

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

Leonice Schio

**MALHAS DE AMOSTRAGEM RETANGULAR E HEXAGONAL NA
GERAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E APLICAÇÃO PARA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Santa Maria, RS
2016

Leonice Schio

MALHAS DE AMOSTRAGEM RETANGULAR E HEXAGONAL NA GERAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E APLICAÇÃO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

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

Orientadora: Prof^a Dr^a. Claire Delfini Viana Cardoso

Santa Maria, RS
2016

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

Schio, Leonice

MALHAS DE AMOSTRAGEM RETANGULAR E HEXAGONAL NA
GERAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E APLICAÇÃO PARA
AGRICULTURA DE PRECISÃO / Leonice Schio.- 2016.

78 p.; 30 cm

Orientadora: Claire Delfini Viana Cardoso

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2016

1. Amostragem de Solo 2. Agricultura de Precisão 3.
Malha Hexagonal 4. Malha Retangular I. Delfini Viana
Cardoso, Claire II. Título.

©2016

Todos os direitos autorais reservados a Leonice Schio. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte. E-mail: leoniceschio@gmail.com

Leonice Schio

MALHAS DE AMOSTRAGEM RETANGULAR E HEXAGONAL NA GERAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E APLICAÇÃO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

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

Aprovado em 15 de setembro de 2016:

Claire Delfini Viana Cardoso, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Valmir Aita, Dr. (UFSM)

Daniel Boemo, Dr. (IFFarroupilha)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Maria Inês Muraro Schio e Leonor Schio, que são a base de tudo que sou, e que mesmo não tendo alto grau de instrução, ensinaram-me e permitiram (apesar da saudade e das dificuldades) lutar e alcançar meus objetivos; confiar e a agradecer a Deus por iluminar e guiar nossos caminhos sempre.

À minhas irmãs, Adriana, Sandra e Cleunice por sermos grandes amigas apesar das pequenas diferenças, pelas demonstrações de carinho e apoio e ao meu sobrinho, o pequeno, Eduardo.

Muito obrigada família!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter permitido chegar aonde cheguei, pois tenho certeza, que devo tudo a Ele, que sempre guiou e iluminou meus passos.

Aos meus pais, Leonor e Maria Inês, pelas pessoas magnificas que são que mesmo com as dificuldades impostas pela vida, ensinaram a não esmorecer diante delas. Tenho orgulho de tê-los como pai e mãe.

Às minhas irmãs, Adriana, Sandra e Cleunice por estarem sempre me incentivando, em especial a Cleu pela disponibilidade, amizade e atenção. Sei que posso contar sempre com vocês, claro, não esquecendo o Eduardinho, que faz com que a vida seja leve como o seu sorriso.

Ao Marcelo Homercher, pelo carinho, compreensão e incentivo durante está trajetória, bem como pelo carinho e apoio recebido de sua família.

A minha orientadora prof^a Claire Cardoso, pela confiança e amizade depositadas, pela disponibilidade e atenção.

Ao prof. Enio Giotto, pelo incentivo e ajuda e por ter me inserido no mundo da AP.

Aos amigos Evandro Venturini, Leonice Vidal, Vanessa Oliveira e Suelen Irigaray, pelo apoio, incentivo e ajuda direta no desenvolvimento desse trabalho.

A empresa Drakkar Solos por me disponibilizar liberdade de tempo para a realização do mestrado e aos colegas pelo apoio e suporte nos momentos que estive ausente no decorrer do curso.

Aos participantes da banca examinadora, pelas importantes contribuições na melhoria deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão.

A Coordenação e docentes do PPGAP que foram fundamentais na construção do conhecimento e formação profissional.

A todos que de uma forma ou outra, direta ou indiretamente ajudaram na concretização desse trabalho, meu muito obrigado.

