

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

Douglas Machado de Oliveira

**NÚMERO DE SUBAMOSTRAS E VARIABILIDADE ESPACIAL DE
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Santa Maria, RS
2017

Douglas Machado de Oliveira

**NÚMERO DE SUBAMOSTRAS E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

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 ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Professor Dr. Jackson Ernani Fiorin

Santa Maria, RS
2017

NUMBER OF SUB SAMPLES AND SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL IN
DIRECT PLANTIO SYSTEM

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

Oliveira, Douglas Machado de
Número de subamostras e variabilidade espacial de
atributos químicos do solo em sistema plantio direto /
Douglas Machado de Oliveira.- 2017.
61 f.; 30 cm

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

1. Amostragem do Solo 2. Ponto Amostral 3. Adubação na
Linha e a Lanço I. Título.

© 2017

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

E-mail: douglas@cultivaragronegocios.com.br

Douglas Machado de Oliveira

**NÚMERO DE SUBAMOSTRAS E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

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 ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 27 de novembro de 2017:

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Antonio Luis Santi, Dr. (UFSM)

Rafael Pivotto Bortolotto, Dr. (UNICRUZ)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho, a todos aqueles que estiveram ao meu lado nos mais diversos momentos da minha trajetória acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esta etapa em minha jornada acadêmica, olhando para trás, para os caminhos percorridos, agradeço as pessoas que me acompanharam nesta trajetória rumo à conquista do grau de Mestre em Agricultura de Precisão. Algumas delas estiveram ao meu lado, outras apenas em alguns momentos, mas todas contribuíram significativamente para a minha formação profissional e pessoal.

A Deus, agradeço por ter colocado em meu destino as experiências vividas até o momento, me oportunizando mais esta conquista.

A minha família, que é meu porto seguro, meus exemplos e meu maior tesouro. Aos meus pais, Ilga Machado e Velci de Souza Oliveira, que com muito trabalho, dedicação e carinho, me conduziram pelos caminhos da vida. A minha irmã, Daniele Machado, que sempre está ao meu lado, me apoiando e ajudando.

A minha namorada Juliana Franco, que me ajudou em todas as etapas desse processo, da amostragem de solo até a escrita do trabalho final. Agradeço por todos os momentos de alegrias e dificuldades que passamos juntos, pelas palavras de incentivo e pelas reflexões.

Ao meu orientador Jackson Ernani Fiorin, pelas trocas de experiências, pela disponibilidade e pela grande paciência que teve comigo, por não medir esforços em me ajudar sempre que precisei.

À Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar o curso de Mestrado Profissional nos moldes que foram desenvolvidos.

Ao Colégio Politécnico da UFSM, por disponibilizar a estrutura necessária para a execução e conclusão do curso.

Aos demais professores que foram fundamentais na construção do conhecimento e formação profissional.

A todos os colegas do curso profissionalizante em Agricultura de Precisão, pelo convívio, pela amizade e solidariedade durante esses dois anos de curso.

A empresa Cultivar Agronegócios, a qual me apoiou e disponibilizou tempo de serviço para que eu pudesse realizar minhas atividades referentes ao curso.

Aos proprietários das áreas utilizadas no trabalho, fatores chave para o sucesso deste trabalho, e que dispuseram sua atenção e tempo para fornecer informações ao projeto.

Agradeço a todos que de alguma maneira fizeram parte desta conquista, meu muito obrigado!

Nada acontece por acaso, por isso, lute
em prol dos seus sonhos: produtividade é
fruto de trabalho árduo.

(Cristina Deutsch)

RESUMO

NÚMERO DE SUBAMOSTRAS E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

AUTOR: Douglas Machado de Oliveira
ORIENTADOR: Jackson Ernani Fiorin

A etapa fundamental de um programa de avaliação da fertilidade é a amostragem do solo, na qual o número de pontos coletados deve ser suficiente para detectar a variabilidade espacial dos atributos do solo. Entretanto, em função da heterogeneidade dos solos não há uma concordância quanto ao número de subamostras necessárias para se estimar os valores das propriedades do solo, com suficiente precisão e representatividade. Portanto, o objetivo desse trabalho é determinar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio direto com adubação na linha e a lanço, e estabelecer o número mínimo de subamostras necessárias para formar uma amostra composta representativa dentro de determinados limites de precisão. O trabalho foi realizado em duas propriedades, localizadas no município de Palmeira das Missões – RS. A amostragem de solo foi realizada nos pontos de interseção em uma malha quadrada de 49 pontos, espaçados em intervalos regulares de 5x5 m. As amostras foram coletadas em dois sistemas de manejo diferentes, sendo uma área conduzida sob sistema plantio direto com adubação na linha e a outra com adubação a lanço. Em ambas as áreas o solo foi coletado com pá-de-corte na profundidade de 0-0,15 m. Os atributos avaliados foram: pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, CTC, V% e MO. Os dados foram submetidos à análise exploratória, sendo que os parâmetros estatísticos determinados foram: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. Determinou-se também, o número mínimo de subamostras, necessárias para formar uma amostra composta representativa. O número ideal de subamostras, para formar uma amostra composta representativa, irá variar conforme o sistema de adubação, probabilidade de erro e o erro em relação à média. Dentre os limites de precisão estudados, recomendasse trabalhar tanto no sistema com adubação a lanço e na linha com probabilidade de erro α de 0,05 e erro em relação à média de 20%. Considerando esse mesmo erro, sugere-se coletar pelos menos 11 a 12 subamostras por ponto amostral, para formar uma amostra composta representativa com pá de corte.

Palavras-chave: Amostragem do Solo. Ponto Amostral. Adubação na Linha e a Lanço.

ABSTRACT

NUMBER OF SUB SAMPLES AND SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL IN DIRECT PLANTIO SYSTEM

AUTOR: DOUGLAS MACHADO DE OLIVEIRA
ORIENTADOR: JACKSON ERNANI FIORIN

The fundamental step of a fertility assessment program is soil sampling, in which the number of points collected should be sufficient to detect the spatial variability of soil attributes. However, due to soil heterogeneity, there is no agreement on the number of subsamples needed to estimate the soil properties values, with sufficient precision and representativeness. Therefore, the objective of this work is to determine the spatial variability of soil chemical attributes in areas under no-tillage system with fertilization in the line and the haul, and to establish the minimum number of subsamples necessary to form a representative composite sample within certain precision limits . The work was carried out in two properties, located in the municipality of Palmeira das Missões - RS. Soil sampling was performed at points of intersection in a square mesh of 49 points, spaced at regular intervals of 5 x 5m. The samples were collected in two different management systems, one area under no-tillage with fertilization in the line and the other with fertilization in the haul. In both areas, the soil was collected with a shovel in the 0-0.15 m depth. The evaluated attributes were: pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, V% and MO. The data were submitted to the exploratory analysis, and the statistical parameters determined were: mean, median, minimum, maximum, standard deviation, coefficients of variation, asymmetry and kurtosis. The minimum number of subsamples required to form a representative composite sample was also determined. The ideal number of subsamples, to form a representative composite sample, will vary according to the fertilization system, error probability and error in relation to the mean. Among the precision limits studied, it was recommended to work both in the system with fertilization in the haul and in the line with probability of error α of 0.05 and error in relation to the average of 20%. Considering this same error, it is suggested to collect at least 11 to 12 subsamples per sample point, to form a representative composite sample with a cutting blade.

Keywords: Soil Sampling. Amostragem Pontual. Fertilização na Linha e no Lanço.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Esquema de amostragem em sistema plantio direto com adubação na linha de semeadura.....	24
Figura 2 –	Sugestão de procedimento de amostragem sistemática em grades	27
Figura 3 –	Amostradores de solo para avaliação da fertilidade.....	28
Figura 4 –	Localização do município de Palmeira das Missões, no estado do Rio Grande do Sul – RS.....	39
Figura 5 –	Esquema de amostragem do solo (metro x metro) utilizado nas áreas com adubação na linha (A) e com adubação a lanço (B), localizado em Palmeira das Missões-RS. (Retângulos indicam os pontos amostrados)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores médios dos atributos avaliados no sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha.....	41
Tabela 2 –	Valores de média, mediana, mínimo, máximo, <i>s</i> (desvio padrão), curtose, assimetria e CV (coeficiente de variação) dos atributos pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% em sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha.....	43
Tabela 3 –	Número mínimo de subamostras necessário para estimar os valores dos atributos químicos pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+AL, CTC e V% em diferentes porcentagens de variação em torno da média (5, 10, 15, 20, 25 e 30) e probabilidade de erro (0,05, 0,10 e 0,20) em sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivos gerais	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO	15
2.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO NO MUNDO	16
2.3	AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL	17
2.4	AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE DO SUL	18
2.5	AMOSTRAGEM DE SOLO	20
2.5.1	Tipos de amostras: simples e compostas	22
2.5.2	Procedimento de amostragem de solo não georreferenciadas em sistema plantio direto	23
2.5.2.1	<i>Amostragem em sistema plantio direto com adubação na linha e a lanço</i>	23
2.5.3	Procedimento de amostragem de solo georreferenciada em sistema plantio direto	25
2.5.3.1	<i>Amostragem sistemática em grades</i>	26
2.5.3.2	<i>Amostragem dirigida</i>	27
2.5.4	Equipamentos para amostragem de solo	28
2.6	VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS DO SOLO	30
2.6.1	Variabilidade horizontal dos atributos do solo	31
2.6.2	Variabilidade vertical dos atributos do solo	33
2.7	NÚMERO DE SUBAMOSTRAS	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
3.2	AMOSTRAGEM DO SOLO	40
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vem passando por um intenso processo de modernização e especialização dos sistemas produtivos, conseqüentemente, tornando-se cada vez mais competitiva economicamente em escala global. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de sistemas produtivos mais eficientes, capazes de atender as atuais e futuras demandas mundiais por alimentos (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012).

A necessidade de aumentar a produção leva o produtor a buscar novas tecnologias, sendo assim a Agricultura de Precisão (AP), apresenta a vantagem de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma, redução dos custos da produção, tomada de decisão rápida e certa, maior produtividade da lavoura, redução de quantidades de insumos e melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivo (BATCHELOR et al., 1997; GENTIL; FERREIRA, 1999).

No entanto, para atingir alta produtividade é necessário o conhecimento e a caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo. O conhecimento da variabilidade de cada característica química do solo é importante para definir os procedimentos de amostragem do solo e do número mínimo de subamostras para formar uma amostra composta representativa da área (OLIVEIRA et al., 2002; CARVALHO; FADIGAS, 2011).

A etapa fundamental de um programa de avaliação da fertilidade é a amostragem do solo, na qual o número de pontos coletados deve ser suficiente para detectar a variabilidade espacial dos atributos, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas, se as amostras coletadas não representam a área em estudo (VENEGAS; GUARÇONI, 2003).

Outro ponto importante que deve ser observado em relação à amostragem de solo é que por menor que seja a área amostrada, e mesmo que a topografia, textura e vegetação sejam uniformes, ainda assim pode existir variabilidade nos atributos físicos e químicos do solo e que essa variabilidade pode comprometer as recomendações de adubação caso uma amostragem não represente com exatidão a fertilidade média da área (SILVEIRA et al., 2000; SOUZA et al., 2006; CAVALCANTE et al., 2007; SANTOS et al., 2009).

A variabilidade das propriedades químicas do solo pode ser afetada pelo material de origem (CARVALHO et al., 2003), tipo de solo (SANTOS et al., 2009), pelo tipo de cultura implantada (ROZANE et al., 2011) e pelo manejo do solo (OLIVEIRA et al., 2007). Em

relação ao manejo do solo, as adubações realizadas a lanço ou na linha podem proporcionar maior ou menor variabilidade horizontal e vertical dos atributos no solo.

Quando no sistema plantio direto a adubação é feita a lanço, espera-se que a variabilidade horizontal seja menor quando comparado com a adubação feita na linha, isso porque há uma tendência de ocorrer maior concentração de nutrientes nas linhas de adubação, sobretudo no sentido perpendicular às linhas de semeadura (SALET et al., 1996; ANGHINONI; SALET, 1998; OLIVEIRA et al., 2002). Isso é mais marcante para os nutrientes com baixa mobilidade no solo e maior efeito residual, como o fósforo (P) e potássio (K), a qual podem ser encontradas grandes diferenças nos valores de teores desses nutrientes entre os locais adubados e os não-adubados, causando restrições à aleatorização das amostras simples, ocasionando aumento no número de subamostras necessárias para caracterizar a área amostrada (KRAY et al., 1997).

Em razão dessa variabilidade existente nos diferentes sistemas de adubação (lanço e linha), é necessário estabelecer um critério rigoroso de amostragem que permita conhecer a real variabilidade de cada área, reduzindo assim os efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo (SILVA et al., 2003; CHAVES et al., 2004). Sabe-se que, do erro total que possa vir embutido em um resultado analítico, 80–85 % são atribuídos à amostragem no campo e apenas 15–20 % aos procedimentos de laboratório (EMBRAPA, 1999; MONTESINOS et al., 2002).

Dessa forma, vários pesquisadores têm calculado o número mínimo de subamostras necessário para estimar com exatidão o valor médio das propriedades químicas do solo, para estabelecer um critério de amostragem com maior acurácia, que permite, a partir de técnicas de amostragem, extrair conhecimentos representativos de uma determinada área com nível de segurança pré-estabelecido. Segundo Souza (1992), o procedimento consiste em coletar ao acaso certo número de amostras individuais, analisar, calcular o coeficiente de variação dos dados, achar o valor de tabela do teste t correspondente ao número de graus de liberdade do quadrado médio residual, estabelecer a diferença permitida em torno da média e, assim, calcular o número mínimo de amostras individuais a serem coletadas em futuras amostragens.

Entretanto, em função da heterogeneidade dos solos, não há uma concordância quanto ao número de amostras necessárias para se estimar os valores das propriedades do solo de uma área com suficiente precisão e representatividade. A recomendação geral é de que 10 a 20 pontos amostrais são suficientes (COMISSÃO, 2016). Porém, os princípios da estatística clássica para determinar o número de amostras simples a ser coletado normalmente exigem mais observações do que se pode executar, para obter a precisão desejada (CLINE, 1944).

Pensando na economia de recursos e de tempo, não se faz análise da unidade amostral propriamente dita, rotineiramente faz-se análise da amostra composta formada pela mistura de determinado número de unidade amostral ou amostra simples quando se quer conhecer a fertilidade média do solo, e, conscientemente, abstém-se de conhecer a variabilidade (ALVAREZ; GUARÇONI, 2003; VENEGAS; GUARÇONI, 2003).

Nesse sentido, ainda persistem questionamentos quanto ao número ideal de subamostras a serem utilizadas nos planos de amostragens. Dessa forma, as intervenções que vêm sendo realizadas nas áreas de AP são baseadas predominantemente em aspectos práticos e econômicos, que, por vezes, não caracterizam eficientemente o solo amostrado, limitando o uso da geoestatística para modelar e prever os valores em locais não amostrados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

Determinar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio direto com adubação na linha e a lanço e estabelecer o número mínimo de subamostras por ponto amostral.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar o número de subamostras necessárias para formar uma amostra composta representativa, que possibilite uma economia financeira, reduza a mão de obra e o tempo de coleta das amostras, sem prejudicar a acurácia da informação desejada;
- Estabelecer um limite de precisão, capaz de caracterizar a variabilidade dos atributos químicos do solo no sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A AP surgiu há muitos anos, antes mesmo do período da Revolução Industrial, com agricultores que tinham por finalidade maximizar a produção, variando a aplicação de insumos de acordo com os tipos de solos e o desempenho das culturas, em busca de melhor rendimento produtivo (KELLOG, 1957). No início, o tipo de agricultura predominante era a familiar, desta forma, cada agricultor possuía conhecimento da sua área produtiva, o que lhe permitia observar e dar tratamento localizado a suas lavouras, praticando a AP, embora de forma empírica e de baixa tecnologia (MOLIN, 2001).

