al., 1999; LARK, 2000).

A eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial. Souza et al. (1997) relataram que o conhecimento do alcance da dependência espacial dos atributos do solo pode ser um critério para definir o intervalo das amostragens. Porém, estes valores dependem da escala, da intensidade de coleta e do manejo da área.

Os mapas de otimização de amostragem possibilitam um melhor entendimento do padrão de distribuição espacial, permitindo definir diferentes zonas de manejo (MONTANARI et al., 2005).

Segundo Silva et al. (2002), lavouras consolidadas com o sistema de plantio direto no sul do Brasil, demonstram uma maior variabilidade dos índices de fertilidade dos solos, quando comparado ao sistema de preparo convencional, em evidência o fósforo disponível em adubação em sulco.

Schlindwein e Anghinoni (2000), analisando amostras de solo coletadas em lavouras cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico típico, Latossolo Vermelho distroférico típico e Chernossolo Argilúvico férrico típico-escuro, encontraram maior variabilidade horizontal para fósforo e potássio do que para pH em água, índice SMP e matéria orgânica. Os autores atribuíram esse comportamento ao sistema de distribuição de fósforo e potássio, realizado em linha, enquanto o de calcário e dos resíduos vegetais foi realizado a lanço, de maneira uniforme sobre o solo, diminuindo a sua variabilidade.

Considerando a variabilidade espacial dos atributos de solo e de planta, é importante conhecer o comportamento dessa variabilidade, para localizar áreas e unidades experimentais, de modo que as variáveis sejam independentes, e aplicar testes estatísticos de maneira correta.

2.4 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Segundo Guedes et al. (2008), a estatística é uma ciência cujo campo de aplicação estende-se a muitas áreas do conhecimento humano. Entretanto, um equívoco comum encontrado nos dias atuais é que, em função da facilidade que o advento dos computadores proporciona, permitindo desenvolver cálculos avançados e aplicações de processos sofisticados com razoável eficiência e rapidez, muitos pesquisadores consideram-se aptos a fazerem análises e inferências estatísticas, sem um conhecimento mais aprofundado dos conceitos e teorias. A estatística é a ciência que apresenta processos para coletar, apresentar e interpretar conjuntos de dados sejam eles numéricos ou não.

Dentre os parâmetros estatísticos, o coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa, definida como a razão entre o desvio padrão e a média. A determinação do coeficiente de variação permite avaliar a homogeneidade do conjunto de dados e, conseqüentemente, se a média é uma boa medida para representar estes dados. É utilizado, também, para comparar conjuntos com unidades de medidas distintas. Uma desvantagem do coeficiente de variação é que ele deixa de ser útil quando a média está próxima de zero. Uma média muito próxima de zero pode inflacionar o coeficiente de variação. Quanto maior for este valor, menos representativa será a média. Neste caso, opta-se pela mediana ou moda, não existindo uma regra prática para a escolha de uma destas medidas. O

pesquisador, com sua experiência, é que deverá decidir por uma ou outra. Por outro lado, quanto mais próximo de zero, mais homogêneo é o conjunto de dados e mais representativa será sua média (GUEDES et al., 2008).

2.5 INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA (IQD)

A interpolação é utilizada com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade de interesse. O inverso do quadrado da distância (IQD), por sua vez, realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos n postos mais próximos, o que é função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior o peso atribuído ao ponto amostrado (JIMENEZ; DOMECCQ, 2008).

O uso de um determinado interpolador depende do conhecimento, tanto do conjunto de dados de entrada, como das características intrínsecas do interpolador. Cada interpolador possui uma particularidade e, portanto, deve ser observada antes da aplicação (SILVA et al., 2002).

Este método pode ser classificado tanto como um interpolador exato, como suavizante. Faz com que os pesos dos dados sejam avaliados durante o processo de interpolação, de modo que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó do grid. O fator peso pode ser pré-determinado pelo usuário, sendo que quanto maior o valor escolhido, menor será a influência dos pontos mais distantes do nó. Inversamente, quanto menor for o peso, maior o efeito de pontos distantes sobre todo o grid. Uma característica negativa deste método é a geração de efeito mira ao redor dos pontos observados. Este é um método rápido e requer pouco custo computacional (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

A potência mais utilizada é a '2' e, por isso, frequentemente esse interpolador é chamado de inverso do quadrado das distâncias. É conhecido também por IDW (The Inverse Distance Weighted) (VARELLA; JUNIOR, 2008).

No método do IQD, o fator de ponderação é o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e o estimado, sendo considerado de fácil aplicação, mas com acurácia menor que a krigagem, pois não considera a estrutura de dependência espacial (MELLO et al., 2003).

O algoritmo está implementado em uma série de programas comerciais e oferece as seguintes opções: Barriers, No Barriers, No of Neighbors e Radius, que serão utilizados na estimativa do valor interpolado (VARELLA; JUNIOR, 2008).