RESUMO

MALHAS DE AMOSTRAGEM RETANGULAR E HEXAGONAL NA GERAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E APLICAÇÃO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

AUTOR: Leonice Schio

ORIENTADORA: Dr^a Claire Delfini Viana Cardoso

As malhas de amostragem são fundamentais quando desejamos representar a variação de atributos químicos e físicos do solo, sendo imprescindível conhecer suas características. Desta forma, este trabalho teve como objetivo relacionar a eficiência e a praticidade da utilização das malhas de amostragem de solo do tipo retangular e hexagonal, em uma lavoura localizada no município de Ivorá- RS. Com o propósito de buscar características que auxiliem o pesquisador e o produtor na escolha da malha adequada para representar e diagnosticar suas lavouras, através de mapas de fertilidade e de aplicação. Os procedimentos metodológicos consistiram em estruturar as malhas de amostragem retangular e hexagonal de 1 ha no Sistema CR Campeiro 7, sem a interferência do usuário na distribuição dos pontos. As respectivas coletas de solo ocorreram no mês de junho de 2015. Assim, após a análise da distribuição espacial dos pontos na área para cada um dos casos e estruturados os mapas de fertilidade e aplicação. Entre os principais resultados encontrados, salienta-se que ambas as malhas conseguem representar de forma similar as tendências que o solo apresenta, no entanto, a malha retangular, por apresentar maior número de pontos, consegue representar a variabilidade de forma mais expressiva, mas nota-se que quando há uma alteração na posição e no número de pontos amostrais em uma lavoura, as representações dos mapas apresentam diferenças, que num primeiro momento, analisando somente os mapas de fertilidade, essas diferenças parecem ser pequenas, mas quando estruturado um mapa de aplicação, essa diferença passa a ser significativa, pois resultará em maior ou menor aquisição de insumos. Salienta-se que cada malha apresenta características que, inevitavelmente, variam de lavoura para lavoura, e uma malha de amostragem deve ser, sempre, planejada e ajustada conforme cada caso, aliando o conhecimento do produtor e dados adicionais disponíveis para definição da mesma.

Palavras-chave: Amostragem de Solo. Agricultura de Precisão. Malha Hexagonal. Malha Retangular.

ABSTRACT

SAMPLING GRID RECTANGULAR AND HEXAGONAL GENERATION OF MAPS OF FERTILITY AND APPLICATION FOR AGRICULTURE OF PRECISION

AUTOR: Leonice Schio

ORIENTADORA: Dr^a Claire Delfini Viana Cardoso

Sample grid's are essential when we want to represent the variation in chemical and physical properties of the soil, being essential to know its features. In this way, this study aimed to relate the efficiency and practicality of using soil sampling knits of rectangular and hexagonal type in a farm located countryside Ivorá- RS. In order to get features that help the researcher and producer in choosing the appropriate mesh to represent and diagnose their crops by means of fertility maps and application. The methodological procedures consisted of structuring the rectangular and hexagonal sampling knits of 1 ha in the CR Campeiro 7, without user interference in the point's distribution. Soil samples were collected in June 2015. So, after analysis of the spatial distribution of points in the area for each of the cases the fertility maps and application were structured. Among the main results, it is noted that both knits can represent similarly the trends that the soil presents nevertheless, the rectangular grid, due to a higher number of points, can represent the variability more expressively, but was found that when there is a change in the position and number of sampling points in a crop, the representations of the maps have differences, which at first, analyzing only the fertility maps, these differences seem small, but when structured a map of application, this difference becomes significant as it will result in greater or lesser purchase of inputs. It is emphasized that each mesh has characteristics that will inevitably vary from crop to crop, and a sampling grid should be, always, planned and adjusted according to each case, combining the knowledge of the producer and additional data available to define the same.

Key words: Soil sampling. Precision agriculture. Hexagonal grid. Rectangular grid