Numa primeira fase, a AP era vista apenas como um conjunto de ferramentas para o manejo localizado da lavoura. Posteriormente, deu-se uma interpretação mais sistêmica, considerando-a como um sistema de gerenciamento da produção agrícola, dotado de técnicas voltadas à otimização do sistema de produção, tendo como elemento chave a gestão da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos (MOLIN, 2001).

Com o avanço tecnológico, a AP passou a ser considerada pela indústria como solução integrada, composta por sistemas elétricos, eletrônicos, mecânicos e computacionais. A evolução da informática, desenvolvimento de diversos equipamentos, dispositivos e programas computacionais voltados à obtenção e processamento de dados georeferenciados, entre outras tecnologias, deram ao agricultor uma nova visão da propriedade.

Atualmente os conceitos de AP possuem definições variadas. Segundo Mantovani (2000), o termo engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais, possibilitando assim redução de impactos ambientais e também aumento da produtividade dos cultivos. Para Pontelli (2006), a AP 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.

Molin et al. (2015), descrevem a AP como sendo um conjunto de técnicas que auxilia no gerenciamento localizado das culturas ou propriedade. Visando o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola, seu objetivo não está somente direcionado para aplicações dos insumos ou de mapeamento de produtividade de lavouras, mas a todos os processos envolvidos na produção.

Assim pode se dizer que a AP tem como principal conceito aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessárias à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (DOBERMANN; PING, 2004; AMADO et al., 2006). Dessa forma, as técnicas de AP proporcionam uma melhoria na gestão das propriedades e melhoram a eficiência na tomada de decisão sobre os manejos que são praticados na propriedade, benefícios que não seriam aplicados sem as ferramentas de AP.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO NO MUNDO

O cenário mundial da AP, atualmente, caracteriza-se pela globalização dos mercados, pela crescente aceleração tecnológica e pela democratização da informação e do conhecimento, fazendo com que o setor agrícola passe a utilizar novos conceitos, métodos e técnicas, para poder atender as necessidades dos consumidores, fornecendo produtos com qualidade, preços mais acessíveis e possibilitando maior competitividade no mercado mundial (BALASTREIRE, 2000).

Os avanços ocorridos com o passar do tempo no setor agrícola e o desenvolvimento de novas tecnologias possibilitaram a AP um crescimento por todas as partes do mundo. Esse crescimento já era mencionado por Blackmore (1996), a qual previu que a AP ocasionaria impacto sobre o setor agrícola no mundo inteiro, sendo que atualmente ela está amplamente difundida na Europa, América do Norte, bem como tem alcançado altos índices de adoção, para algumas ferramentas, em alguns países da América do Sul, sobretudo Argentina e Brasil.

Os avanços iniciais da AP no mundo foram subsidiados pela disponibilização de satélites para a localização de pontos na superfície terrestre por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS). A partir daí, foram criadas inúmeras ferramentas, como Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR), tecnologias de aplicação em taxas variadas, sensores, monitores de colheita, entre outras, que auxiliaram na identificação e no manejo da variabilidade de áreas agrícolas (PIRES et al., 2004).

Com o surgimento de novas tecnologias associado ao aumento das pesquisas na área de AP, empresas tradicionais do setor de máquinas e implementos agrícolas também tiveram grande importância no desenvolvimento da AP no mundo, uma vez que as mesmas passaram a desenvolver e disponibilizar diversas ferramentas e equipamentos para o uso na AP. Assim, com o passar dos anos, as tecnologias e ferramentas de AP tornaram-se mais padronizadas,

permitindo aos revendedores e prestadores de serviços especializados traçarem melhores estratégias na oferta de seus produtos e serviços.

Atualmente, as principais tecnologias ou ferramentas utilizadas nas propriedades rurais em que a AP está presente são: mapas de produtividade, semeadura em taxa variável, amostragem georreferenciada de solo, aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variada, pulverização em taxa variada, direcionamento de máquinas por barra de luz ou piloto automático e sensoriamento remoto com uso de imagens orbitais (ANSELMINI, 2012; LENCSES et al., 2014).

Cabe ressaltar, também, que mesmo trazendo uma série de benefícios para os produtores e meio ambiente a AP ainda não conseguiu ser amplamente adotada pelos agricultores. Segundo Fountas et al. (2005), os adotantes de AP consideravam o alto custo das tecnologias, o consumo de tempo para manusear as ferramentas e a falta de compatibilidade entre *softwares* e *hardwares* como sendo os principais obstáculos restritivos à adoção da AP.

Para Sunding e Zilberman (2000), existe um intervalo significativo entre o lançamento de uma tecnologia no mercado até a sua ampla utilização pelos agricultores, ponderando que a adoção, portanto, não é imediata. Sobre isso, Lowenberg-DeBoer (1996), já havia comentado que a AP era uma tecnologia infantil e que esta criança teria alguns sinais de eventual grandeza, entretanto, suas totais capacidades não seriam evidentes durante alguns anos, e como todas as crianças, exigiria um investimento de tempo e recursos para ajudar a encontrar a sua maturidade.

2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL

O Brasil possui importância significativa no cenário mundial da agricultura com grande potencial de expandir suas áreas produtivas, o que inspira alguns produtores a investir em novas tecnologias na área de AP na busca por otimizar os investimentos dos recursos na produção (MOLIN, 2015).

De acordo com Pires et al. (2004), no Brasil as primeiras ações de pesquisa na área de AP foram realizadas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), em 1997, onde o trabalho inovador na cultura de milho resultou no primeiro mapa de variabilidade de colheita do Brasil. Após isso, um crescente foco de pesquisa/extensão em AP foi inicializado por instituições de ensino como a própria ESALQ-USP, UNICAMP, Embrapa, Fundação ABC, IAPAR, UFSM, além de empresas privadas do setor agrícola e de cooperativas de produtores.

Com o surgimento de novas tecnologias e o aumento no número de pesquisas, nos últimos anos, houve a divulgação de um grande número de trabalhos técnico-científicos acerca da difusão das tecnologias de AP no Brasil. Atualmente a AP se encontra em expansão no setor agropecuário, sendo diversas as tecnologias embarcadas em máquinas que auxiliam produtores rurais no mapeamento da lavoura e na aplicação de insumos a taxas variáveis nas culturas, com objetivo de reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade (BRASIL, 2013).

Segundo Bernardi et al. (2014), atualmente, no Brasil, as técnicas e ferramentas de AP mais adotadas estão focadas na aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis, baseada em informações detalhadas do campo de produção. Já para Resende et al. (2013), as práticas mais comuns de AP no Brasil, realizadas por pesquisadores, produtores, instituições de ensino e em áreas experimentais estão focadas no mapeamento de produtividade, aplicação de insumos a taxa variável (principalmente adubo e corretivos), mapeamento da fertilidade e divisão das áreas em zonas de manejo uniformes.

Apesar da AP ser uma das mais importantes técnicas para a busca de maior eficiência na agricultura, Goehl (2000), salientam que ainda há grandes obstáculos a serem vencidos para a efetiva implantação desta técnica no Brasil. Estes obstáculos estão relacionados ao despreparo dos produtores e técnicos para a incorporação e imersão nessa nova tecnologia. Dessa forma, obter informações sobre a viabilidade técnica e econômica da AP é essencial para a adoção desta nova técnica pelos agricultores (SILVA et al., 2013).

2.4 AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE DO SUL

Como comentado no item anterior, quando a AP chegou ao Brasil, no final da década de 90, encontrou um cenário diferenciado em relação ao seu local de origem. Recursos escassos, falta de profissionais especializados e elevados investimentos iniciais foram os primeiros grandes entraves na expansão da técnica. No Rio Grande do Sul (RS), a agricultura com o passar dos anos enfrentou importantes mudanças, muitas destas mudanças estão associadas à introdução de novas tecnologias e culturas no campo, dentro dessas tecnologias pode-se citar a AP (BONELLI, 2002; AMADO et al., 2006).

Inicialmente a AP parecia ter sua aplicabilidade restrita aos grandes produtores. Foi necessário desmistificar isso e entender a AP como sendo uma ferramenta de gerenciamento que pode direcionar a utilização dos fatores de produção conduzindo ao aprimoramento do

manejo na busca da eficiência produtiva, independentemente do tamanho da propriedade ou capacidade de investimento (FIORIN; AMADO, 2016).

Diante desta situação, entra em cena a atuação de projetos pilotos através do suporte de empresas privadas (Stara, Massey Ferguson, Bunge, Fazenda Ana), órgãos de pesquisa pública (Departamento de Solos, Geomática e Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas da Universidade Federal de Santa Maria) e as cooperativas, que permitiu que a AP atingisse um grande número de produtores, e em especial aqueles com menor capacidade de investimento (ACOSTA et al., 2010).

Dentro desses projetos, em 2000, deu-se início ao Projeto Aquarius, em Não-Me-Toque, considerado um dos precursores na adaptação da técnica à realidade brasileira como também o primeiro trabalho de pesquisa sobre AP realizado no RS. O principal objetivo do projeto era a implantação da AP através da criação de áreas piloto nas quais as tecnologias disponíveis seriam aplicadas. Através de cases de sucesso esperava-se que outros agricultores se mostrassem interessados pela nova tecnologia (AMADO et al., 2006).

Esse projeto foi muito importante, uma vez que no ano 2000 as duas principais tecnologias disponíveis para a AP eram a amostragem de solo georreferenciada visando a elaboração de mapas temáticos de atributos de solo e o mapa de colheita. Um dos desafios dos pesquisadores no RS era aplicar o ciclo completo da AP composto de diagnóstico, intervenção localizada e avaliação do resultado obtido, orientando um novo ciclo de intervenções (AMADO et al., 2016).

A partir de 2005, com o surgimento dos primeiros prestadores de serviços, houve um aprimoramento dos mapas de fertilidade, principalmente com a redução gradual dos grids para um a três hectares. A adoção da AP começou a se expandir até encontrar a nova barreira: tecnologia de aplicação à taxa variável. A grande maioria dos equipamentos de aplicação era importada, cara e de difícil adaptação. As aplicações em zonas de manejo eram mais baratas, mas em raras exceções, eficientes. Somente a partir de 2007 é que surgiram inovações tecnológicas na área de aplicação à taxa variável, com qualidade e escala suficiente para um novo ciclo de expansão em AP no RS (ACOSTA et al., 2010).

Atualmente o sucesso da AP, pode ser observado, por exemplo, num levantamento de informações feito pelos departamentos técnicos das cooperativas vinculadas à CCGL TEC, a qual segundo o mesmo a AP no sistema cooperativo do RS já conta com a adesão de aproximadamente 7284 produtores, os quais estão abrangidos em aproximadamente 175 municípios do RS (FIORIN; AMADO, 2016).

Segundo Amado (2009), hoje se estima que há no RS mais de 800 mil hectares com algum tipo de mapeamento de solo e mais 100 equipamentos à taxa variável em uso, mas ainda representa menos de 20% da área potencial. Essa estimativa indica que o RS está seguindo a curva de adoção mundial de AP sugerida pelo pesquisador Bongiovanni; Lowenberg-Deboer (2004). A curva mostra o incremento da adoção de AP à medida que os paradigmas vão sendo quebrado e avanços tecnológicos sendo adaptados.

História muito semelhante com a adoção do sistema Plantio Direto há mais de 20 anos. Segundo o pesquisador, no início do processo há um entusiasmo inicial associado às expectativas positivas em relação à adoção da técnica (1999 a 2002 no RS). Entretanto, a falta de conhecimento, precisão e equipamentos específicos levou a resultados pouco expressivos e ao abandono da técnica (2002 a 2005 no RS). Aqueles produtores que investiram no aprimoramento do processo, principalmente na qualidade da amostragem, aquisição de equipamentos específicos e na contratação de profissionais especializados para gestão das informações são hoje referências de sucesso e são os principais responsáveis pela crescente adoção da AP no Estado.

Na mesma linha de raciocínio Paiva (1975), explica que à medida que a adoção das técnicas modernas se expande para um maior número de agricultores, é de se esperar que disso resulte um aumento na produtividade e na produção, gerando, por conseguinte, um crescimento no volume da oferta de produtos agrícolas.

Atualmente sabe-se que ainda existem muitas limitações tecnológicas a serem superadas. Acredita-se que a integração de esforços, certamente contribuirá para garantir a eficiência da AP tanto em ganhos na racionalização de insumos como na elevação da produtividade das culturas. O RS pela qualidade dos seus produtores, pelo conjunto de indústrias de máquinas agrícolas, pelas universidades e institutos de pesquisa que possui e pelo desenvolvido sistema cooperativo apresenta todas as condições para o estabelecimento com sucesso da AP (FIORIN; AMADO, 2016).

2.5 AMOSTRAGEM DE SOLO

O solo é produto da interação de diversos fatores de formação, por isso, a medida de uma propriedade em alguns pontos pode revelar grandes variações de valores, mesmo em uma área considerada homogênea. A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos, sendo que as práticas de manejo, adubação e de calagem aumentam esta heterogeneidade, dificultando a coleta de amostras representativas (COMISSÃO, 2016).

No passado, as condições de um solo eram estimadas através da coleta de amostras inteiramente casualizadas no campo, assim o solo acabava sendo tratado de forma homogênea, desprezando a variabilidade de seus atributos. Dessa forma, toda área era tratada de acordo com as análises dessas amostras, o que tornava as recomendações de adubação e aplicações muito simples, aplicando-se apenas uma dose de fertilizantes em toda área (KUHAR, 1997).

Com as novas tecnologias em AP, a aplicação de fertilizantes pode ser feita de forma contínua com doses variáveis, aplicando-se as quantidades conforme a necessidade de cada ponto no campo. Essas mudanças nos métodos de aplicação fizeram com que a amostragem do solo passasse de uma média de todo campo para uma análise da variabilidade espacial por todo campo (KUHAR, 1997).

Sendo assim, a amostragem de solo em AP tem como objetivo determinar as necessidades do solo com maior detalhamento quando comparado à prática de amostragem convencional (MOLIN, 2013). Conforme Coelho et al. (2010), para que os objetivos da análise de solo sejam alcançados é necessário estarem interligados a outras etapas, que são extremamente importantes, como por exemplo, a amostragem do solo, a análise de laboratório, a interpretação dos resultados e as recomendações de calagem e adubação.

A amostragem de solos é a etapa mais crítica de todo o processo de análise (GIOTTO et al., 2016). Uma amostra coletada de forma errada pode mascarar o processo de recomendação de corretivos e fertilizantes, pois o laboratório de análise de solo não tem como diagnosticar nem corrigir possíveis erros de amostragem (FIORIN, 2007).

Orlando Filho e Rodella (1983), afirmaram que 80 a 85 % dos erros totais nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos podem ser atribuídos à amostragem no campo, e 15% a 20% pode ser atribuído ao trabalho de laboratório. Entretanto, Jorge (1986), estimou que até 98 % destes erros podem ser atribuídos à amostragem do solo. Dessa forma, pode-se perceber que caso as técnicas de amostragem do solo não sejam seguidas, o resultado da análise terá pouco valor, pois seu objetivo é avaliar o estado atual da disponibilidade de nutrientes do solo e orientar a correta aplicação de corretivos e fertilizantes para as culturas (SABBE; MARX, 1987).

Em AP, conforme Molin et al. (2015), para representar a variabilidade espacial dos atributos avaliados, é necessário a coleta de diversas amostras compostas, georreferenciadas e distribuídas ao longo do campo. A capacidade de uma amostra composta de solo em caracterizar a variabilidade dos atributos do solo vai depender do número de subamostras coletadas, para que o resultado analítico expresse a fertilidade média da área amostrada.

A densidade de pontos amostrados deve ser tanto maior quanto maior for a variabilidade dos fatores analisados. Para Molin et al. (2015), quanto mais dados disponíveis ou coletados, mais consistente é a informação gerada e melhor é o diagnóstico referente à variabilidade existente na lavoura.

Assim, considerando os fatores potenciais da variabilidade existentes sob plantio direto, torna-se necessário definir métodos de amostragem representativos quanto ao local de coleta, ao volume, à forma de coleta e principalmente o número de subamostras necessárias para contemplar tal variabilidade, dentro de critérios de confiabilidade estatística (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000a).