Geralmente, pode ser descrito pela seguinte equação:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$$

em que:

z = valor estimado para o ponto z ;

n = número de amostras;

z_i = valores conhecidos;

d_i = distâncias entre os valores conhecidos e o estimado (z_i e z).

O cálculo do ponderador em uma localização onde exista uma amostra é indeterminado, dado a distância ser zero e, conseqüentemente, com o ponderador dividido por zero. Quanto maior a potência, maior influência será dada às amostras mais próximas do ponto que a estima.

2.6 COEFICIENTE DE DESVIO RELATIVO (CDR)

Um índice comparativo para avaliar a similaridade entre os mapas temáticos gerados é a utilização do coeficiente de desvio relativo (CDR) (Equação 1 e 2). Ele expressa a diferença média, em módulo, dos valores interpolados em um mapa temático, quando comparado com um mapa assumido como referência. O CDR comparara-se a outros tratamentos que calcula a diferença percentual média em módulo dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como padrão (COELHO et al., 2009).

É descrito pela seguinte equação:

$$CDR_i = \left(\frac{P_i - P_{ipad}}{P_{ipad}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$CDR = \frac{\sum_{i=1}^n |CDR_i|}{n} \quad (2)$$

em que:

CDR_i - coeficiente de desvio relativo pontual, %;

CDR - coeficiente de desvio relativo, %;

n - número de pontos estimados;

P_{ipad} - ponto i do mapa padrão;

P_i - ponto i para o mapa a ser comparado.

O CDR é um valor calculado em módulo, ou seja, não é possível estabelecer se essa diferença ocorrida entre os tratamentos foi negativa ou positiva. Por essa razão, o desvio relativo de cada ponto interpolado é calculado, sem considerar o módulo (SANTOS, 2010).

2.7 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

A correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas (MOORE, 2007). O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis (FILHO, 2009).

3 ARTIGO 1 – VARIABILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM DIFERENTES GRIDS AMOSTRAIS

Resumo

A agricultura de precisão (AP) é considerada um instrumento de gerenciamento agrícola, responsável pelo estudo da variabilidade espacial, com intervenções de manejo localizado, dentro do sistema sítio específico de solo e planta. O objetivo principal deste trabalho é de comparar a variabilidade do fósforo e do potássio no solo a partir de diferentes grids amostrais. O estudo foi conduzido no município de Victor Graeff, Rio Grande do Sul, cuja área é de 19,3 hectares. Foram realizadas amostragens de solo em grid de 71,71x71,71 m (0,5 ha), sendo este considerado como referência, e em grids de 71,71x141,72 m (1 ha) e de 141,72x141,72 m (2 ha). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e, após, foram gerados mapas temáticos, através da interpolação pelo inverso do quadrado da distância, além da avaliação do coeficiente de desvio relativo (CDR). Ao analisar os dados foi possível observar que o melhor grid para representar a variabilidade do P e do K da área foi o de 71,71x71,71 m, ou seja, um ponto a cada 0,5 ha. As espacializações dos mapas temáticos sugerem uma redução da dimensão do grid para maior detalhamento da distribuição dos dados. Neste sentido, o CDR também indicou que o aumento da dimensão do grid contribuiu para o aumento da dissimilaridade dos dados obtidos.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Amostragem de solo. Coeficiente de Desvio Relativo.

3. ARTICLE 1 - PHOSPHORUS AND POTASSIUM VARIABILITY IN DIFFERENT SAMPLING GRID

Abstract

Precision Agriculture (PA) is an agricultural management tool, responsible for the study of spatial variability with specific management interventions within the soil and plant specification system. The main objective of this work is to compare variability of the phosphorus and soil potential from different sampling grids. The study was carried out in the city of Victor Graeff, Rio Grande do Sul, with an area of 19.3 hectares. Grid soil sampling were taken in a 71,71x71,71 m (0,5 ha), and this one used as a reference, and grid soil sampling of 71,71x141,72 m (1 ha) and 141,72x141,72 m (2 ha). The data was submitted to descriptive statistical analysis and then, thematic maps were generated, by the inverse distance squared interpolation, besides the evaluation of the relative standard deviation (RSD). By analyzing the data in which it can be affirmed that the best sampling grid quality to represent a variability from this point of view is 71,71 x 71,71 m, that is, one point to every 0.5 ha. The dimensions of the thematic maps suggest a reduction in the size of data distribution. Therefore, the RSD also indicated that the increase in sample grid size contributed to increase the dissimilarity of the data obtained.

Keywords: Precision Agriculture, Soil Sampling, Relative Standard Deviation.

INTRODUÇÃO

A utilização de ferramentas de agricultura de precisão (AP) permite estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de manejá-la, visando aumentar a eficiência técnica e econômica do uso de insumos (SANTI et al., 2009).

Corá et al. (2004) destacam que o solo pode ser considerado o primeiro fator a ser estudado no uso da AP, visto que este componente possui grande variabilidade e é determinante no desempenho e na produção das culturas.