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Erro de precisão causado pela Disponibilidade Seletiva (SA).	25
Figura 2 - Ciclo de manutenção de um SIG em Agricultura de Precisão.	28
Figura 3 - Amostragem Aleatória Simples.	32
Figura 4 - Amostragem Sistemática em Grade.	33
Figura 5 - Amostragem Estratificada.	34
Figura 6 - Exemplo de malha de amostragem retangular.	35
Figura 7 - Exemplo de malha de amostragem hexagonal.	37
Figura 8 - Modelo de Semivariograma.	41
Figura 9 - Localização da Área de Estudo.	45
Figura 10 - Área de estudo.	46
Figura 11 - Caracterização da área.	46
Figura 12 - Relevo da área de estudo.	47
Figura 13 - Malhas de amostragem hexagonal (a) e retangular (b) de 1 ha na área de estudo e distribuição dos pontos para ambos casos (c).	48
Figura 14 - Receptor GNSS utilizado a campo.	49
Figura 15 - Material utilizado para a coleta de solo.	50
Figura 16 - Esquema de amostragem de solo.	51
Figura 17 - Janela inicial do Sistema CR Campeiro 7.	52
Figura 18 - Equidistância entre os pontos amostrais de grid 1 ha: malha hexagonal 107m e retangular 100m.	56
Figura 19 - Distribuição dos pontos em linhas e colunas nas malhas de amostragem hexagonal e retangular.	57
Figura 20 - Pontos de abrangência em uma grade de 1 ha aplicando-se um raio de 150 metros para malha hexagonal e retangular.	58
Figura 21 - Equidistâncias entre os pontos amostrais, conforme raio de pesquisa.	59
Figura 22 - Distribuição dos pontos amostrais para ambas as malhas de amostragem: a) hexagonal; b) retangular; c) ambas as malhas.	60
Figura 23 - Mapas do teor de argila para ambas as malhas de amostragem.	64

Figura 24 - Mapas de teor de pH para ambas as malhas de amostragem.....	65
Figura 25 - Mapas de CTC.....	66
Figura 26 - Mapas do teor de Fósforo para ambas as malhas de amostragem.	67
Figura 27 - Mapas do teor de Potássio.	68
Figura 28 – Mapas do teor de Saturação por Bases.	69
Figura 29 - Mapas de aplicação de calcário para ambas as malhas de amostragem.	70
Figura 30 - Mapas de aplicação de fósforo para ambas as malhas de amostragem.	71
Figura 31 - Mapas de aplicação de potássio para ambas as malhas de amostragem.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do nível de fósforo.....	53
Tabela 2 - Classificação do nível de potássio.	54
Tabela 3 - Classificação do nível de argila e CTC.....	54
Tabela 4 - Classificação do nível de pH e Saturação por Bases.....	55
Tabela 5 – Relação de análise de solo correspondente à malha hexagonal.	61
Tabela 6 - Relação de análise de solo correspondente à malha retangular.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Histogramas dos atributos de solo para ambas as malhas de amostragem.62

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
AP	Agricultura de Precisão
Ca	Cálcio
CQFS/RS-SC	Comissão de Química e Fertilidade do Solo/Rio Grande do Sul e Santa Catarina
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
E, N	Coordenadas Leste (E) e Norte (N)
ESALQ	Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
EUA	Estados Unidos da América
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	International Civil Aviation Organization
K	Potássio
MDT	Modelo Digital do Terreno
MG	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
NAVSTAR-GPS	Navigation Satellite with Time and Ranging – Global Positioning System
PAP	Projeto de Agricultura de Precisão
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
ROLAS	Rede Oficial de Laboratórios de Análises do Solo
RS	Rio Grande do Sul
SA	Saturação por Alumínio
SAT-NAV	Satellite Navigation
S/A	Selective Availability
SB	Saturação por Bases
SC	Santa Catarina
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SMS	Spatial Management System™
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivos Gerais	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.1.3	Justificativa	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO	21
2.2	GEOTECNOLOGIAS E AGRICULTURA DE PRECISÃO	23
2.2.1	Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)	24
2.2.2	Sistema de Informações Geográficas (SIG)	27
2.2.3	Sistema CR Campeiro 7	29
2.6	AMOSTRAGEM DE SOLO	30
2.6.1	Métodos de Amostragem	32
2.6.2	Malha de Amostragem Retangular	35
2.6.3	Malha de Amostragem Hexagonal	36
2.7	MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)	37
2.8	GEOESTATÍSTICA	38
2.8.1	Semivariograma	40
2.8.2	Krigagem	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	ÁREA DE ESTUDO	44
3.2	ESTRUTURAÇÃO DAS MALHAS DE AMOSTRAGEM	47
3.3	COLETA DOS DADOS	48
3.4	ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE FERTILIDADE	52
3.4	ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE APLICAÇÃO	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS MALHAS	56
4.2	DADOS DE FERTILIDADE DO SOLO	59
4.3	MAPAS DE FERTILIDADE DO SOLO	64
4.4	MAPAS DE APLICAÇÃO	69

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERENCIAIS.....	75

1 INTRODUÇÃO

Todo produtor, seja aquele que possui uma pequena, média ou grande propriedade, espera que sua lavoura tenha produção máxima e que seja uniformemente produtiva. Para alcançar maior retorno produtivo em suas áreas os produtores agrícolas, de um modo geral, têm encontrado na Agricultura de Precisão (AP) uma grande aliada, pois ela permite o conhecimento detalhado da lavoura, para que intervenções adequadas e pontuais sejam aplicadas, aumentando sua produção, otimizando a aplicação de insumos e defensivos agrícolas e ainda reduzindo os danos à ambiência.