2.5.1 Tipos de amostras: simples e compostas

A amostragem é a série de operações que permite extrair de um sistema porções, que combinadas e reduzidas a tamanho apropriado, dão uma parcela com características representativas do sistema (CHITOLINA, 1982). Cada uma dessas porções é chamada de amostra simples, e a combinação delas de amostra composta (KLUTE, 1986).

Na avaliação da fertilidade média do solo na agricultura tradicional, a amostra comumente utilizada para representar a área a ser corrigida e, ou, adubada é a amostra composta. Cada amostra composta é formada pela mistura homogênea de um número predefinido de amostras simples de pequeno volume. Na AP, além desse procedimento citado anteriormente, também podem ser coletadas amostras simples de pequeno volume, na maioria das vezes, em um espaço limitado ao campo de produção, as quais são analisadas individualmente (GUARÇONI et al., 2006).

Dessa forma, apenas pela facilidade de coleta, as amostras simples estariam sendo utilizadas como unidades de amostra (indivíduos solo) componentes da população, assumindo-se, com grande otimismo, que os pequenos volumes de solo coletados nos dois casos representem corretamente o seu entorno, mas sem nenhuma evidência científica para isso. Assim, para avaliar a fertilidade do solo, tanto na agricultura tradicional quanto na AP o indivíduo solo (unidade de amostra) pode ser definido como a menor área na qual se deve amostrar o solo para caracterizar a fertilidade efetivamente explorada por uma planta ou por um grupo de plantas, sendo suas dimensões laterais grandes o bastante para incluir variações representativas a curtas distâncias na composição do solo (meso e microvariações).

Mesmo que a área estudada seja considerada razoavelmente uniforme ou homogênea, as subamostras diferem entre si e sua variação influi nos dados obtidos da amostra composta.

A estatística confere que a amostra composta será tanto mais representativa quanto maior for o número de subamostras que a compõem. Em outras palavras, valores obtidos com uma amostra composta de 5 subamostras, por exemplo, são muito menos seguros ou representativos do que uma amostra composta de 20 ou 30 subamostras (PIMENTEL-GOMES, 1995).

Assim, pode-se afirmar que a amostra mais adequada é aquela que representa melhor a área a ser avaliada, com um mínimo de unidades amostrais realizadas para atender a este objetivo.

2.5.2 Procedimento de amostragem de solo não georreferenciadas em sistema plantio direto

Quando se trata de amostras de solo para avaliação da fertilidade, há de se considerar o sistema de cultivo do solo e a forma de aplicação dos corretivos e fertilizantes para poder definir o número de subamostras. A variabilidade dos índices de fertilidade sob sistema plantio direto com adubação a lanço é similar àquela no sistema convencional. Porém, a variabilidade aumenta quando a adubação no sistema plantio direto é feita na linha de semeadura, sendo maior na fase de implantação (até 5 anos), em relação à fase estabelecida (COELHO et al., 2006).

Por isso, para que haja maior representatividade dos elementos no solo, a amostragem deve ser criteriosa, principalmente, em relação ao local e à forma de coleta (SILVA et al., 2003). Em relação à forma de aplicação dos corretivos e fertilizantes, a mesma pode ser na linha de semeadura ou a lanço. Dessa forma, no momento da amostragem de solo alguns cuidados devem ser levados em consideração, como veremos a seguir.

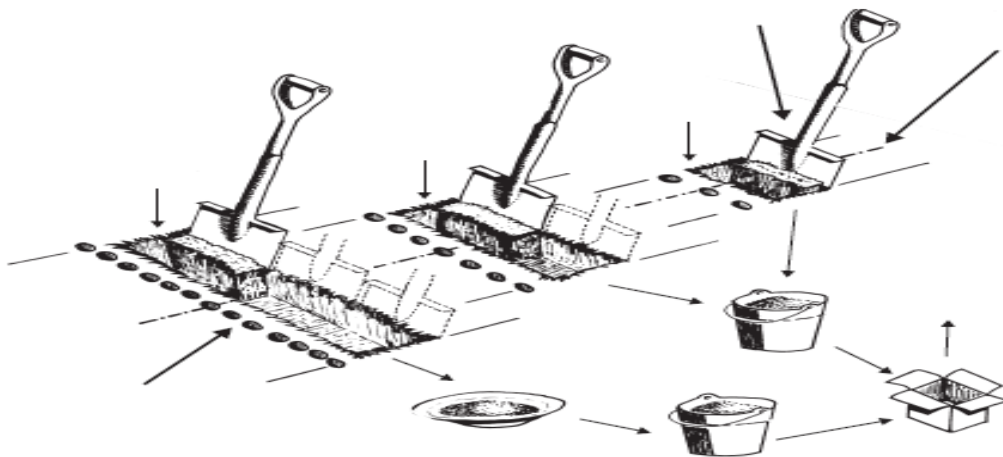
2.5.2.1 Amostragem em sistema plantio direto com adubação na linha e a lanço

A aplicação localizada de fertilizantes nas linhas de semeadura aumenta a variabilidade horizontal dos atributos em solos sob sistema plantio direto, sobretudo no sentido perpendicular às linhas de semeadura. Isso é mais marcante para os nutrientes com baixa mobilidade no solo e maior efeito residual, como o P e o K, com grandes diferenças nos valores de teores desses nutrientes entre os locais adubados e os não-adubados, causando restrições à aleatorização das amostras simples (SALET et al., 1996; KRAY et al., 1997).

Mediante a enorme variação nos teores de P e K no solo, no sentido perpendicular à linha de semeadura, é muito fácil subestimar ou superestimar a necessidade de adubação fosfatada e potássica, através da amostragem aleatória, com instrumentos que coletam pequeno volume de solo. Dessa forma, saber qual a melhor localização do sítio de coleta e qual o número de subamostras necessárias para formar uma amostra representativa da área com adubação na linha é de suma importância (ANGHINONI; SALET, 1995).

Assim, para diminuir a variabilidade existente no sistema plantio direto com adubação na linha, recomenda-se que cada subamostra seja composta por um ponto sobre a linha de adubação e vários pontos situados lateral e transversalmente às linhas de adubação em número variável, conforme a distância das entrelinhas, como pode ser observado na Figura 1 (COMISSÃO, 2016).

Figura 1 – Esquema de amostragem em sistema plantio direto com adubação na linha de semeadura



Fonte: Manual de calagem e adubação para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016).

Para culturas com pequeno espaçamento (0,15 a 0,20 m) de entrelinhas (por exemplo, trigo, cevada, aveia, etc): coletar um ponto na linha de adubação mais um ponto de cada lado, totalizando três pontos de coleta para cada subamostra. Para culturas com espaçamento médio (0,40 a 0,50 m) de entrelinhas, (por exemplo, soja): coletar um ponto na linha de adubação mais três pontos de cada lado, totalizando sete pontos de coleta para cada subamostra. Para culturas com espaçamento maior (0,60 a 0,80 m) de entrelinhas (por exemplo, milho): coletar um ponto na linha de adubação mais seis pontos de cada lado, totalizando 13 pontos de coleta

para cada subamostra. O número de subamostras necessárias para formar a amostra composta de cada gleba uniforme da lavoura varia de 10 a 20 (15 em média) (COMISSÃO, 2016).

Já em relação à amostragem do solo em sistema plantio direto com adubação a lanço, a Comissão de Fertilidade do Solo (2016), recomenda coletar 20 subamostras, de forma aleatória com trado calador ou pá de corte (parte central), originando-se subamostras pequenas.

2.5.3 Procedimento de amostragem de solo georreferenciada em sistema plantio direto

A escolha do procedimento de coleta de amostras de solo a ser realizado irá depender do propósito do experimento, das características da área estudada, do tempo e de recursos financeiros disponíveis (GUEDES, 2008). As diferentes escalas de variação dos atributos do solo induzem grandes dificuldades no desenvolvimento de um plano de amostragem, que utilize uma malha amostral com espaçamento único quando vários atributos do solo estão envolvidos (CHERUBIN, 2013; MONTANARI et al., 2012).

No Brasil, as malhas amostrais que têm sido utilizadas comercialmente variam de 100 a 225 m, de acordo com a precisão desejada, o tamanho da área e os custos de amostragem e de análise do solo (COELHO, 2003; NANNI et al., 2011). Mais especificamente, no RS os planos de amostragens de solo para a caracterização da variabilidade dos atributos químicos do solo e orientação de aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, utilizam indiscriminadamente malhas amostrais regulares, com pontos de coleta espaçados de 100 m a 175 m (CHERUBIN, 2013).

No entanto, essas dimensões de malhas, na maioria das vezes, não levam em consideração, princípios básicos da geoestatística, como a escala de variação dos atributos e o número de amostras necessárias para uma acurada predição dos pontos não amostrados (KERRY et al., 2010). Diante disso, quando são utilizadas malhas amostrais maiores, com pontos mais espaçados entre si, geralmente ≥ 100 m, associados a um tamanho reduzido das áreas, a compreensão e representação das diferentes escalas da variabilidade dos atributos de acidez e das bases relacionadas, ainda são limitadas, mesmo com o uso de geoestatística (SIQUEIRA et al., 2010).

Outro ponto a qual deve ser levado em consideração no momento da amostragem de solo em sistema plantio direto, é que em AP existem dois procedimentos básicos para a amostragem de solo: a) amostragem sistemática em grades e b) amostragem dirigida. Ambos utilizam os mesmos princípios, mas se aplicam a diferentes situações.

2.5.3.1 Amostragem sistemática em grades

Essa amostragem, efetuada em geral na forma de grade, é mais aplicada no caso em que o uso e o manejo prévio da área tenham afetado de forma significativa o nível dos nutrientes. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando glebas com históricos diferentes dão origem a uma única lavoura ou quando se deseja elaborar um mapa detalhado da variabilidade da fertilidade da área (COMISSÃO, 2016).

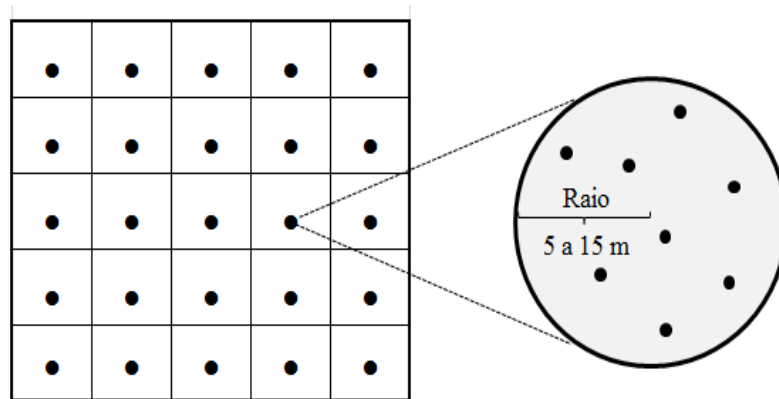
A primeira etapa para a amostragem sistemática consiste em georreferenciar o contorno da área. Com base num mapa geo-referenciado da área, é feita uma subdivisão em glebas menores, denominadas células ou subáreas que podem variar desde um a vários hectares. Esquemas de amostragem de solo em que se utilizam malhas menores, ou seja, pontos amostrais mais próximos possibilitam caracterizar a variabilidade espacial de uma variável regionalizada com maior acurácia, porém, com custos mais elevados quando comparados com esquemas amostrais utilizando malhas maiores (MALLARINO; WITTRY, 2004; HAVLIN; HEINIGER, 2009).

Cherubin (2013), estudando a eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com AP, concluiu que as malhas amostrais utilizadas no RS, de modo geral, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas, podendo induzir prescrições de corretivos de menor acurácia. Segundo o autor, à medida que se reduz a dimensão da malha amostral (pontos amostrais mais próximos), mais acuradas são as avaliações realizadas, conseqüentemente reduz a porcentagem de erro e melhora a qualidade da amostragem de solo realizada, ao fato que quanto maior a malha amostral, maiores são os desvios e conseqüentemente os erros dos mapas obtidos.

Se tratando de amostragem sistemática em grades, os pontos de amostragem podem ser localizados no centro de cada célula, nas interseções (nós) da grade ou, ainda, de forma aleatória dentro das células (COMISSÃO, 2016). Sistemas de posicionamento global, como o GPS, são usualmente utilizados nesse tipo de amostragem para localizar o centro de cada grid ou suas interseções.

Para cada amostra, recomenda-se coletar de 5 a 8 subamostras num raio máximo de 5 a 15 m ao redor do ponto geo-referenciado (Figura 2), para reduzir o efeito da micro e mesovariabilidade resultantes da aplicação de fertilizantes na linha de semeadura.

Figura 2 – Sugestão de procedimento de amostragem sistemática em grades



Fonte: Manual de calagem e adubação para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016).

Cabe salientar que, com o número baixo de subamostras, usando o trado calador ou o trado rosca, o volume de solo amostrado pode ser insuficiente para determinar todos os atributos da análise nos laboratórios e/ou guardar uma alíquota para eventuais reavaliações. Nestes casos, sugere-se aumentar para 8 a 12 subamostras (COMISSÃO, 2016).

2.5.3.2 Amostragem dirigida

A amostragem dirigida é indicada quando houver um conhecimento prévio da existência de áreas da lavoura em que o rendimento é diferenciado (MOLIN, 2002). Nesse caso, mapas de produtividade, imagens por sensoriamento remoto ou outras informações espaciais disponíveis devem ser utilizados. Essa amostragem pode também ser utilizada quando não tenha ocorrido alguma das situações em que seja recomendada a amostragem sistemática, descrita anteriormente (COMISSÃO, 2016).

Com o mapa geo-referenciado e após a análise das informações disponíveis, incluindo a experiência do interessado (técnico ou produtor), divide-se a lavoura em diferentes áreas de manejo, considerando as características mais gerais. Em geral, a divisão da lavoura em 4 a 6 áreas tem se mostrado adequada aos objetivos da AP. Para a avaliação da fertilidade de cada área considerada uniforme, coletar, ao acaso e de modo a cobrir toda a área, 10 a 20 subamostras (média 15) e formar uma amostra composta que será enviada ao laboratório para análise. As amostras podem ser geo-referenciadas com aparelho GPS, para possibilitar outras coletas, caso necessário (COMISSÃO, 2016).

Molin et al. (2015), destaca que a escolha da densidade amostral adequada para o levantamento de algum parâmetro é determinante para a qualidade final do mapa e de sua

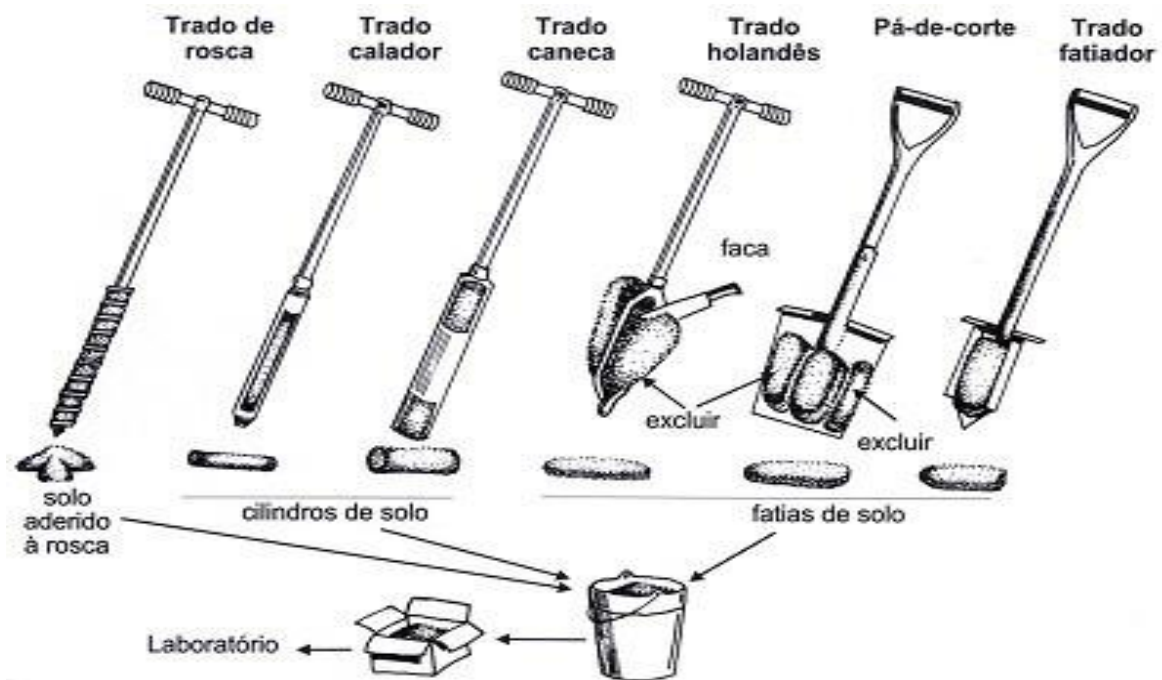
capacidade de representar adequadamente a realidade. A maior quantidade de dados implica em informação mais consistente e, conseqüentemente, o diagnóstico referente à variabilidade presente tenderá a ser mais acertado (BRASIL, 2013).