O fósforo (P) ocorrente no solo, de interesse agrônomo ou ambiental, é constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e, menos comumente, dos pirofosfatos. A interação deste nutriente com os constituintes do solo, como alumínio, ferro e cálcio, a sua ocorrência em formas orgânicas, além de sua lenta taxa de difusão na solução do solo, o tornam menos disponível na rizosfera e, com isto, mais dependente de mobilidade no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999). No entanto, a baixa movimentação de P no solo é consequência, principalmente, de sua forte interação com os colóides do solo, ocasionando baixas concentrações de P na solução do solo (COSTA, 1998).

Altos teores de potássio (K) foram verificados por Amado et al. (2009) e Cherubin et al. (2011) em Latossolos no sul do Brasil e estão atrelados ao intenso intemperismo dos minerais primários (micas, feldspatos e feldspatoides) e secundários (illita, vermiculita e argilominerais interestratificados), que contém este elemento (ERNANI et al., 2007), associado ao histórico de sucessivas adubações, utilizando formulações com elevadas quantidades de K adicionadas às culturas. Além disso, a rápida liberação do K presente nos restos culturais, dispostos uniformemente na área, contribui na redução da variabilidade desse atributo no solo.

Segundo levantamento realizado por Cherubin et al. (2014), as dimensões de grid, comumente utilizadas nas áreas de Latossolos manejados com AP no sul do Brasil, de modo geral, possibilitaram captar a variabilidade espacial de P e K.

Portanto conhecer a estrutura da variabilidade de atributos do solo é uma ferramenta útil para compreender a variabilidade da produtividade na área. De acordo com Durigon (2007), a variabilidade do solo é resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação, como o clima, topografia, material de origem, vegetação, processos geológicos e pedológicos complexos e

práticas de manejo do solo. Tais fatores influenciam a variabilidade em diferentes escalas. Assim, em escala regional, fatores climáticos, sistemas de uso do solo, cobertura vegetativa e características da superfície do solo são os principais fatores que afetam a variação.

A partir desta problemática apresentada, este trabalho tem como objetivo principal comparar a variabilidade do P e K do solo a partir de diferentes grids de amostragem. A hipótese do trabalho é de que o grid de amostragem mais denso, ou seja, aquele com o menor tamanho de quadrículas, será o que melhor vai representar a variabilidade do fósforo e do potássio do solo da área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um talhão agrícola, localizada no município de Victor Graeff, Rio Grande do Sul (coordenadas geográficas 28°32'48"S e 52°42'25"W), com área total de 19,3 hectares. O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, com verões quentes, sem estação seca definida, conforme classificação de Köppen, com temperaturas médias normais variando de 12,2° C no mês de junho a 21,9° C no mês de janeiro e precipitação bem distribuída no ano, tendo média anual oscilando entre 1800 a 2034 mm (MORENO, 1961).

O relevo é suave ondulado, com predominância de solos de textura argilosa, bem drenados, profundos, classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013). A área vem sendo conduzida em sistema de plantio direto (SPD) há mais de 15 anos, com cultivo de soja nas últimas cinco safras de verão e rotação com trigo e aveia para cobertura do solo, nas safras de inverno. A adubação da área é baseada na aplicação superficial de fertilizantes fosfatados e potássicos.

O perímetro da área foi delimitado com auxílio de um GPS de navegação portátil. Foram gerados 3 grids de amostragem, cujas dimensões foram: 71,71x71,71 m (0,5 ha), 71,71x141,42 m (1 ha) e 141,42x141,42 m (2 ha), totalizando, respectivamente, 36, 18 e 9 pontos amostrais. Os grids foram gerados através do programa Hgis®. A coleta de solo foi realizada apenas no grid mais denso (71,71x71,71 m). Cada amostra foi composta por sete subamostras, coletadas em um raio de aproximadamente 10 m do ponto amostral, na profundidade de 0 a 0,20 m (CQFS/RS-SC, 2016), utilizando um trado de rosca, acoplado a um quadriciclo. Após

a coleta, as amostras, devidamente embaladas, foram enviadas ao Laboratório de Solos da Cooperativa Central Gaúcha Ltda (CCGL), para análise de P e K, que consistiu na extração dos elementos através de uma solução de ácido clorídrico e sulfúrico, 0,05 e 0,0125 mol L⁻¹, respectivamente, denominado método Mehlich-1.

Os teores de fósforo (P) e de potássio (K) dos outros dois grids (71,71x141,42 m e 141,42x141,42 m) foram estipulados a partir dos pontos amostrados no grid de 71,71x71,71 m, sendo o resultado representado pelo ponto central em cada grid.

Foi realizada a análise estatística descritiva de cada conjunto de dados, para verificar a posição e a dispersão dos dados, com auxílio do programa SISVAR® (FERREIRA, 2011). Foram determinados os seguintes parâmetros estatísticos: mínimo, média, mediana, máximo, desvio-padrão, erro-padrão e coeficientes de variação (CV), de simetria (Cs) e de curtose (Ck). A dispersão dos dados foi classificada de acordo com o CV em: alto (CV>35%), moderado (CV entre 15 e 35%) e baixo (CV<15%) (WILDING e DREES, 1983). A normalidade dos dados foi determinada pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade.