Para alcançar este nível de detalhamento é necessário que a lavoura seja representada mais próxima da realidade possível, sendo fundamental que os métodos e as técnicas aplicadas para tal representação sejam cuidadosamente conhecidos e planejados, desde a amostragem dos dados até as recomendações para correção do solo.

Há muito tempo, a amostragem de solo é o primeiro e imprescindível passo para o sucesso do empreendimento rural, pois dela dependerá a utilização racional e econômica dos insumos na lavoura, (Chitolina, 2009). Anchieta (2012) também reforça que o principal fator relacionado a uma ótima precisão agrícola está na amostragem de solo e na interpretação dos resultados laboratoriais.

Uma das questões amplamente discutidas em agricultura de precisão se refere aos métodos de amostragem de solo, ponto este, determinante para um trabalho representar a realidade de uma lavoura ou distorce-la. Pois é através da malha de amostragem que os pontos amostrais de solo são definidos e distribuídos sobre a área a ser amostrada e, a partir destes, estima-se e representa-se a área num total, como coloca Molin et al (2015), a geração da malha de amostral de solo deve ser criteriosamente planejada e estabelecida para que todos os pontos tenham seu máximo aproveitamento, de formar que represente fielmente a área de estudo.

Visando a importância que a malha de amostragem abrange quando desejamos representar a variação de um fenômeno ou comportamento de determinado atributo, é fundamental que a mesma seja gerada de forma adequada e respeitando as

peculiaridades de cada situação, pois para Bramley (2009 apud Molin 2015) o potencial de resposta das lavouras pode variar consideravelmente, mesmo em pequenas distancias, na ordem de poucos metros.

Ao mesmo tempo em que conhecer o comportamento dos atributos de solo da área é imprescindível, conhecer os métodos e as técnicas aplicadas para chegar a esse conhecimento também é essencial, pois assim podemos justificar possíveis discrepâncias ou erros nos resultados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Relacionar a eficiência e a praticidade da utilização das malhas de amostragem de solo do tipo retangular e hexagonal, a fim de buscar características que auxiliem o pesquisador e o produtor na escolha da mesma para representação de suas lavouras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar o número de pontos que cada malha gera para cada uma das situações;
- Avaliar a influência da distribuição espacial dos pontos em cada um dos casos;
- Contrastar visualmente, através de mapas de fertilidade, os resultados obtidos na utilização de ambas as malhas;
- Gerar mapas de aplicação para cada situação;
- Diagnosticar a influência que cada malha de amostragem gera no resultado final.

1.1.3 Justificativa

Desde que a Agricultura de Precisão (AP) se inseriu no mercado agrícola muitas foram às dúvidas referentes aos métodos de amostragem, sejam eles de solo, de colheita ou outros, algumas dessas dúvidas persistem até hoje, e sempre tomam destaque quando o assunto são os métodos de representar uma área através da amostragem de solo.

Muitos dos estudos relacionados à malha de amostragem encontrados atualmente estão relacionados ao seu tamanho, ou seja, ao dimensionamento da grade. Sendo já comprovado que quanto menor a grade e menor for o espaçamento entre os pontos amostrais, melhor será a representação dos atributos do solo, Anchieta (2012). Aconselha-se, tanto para representação quanto pelo viés econômico, a utilização de grades de 0,5 ha a 4 ha no máximo (GIOTTO et al, 2013; NANNI et al, 2011; COELHO et al, 2010).

No Brasil, conforme Molin et al (2015), a amostragem georreferenciada de solo, tornou-se uma das práticas de manejo localizado mais popular, sendo, muitas vezes, usada erroneamente como sinônimo de AP.