2.5.4 Equipamentos para amostragem de solo

A adequada representatividade da amostra composta está diretamente relacionada com a qualidade das amostras simples (GUARÇONI et al., 2006). Entre outros requisitos, exige-se que as amostras simples sejam coletadas na mesma profundidade, possuam mesmo volume e reflitam as condições de fertilidade de seus respectivos sítios de coleta.

Nesse sentido, em solos sob sistema plantio direto, o tipo de instrumento de coleta das amostras simples exercerá grande influência nas medidas da média e da variabilidade desses índices. Dessa forma, a adequação do equipamento para amostragem do solo depende das condições locais, como o tipo, o grau de compactação e o teor de umidade do solo (COMISSÃO, 2016). Na Figura 3, são ilustrados os amostradores mais comuns, utilizados para a coleta de amostras de solo.

Figura 3 – Amostradores de solo para avaliação da fertilidade.



Fonte: Manual de calagem e adubação para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016).

Segundo Schlindwein et al. (1998), o instrumento utilizado na amostragem do solo também pode ser fonte de variabilidade, considerando o próprio tamanho (volume de solo) da subamostra, como também possíveis perdas, como, por exemplo, na coleta com trado de rosca, que pode acarretar perdas de solo, principalmente das camadas superficiais, mais ricas em alguns dos atributos químicos do solo.

Schlindwein e Anghinoni (2002), avaliando a influência do instrumento de coleta (trado de rosca e pá de corte) nas medidas da média e da variabilidade de características químicas de um Latossolo Vermelho Argiloso, concluíram que para todas as características químicas analisadas (pH, SMP, P, K e MO), independentemente da forma de adubação, a variabilidade foi maior quando se usou o trado de rosca do que quando se utilizou a pá de corte, principalmente para P. Os mesmos autores constataram também que o trado de rosca requer a coleta de um número elevado de subamostras, especialmente em áreas com adubação na linha, o que pode induzir a recomendações mais elevadas de adubos e corretivos devido à perda da camada superficial do solo no momento da coleta.

A utilização do trado em substituição à pá de corte tem a vantagem da maior rapidez na coleta das amostras simples e no manuseio e transporte de um menor volume de solo no campo antes da homogeneização das subamostras e retirada da amostra composta. Por outro lado, o menor volume de solo coletado com trado faz com que a variabilidade dos índices de fertilidade do solo aumente, tornando necessário coletar maior número de subamostras para formar uma amostra composta representativa.

Os amostradores de solo mais utilizados no Brasil são o trado de rosca, o trado calador, o trado holandês e a pá-de-corte. Os três primeiros coletam um volume pequeno de solo e são mais práticos. No sistema convencional, pode-se amostrar o solo com qualquer um desses amostradores, coletando-se, ao acaso uma amostra composta de 10 a 20 subamostras na camada de 0-0,20 m de profundidade (COMISSÃO, 1995; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2002). O revolvimento do solo, nesse sistema, diminui a variabilidade dos resultados e a eficiência dos amostradores se equivale (SALET et al., 2005).

Já no sistema plantio direto com adubação em linha e a lança, os amostradores de solo recomendados pela Comissão (2016) para amostragem são a pá-de-corte ou trado calador. Nessa situação, coletam-se, ao acaso, 10 a 20 subamostras, na camada de 0-0,10 m para contemplar os efeitos de variabilidade do sistema. A fatia de solo para cada subamostra corresponde a toda a extensão da largura da entrelinha da última cultura, tendo como ponto central a linha de semeadura.

Além dos amostradores da Figura 3, podem ser utilizados também equipamentos automatizados, nos quais um braço hidráulico insere o amostrador no solo, podendo ser acoplado ao trator ou a um pequeno veículo automotor, para a retirada sistematizada de amostras. Pode ser utilizado também um trado de rosca acoplado a uma furadeira movida à bateria própria ou conectada à do veículo. Nesse equipamento, a parte perfuradora do solo (rosca) deve ser ajustada a um coletor (na forma de copo com abertura central em fundo côncavo) para evitar a perda do solo superficial (COMISSÃO, 2016).

2.6 VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS DO SOLO

Várias são as causas que levam a maior ou menor variabilidade dos nutrientes nos solos, podendo-se destacar, principalmente, o tipo e a intensidade de adubação, as características dos nutrientes e o sistema solo x planta x atmosfera (SILVA, 1999).

Além das causas citadas anteriormente, a variabilidade do solo é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas. Uma mesma área, aparentemente homogênea, pode apresentar grande variabilidade em seus componentes. Pode-se então dizer que cada solo tem suas características próprias e diferem entre si, com maior ou menor variabilidade espacial entre seus atributos (KNOB, 2006).

Em relação à variabilidade das propriedades químicas do solo, a mesma é afetada pelo material de origem (CARVALHO et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2002; CARVALHO et al., 2003), tipo de solo (BARRETO et al., 1974; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000a; CHAVES et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2007; SANTOS et al., 2009), pelo manejo do solo (CARVALHO et al., 1998; CARVALHO et al., 2002; SILVEIRA; CUNHA, 2002; SILVEIRA et al., 2000; ALVAREZ; GUARÇONI, 2003; VENEGAS; GUARÇONI, 2003; CORÁ et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2007) e pelo tipo de cultura implantado (CARVALHO et al., 1998; SALET et al., 2005; ROZANE et al., 2011).

O conhecimento da variabilidade dos atributos químicos do solo é importante para a coleta de amostras representativas, além de permitir implantar manejos em sítios específicos ou em taxa variada (COELHO, 2003b). Dessa forma, a AP surge como uma ferramenta opcional na agricultura mundial, permitindo manejar de forma racional a variabilidade espacial e temporal e os atributos químicos do solo com objetivo de maximizar eficientemente o uso das áreas agrícolas.

Reichert et al. (2008), em estudos com fatores de produção, ressaltaram que, dentre outros, os atributos químicos do solo influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento das culturas. Dessa maneira, a avaliação da variabilidade espacial desses atributos torna-se importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo que visam aumentar a produtividade agrícola e reduzir os efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo (SILVA et al., 2003; CHAVES et al., 2004), além de influenciar no número e na distribuição das amostras simples a serem coletadas (ALVAREZ; GUARÇONI, 2003; VENEGAS; GUARÇONI, 2003).

Apesar de reconhecer a possibilidade de detectar e manejar a variabilidade de muitos atributos, como produtividade e qualidade da cultura, tipo de solo e nutrientes, e manejos integrados, Dampney e Moore (1999), afirmaram que o mapeamento confiável e não oneroso desses atributos apresenta muitos desafios. Nesse sentido, dados de produtividade e de amostras regionalizadas de solo têm sido utilizados para estudar a correlação entre a variabilidade de propriedades do solo e a produtividade de culturas (COELHO et al., 1999).

Outro ponto importante sobre a variabilidade dos atributos no solo é que a mesma pode ocorrer horizontalmente e verticalmente. No primeiro caso, ela ocorre principalmente em razão da forma de adubação e da planta, ao passo que no segundo a variação é decorrente das características dos elementos, do sistema de manejo e do sistema solo-planta-atmosfera. A seguir será apresentada uma abordagem mais sistêmica sobre o assunto.

2.6.1 Variabilidade horizontal dos atributos do solo

A variabilidade horizontal pode ser exemplificada pela relação linha de plantio e entrelinha, uma vez que em sistema plantio direto, culturas com diferentes espaçamentos são cultivadas, e as linhas de adubação, geralmente não coincidem (SILVA, 2002).

James e Wells (1990), caracterizam a variabilidade horizontal do solo resultante da aplicação de fertilizantes em três tipos: as microvariações, que ocorrem em distâncias entre 0 a 0,05m, são devido ao local (sítio) onde o fertilizante é colocado no solo; as mesovariações, que ocorrem em distâncias entre 0,05 a 2m, são devido às adubações em linha e as macrovariações que são para distâncias maiores que 2m. Assim, para contemplar a variabilidade horizontal do solo e ter uma boa representatividade do seu estado de fertilidade, o número de subamostras devem contemplar as macrovariações, enquanto a forma, o tamanho e o local de amostragem devem contemplar as micro e as mesovariações.

Quando as colheitadeiras fazem uma perfeita distribuição da palhada na superfície do solo e as adubações no sistema plantio direto são a lanço, espera-se uma variabilidade horizontal semelhante à do sistema convencional. Porém, quando as adubações são feitas na linha de semeadura ocorre uma maior concentração de alguns nutrientes na linha (KRAY et al., 1997).

A concentração de nutrientes na linha de semeadura no sistema plantio direto reflete no aumento da variabilidade horizontal dos atributos químicos do solo, causando dificuldades para a coleta de amostras representativas do seu estado de fertilidade. A magnitude do efeito residual de corretivos e fertilizantes depende do tipo, da frequência e da quantidade aplicada. É, também, maior para aqueles atributos que apresentam menor mobilidade no solo, como o P e o K (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000a).

Souza et al. (1998), verificaram que no sistema plantio direto ocorreram os maiores coeficientes de variação e os menores alcances de dependência espacial, comparando aos demais sistemas (preparo convencional, escarificado e pastagem), para a maioria das propriedades químicas do solo. Desse modo, assume-se que o solo sob sistema plantio direto é mais variável que o solo sob os demais sistemas estudados pelos autores.

Anghinoni e Salet (1998), também verificaram uma maior variabilidade nas lavouras com sistema plantio direto em relação ao convencional. Segundo estes autores, os coeficientes de variação foram baixos (<10%) para pH e para necessidade de calagem, em ambos sistemas de cultivos. Entretanto, os coeficientes de variação foram altos para P e K.

A baixa variabilidade do pH e matéria orgânica pode ser explicada pela distribuição por toda a superfície do solo do calcário e da palhada das culturas, levando à baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica. Sendo assim, um pequeno número de amostras simples é suficiente para representar a área quanto a estes fatores (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000b; SOUZA, 1992; SALET et al., 1996; COUTO, 1997).

Schindwein e Anghinoni (2002), verificaram que a maior variabilidade ocorreu para o P em área cultivada por longo período (nove anos) no sistema plantio direto, por ser um elemento pouco móvel no solo, permanecendo na linha de plantio. Nas áreas que receberam adubação a lanço, os teores de matéria orgânica e K não apresentaram diferença nos teores. Porém, mesmo para o K, que é móvel no solo, as adubações na linha provocaram uma concentração deste nutriente detectada pelas amostragens de solo.

A variabilidade do K não deve estar relacionada somente às linhas de adubação, mas também à localização das plantas, sendo levado da parte aérea para o solo através da chuva,

especialmente no final do ciclo (ANGHINONI; SALET, 1998). Dessa forma, o K tende a concentrar-se na linha de semeadura, próximo ao colo da planta e diminuir com o afastamento do mesmo (KLEPKER; ANGHINONI, 1995).

A representatividade da amostra é um fator muito importante, seja qual for o sistema de plantio adotado, e, para isso, a amostragem deve ser criteriosa, principalmente, em relação ao local e à forma de coleta. Esta deve ser feita abrangendo a maior variabilidade espacial do solo na área em estudo (SOUZA, 1992; COUTO, 1997; ANGHINONI; SALET, 1998). A forma como são distribuídos os fertilizantes também tem influência nos resultados das análises de solo, principalmente no sistema plantio direto, em que o solo não é revolvido. Estas variações demandam a definição de novos procedimentos de amostragem para contemplar essas alterações.

2.6.2 Variabilidade vertical dos atributos do solo

A variabilidade vertical corresponde às diferentes estratificações dos nutrientes no perfil do solo, ou seja, às variações desses elementos em profundidade. Tomando como exemplo o caso das chamadas culturas temporárias e os diferentes sistemas de manejo, plantio direto e plantio convencional, pode-se entender melhor a variabilidade vertical (COMISSÃO, 2016).

Uma das características inerentes ao sistema plantio direto é que a liberação dos nutrientes ocorre a partir da superfície do solo onde os adubos são aplicados. Disso resulta a formação de gradientes dos índices de fertilidade do solo, que se intensificam com o tempo de cultivo. A formação desses gradientes gera dificuldades para definir procedimentos de coleta de amostras de solo que reflitam o estado de fertilidade do mesmo (ANGHINONI; SALET, 1998).

Silveira e Stone (2002), afirmaram que as áreas cultivadas sob sistema plantio direto, em virtude do não revolvimento do solo, adquirem características que, numa amostragem convencional, poderão trazer problemas para a interpretação e recomendação de fertilizantes e corretivos.

O manejo físico, envolvendo todas as formas de preparo que o solo pode receber, também provoca alterações na distribuição e dinâmica dos nutrientes no solo. Os diferentes implementos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas, trabalhando o solo de maneira própria, alterando, diferentemente, estas propriedades. As alterações edáficas, provocadas pelos diferentes

sistemas de preparo, podem requerer ajustes no manejo das culturas e nas recomendações de adubação e calagem (SÁ, 1998).

Com o objetivo de avaliar as alterações provocadas por diferentes sistemas de preparo em algumas propriedades químicas e físicas do solo, Falleiro et al. (2003), realizaram um trabalho de pesquisa em uma área submetida por 16 anos consecutivos a seis diferentes sistemas de preparo. Concluíram que houve aumento da CTC, MO, pH, Ca e Mg, na camada de 0 a 0,05 m, no tratamento semeadura direta. Em contrapartida, houve diminuição de Al e K na mesma profundidade deste tratamento, em função do K estar contido na palhada que não foi amostrada e o Al ter sido complexado pela MO. O P também foi influenciado pelo preparo do solo, sendo que os maiores teores, encontrados na camada de 0 a 0,05 m no tratamento semeadura direta, ocorreram em função do não revolvimento e da baixa mobilidade deste elemento no solo e também pela menor adsorção do P pelos óxidos de Fe e Al.

Souza (1992), relatou que os sistemas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, criam um ambiente no solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação do solo. Como resultado, tem sido encontrado um acúmulo superficial de nutrientes nestes sistemas de plantio. Como as recomendações de adubação foram desenvolvidas no sistema convencional de manejo e com amostras de solo retiradas na camada de 0 a 0,20 m, muitos questionamentos têm surgido no meio técnico quanto à melhor forma de elaborar recomendações diferenciadas para o sistema plantio direto ou buscar alternativas de ajuste em relação ao preparo convencional, especialmente, para os nutrientes que formam gradientes acentuados (ANGHINONI, 2000).

Silveira et al. (2000), avaliando a distribuição de alguns nutrientes no perfil de um Latossolo Vermelho, de textura argilosa, submetido durante cinco anos a três diferentes métodos de preparo (arado de aiveca, grade aradora e plantio direto), relataram que na profundidade de 0 a 0,05 m os valores de pH, Ca, Mg, P, K e da saturação por bases (V%) foram maiores no sistema plantio direto. Os valores de P e K apresentaram as maiores variabilidades e os de pH as menores. Além disso, concluíram que os valores médios de pH, Ca, Mg, P, K e V% variaram conforme o método de preparo do solo e a profundidade amostrada.