Foi utilizado, para a geração dos mapas temáticos, o método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância, com raio de busca de 400 m (AMADO, 2007), com o auxílio do programa GS+® Gamma Design Software® (GS+, 2004).

O coeficiente de desvio relativo (CDR) e a matriz de correlação de Pearson ($p<0,05$) foram utilizados para avaliar a similaridade entre os mapas temáticos de P e K gerados a partir da interpolação dos diferentes grids. O CDR expressa a diferença média, em módulo, dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como referência. Quanto menor o percentual encontrado, maior será a similaridade entre os mapas (CHERUBIN et al. 2015). O cálculo do CDR é descrito pelas seguintes equações:

$$CDR_i = \left(\frac{P_i - P_{ipad}}{P_{ipad}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$CDR = \frac{\sum_{i=1}^n |CDR_i|}{n} \quad (2)$$

em que:

CDR_i = coeficiente de desvio relativo pontual; %

CDR = coeficiente de desvio relativo;

- n = número de pontos estimados;
- P_i - ponto i do mapa padrão;
- P_i - ponto i para o mapa a ser comparado.

Para o cálculo do CDR foi utilizado como referência o mapa temático do grid de 71,71x71,71 m. Tanto para o cálculo do CDR, quanto para a matriz de correlação de Pearson ($p < 0,05$), igualou-se o conjunto de dados de todos os mapas temáticos gerados a partir dos grids estudados. Dessa forma, cada pixel dos mapas interpolados foi transformado em ponto, totalizando 48297 pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos parâmetros interpretativos de P e K disponíveis no solo, constou-se que a área apresentava, em média, altos teores de argila (>60%) e média CTC_{pH7} (14,1 cmol_c dm⁻³), conforme a CQFS/RS-SC (2016).

A análise estatística descritiva dos valores de P e K da área estudada (grid de 71,71x71,71 m) possibilitou verificar que, em linhas gerais, os teores médios desses elementos encontram-se adequados para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas (Tabela 1), com teor médio acima do nível crítico para o P (> 9 mg dm⁻³) e para o K (> 60 mg dm⁻³) (CQFS/RS-SC, 2016).

Segundo Amado et al. (2009), a amplitude nos valores de P indicam uma grande potencialidade no manejo de sítio específico, preconizado na AP. A amplitude da variação dos valores de P é comprovado pelo valor máximo ser 3,05 vezes maior que o valor mínimo no grid de 71,71x71,71 m (Tabela 1), bem como o coeficiente de variação ser classificado como moderado (15 a 35%). São reportadas grandes variações nos teores de P em diversos estudos em Latossolos (AMADO et al., 2009; CHERUBIM et al., 2011; BOTTEGA et al., 2013). Estes autores relatam que a elevada variação dos teores de P pode decorrer de sucessivas aplicações de fertilizantes a taxa fixa.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos teores de fósforo e potássio em diferentes grids, em área agrícola de Victor Graeff, RS.

Parâmetros estatísticos ¹	Grid (m)		
	71,71x71,71	71,71x141,42	141,42x141,42
----- Fósforo (mg dm ⁻³) -----			
N	36	18	9
Mínimo	5,70	5,80	5,80
Média	8,81	8,38	8,47
Mediana	8,00	7,60	7,60
Máximo	17,40	17,40	17,40
Desvio-padrão	2,80	2,72	3,52
Erro-Padrão	0,47	0,64	1,17
CV(%)	31,76	32,46	41,63
Cs	1,48	2,40	2,46
Ck	1,96	6,95	6,65
Teste de Shapiro-Wilk	0,85*	0,75*	0,69*
----- Potássio (mg dm ⁻³) -----			
N	36	18	9
Mínimo	132,00	132,00	132,00
Média	184,11	179,56	167,33
Mediana	181,00	172,50	159,00
Máximo	312,00	267,00	216,00
Desvio-padrão	37,09	31,65	28,66
Erro-Padrão	6,18	7,46	9,55
CV(%)	20,14	17,63	17,13
Cs	1,56	1,18	1,04
Ck	3,24	2,18	0,09
Teste de Shapiro-Wilk	0,88*	0,92	0,84

Legenda: ¹n = número de observações (amostras compostas); CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria e Ck = coeficiente de curtose. *Significativo para distribuição normal, a 5% de probabilidade.