No entanto, há uma carência de estudos que abordem sobre os tipos de malhas de amostragem que podem ser aplicadas, sendo apresentado, às vezes, como única alternativa, a malha de amostragem retangular, sendo que se pode trabalhar com malhas de amostragem do tipo hexagonal.

Logo, a exiguidade de estudos voltados ao tipo de malha de amostragem que se deve utilizar para amostrar o solo, retangular ou hexagonal, justifica a realização deste trabalho, uma vez que a malha hexagonal não é comumente empregada quanto a retangular na prática das empresas prestadoras de serviços em AP, justamente pelo desconhecimento sobre a mesma e pouca difusão de seu uso.

Sendo assim, optou-se por trabalhar com mapas de fertilidade como padrão para testar sua exequibilidade, visto a relevância do conhecimento sobre o assunto, seus objetivos, características e como a disposição dos pontos amostrais em uma malha de amostragem de solo interfere e influencia na representação de uma área.

Desse modo, serão apresentadas e discutidas as características que cada tipo de malha amostral apresenta e, como hipótese, se o uso de uma ou outra, interfere no resultado final de um mapa de fertilidade do solo e conseqüentemente na taxa de aplicação para correção do mesmo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A origem desse moderno sistema foi resultado da rígida política de proteção ambiental da Europa na década de 1980, em que não era mais permitido ao agricultor aplicar insumos em excesso, assim ele passou a adotar mecanismos de orientação e controle (CHITOLINA et al, 2009).

Nesse período, na Europa, registrou-se o primeiro mapa de produtividade e nos Estados Unidos foi realizada a primeira adubação com doses variadas, (MOLIN, 2013).

No Brasil, no final dos anos 90, pesquisas com Agricultura de Precisão realizadas na ESALQ e UNICAMP de São Paulo, UFPR do Paraná e a EMBRAPA de Minas Gerais, são consideradas as pioneiras (AMADO e SANTI, 2011).

No Rio Grande do Sul, conforme os mesmos autores, em 2000 foi implantado o Projeto Aquarius (UFSM), que introduzia as técnicas de AP em fazendas comerciais na cidade de Não-Me-Toque.

No entanto, em quase 20 anos dos primeiros trabalhos no Brasil utilizando os princípios da técnica a adoção não chega a 10% das propriedades rurais como aponta Acosta (2013).

Para Giotto et al (2016), a AP surgiu com a combinação da Tecnologia da Informação e da tecnologia de posicionamento por satélites (especificamente GPS) com as Ciências Agrícolas.

AP compreende um conjunto de técnicas e metodologias que visam otimizar o manejo das culturas e a utilização dos insumos agropecuários, proporcionando máxima eficiência econômica (BRASIL, 2011).

Ao adotar a Agricultura de Precisão se almeja maximizar os resultados econômicos, aumentar a produtividade pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade, utilizando-se de um menor consumo de insumos; otimizar os recursos

naturais, preservando o meio ambiente, onde as culturas deixam de receber um tratamento uniforme e passam a receber um tratamento (GIOTTO et al, 2013).

Para Grisso et al (2009), a agricultura de precisão baseia-se em 3 elementos principais: informação, tecnologia e suporte a decisão (gestão), onde:

- Informação: precisa e oportuna (característica das culturas, solo, meteorológicas, pragas e daninhas, resposta de crescimento, colheita,) devidamente armazenada em um banco de dados e de fácil acesso.

- Tecnologias: o agricultor deve avaliar como as novas tecnologias podem ser adaptadas às suas operações (computador, softwares, GPS, sensores, máquinas, etc.).

- Suporte a decisão: a união de competências de gestão tradicional com ferramentas de agricultura de precisão propicia a tomada de decisão adequada.

Agricultura de precisão pode ser entendida como uma forma de gestão de todo o processo agrícola que leva em consideração a variabilidade existente nas lavouras. Ou ainda, como sendo um tratamento de forma localizada, através da identificação de fatores limitantes à produção (Molin et al, 2015).

As características do solo e de cultivo variam no espaço (distância e profundidade) e no tempo, Mantovani et al (2006). O impacto mais significativo da AP, para Inamasu (2013), é na forma como as decisões de gestão da variabilidade espacial e temporal são tomadas no sistema de produção.

A Agricultura de Precisão tem como principal conceito aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (DOBERMANN & PING, 2004 apud AMADO et al 2006).