Schindwein e Anghinoni (2000b) realizaram trabalho de pesquisa em diferentes regiões no Estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de comparar os rendimentos de diversas sucessões de culturas com o mesmo histórico de cultivo em diferentes locais, solos, modos de adubação e tempos de cultivo nos sistemas convencional e direto. Concluíram que

os teores de P disponível aumentaram no período de cultivo no sistema plantio direto, em todos os solos. O maior aumento relativo do elemento P ocorreu no Argissolo sob sistema plantio direto, provavelmente, devido à característica natural de conter menores teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio capazes de absorver o P inorgânico em relação aos Latossolos.

Observaram, ainda, que o rendimento das culturas foi similar nos sistemas convencional e plantio direto em áreas submetidas ao mesmo manejo de culturas e doses de fertilizantes. Ocorreu também a formação de gradientes dos índices de P e K disponíveis, a partir da superfície do solo no sistema plantio direto. A magnitude desses índices variou com o solo e com o respectivo manejo. Concluíram que a profundidade de amostragem para fins de recomendação de P e K no sistema plantio direto deve ser em torno de 0,07 m quando o solo apresenta teores abaixo do nível crítico para estes nutrientes. Acima dos níveis críticos, a amostragem, em qualquer profundidade até 0,20 m, não altera as recomendações de adubação.

2.7 NÚMERO DE SUBAMOSTRAS

O conhecimento do padrão de variabilidade de cada característica química do solo é importante para definir o procedimento de amostragem do solo para fins de avaliação de sua fertilidade e o número mínimo de subamostras para formar uma amostra composta representativa da área (OLIVEIRA et al., 2002).

O número adequado de subamostras a serem coletadas para formar a amostra representativa de uma gleba (amostra composta) varia conforme a natureza e a magnitude da variabilidade e os limites requeridos de inferência estatística. Estes limites são definidos pela probabilidade de erro (confiabilidade) e pelo erro e , em relação à média (exatidão) (COMISSÃO, 2016).

Tais limites, no entanto, não devem exceder às variações observadas no controle de qualidade das análises adotado pelos laboratórios da ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina). Assim, considera-se a probabilidade do erro α de 5% e o erro de 20% em relação à média como adequados para o estabelecimento do número de subamostras, em conformidade com o controle de qualidade de análises da ROLAS (WIETHÖLTER, 2002).

Em razão da variabilidade de cada solo, vários pesquisadores têm calculado o número mínimo de subamostras necessário para estimar com exatidão o valor médio das propriedades químicas do solo, para estabelecer um critério de amostragem com maior acurácia que

permite, a partir de técnicas de amostragem, extrair conhecimentos representativos de uma determinada área com nível de segurança preestabelecido (AMARO FILHO et al., 2007; SILVEIRA et al., 2000).

Segundo Souza (1992), o procedimento consiste em coletar ao acaso um certo número de amostras individuais, analisar, calcular o coeficiente de variação dos dados, achar o valor de tabela do teste t correspondente ao número de graus de liberdade do quadrado médio residual, estabelecer a diferença permitida em torno da média e, assim, calcular o número mínimo de subamostras a serem coletadas em futuras amostragens.

O número de subamostras pode ser bastante variável para cada solo, devido à variabilidade do sistema e ao manejo do solo em que a ação residual dos adubos aplicados a lanço e nas linhas se mantém na sequência dos cultivos, juntamente com a redistribuição dos nutrientes reciclados dos resíduos (SOUZA, 1992; COUTO, 1997; SOUZA et al., 1998; ANGHINONI; SALET, 1998).

Segundo pesquisas, os limites de inferência estatística nos sistemas de preparo convencional e de cultivo mínimo são atendidos com a coleta de 10 a 20 subamostras (15 em média), com todos os amostradores de solo. No entanto, devido à maior variabilidade dos parâmetros de fertilidade no sistema plantio direto, o número de subamostras para formar uma amostra composta é maior, especialmente se forem utilizados os trados de rosca, calador e holandês.

Na maioria dos casos, a distribuição superficial uniforme de calcário e da palhada das culturas no sistema plantio direto leva à baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica, o que determina um pequeno número de subamostras para a coleta de amostras de solo representativas da área (SOUZA, 1992; SALET et al., 1996; COUTO, 1997). Entretanto, as adubações a lanço, quando desuniformes, ou em linhas, favorecem a variabilidade horizontal de nutrientes, como P e K, que ficam disponíveis por mais de uma cultura (JAMES; DOW, 1972; KLEPKER; ANGHINONI, 1993, KLEPKER; ANGHINONI, 1995; KRAY et al., 1997).

Barreto et al. (1974), verificaram, em um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, que o número de subamostras para formar uma amostra composta para determinação dos valores de pH, Ca+Mg e Al deveriam ser, respectivamente, 1, 19 e 13. Quanto a P e K, há necessidade de, respectivamente, 38 e 19 subamostras. Vê-se, portanto, que o número de subamostras varia em relação aos diferentes elementos químicos do solo.

No que se refere à variação da amostragem de diferentes manejos do solo, Santos e Vasconcellos (1987), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico,

recomendaram coletar: 9 amostras compostas, formadas de 10 simples, para áreas recém-desmatadas; 7 amostras compostas, formadas de 10 simples, para uma área arada e gradeada; e 15 amostras compostas, formadas de 10 simples, para uma área que recebeu adubação e calagem. Esta recomendação considera uma variação máxima de 20% em torno da média e 80% de probabilidade, aplicável aos elementos que apresentaram maior variabilidade no solo.

Silveira et al. (2000), estudando amostragem e variabilidade de características químicas de um Latossolo, verificaram que, para uma variação máxima de 5 % em torno da média, os valores de pH podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras, entretanto, para o P e K, com baixo número de subamostras, a variação dos valores em torno da média pode atingir mais de 25 %.

Silveira e Cunha (2002), concluíram que, para utilizar o procedimento de coletar 20 subamostras para formar uma amostra composta representativa, os teores de argila, MO, B e Mn são estimados com erro em torno de 10 % do valor médio, e os de Cu e Zn, com erro superior a 25 %.

Schlindwein e Anghinoni (2000b), com base num estudo de variabilidade em 6 lavouras, concluíram que para representar os índices de fertilidade do solo no sistema plantio direto, considerando os mesmos limites de inferência estatística proposto pela Comissão, 1995 (erro α de 5% e variação em torno da média de 20%), seriam necessárias 13 subamostras para caracterizar os teores de P e de K no solo estudado.

Silva et al. (2003), com o objetivo de identificar o número de subamostras de solo necessárias para representar o grau de fertilidade das camadas de solo sob sistema plantio direto, conduziram um experimento no qual a amostra de solo foi coletada na linha e na entrelinha, na profundidade de 0-0,15 m, num Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, utilizando trado de rosca. Concluíram que a variabilidade nos atributos de fertilidade foi baixa para pH, H+Al, Ca e Mg; média para K, MO, Fe e Cu e alta para P, Zn e Mn. Para uma probabilidade de 90% e um erro em torno da média de 10% foi necessário um máximo de 20 subamostras na linha e 10 subamostras na entrelinha para representar a maioria das características. Já para o P foram necessárias 257 subamostras na linha e 54 na entrelinha. Os resultados podem ser atribuídos ao elevado coeficiente de variação entre as concentrações de P, principalmente na linha, em função da adubação e do menor volume de solo coletado pelo trado de rosca.

Schlindwein e Anghinoni (2002), trabalhando com tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto, observaram que as amostragens de solo com pá de corte com 0,05/0,10 m (espessura/largura) em lavouras com

adubação a lanço, apresentam eficiência semelhante à de amostragens com 0,05 m/largura das entrelinhas com adubação em linha no sistema plantio direto. Dessa forma, os autores concluíram que o número de subamostras retirado com pá de corte, na faixa de 10 a 20 pontos, recomendado pela Comissão (1995) para o sistema convencional de cultivo, implica admitir um erro de 20% em relação à média.

Souza et al. (2006), estudando amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo, observaram que quando utilizada uma variação de 10 % em torno da média, os valores das variáveis pH, MO, CTC, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, argila, silte e areia podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras (< 15). Para as variáveis H+Al, V% e resistência do solo à penetração, é necessário um número de subamostras variando entre 15 a 30, e as variáveis P, K, Ca, Mg, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada necessitam de um número de subamostras alto (> 30).

Rozane et al. (2011), verificaram que o número de subamostras necessário a compor a amostra para os atributos de MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e saturação por bases do solo variam conforme o uso e manejo do solo e o erro aceitável para a estimativa da média. Sendo que o aumento do número de unidades amostrais reduziu o erro percentual na estimativa da média, permitindo a recomendação de 14, 14 e 11 unidades amostrais no manejo com mata nativa, pastagem e milho, respectivamente, para um erro de 20% na estimativa da média.

Oliveira et al. (2007), trabalhando com amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo, concluíram que, em geral, a coleta de pelo menos 8 subamostras de solo, realizada com pá de corte ou trado de caneca de forma dirigida, seria suficiente para formar uma amostra composta representativa para avaliação da fertilidade média do solo de uma unidade de amostragem aparentemente homogênea. Contudo, quanto maior o número de amostras simples coletadas, maior será a confiabilidade ou exatidão da estimativa dessa fertilidade média.

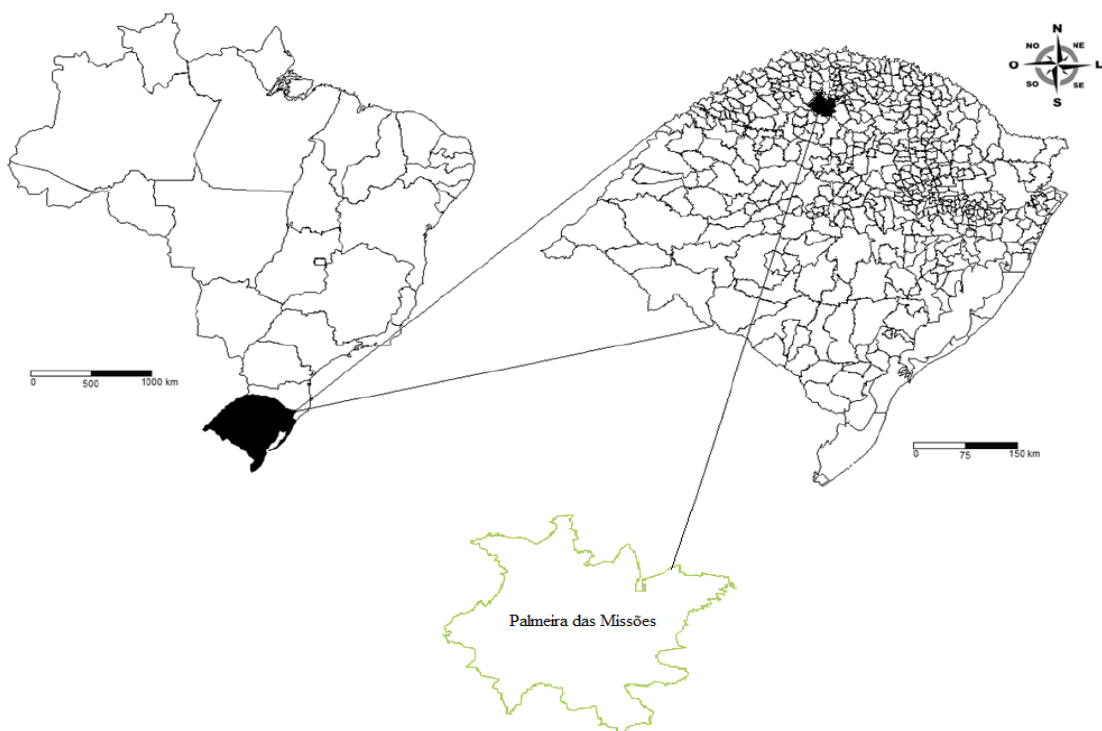
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado em duas propriedades rurais, localizadas no município de Palmeira das Missões - RS, cujas coordenadas geográficas são latitude 27°53'28" e 28°03'35" S e longitude 53°24'34" e 53°16'16" O, respectivamente. As áreas apresentam altitude média de 600m acima do nível do mar. O clima da região segundo Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano sendo a média anual de precipitações de 1838 mm e temperatura média anual entre 16 e 18°C (BOLDRINI, 1997; KUINCHTNER; BURIOL, 2000; CAMARGO et al., 2002).

O relevo das áreas é suavemente ondulado, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013). As áreas são manejadas sob sistema plantio direto, sendo o milho, trigo e a soja as principais culturas utilizadas. As áreas recebem adubação conforme a cultura implantada e calagem periodicamente, ambas baseadas na média dos resultados de análise de solo.

Figura 4 – Localização do município de Palmeira das Missões, no estado do Rio Grande do Sul – RS

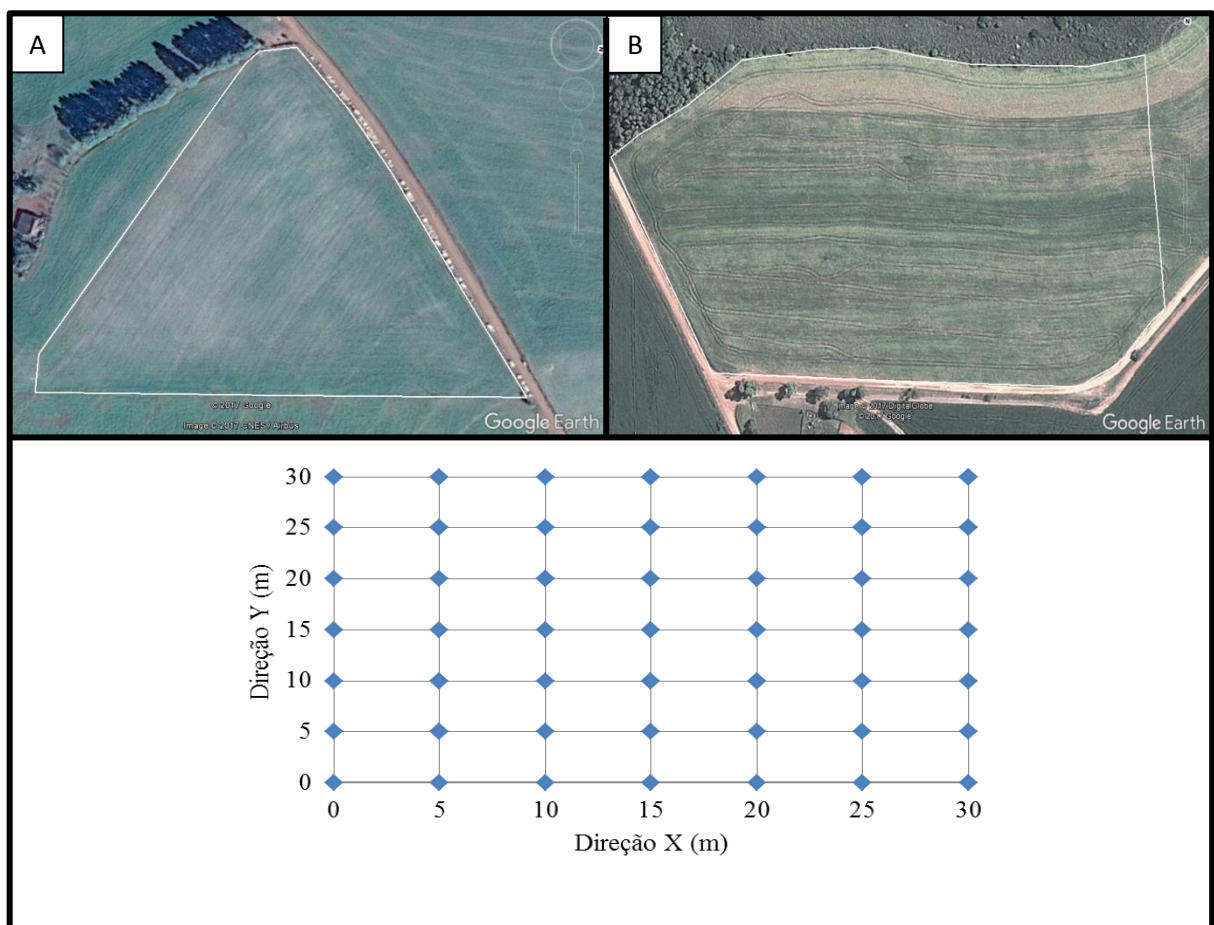


3.2 AMOSTRAGEM DO SOLO

O padrão de amostragem utilizado foi a sistemática, na qual os pontos de amostragem são localizados em intervalos regulares em um grid. Isto garante uma cobertura total da área, sendo a forma mais simples de se identificar os pontos e demarcá-los. As áreas utilizadas foram pela primeira vez amostradas na forma georreferenciada de maneira a não obter efeitos de aplicações em taxa variada de corretivos e fertilizantes.