Em relação ao K, verificou-se que a área estudada apresenta teores classificados como altos (61 a 120 mg dm⁻³) e muito altos (>120 mg dm⁻³) (Tabela 1), segundo a CQFS/RS-SC (2016). Amado et al. (2009) e Cherubim et al. (2011) também verificaram altos teores deste elemento em Latossolos no sul do Brasil. Os altos teores de K estão atrelados ao intenso intemperismo dos minerais primários

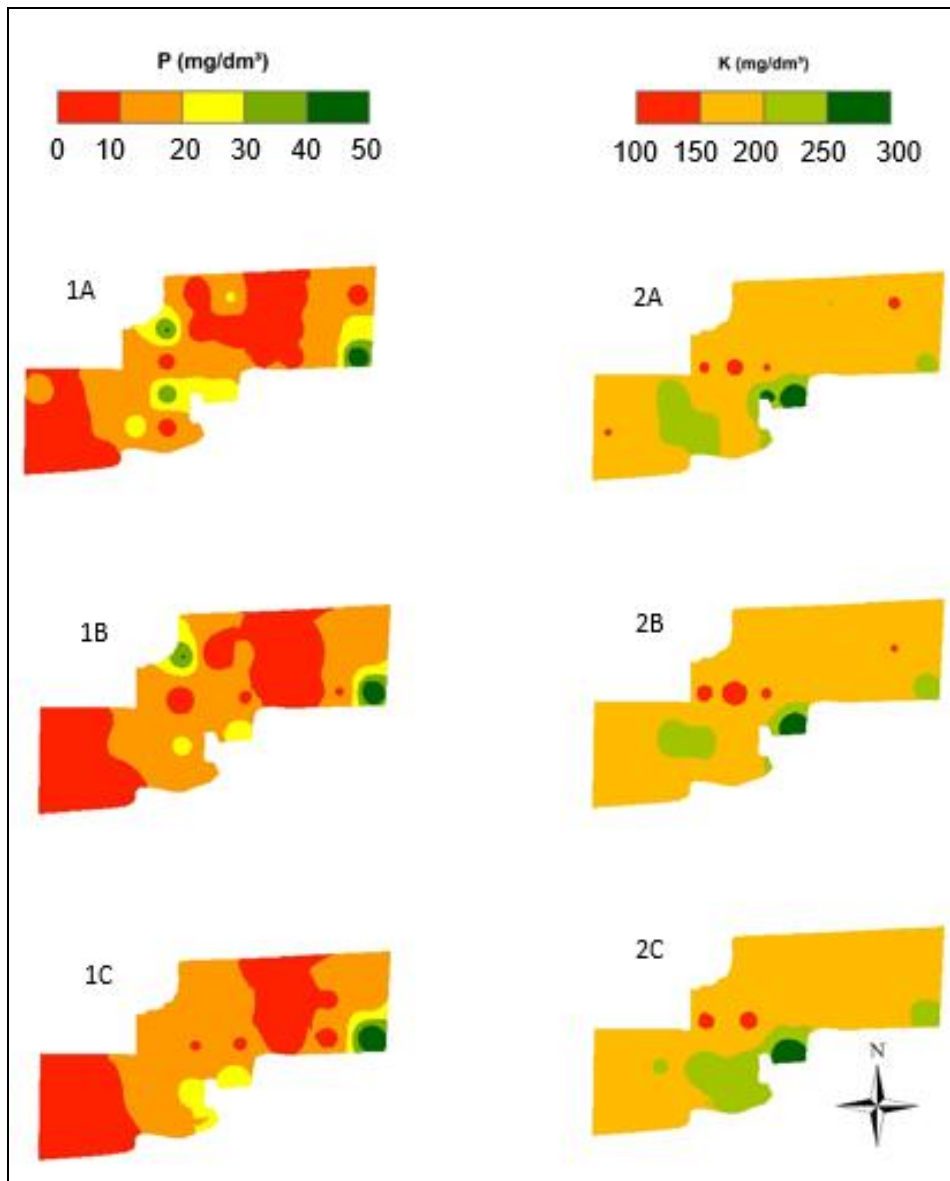
(micas, feldspatos e feldspatoides) e secundários (illita, vermiculita e argilominerais interestratificados) (ERNANI et al.; 2007), associado ao histórico de sucessivas adubações, utilizando formulações com elevadas quantidades deste elemento. O teor máximo de K, observado no grid de 71,71x71,71 m (Tabela 1), é 2,36 vezes maior do que o mínimo. Essa variação é menor do que a observada no P, porém o CV também é classificado como moderado. A maior mobilidade desse nutriente no solo, em relação ao P, e a rápida liberação do K presente nos restos culturais, contribuem para a redução da variabilidade desse atributo do solo (AMADO et al., 2009; ERNANI et al., 2007; BOTTEGA et al., 2013).

Os valores das médias e das medianas do grid de 71,71x71,71 m (Tabela 1) foram similares, o que segundo Cherubim et al. (2015) indica que os dados tendem a apresentar distribuição de frequência normal, comprovada pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Nos mapas gerados a partir dos grids de 71,71x141,42 m e 141,42x141,42 m, observou-se um aumento do erro-padrão nos teores de P e K. Além disso, foi observada uma redução do CV para os teores de potássio e um aumento do CV para os teores de fósforo, sendo o CV classificado como moderado (15 a 35%) para a maioria dos grids (Tabela 1), com exceção do CV para o teor de fósforo no grid de 141,42x141,42 m, que é classificado como alto (>35%). Desta forma, é possível inferir que à medida em que se aumenta a dimensão do grid (menor número de pontos amostrais), as avaliações realizadas se tornam menos precisas, pelo aumento do erro-padrão. Também é importante assinalar que o aumento do erro-padrão do K teve maior magnitude em relação ao erro-padrão do P, comparando os diferentes grids de amostragem.