Por esse motivo, Inamasu (2013), caracteriza a Agricultura de Precisão em três componentes básicos: captação de dados em escala e frequência adequada; interpretação e análise desses dados; gestão e implementação de uma resposta em escala espacial e tempo adequado.

Quanto maior for a variabilidade espacial, maior deverá ser o número de pontos de amostragem por unidade de área (maior densidade de amostragem), como destacam Coelho e Silva (2009), e quanto maior for a variabilidade temporal, maior

deverá ser o número de amostras por unidade de tempo (maior frequência de amostragem).

A agricultura de precisão busca um maior grau de detalhamento em informações sobre as condições do solo, para sustentar decisões de manejo acertadas (RESENDE e COELHO, 2014).

Um dos componentes fundamentais de adotar o conceito de Agricultura de Precisão na prática está na capacidade de medir a variação espacial de fatores do solo e avaliar a influência deste sobre a variabilidade da cultura a fim de aplicar estratégias de gestão adequadas (EARL et. al, 2013).

A Agricultura de Precisão, conforme Amado et al (2006), permite identificar a variabilidade existente na área e a partir disto investigar fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos) e propor alternativas de manejo diferenciadas de acordo com a necessidade de cada área.

2.2 GEOTECNOLOGIAS E AGRICULTURA DE PRECISÃO

Podemos entender geotecnologias como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, que trazem ganhos significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008, p.11).

Hoje, novas técnicas e ferramentas se sobrepõem ao simples uso de mapas, configurando aos profissionais um expressivo e importante instrumental para seus trabalhos (FITZ, 2008).

As geotecnologias são as ferramentas que possibilitam obter e processar informações precisas sobre cada pedaço da área produtiva (LUCCA, 2012).

A partir da disseminação dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS), do GPS, das técnicas e usos do sensoriamento remoto, se vislumbrou a possibilidade de mapear, detalhadamente, as características de uma área de lavoura, e agir sobre esta da maneira mais adequada em cada ponto (LUCCA, 2012).

Através do Geoprocessamento pode-se avaliar o potencial de aptidão ou restrição das terras para a agricultura, definindo práticas adequadas de manejo e conservação do solo e da água, considerando e cruzando aspectos diversos sobre o meio ambiente (MOTTA e WATZLAWICK, 2000).

No entanto, Chitolina et al (2009), coloca que as tecnologias disponíveis vão possibilitar a geração de dados que têm de ser analisados e transformados em informações práticas, que vão influenciar as decisões no manejo dos solos e das culturas. Assim, os ganhos provenientes da agricultura de precisão são resultantes das decisões de manejo e não do uso das tecnologias disponíveis.

2.2.1 Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)

A denominação GNSS foi cunhada pela International Civil Aviation Organization (Icao) e abrange os sistemas GPS (Global Positioning System) dos Estados Unidos, Glonass da Rússia, Galileo da Europa e Beidou da China, bem como os SBAS – Waas, Egnos, Gagan (MSAT) e os Ground Base Augmentation System (GBAS), (MONICO, 2013).

O sistema GPS desenvolvido pelos Estados Unidos e Glonass desenvolvido pela ex União Soviética, foram sistemas militares concorrentes, Lago et al. (2002), e declarados operacionais quase que simultaneamente, em abril e dezembro de 1985, respectivamente. Mas com o declínio da ex União Soviética e a falta de manutenção dos satélites Glonass, o sistema GPS reinou absoluto, atingindo uma maturidade que o popularizou de forma muito abrangente (MONICO, 2013).