A amostragem sistemática do solo para ambas as áreas foram realizadas em março de 2017, após a colheita da cultura da soja nos pontos de interseção em uma malha quadrada de 49 pontos, espaçados em intervalos regulares de 5x5 m. As áreas amostradas e o croqui utilizado a campo para a coleta das amostras, com o esquema de amostragem adotado neste estudo, está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema de amostragem do solo (metro x metro) utilizado nas áreas com adubação na linha (A) e com adubação a lanço (B), localizado em Palmeira das Missões-RS. (Retângulos indicam os pontos amostrados)



Fonte: Autor e Google Earth (2017).

As amostras foram coletadas em dois sistemas de manejo diferentes, sendo uma área conduzida sob plantio direto com adubação na linha e a outra com adubação a lanço. Em ambas as áreas o solo foi coletado com pá-de-corte, sendo que na lavoura com adubação na linha foi coletada uma fatia de 0,05 m de espessura pela largura das entrelinhas do último cultivo (0,45 m, espaçamento utilizado no plantio da soja), de maneira que a linha de adubação e plantio ficasse centralizada na faixa de coleta. Na área com adubação a lanço, as amostras foram retiradas independentes das linhas de cultivo, com uma fatia de 0,05 m de espessura e 0,10 m de largura (COMISSÃO, 2016). As amostragens foram coletadas na profundidade de 0-0,15 m.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas vedadas, identificadas e encaminhadas para o laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e analisadas conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e recomendadas pela Comissão (2016).

Os atributos avaliados foram pH em H₂O (relação 1:1); fósforo (P, mg dm⁻³) e potássio (K, mg dm⁻³), extraídos por Mehlich¹; cálcio (Ca, cmol_c dm⁻³) e magnésio trocável (Mg, cmol_c dm⁻³), extraídos por KCL 1 mol L⁻¹; acidez potencial (H+Al, cmol_c dm⁻³); capacidade de troca de cátions (CTC pH 7, cmol_c dm⁻³); saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO) determinada por digestão úmida. Os resultados médios das análises químicas do solo dos atributos avaliados no sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios dos atributos avaliados no sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha

Sistema de Adubação	Argila (%)	pH em H ₂ O (relação 1:1)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	MO (%)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	CTC pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	Saturação por Bases (%)
Lanço	54	5,65	9,56	65,88	2,88	7,02	3,26	4,05	14,49	71,80
Linha	38	5,91	13,16	190,35	2,34	5,67	2,71	2,88	11,72	75,55

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise exploratória (estatística clássica descritiva), objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa computacional *Statistical Analysis System Learning Edition 8.0* (SAS, 2003). Os parâmetros estatísticos determinados foram: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão (*s*),

coeficientes de variação (CV%), de assimetria (Cs) e de curtose (Ck). Os valores médios dos atributos do solo foram comparados pelo teste t.

Segundo a estatística clássica, as variações nos atributos do solo dentro de unidades amostrais não são correlacionadas, e a média das amostras é o melhor estimador desses atributos em qualquer local de amostragem. Portanto, determinou-se, também, o número mínimo de subamostras, para formar uma amostra composta representativa. Para isso, foram utilizados os resultados analíticos das amostras simples para o cálculo da variabilidade dos índices de fertilidade do solo e dos parâmetros estatísticos indicados na Equação (1), utilizada por Petersen e Calvin (1986), Santos e Vasconcellos (1987), Souza (1992), Davis et al. (1995) e Couto (1997), com algumas diferenças quanto à sua denominação e definição.

$$n = [(t_{\alpha} \times CV) / e]^2 \quad (1)$$

Onde: n é o número de subamostras a ser coletado; t é o valor da tabela (teste t) correspondente ao erro; α é o número de graus de liberdade do quadrado médio residual; CV é o coeficiente de variação e; e é o erro em torno da média.

O CV foi calculado a partir das 49 amostras simples, no teste t usou-se α (0,05; 0,10; 0,20) de intervalo de confiança e para o e usaram-se (5, 10, 15, 20, 25 e 30%), de erro em torno da média.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da estatística clássica dos atributos pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% em função dos tratamentos, estão apresentados na Tabela 2. Com exceção do pH, observou-se que os valores médios de todos os atributos químicos analisados, tanto no sistema com adubação a lanço e na linha, diferiram estatisticamente entre si, pelo teste t. Resultados semelhantes também foram encontrados por Schlindwein e Anghinoni (2002), trabalhando com representatividade da fertilidade do solo em sistema plantio direto e por Rozane et al (2011), trabalhando com dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo.

Tabela 2 – Valores de média, mediana, mínimo, máximo, *s* (desvio padrão), curtose, assimetria e CV (coeficiente de variação) dos atributos pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% em sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha

Atributos	Adubação	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	<i>s</i>	Curtose	Assimetria	CV (%)
pH	Lanço	5,65 a	5,60	4,90	6,30	0,31	0,23	-0,21	5,57
	Linha	5,91 a	5,90	5,10	6,50	0,29	0,34	-0,51	4,98
P	Lanço	9,56 b	9,10	4,20	20,00	3,18	1,39	0,92	33,30
	Linha	13,16 a	12,00	7,20	26,00	4,56	1,40	1,31	34,64
K	Lanço	65,88 b	63,00	28,00	125,00	19,05	1,02	0,89	28,91
	Linha	190,35 a	177,00	72,00	331,00	63,40	-0,37	0,42	33,31
MO	Lanço	2,88 a	2,90	2,00	3,50	0,28	1,34	-0,29	9,60
	Linha	2,34 b	2,30	1,90	3,10	0,28	0,36	0,67	11,75
Ca	Lanço	7,02 a	7,10	3,80	8,90	1,15	0,75	-0,73	16,32
	Linha	5,67 b	5,60	3,30	7,80	0,89	0,33	0,05	15,72
Mg	Lanço	3,26 a	3,30	1,70	4,60	0,62	0,36	-0,26	18,99
	Linha	2,71 b	2,70	1,40	3,70	0,49	0,58	-0,37	18,22
H+Al	Lanço	4,05 a	3,90	2,20	6,90	1,07	0,95	0,83	26,53
	Linha	2,88 b	2,80	1,60	4,90	0,73	0,42	0,79	25,34
CTC	Lanço	14,49 a	14,50	11,90	16,70	0,99	0,19	-0,18	6,81
	Linha	11,72 b	12,10	9,30	14,40	1,33	-0,90	0,06	11,36
V%	Lanço	71,80 b	73,00	46,00	85,00	8,82	1,33	-1,06	11,98
	Linha	75,55 a	77,00	53,00	86,00	6,72	1,66	-1,08	8,89

Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Os valores de média e mediana dos atributos químicos pH, MO, Ca, Mg e CTC, analisados tanto no sistema com adubação a lanço e na linha, estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero. Já para os atributos P, K, H+Al e V% os dados estão mais assimétricos, como pode ser

observado no atributo P, o qual apresentou uma assimetria acentuada de 0,92 e 1,31, no sistema com adubação a lanço e na linha, respectivamente, com valores da média e mediana afastados, devido provavelmente a sua baixa mobilidade no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Montanari et al. (2008), a qual encontrou para o mesmo atributo valores altos de assimetria de 1,07 e 1,76 em latossolo e argissolo, respectivamente.

Além disso, pode-se observar na Tabela 2, que os atributos pH, Mg, V% em ambos os sistemas de adubação e MO, Ca e CTC em sistema com adubação a lanço apresentaram coeficiente de assimetria negativo, indicando tendência de maior quantidade de valores acima da média. Já em relação ao coeficiente de curtose, observou-se que com exceção dos atributos K e CTC no sistema com adubação na linha, todos os atributos apresentaram coeficiente de curtose positivo, ou seja, distribuição de frequência leptocúrtica.

Em relação à variabilidade do solo, medida pelo coeficiente de variação (CV), de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980), revelou-se baixa ($< 12\%$) para o pH, MO, CTC e V%, média variação (12 – 24%) para os atributos Ca e Mg, sendo que os maiores coeficientes de variação ($> 24\%$) foram encontrados para os atributos P, K e H+Al em ambos os sistemas de adubação estudados, caracterizando para esses atributos grande amplitude de variação. Resultados semelhantes também foram encontrados por Souza et al. (1997); Schlindwein e Anghinoni (2002); Carvalho et al. (2003); Souza et al. (2006); Montanari et al. (2008); Lima et al. (2010) e Rozane et al. (2011).

A amplitude de variação das propriedades do solo deve ser analisada com ressalvas, por somente considerar os dois valores extremos de um conjunto de dados e que muitas vezes é afetada por um valor discrepante (CHAVES et al., 2006; FERREIRA, 2009). Além disso, os valores de amplitude indicam problemas que podem acontecer quando se baseia na fertilidade média para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo, pois em alguns locais as doses recomendadas de fertilizantes ou corretivos poderão ser adequadas e em outras poderá haver aplicação excessiva (CORÁ et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2007).

Assim, para quantificar a variabilidade das propriedades químicas do solo, o coeficiente de variação tem sido a medida mais utilizada, por transmitir maior precisão do experimento (SANTOS et al., 2009; OLIVEIRA JUNIOR, 2011; GOMES, 2009). Dessa forma, a obtenção de maiores valores de CV são indicativos da existência de maior variabilidade espacial do atributo na área, o que, conseqüentemente, irá exigir a utilização de planos de amostragem com maior número de subamostras para reproduzir com fidelidade a variabilidade espacial dos atributos em locais não amostrados (SIQUEIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

Quanto ao pH (Tabela 2), os valores de coeficiente de variação encontrados no presente trabalho foram de 5,57 e 4,98% a lanço e na linha, respectivamente, o que evidencia a baixa variabilidade desse atributo, independente do sistema de adubação. Esse resultado pode ser explicado, uma vez que em ambos os sistemas de adubação os valores médios de mínimo e máximo encontrados apresentaram baixa amplitude (1,4). Além disso, a baixa variabilidade desse atributo pode estar relacionada à distribuição uniforme dos corretivos de acidez realizados em ambos os sistemas de adubação (ANGHINONI; SALET, 1998).

Nóia et al. (2012), também encontrou baixo CV para pH, quando estudou o número mínimo de subamostras para avaliação da acidez ativa do solo. Em um trabalho realizado por Souza et al. (2006), também foi constatada baixa amplitude entre os valores mínimos e máximos de pH em Latossolo Vermelho Eutroférico em área com variação nas formas do relevo.

Já os valores de P e K (Tabela 2), ao contrário do pH apresentaram grande amplitude nos dois sistemas de adubação estudados. O atributo P apresentou amplitude de variação a lanço e na linha, respectivamente iguais a $15,8 \text{ mg dm}^{-3}$ e $18,8 \text{ mg dm}^{-3}$. Já os valores mínimo e máximo K, apresentaram amplitude de variação iguais a 97 mg dm^{-3} e 259 mg dm^{-3} , a lanço e na linha, respectivamente. A maior amplitude de variação ocorrida no sistema com adubação na linha para P e K, por conseguinte, os maiores coeficientes de variação 34,64% e 33,31%, podem ser explicados pela coleta de solo nas linhas de plantio e de adubações das culturas instaladas anteriormente na área.

Os adubos fosfatados e potássicos são aplicados a cada cultivo e provocam maior variabilidade pela localização dos fertilizantes nas linhas de semeadura, que se mantêm através dos cultivos (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; KRAY et al., 1997; SALET et al., 1997; SALET et al., 2005). Além disso, o P é pouco móvel no solo e apresenta altas microvariações em pequenas distâncias. Já em relação ao K, a variabilidade no solo não deve estar relacionada somente às linhas de adubação, mas também, à localização das plantas, pois esse elemento não forma compostos orgânicos no tecido das plantas, sendo facilmente transportado da parte aérea para o solo pelas chuvas no final do ciclo da planta, concentrando maiores teores de K próximo ao colo da mesma (KLEPKER; ANGHINONI, 1993; KLEPKER; ANGHINONI, 1995; SALET et al., 1996; ANGHINONI; SALET, 1998).

Outro fator, o qual pode ter relação com os altos valores de P e K encontrados nas coletas feitas nas linhas de adubação é a quantidade de adubos adicionada ao solo, uma vez que a adição de P e K nas adubações, em quantidades maiores do que a planta necessita, também determinaram aumento desses nutrientes na camada superficial do solo, com o tempo

de cultivo no sistema plantio direto. Resultados semelhantes foram encontrados por Wiethölter et al. (1998), os quais observaram aumento dos teores de P e K em área sob sistema plantio direto com a adição de quantidades maiores que a demandada pelas culturas.

Quanto a MO, tanto no sistema com adubação a lanço e na linha os valores médios apresentaram diferença significativa (Tabela 2). Os teores de MO podem ser classificados, na faixa de média e baixa (2,88 e 2,34 %), no sistema de adubação a lanço e na linha, respectivamente, considerando a classificação utilizada para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO, 2016).

O menor valor 2,34 % encontrado na área com adubação na linha pode ser explicado pelo tempo de cultivo sob sistema plantio direto (8 anos), pelo teor de argila mais baixo (38%) e pelo histórico de menor manutenção da palhada no solo. Segundo Sollins et al. (1996) e Bayer (1996), quanto menor o tempo de cultivo há uma tendência de menores teores de MO no solo. Além disso, a argila é responsável por conferir proteção física, físico-química e química para a matéria orgânica, assim, normalmente, quanto menor o teor de argila no solo mais baixo é o teor de matéria orgânica (THUNG; OLIVEIRA, 1998). Dessa forma, os teores de argila de 38% e 54%, encontrados no sistema de adubação na linha e a lanço, respectivamente, podem ser um dos fatores responsáveis pelos diferentes teores encontrados no presente trabalho.

Em relação a Ca e Mg, observou-se diferença significativa em relação aos sistemas de adubação, sendo que as maiores médias foram observadas para ambos os atributos no sistema com adubação a lanço (Tabela 2). De modo geral, os valores de média e mediana dos atributos Ca e Mg tanto no sistema com adubação a lanço e na linha, estão próximos, mostrando distribuições simétricas. Além disso, pode-se observar que o atributo Ca em sistema com adubação a lanço e Mg em ambos os sistemas de adubação apresentaram coeficiente de assimetria negativo, indicando tendência de maior quantidade de valores acima da média. Carvalho et al. (2002), estudando a variabilidade espacial das características químicas do solo sob diferentes preparos, também encontrou coeficiente de assimetria negativo de 0,31 e 0,36 para Ca e Mg, respectivamente, em área sob sistema plantio direto.

Observou-se, também, que os coeficientes de variação encontrados para Ca e Mg foram médios, variando de 16,32% e 15,72% para Ca e 18,99% e 18,22% para Mg, a lanço e na linha, respectivamente. Esses resultados corroboram com os obtidos por Rozane et al. (2011) e Souza et al. (1997), que observaram coeficientes de variação para Ca e Mg de 16,9% e 18,1%, respectivamente. Já em relação ao atributo H+Al, os valores de coeficiente de variação encontrados foram altos, variando de 26,53% e 25,34%, a lanço e na linha,

respectivamente, o que evidencia a alta variabilidade desse atributo químico. Souza et al. (2006), também encontraram para o atributo H+Al, altos coeficientes de variação (28%), quando estudaram os atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo.