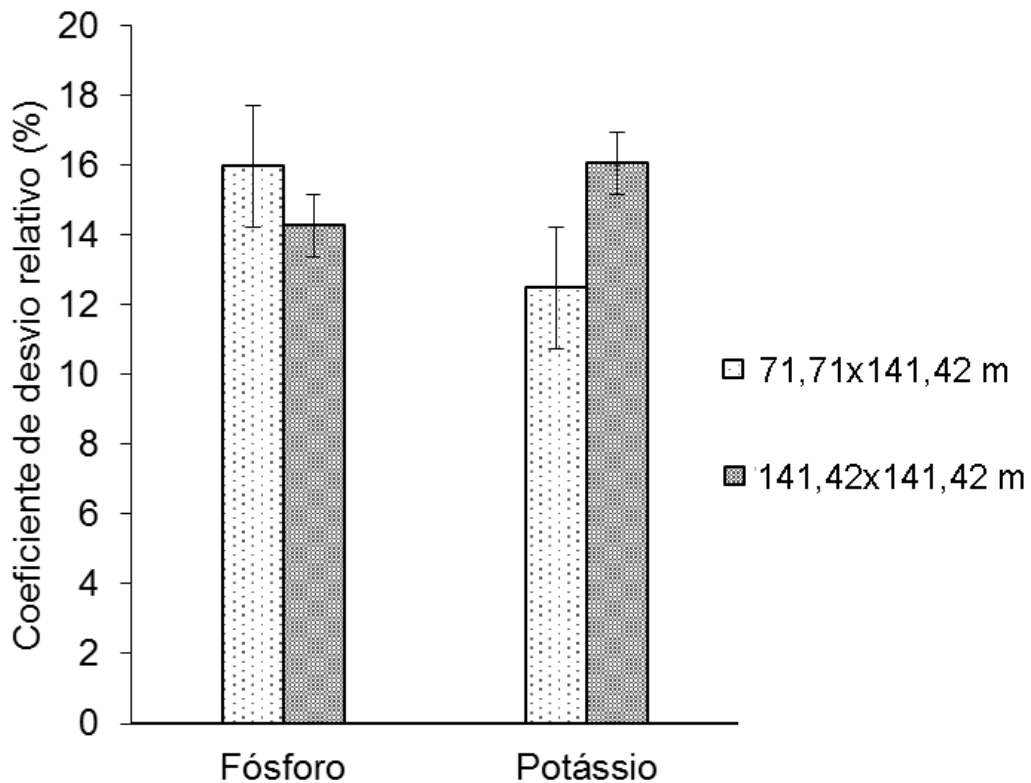
Segundo Cherubim et al. (2015) a espacialização dos dados de P e K na forma de mapas temáticos (Figura 2), sugerem que a redução da dimensão do grid promove maior detalhamento da distribuição espacial do atributo analisado, melhorando desta forma a acurácia. O mesmo autor sugere que grids densos são mais adequados para a aplicação de fertilizantes a taxa variada plena. Os grids menos densos podem ser utilizados para a definição de zonas de fertilidade e a fertilização a taxa variada simplificada. Souza et al. (2014) e Coelho (2009) inferem que à medida em que se aproximam os pontos amostrais, mais acurados são os valores dos locais não amostrados pelo interpolador.

Figura 2 - Espacialização dos teores de fósforo (1) e potássio (2), em diferentes grids, sendo que A = 71,71x71,71 m; B = 71,71x141,42 m e C = 141,42x141,42 m, em área agrícola de Victor Graeff, RS.



Através do CDR (Figura 3) pode-se constatar que tanto para o P, quanto para o K, o aumento da dimensão do grid e, conseqüentemente, a distância entre os pontos amostrais, contribui para elevar a dissimilaridade dos mapas obtidos, em relação ao mapa estabelecido como referência. Os mapas de P apresentaram maior dissimilaridade entre si, com CDR de 15,97% e 14,28%, respectivamente, para o grid de 71,71x141,42 m e 141,42x141,42 m.

Figura 3 - Coeficientes de desvio relativo (CDR) entre os mapas dos teores de fósforo e potássio, de diferentes grids amostrais, em relação ao grid referência de 71,71x71,71 m, em área agrícola em Victor Graeff, RS.



Para os mapas de K, os valores de CDR variam 12,48% para o grid de 71,71x141,42 m e 16,06% para o grid de 141,42x141,42 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Cherubim et al. (2015), ao avaliar a acurácia da caracterização da variabilidade espacial de P e K em 7 grids amostrais, em áreas de Latossolo, no Rio Grande do Sul. O mesmo autor indica que o CDR é um indicativo eficiente para avaliar a similaridade dos mapas temáticos de atributos do solo, apresentando uma grande potencialidade de uso na AP. Autores como Coelho et al. (2009) e Spezia et al. (2012), em trabalhos com mapas de produtividade de soja e de milho, demonstraram a versatilidade desse indicativo.