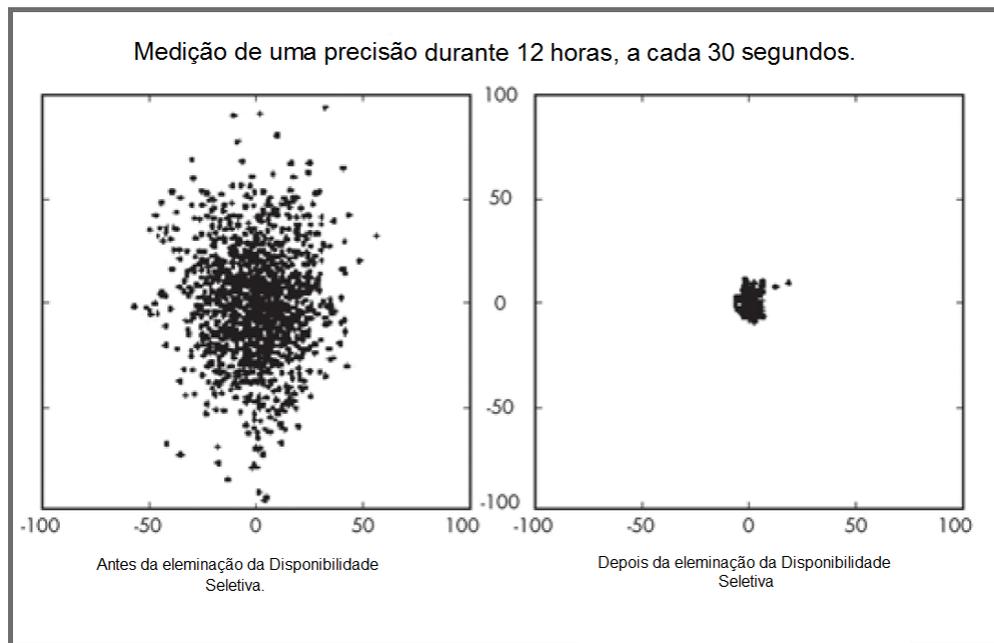
O sistema GPS, de utilização gratuita, encontra-se disponível para uso comercial, 24 horas por dia, desde 90, tendo sido, antes desta data, utilizado exclusivamente em sistemas de navegação com fins militares (COELHO e SILVA, 2009).

A utilização do GPS se encontra nas mais diversas áreas, desde as notadamente científicas, como a geodesia e tectônica, e para fins comerciais como geomarketing, passando por fins puramente recreativos devido a eliminação da Disponibilidade

Seletiva (SA), em 2000, que causava erros na ordem de 100 metros para uso civil (CLARET et al, 2006).

A Figura 1 ilustra os erros de precisão encontrados em uma medição de 12 horas a cada 30 segundos em um ponto, antes e depois da eliminação da Disponibilidade Seletiva (SA).

Figura 1- Erro de precisão causado pela Disponibilidade Seletiva (SA).



Fonte: Adaptado Claret et al (2006).

O surgimento da tecnologia GPS foi fundamental para a aplicação do conceito de Agricultura de Precisão desenvolvido no início do século passado, tornando-se possível realizar o mapeamento da produção e aplicação localizada de insumos à taxa variável (GIOTTO et al, 2016).

Os receptores de GPS de navegação possibilitam a obtenção de coordenadas na casa dos metros, conforme Giotto et al (2016), sendo possível aplica-los nos mapas de produção e de amostragem de solo, pois seus erros são compensados pela interpolação dos pontos.

Entretanto, segundo o mesmo autor, o mesmo não se aplica para aplicação de insumos e defensivos a taxa variada, onde a precisão exigida é maior, e uma pequena variação espacial compromete o trabalho como um todo.

No final da década de 90, Monico (2013), os europeus decidiram pela criação do seu próprio sistema de navegação por satélite, denominado Galileo. Conforme Mano (2012), o Galileo é um projeto financiado pela União Europeia com vista a dotar um sistema SAT-NAV (Satellite Navigation). Deverá ter cobertura global em 2019 e terá duas estações de controle – uma na Alemanha e outra em Itália, o acesso ao sistema será gratuito e deverá oferecer precisões na ordem de 1 m, além disso, apresenta a particularidade de ser um projeto de motivações essencialmente civis.

A iniciativa do Galileo resultou em consequências positivas para os usuários, pois em maio de 2000, os detentores do GPS anunciaram a desativação da disponibilidade seletiva (S/A – Selective Availability), que deteriorava a acurácia capaz de ser proporcionada pelo sistema aos usuários civis, Monico (2013), pois não justificava degradar intencionalmente a precisão do sistema quando outros sistemas forneciam posicionamento bastante preciso (CLARET et al, 2006).

Em 2006 era anunciado um sistema de navegação por satélite em desenvolvimento na China, o Beidou/Compass, disponibilizado publicamente em dezembro de 2012 (MONICO, 2013).