Alguns autores têm associado valores altos de coeficiente de variação a uma maior variabilidade dos atributos do solo, sendo necessário um maior número de subamostras para representar a variabilidade do solo (LIBARDI et al., 1986; SOUZA et al., 1997). Esta dispersão aleatória dos dados em torno da média, leva a uma maior distorção da curva de normalidade ou gaussiana, o que se confirma pelos altos valores do coeficiente de variação e, conseqüentemente, do desvio padrão. Estes dados são corroborados pelo cálculo da necessidade do número de subamostras realizados no presente trabalho pela Equação 1, no qual para todos os atributos químicos o número de subamostras recomendados para caracterizar a variabilidade existente nos diferentes sistemas de adubação foi menor para os atributos com baixo CV e maior para os atributos com alto CV.

A definição do número de subamostras, visando atender às recomendações de adubação e calagem, deve considerar a variabilidade de todos os índices de fertilidade do solo incluídos no programa. A Tabela 3 apresenta o número mínimo de subamostras, calculado pela equação 1, para estimar os valores de pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% nos diferentes sistemas de adubação a diferentes porcentagens de variação em torno da média (5, 10, 15, 20, 25 e 30%) e diferentes probabilidades de erro (0,05, 0,10 e 0,20).

Tabela 3 – Número mínimo de subamostras necessário para estimar os valores dos atributos químicos pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTC e V% em diferentes porcentagens de variação em torno da média (5, 10, 15, 20, 25 e 30) e probabilidade de erro (0,05, 0,10 e 0,20) em sistema plantio direto com adubação a lanço e na linha

Probabilidade (%)		pH	P	K	MO	Ca	Mg	H+Al	CTC	V%
e	α	Adubação a Lanço								
5	0,05	5	179	135	15	43	58	114	8	23
	0,10	3	125	94	10	30	41	79	5	16
	0,20	2	75	56	6	18	24	48	3	10
10	0,05	1	45	34	4	11	15	28	2	5
	0,10	1	31	24	3	7	10	20	1	4
	0,20	1	19	14	2	4	6	12	1	2
15	0,05	1	20	15	2	5	6	13	1	3
	0,10	1	14	10	1	3	4	9	1	2
	0,20	1	8	6	1	2	2	5	1	1

(continua)

										(conclusão)
20	0,05	1	11	8	2	3	3	7	1	1
	0,10	1	8	6	1	2	3	5	1	1
	0,20	1	5	4	1	1	2	3	1	1
25	0,05	1	7	5	1	2	2	5	1	1
	0,10	1	5	4	1	1	2	3	1	1
	0,20	1	3	2	1	1	1	2	1	1
30	0,05	1	5	4	1	1	2	3	1	1
	0,10	1	3	3	1	1	1	2	1	1
	0,20	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Adubação na Linha										
5	0,05	4	194	179	20	40	54	104	20	13
	0,10	3	135	125	15	28	37	72	15	9
	0,20	2	81	75	9	17	22	43	9	5
10	0,05	1	49	46	6	10	13	26	5	3
	0,10	1	34	32	4	7	9	18	4	2
	0,20	1	21	20	2	4	6	11	2	1
15	0,05	1	22	21	2	4	6	12	2	1
	0,10	1	15	14	2	3	4	8	2	1
	0,20	1	9	8	1	2	2	5	1	1
20	0,05	1	12	11	1	3	3	6	1	1
	0,10	1	8	8	1	2	2	5	1	1
	0,20	1	5	5	1	1	1	3	1	1
25	0,05	1	8	7	1	2	2	4	1	1
	0,10	1	5	5	1	1	1	3	1	1
	0,20	1	3	3	1	1	1	2	1	1
30	0,05	1	5	5	1	1	1	3	1	1
	0,10	1	4	3	1	1	1	2	1	1
	0,20	1	2	2	1	1	1	1	1	1

Os manuais dos diversos Programas de Adubação e Calagem, elaborados regionalmente no Brasil, pelas respectivas Comissões de Fertilidade do Solo, recomendam coletar em torno de 5 a 8 subamostras em sistema de amostragem sistemática em grades (amostragem georreferenciada) e de 10 a 20 subamostras em áreas não georreferenciadas, para formar cada amostra composta e representativa de determinada área (ANGHINONI; VOLKWEISS, 1984; COMISSÃO, 2016). No sistema plantio direto esses números são aceitáveis, desde que as subamostras contemplem a variabilidade do sítio de coleta, como utilizado no presente estudo (0,05 m de espessura e 0,10 m de largura nas lavouras com adubação a lanço e 0,05 m de espessura pela largura da entrelinha de cultivo quando as adubações são nas linhas de cultivo).

Além disso, o número adequado de subamostras de uma gleba irá variar conforme a natureza e magnitude da variabilidade e os limites requeridos de inferência estatística. Esses limites são definidos pela probabilidade de erro (confiabilidade) e pelo erro em relação à média (exatidão). Atualmente, consideram-se como adequados para o estabelecimento do número de subamostras a probabilidade de erro α de 0,05% e o erro em relação a média de 20% (COMISSÃO, 2016).

Dessa forma, observou-se no presente trabalho que, independentemente dos limites de precisão adotados (α e e , na equação 1), o número de subamostras necessárias para compor uma amostra representativa foi pequeno em ambos os sistemas de adubação para pH, MO, CTC, V%, as quais apresentam baixa variabilidade no solo, e grande para P, K, Ca, Mg e H+Al o qual provavelmente esteja relacionado à grande variabilidade que esses atributos apresentaram nos diferentes sistemas de adubação (Tabela 2). Resultados semelhantes também foram encontrados por Souza (1992); Schindwein e Anghinoni (2002); Silveira e Cunha (2002); Rozane et al. (2011); Oliveira et al. (2007) e Silveira et al. (2000).

Nesse contexto, o pH foi o atributo que apresentou o menor coeficiente de variação, corroborando com resultados obtidos por vários autores (OLIVEIRA et al., 1999; CHAVES et al., 2006; LIMA et al., 2010; CARVALHO; FADIGAS, 2011). Devido ao baixo CV, o atributo pode ser estimado com número relativamente pequeno de subamostras, sendo que para uma variação de 5% em torno da média e probabilidade de erro α de 0,05%, o número mínimo de subamostras para representar o atributo na área com adubação a lanço e na linha, foi de 5 e 4, respectivamente. Souza et al. (2006), também estimaram o número de 5 subamostras utilizando variação em torno da média de 5% e uma subamostra para as variações de 10, 15, 20, 25 e 30%. Silva et al. (2003), trabalhando com amostragem e variabilidade dos atributos de fertilidade em um latossolo sob sistema plantio direto, também encontraram os mesmos números de subamostras para estimar o valor de pH, utilizando os mesmos limites de inferência estatística.

Em relação a MO, observou-se no presente trabalho que o atributo também pode ser estimado com baixos números de subamostras (15 e 20 subamostras a lanço e na linha, respectivamente). A baixa variabilidade horizontal dos atributos pH e MO era esperada, uma vez que a distribuição da palhada e do calcário no solo é uniforme. Isto, entretanto, não ocorre na aplicação dos fertilizantes P e K no sistema plantio direto, que é efetuada a cada cultivo, mantendo-se alterados com o tempo de plantio (KRAY et al., 1997; RICHTER et al., 2011).

Dessa forma, os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com os obtidos por Santos e Vasconcellos (1987) e Oliveira (1999), os quais afirmam que o baixo

coeficiente de variação encontrado nos atributos pH e MO, não deve ser empregado como indicador para determinar o número de subamostras para se fazer uma amostra composta representativa do nível de fertilidade da área, devendo-se utilizar outros atributos que apresentem maiores valores para o coeficiente de variação, tendo em vista a grande variabilidade encontrada nos atributos P, K, Mg e Ca, os quais são altamente influenciados pelo manejo.

Para P e K, o número de subamostras para representar o estado de disponibilidade dos atributos no solo, nas diferentes probabilidades de erro, foi muito grande, de tal modo que com a utilização de uma variação de 5% em torno da média e probabilidade de erro α de 0,05%, a quantidade de subamostras encontrados para o atributo P foi de 179 no sistema de adubação a lanço e 194 na linha. Já para o atributo K, o valor encontrado foi igual a 135 e 179 subamostras, a lanço e na linha, respectivamente, o que reflete a maior variabilidade do P em relação ao K, principalmente quando se deseja maior confiabilidade dos resultados. Números elevados de subamostras referentes ao atributo P e K na mesma porcentagem de segurança também foram encontrados por Carvalho et al. (2002) e Souza et al. (2006), que observaram valores de 176 e 131 subamostras para caracterizar os atributos P e K, respectivamente.

Resultados semelhantes também foram encontrados no presente trabalho para o atributo H+Al, em que o número de subamostras para representar o atributo dentro dos mesmos limites de precisão também foi elevado, sendo que no sistema com adubação a lanço observou-se a necessidade de coletar 114 subamostras e no sistema com adubação na linha 104 subamostras para caracterizar a variabilidade do atributo dentro da área. Rozane et al. (2011), trabalhando com dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo, também observaram números elevados de subamostras para caracterizar o atributo H+Al. Segundo os autores, se consideradas as porcentagens de erro em torno da média de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 % é preciso coletar 116, 29, 13, 7, 5 e 3 subamostras, respectivamente, para caracterizar o atributo dentro da área de estudo.

Como há possibilidade de ocorrer outros erros, além dos inerentes à amostragem, nas diferentes etapas do processo de recomendações de adubação e calagem, a utilização de limites de precisão (e 5% e α 0,05 %) para determinar o número de subamostras podem ser demasiadamente exigentes para as condições de lavoura. Além disso, geram elevado número de subamostras (PETERSEN; CALVIN, 1986; SANTOS; VASCONCELLOS, 1987; SOUZA, 1992; DAVIS et al., 1995; COUTO, 1997). Dessa forma, para poder atender a variabilidade dos atributos em condições de lavoura e diminuir o número de subamostras,

uma das alternativas seria utilizar limites de precisão maiores, como pode ser observado no presente trabalho com a utilização de e 20% e α 0,05%, onde o P apresentou um número médio de 11 e 12 subamostras e o K 8 e 11 subamostras, a lanço e na linha respectivamente (Tabela 2).

Com relação a Ca e Mg, devido ao alto coeficiente de variação encontrados nesses atributos, o número de subamostras necessárias para obter uma variação de 5% em torno da média e probabilidade de erro α de 0,05%, também foi bastante alto nestes atributos, variando de 43 a 40 subamostras para Ca e 58 a 54 subamostras para Mg, no sistema de adubação a lanço e na linha, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2002), trabalhando com amostragem e variabilidade espacial de características químicas do solo, encontraram 58 e 75 subamostras para caracterizar os atributos Ca e Mg, respectivamente, em área sobre sistema plantio direto.

Como pode ser observado na tabela 2, a menor quantidade de subamostras para caracterizar os atributos Ca e Mg só foi observada com a utilização de menores limites de precisão, sendo que com a utilização de e 20% e α 0,05% é possível caracterizar os atributos Ca e Mg com apenas 3 subamostras. Dessa forma, ressalta-se que a forma de amostragem no presente trabalho, diferenciada entre os modos de adubação para contemplar a variabilidade dos sítios de coleta, determinou um número de subamostras dentro do número recomendado pela Comissão (2016), para o sistema plantio direto: 5 a 8 subamostras em sistema de amostragem sistemática em grades (amostragem georreferenciada) e de 10 a 20 subamostras em áreas não georreferenciadas.

Para a CTC, devido a sua baixa variabilidade no solo, a amostragem nos diferentes sistemas de adubação, requer um número de subamostras pequeno, quando se admite um erro em relação à média de 5%: 8 e 20 subamostras para a adubação a lanço e na linha, respectivamente e, consideravelmente menor para probabilidade de erro de 20%: apenas 1 subamostra para caracterizar o atributo em ambos os sistemas de adubação. Resultados semelhantes foram encontrados no presente trabalho para a variável V% em ambos os sistemas de adubação, quando utilizou-se probabilidade de erro de 20% em relação à média.

Esses resultados, encontrados no presente trabalho, para as variáveis CTC e V% corroboram com os obtidos por Souza et al. (2006), que também encontraram 1 subamostra para caracterizar o atributo CTC em área sob sistema plantio direto, utilizando probabilidade de erro de 20% em relação à média. Rozane et al. (2011), utilizando a mesma probabilidade de erro, trabalhando com dimensionamento do número de amostras para avaliar a fertilidade

do solo, observaram 2 subamostras para caracterizar o atributo V% em área maneja com pasto.

Outro fator que deve ser observado no presente trabalho é que o valor de “t” tabelado normalmente é menor que dois para os valores de probabilidade utilizados (0,05 a 0,20). Assim, o número de amostras simples para formar uma amostra composta depende, principalmente, do coeficiente de variação, da característica avaliada e do erro admitido em torno da média (OLIVEIRA et al., 2002). Desse modo, pode-se observar no presente trabalho que a partir de um erro na faixa entre 15 – 20%, 12 a 22 subamostras seriam necessárias para compor uma amostra composta representativa, para os atributos químicos estudados nesta pesquisa, em ambos os sistemas de adubação, concordando com resultados obtidos por Carvalho et al. (2011).

Além disso, pode-se observar que utilizando-se o procedimento de coletar 20 subamostras, como proposto pela Comissão (2016) para os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, os resultados obtidos na área com adubação a lanço mostram que os teores de pH, MO e CTC em função dos menores coeficientes de variação, estariam sendo estimados com cerca de 5% de variação em torno da média. Ca, Mg e V% estariam sendo estimados com cerca de 10% de variação em torno da média e P, K e H+Al estariam sendo estimados em cerca de 15% de variação em torno da média. É interessante lembrar que dificilmente se faz uma amostragem separada para cada atributo, o que significa dizer que a precisão final da estimativa feita após amostragem única depende da variável considerada.

Já na área com adubação na linha, os teores de pH, MO, CTC e V% estariam sendo estimados com cerca de 5% de variação em torno da média, Ca, Mg com 10% de variação em torno da média, H+Al com 15% de variação em torno da média e os atributos P e K com 20% de variação em torno da média. De acordo com os dados médios de P e K, 20% em torno da média significa que os valores estariam variando para P entre 10,53 mg dm⁻³ a 15,79 mg dm⁻³ e para o K entre 152,28 mg dm⁻³ a 228,42 mg dm⁻³ no sistema de adubação na linha.

A partir desses resultados, a tomada de decisão de quantas subamostras recomendar em planos de amostragem para formar uma amostra composta representativa dependerá da acurácia da informação desejada pelo produtor rural e da sua capacidade de investimentos. Admitir elevadas percentagens de erro em relação à média dependendo do propósito da avaliação pode ser inviável tecnicamente, uma vez que, com a utilização de um número insuficiente de subamostras pode indicar a necessidade de realizar intervenções em locais inadequados, tornando a prática de manejo tecnicamente e economicamente ineficiente (TAVARES-FILHO; RIBON, 2008; MOLIN et al., 2012). Da mesma forma, fica claro que ao

aumentar a robustez da amostragem, maior será a acurácia da informação, mas em contrapartida, o número de subamostras é bastante elevado, o que implicaria também a elevação de custos, devendo-se usar, principalmente, em trabalhos mais detalhados, onde se exige elevado refinamento na amostragem do solo.

De acordo com Souza (1992), a importância do erro de amostragem na estimativa do valor de uma característica do solo, em face do número de subamostras utilizado, está em razão do valor esperado para aquela característica. Assim, quando se espera obter um teor de P no solo bem acima do nível crítico daquele solo, pode-se admitir um maior desvio percentual da média, resultante de um baixo número de subamostras, já que este fato pouco influirá na decisão da adubação. Mas, se os valores esperados estão abaixo do nível crítico, uma estimativa mais precisa deve ser buscada, procurando coletar um maior número de subamostras, pois erros de estimativa poderão deslocar o valor obtido para outra faixa de recomendação, e, assim, provocar adubações maiores ou menores que a necessária.