O coeficiente de correlação linear de Pearson entre o grid de referência (71,71x71,71 m) e os grids de 71,71x141,42 e de 141,42x141,42, tanto para P, como para K, indicaram uma correlação desprezível (valores entre 0,00 e 0,30) (Tabela 2). Todos os valores do coeficiente de correlação linear de Pearson foram significativos, a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os mapas dos teores de fósforo e de potássio, em diferentes grids, em área agrícola de Victor Graeff, RS.

Grids (m)	Grids (m)		
	71,71x71,71 (ref)	71,71x141,42	141,42x141,42
----- P -----			
71,71x71,71 (ref)	1	0,185*	0,265*
71,71x141,42	0,185*	1	0,226*
141,42x141,42	0,265*	0,226*	1
----- K -----			
71,71x71,71 (ref)	1	-0,184*	-0,210*
71,71x141,42	-0,184*	1	0,797*
141,42x141,42	-0,210*	0,797*	1

*Significativo para correlação linear de Pearson, a 1% de probabilidade; Ref = grid de referência.

A qualidade (acurácia) da caracterização da variabilidade espacial de P e K no solo e o sucesso na aplicação de taxa variada de nutrientes dependem diretamente da caracterização da variabilidade espacial da área. A decisão por optar por grids de amostragem mais ou menos densos deve levar em consideração fatores como: nível de precisão desejado, histórico e manejo da fertilidade do solo na área, custo da amostragem de solo, intensificação do sistema produtivo, equipamentos disponíveis para coleta de solo e aplicação de fertilizantes. Com base nos dados apresentados recomenda-se, sempre que possível, utilizar grids amostrais adensados, que permitam coletar um número maior de amostras, com o intuito de caracterizar a variabilidade espacial da área analisada.

CONCLUSÕES

A hipótese do trabalho foi confirmada, ou seja, o grid de amostragem com maior densidade de pontos foi o que apresentou melhor representação da variabilidade dos teores de fósforo e potássio da área estudada.

À medida em que se aumentou o tamanho do grid, foram encontrados maiores erros-padrões e coeficientes de correlação desprezíveis. Nesse sentido, o grid de maior densidade de pontos apresentou um melhor detalhamento e, futuramente, conduzirá a uma maior acurácia nas recomendações de adubação.

REFERÊNCIAS

- AMARO FILHO, J.; et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.31, n.3, p. 415-422, 2007.
- AMADO, T. J. C.; et al. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com o rendimento de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.1-9, 2013
- CHERUBIN, M. R. et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.
- CHERUBIM, M. R. et al. Dimensão da malha amostral e a acurácia na caracterização da variabilidade espacial do= fósforo e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 168-177, 2015.
- CHERUBIN, M. R. et al. Eficiência de malhas analisadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.1-8, 2014.
- COELHO, E. C., et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.165-174, 2009.
- CORÁ, J. E. et al. 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**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- COSTA, J. P. V. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Universidade Federal de Viçosa: UFV. Tese de Doutorado (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa, MG, p.67, 1998.

CQFS/RS-SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre, 11. ed., 2016.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura de arroz irrigado (*Oryza sativa*)**. Universidade Federal de Santa Maria, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Santa Maria, RS, p.150, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 412, 2013.

ERNANI, P. R. et al. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

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

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, p. 46, 1961.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. **Informações Agronômicas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, p399, 1999. Disponível em: [www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/241DADE2FCFB2F1783257B8D004C15FF/\\$FILE/page10-11-87.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/241DADE2FCFB2F1783257B8D004C15FF/$FILE/page10-11-87.pdf). Acesso em: 15 de dez. 2016.

SANTI, A. L, et al. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. 109 ed, p. 21, 2009.

SOUZA, G. S, et al. Controle de tráfego e seu efeito na qualidade física do solo e no cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol.38, n.1, p.135-146, 2014.

SPEZIA, G. R; et al. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.449-457, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000400016&ing=em. Acesso em: 14 dez. 2016.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Eds.) **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, p.83-116, 1983.

4 CONCLUSÃO

O grid que melhor representou a variabilidade do fósforo e do potássio no solo, foi o grid de referência (71,71x71,71 m). Mediante a interpretação dos mapas, foi observado que quanto maior a distância entre os pontos ou menor a densidade de pontos por hectare, menor a similaridade em relação ao mapa de referência.

O coeficiente de desvio relativo (CDR) serviu como base para avaliar a similaridade destes mapas. Foi possível identificar a dissimilaridade entre os grids estudados, quando comparados ao grid de referência, pois à medida que aumentava a distância entre os pontos, a dissimilaridade aumentava.

Assim como o CDR, o coeficiente de correlação de Pearson também indica dificuldade em se obter acurácia na caracterização da variabilidade ao se utilizar grids menos densos, já que as correlações encontradas foram desprezíveis, em relação ao grid de referência.

Dessa forma, a conclusão geral do trabalho é de que o grid de referência (71,71x71,71 m) deve ser utilizado para a caracterização da variabilidade do fósforo e do potássio do solo da área do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 151-157, 1996.
- AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, L. A.; VEZANI, F. Agricultura de precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 32, 2004.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Cord.). **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, p. 99-144, 2007.
- AMARO FILHO, J. et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora Unisinos. Coleção Manual Universitário, Reimpressão, v. 2, p. 163, 2013.
- CHERUBIM, M. R. et al. Amostragem de solo na agricultura de precisão. In: SANTI, L. S. et al. (Org.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: CESPOL, p. 79-98, 2016.
- CHERUBIN, M. R. et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 196-210, 2011.
- CNA. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil**. Balanço 2016 Perspectiva, 2017. p. 16-21. 2016. Disponível em: http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/balanco_2016_perspectivas2017_web.pdf. Acesso em: 12 dez. 2016.
- COELHO, E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 165-174, 2009.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. - SAFRA 2015/16- Quarto levantamento, n. 4, v. 3, p. 61, 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf. Acesso em: 03 jan. 2017.
- CORÁ, J. E. et al. 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**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CRUVIEL, P. et al. Metodologia para o mapeamento georeferenciado da aplicação de chuva artificial em área de plantio com base no uso de visão computacional. **3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão**. Sete lagoas, MG, 2005.

ERNANI, P. R. et al. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 551-594, 2007.

FEIX, R. D.; JÚNIOR, L. S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul -2015**, p. 8. Porto Alegre: FEE, 2015.

FILHO, F. et al. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2010.

FIORIN, J. E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, p. 99-144, 2007.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P. **Variabilidade espacial aplicada a pesquisa a e ao desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis**. VI Congresso Brasileiro de Soja, Cuiabá, MT, 2012.

GIOTTO, E.; CARDOSO C. D. V.; SEBEM, E. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**. Santa Maria/RS, UFSM – Laboratório de Geomática, v. 1, p. 22-23, 2013.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.

GROENIGEN, van J. W. et al. **Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance**. *Geoderma*, Amsterdam, v. 87, n. 3-4, p. 239-259, 1999.

GUEDES, L. P. C. **Otimização de amostragem espacial**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Tese (Doutorado), Piracicaba, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-16072008-122804/ptbr.php>. Acesso em: 12 jan. 2017.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCQ, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 253p., 2003.

LARK, R. M. **Designing grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance**. *Geoderma*, Amsterdam, v. 98, n. 1- 2, p. 35-39, 2000.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa Solo**. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br>. Acesso em: 01 fev. 2017.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MERCANTE, E.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 1149-1159, 2003.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A. et al. (Eds.) **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 237-257, 2000.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: Situação atual e perspectivas**. (Monografias), Picaricaba, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://br.monografias.com/trabalhos901/agricultura-precisao-situacao/agricultura-precisao-situacao.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo, p. 238, 2015.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman, 2007.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Eds.) **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p. 1-18, 1997.

PONTELLI, C. B. Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas de agricultura de precisão. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS), p. 112, 2006.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade – XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, Teresina, PI, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/870646/1/Agriculturaprecisao.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.

SANTI, A. L. et al. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. v. 109, p. 9, jan./fev. 2009.

SANTI, O. G. R. **Eficiência de aplicação de insumos a taxa variável na correção do solo e uniformização da produtividade da cultura da soja através de mapas de agricultura de precisão.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, p. 78, 2013.

SANTOS, D. D. et al. Atributos físicos do solo e produtividade da soja sob plantas de cobertura. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola –CONBEA.** Vitória ES, 25-29 de julho 2010. Disponível em: <http://ppat.md.utfpr.edu.br/resources/14641173244409.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAMA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BOREM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão.** Viçosa, Mg: UFV, p. 109-145, 2000.

SCHIO, L. **Malhas de amostragem retangular e hexagonal na geração de mapas de fertilidade e aplicação para agricultura de precisão.** Dissertação (Mestrado) – UFSM, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Santa Maria, p. 32, 2016.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponível e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611, 2000.

SILVA, J. L. B. et al. **Sistema Plantio Direto: Bases para o Manejo da Fertilidade do solo.** Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo, p. 81, 2002.

SOUZA, L. S. et al. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 367-372, 1997.

VARELLA, A. A. C.; JUNIOR, S. G. D. **Estudo do interpolador IDW do arquivo para utilização em agricultura de precisão.** Departamento de engenharia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 5-6, 2008.

VENTURINI, E. **Técnicas de agricultura de precisão aplicadas ao manejo da adubação na rotação arroz irrigado com soja.** Dissertação (Mestrado) – UFSM, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Santa Maria, p. 24-25, 2014.

WILDA, M. R. L. **Amostragem georeferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes: Dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos no cerrado.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, p. 20, 2014.