5 CONCLUSÕES

O número ideal de subamostras, para formar uma amostra composta representativa, irá variar conforme o sistema de adubação, probabilidade de erro e o erro em relação à média. Quanto maior o número de subamostras coletadas, maior será a confiabilidade ou exatidão da estimativa da fertilidade média do solo, aumentando a acurácia dos mapas e das recomendações técnicas. Porém, isso implica em aumento da mão de obra e tempo de serviço, o que resulta em elevado custo de amostragem.

Dentre os limites de precisão estudados, recomenda-se trabalhar tanto no sistema com adubação a lanço e na linha com probabilidade de erro α de 0,05 e erro em relação à média de 20%. Considerando esse mesmo erro, sugere-se coletar pelos menos 11 a 12 subamostras por ponto amostral, para formar uma amostra composta representativa com pá de corte. Baseado em trabalhos de amostragem com outros equipamentos (trado calador ou trado rosca), esse número deve ser maior.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. A. et al. Constante evolução. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 131, p. 12-16, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/artigo-constante-evolucao>>. Acesso em: 04 dez. 2017.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. 2012. 160 p.
- ALVAREZ, V. V. H.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 297-310, 2003.
- AMADO T. J. C. et al. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, edição 91, 2006. Disponível em: <<http://www.plantiodireto.com.br/imprime.php?cod=690>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; TEIXEIRA, T. De G. Avanços e desafios da agricultura de precisão no Sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 01, p. 40-45, 2009.
- AMADO, T. J. C. et al.. Projeto Aquarius - principais contribuições e resultados. In: Antônio Luis Santi; Enio Giotto; Elódio Sebem; Telmo Jorge Carneiro Amado. (Org.). **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1ed.Santa Maria: CESPOL Publicações, 2016. p. 9-26
- 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**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 27-52.
- ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Recomendação de uso de fertilizantes no Brasil. In: ESPINOSA, W.; OLIVEIRA, A. J. In: Simpósio na Agricultura Brasileira, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1984. p. 179- 204.
- ANGHINONO, I. Amostragem do solo no sistema plantio direto. In: Simpósio sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Ponta Grossa, **Anais...** Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 17-25.
- ANGHINONO, I.; SALET, R. L. Variabilidade especial de propriedades químicas do solo no sistema plantio direto. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto, Castro, 1995. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 279-290.
- ANSELMINI, A. A. **Adoção da AP no RS**. Porto Alegre: UFRGS: Centro de Estudos e Pesquisa em Agronegócio, 2012. p. 104. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/40495>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- BALASTREIRE, L. A. **O estudo da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. 224 p.

BARRETO, A. C.; NOVAIS, R. F. de; BRAGA, J. M. Determinação estatística no número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 114, p. 142-147, 1974.

BATCHELOR, B. et al. **Precision agriculture: introduction to precision agriculture**. Iowa Cooperative Extension, 1997. 4 p.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solo**. 1996. 240p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1996.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 596.

BLACKMORE, S. **An information system for precision farming**. The Centre for Precision Farming. Cranfield University. Silsoe, Inglaterra. 1996. p. 09. Disponível em: <<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/ISPF/ispf3.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

BOLDRINI, I. I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Bol. Inst. Biocienc**, v. 56, n. 1, p. 1-39, 1997.

BONELLI, R. Impactos Econômicos e Sociais de Longo Prazo da Expansão Agropecuária no Brasil: Revolução Invisível e Inclusão Social. In: **Anais do Seminário sobre os Impactos da Mudança tecnológica do Setor Agropecuário na Economia Brasileira**. Brasília: Embrapa Inovações Tecnológicas, 2002. 241p.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, Berlin, v.5. n.4, p.359-387, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Precisão** (Boletim Técnico). Brasília, 2013. 36 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agricultura-Precisao/Boletim%20T%C3%A9cnico%20-%20Agricultura%20de%20Precis%C3%A3o%202013.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2017.

CAMARGO, O. A. et al. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Energia, Minas e Comunicações (SEMC). 2002. p. 70.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.

CARVALHO, O. S. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 497-503, 1998.

- CARVALHO, S. R. L.; FADIGAS, F. S. Número de amostras para o estudo de atributos físicos e químicos em Latossolos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Textura, Cruz das Almas-BA**, v. 4, n. 8, p. 175-184, 2011.
- CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.
- CHAVES, L. H. G. et al. Propriedades químicas do solo Aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 431-437, 2004.
- CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.
- _____. Variabilidade de propriedades químicas de um Neossolo Flúvico da Ilha de Picos (Pernambuco). **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 135-141, 2006.
- CHITOLINA, J. C. **Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem**. 1982. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1982.
- CLINE, M. G. Principles of soil sampling. **Soil Sci.** Baltimore, v. 58, p. 275- 288, 1944.
- COELHO A. M. et al. **Amostragem de solos: A base para aplicação de corretivos e fertilizantes**. Embrapa Milho e Sorgo, Versão Eletrônica – 6. ed. 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/feramostra.htm>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.249-290, 2003a.
- _____. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVARES, V. V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 249-290, 2003b.
- COELHO, A. M. et al. **Amostragem de solos: A base para aplicação de corretivos e fertilizantes**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTMUSorgo/CultivodoSorgo/solarnostra.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- COELHO, A. M.; DORAN, J. W.; SCHEPERS, J. S. **Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties**. In: International Conference on Precision Agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 441-52.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (Passo Fundo, RS). **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 223 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de calagem e adubação para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**, SBCS/NRS. 11. ed. Porto Alegre, 2016, 376p.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de Agricultura de Precisão na cultura da Cana-de-Açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 1013-1022, 2004.

COUTO, E. G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. 183p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1997.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research - based advice to farmers. In: International Conference on Precision Agriculture, 4., 1999, **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, p.661-674. 1999.

DAVIS, J. G. et al. Variability of soil chemical properties in two sandy Dunal soil of Niger. **Soil Sci.**, v. 159, p. 321-330, 1995.

DOBERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 285-297, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, D. F. Estatística descritiva. In: FERREIRA, D. F. **Estatística Básica**. Lavras: UFLA, 2009. p. 5-56.

FIORIN, J. E.; SCHNELL, A.; RUEDELL, J. **Diagnóstico das propriedades rurais na região de abrangência das cooperativas: Coopatrigo, Cooperoque, Cotap, Cotrisa, Cotrisal (SB) e Tritícola**. Passo Fundo: Berthier, 2007. p. 176.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C. Projeto APcoop: Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul. In: Antônio Luis Santi; Enio Giotto; Elódio Sebem; Telmo Jorge Carneiro Amado. (Org.). **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1ed.Santa Maria: CESPOL Publicações, 2016. p. 27-58.

FOUNTAS, S. et al. Farmer Experience with Precision Agriculture in Denmark and the US Eastern Corn Belt. **Precision Agric.**, 2005. p. 6-121. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11119-004-1030-z>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

GENTIL, L. V.; FERREIRA, S. M. Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão. **Revista A Granja**, Porto Alegre, n. 610, p. 12-17, 1999.

GIOTTO, E. et al. **Agricultura de Precisão no Sistema CR Campeiro 7** – 1. ed. – Santa Maria: CESPOL, 2016.

GOEHL, C. M. **Semeadura de precisão e utilização de tráfego controlado em máquinas agrícolas: estudo de caso**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão)-Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2009. p. 15-24.

GUARÇONI, M. A. et al. Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de amostras simples necessário à sua representação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 943-954, 2006.

GUEDES L. P. C. **Otimização de amostragem espacial**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

HAVLIN, J. L.; HEINIGER, R. W. A variable-rate decision support tool. **Precision Agriculture**, v.10, p.356–369, 2009.

HIKISHIMA, M. et al. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto, convencional e reflorestamento de um Latossolo. In: Evento de Iniciação Científica, 1996. Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1996. p. 196.

JAMES, D. W.; DOW, A. I. Source and degree of soil variation in the field: the problem of sampling for soil test and estimating soil fertility status. **Washington**, 1972.

JAMES, D. W.; WELLS, K. L. Soil sample collection and handling: technique based on source and degree of field variability. 3.ed. In: WESTERMAN, R. L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 25-44.

JORGE, H. D. **Amostragem do solo para análise química**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE de Porto Velho, 1986. 11 p. (Circular técnica, 8).

KAY, B. D.; SILVA, A. P.; BALDOCK, J. A. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: predictions using pedotransfer functions. **Canadian Journal Soil Science**. v. 77, p. 655-667, 1997.

KELLOG, C. E. We seek; we learn. In: STEFFERUD, A. (Ed). **The yearbook of agriculture**, 1957: Soil. Washington: U.S. Department of Agriculture e U.S. Government Printing Office, 1957. p. 1-11.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision agriculture. In: OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verlag, p.35-63, 2010.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG v. 19, p. 395-401, 1995.

_____. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. **Agronomy-Trends in Agril Sci.**, v. 1, p. 111-115, 1993.

- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662. (Agronomy Monography, 9).
- KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.
- KRAY, C. H.; SALET, R. L.; ANGHINONI, I. **Variabilidade horizontal e amostragem dirigida do solo no sistema plantio direto**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 6p. (Relatório de Pesquisa)
- KUHAR, J. E. **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline, 1997. 117p.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Schientia, Sér. Ciências Exatas*, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- LENCSES, E.; TAKÁCS, I.; TAKÁCS-GYÖRGY, K. **Farmers Perception of Precision Farming Technology among Hungarian Farmers**. *Sustainability*, v. 6, p. 8452-8465, 2014. Disponível em: <file:///D:/Users/JESSE/Downloads/sustainability-06-08452-v2.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 10, p. 85-90, 1986.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010.
- LOWENBERG-DEBOER, J. Precision farming and the new information technology: implications for farm management, policy, and research: discussion. **American Journal of Agricultural Economics**, Oxford, v. 78, p. 1281-1284, 1996.
- MALARINO, A. Using precision agriculture to improve soil fertility management and onfarm research. **Integrated crop management, IC - 480**, p. 12-14, 1998. (Precision Ag. edition).
- MANTOVANI, E. C. **Agricultura de precisão e sua organização no Brasil**. Agricultura de Precisão. Viçosa, 2000. p. 79-92.
- MONTANARI, R. et al. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.542-552, 2012.
- MOLIN (2002) apud HAUSCHLID, F. E. G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo**. 2013. Dissertação (Agricultura de Precisão)- Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2013.
- MOLIN J. P.; AMARAL L. R. do.; COLAÇO A. F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J. P. **A realidade de hoje na agricultura de precisão**. Informativo da Fundação ABC, Castro. p. 4-6, 2001.

_____. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Eng. Agríc. Jaboticabal*, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

_____. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORE, A. (Org.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, 2000. p. 237-258.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA L. Estudos com petronometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 84-90, 2012.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p.131-144, 2004.

MONTANARI, R. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1266-1272, 2008.

MONTESINOS, M. G. et al. Número de submuestras necesarias para la obtención de una muestra de suelo representativa. **Agríc. Vergel**, v. 24, n. 1, p. 9-18, 2002.

NANNI, M. R. et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

NÓIA, N. R. C.; RIBON, A. A.; DAVALO, M. J. Estimativa do número mínimo de subamostras para avaliação da acidez ativa de um Neossolo Quartzarênico. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 3, p. 87-101, 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, de J. C. **Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos de formação Guabirotuba**. 2011. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

OLIVEIRA, F. H. T. et al. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 973-983, 2007.

_____. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**. In: Tópicos em Ciência do Solo, II. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

OLIVEIRA, I. A. et al. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnetica e dos atributos de Argissolos da Região de Manicore, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 668-681, 2015.

OLIVEIRA, J. J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 783-789, 1999.

OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E. Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1982. p. 403-427.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Álcool: Planalsucar, 1983. p. 155-178.

PAIVA, R. M. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura: uma reformulação. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 01, n. 02, p. 117-161, 1975.

PETERSEN, R. G.; CALVIN, L. D. Sampling. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis**: part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.33-51.

PIMENTEL-GOMES, F. Quantas amostras simples de solo para uma boa amostra composta. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 71, p. 4-5, 1995.

PIRES, J. L. F. et al. **Discutindo Agricultura de Precisão – Aspectos Gerais**. Embrapa, documentos online ISSN 1518-6512. Passo Fundo, RS. Dezembro, 2004. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.

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

REICHERT, J. M. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade**. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. 2010, Teresina. Novos caminhos para agricultura conservacionista no Brasil: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

RICHTER, R. L. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1043-1059, 2011.

ROZANE, D. E. et al. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 111-118, 2011.

SÁ, J. C. M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto. In: Seminário sobre o sistema plantio direto na ufv, 1. ed. **Resumo das palestras**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 19-61.

SABBE, W. E.; MARX, D. B. Soil sampling: spatial e temporal variability. In BROWN, J. R. (Ed.). **Soil testing**: sampling, correlation, calibration and interpretation. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 1-14.

SALET, R. L. et al. Como fazer uma amostragem de solo no sistema plantio direto. In: Seminário internacional do sistema plantio direto, 2. ed. 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa- CNPT, 1997. p. 205-207.

_____. Variabilidade horizontal e amostragem de solo no sistema plantio direto. In: Reunião sul-brasileira de ciência do solo, 1., Lages, 1996. **Resumos Expandidos**. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 74-76.

SALET, R. L.; NICOLODI, M.; BISSO, F. P. Eficácia do trado holandês na amostragem de solo em lavouras no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p 487-491, 2005.

SANTOS, H. C. et al. Amostragem para avaliação de fertilidade do solo em função da variabilidade de suas características químicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 849-854, 2009.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos; 2013.

SANTOS, H. L.; VASCONCELLOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 97-100, 1987.

SAS. Statistical Analysis System Learning Edition. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 2003. 200 p.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 963-968, 2002.

_____. Variabilidade dos índices de fertilidade do solo no sistema plantio direto e coleta de amostras representativas. In: Reunião sul brasileira de ciência do solo - manejo sustentável do solo, 2. ed. **Resumos Expandidos**. Santa Maria: NRS/SBCS, 1998. p. 142-145.

_____. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 85-91, 2000a.

_____. Variabilidade vertical do fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000b.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. **Viabilidade econômica da agricultura de precisão: O Caso do Paraná**. 2013. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/12O499.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

SILVA, C.; DE MORAES, M.; MOLIN, J. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision 76 agriculture**, Berlin, v. 12, n. 1, p. 67-81, 2011.

SILVA, F. C. (Org). **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. EMBRAPA, Brasília, 1999, 370p.

SILVA, M. L. S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) na área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVEIRA, P. M. da et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 157-162, 2002.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, v.155, p.55-66, 2010.

SIQUEIRA, D. S. J. et al. Sampling density and proportion for the characterization of the variability of Oxisol attributes on different materials. **Geoderma**, p. 232-234, 2014.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Elsevier Sci.**, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, L. S. et al. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 77-86, 1998.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 102p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1992.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VEEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 77-86, 1998.

SOUZA, Z. M. et al. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 249-356, 2006.

_____. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 892-836, 2006.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-10, 1997.

SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. **The agricultural innovations process: research and technology adoption in a changing agricultural sector**. For the Handbook of Agricultural Economics 2000. Disponível em: <<http://www.cpahq.org/cpahq/cpadocs/Agricult%20Innovation.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

TAVARES-FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistencia do solo a penetração em resposta ao numero de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 487-94, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

THUNG, M. D. T.; OLIVEIRA, I. P. de. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, 1998. 172 p.

VENEGAS, V. H. A.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 297-310, 2003.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D, (Ed.). **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p. 319-344.

WIETHÖLTER, S. Controle de qualidade de análises de solo da ROLAS. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

WIETHÖLTER, S. et al. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p. 121-149.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In Aldeia Norte Editora. (Org.). **V Curso de Fertilidade do Solo em Plantio Direto**. Passo Fundo: Aldeia Editora, 2002. p. 14-53.