Diante desta evolução os receptores com capacidade de rastreamento de satélites GPS, Glonass e Galileo, além do Compass, passaram a ser realidade, (Monico, 2013).

A disponibilidade de satélites proporcionada pelo uso combinado GPS e Glonass oferece diversas vantagens para o posicionamento, como melhor precisão em áreas com visibilidade restrita, melhoria da qualidade no posicionamento isolado, maior possibilidade de obter boa geometria no rastreamento (LAGO et al, 2002).

As utilizações mais comuns em AP do GNSS, para são orientação e localização das máquinas, delimitação de áreas, amostragem de dados de solo e planta, aplicação à taxa variada de insumos, defensivos e sementes, dados de colheita (GRISSE et, 2009; SENA e PINTO, 2014; CLARET et al. 2006).

2.2.2 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser entendido, para Matos (2008), como informação associada a uma posição: dessa informação diz-se que é georreferenciada ou que é informação geográfica. Portanto, (SIG) designa um sistema de informação que contém informações georreferenciadas.

Para Fitz (2008) um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser compreendido como

um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. (p.23)

Uma das principais vantagens do SIG, Landau et al (2014), é poder integrar dados de diversas áreas do conhecimento com diferentes níveis de detalhamento. Esta capacidade de relacionar camadas de dados através de atributos georreferenciados comuns, permite combinar, analisar e, finalmente, cartografar os resultados (COELHO e SILVA, 2009).

Para Orellana et al (2006), SIG é um sistema integrado para trabalhar com a informação espacial, ferramenta essencial para análise e tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento.

Os SIG permitem-nos criar mapas temáticos, integrar informação da mais diversa natureza, visualizar múltiplos cenários, resolver problemas complexos, apresentar ideias e propor soluções (COELHO e SILVA, 2009).

É uma ferramenta de gestão da informação, que utiliza um banco de dados geográfico associado a um conjunto de informações alfanuméricas e gráficas na forma de mapas digitais, possibilitando relações de alta complexidade sobre o tema trabalhado (ORELLANA et al 2006).

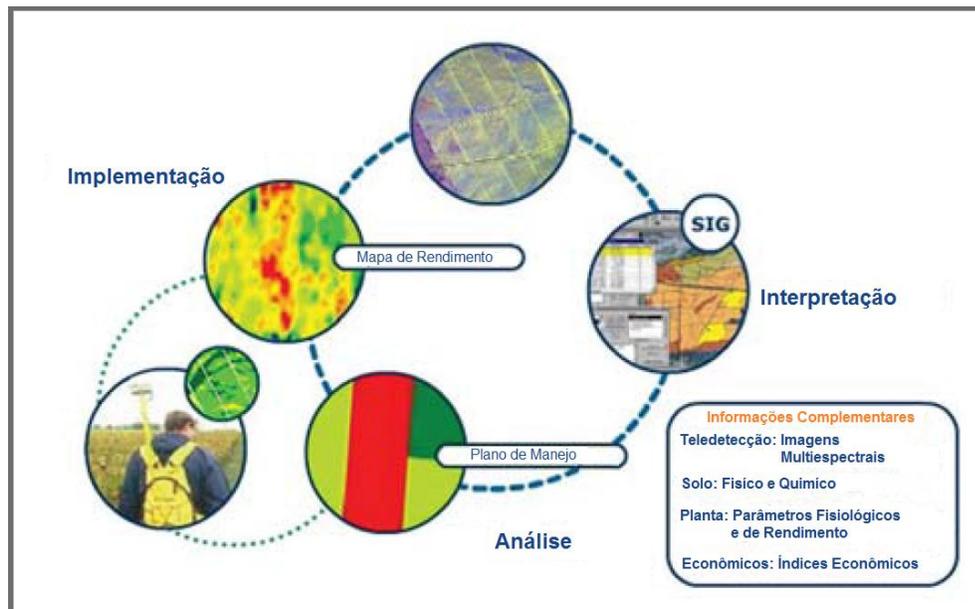
A tecnologia SIG permite armazenar e manipular informações usando o espaço geográfico para analisar padrões, relações e tendências da informação, contribuindo para tomar decisões de rápidas e precisas (ORELLANA et al, 2006).

Os dados obtidos por amostragem georreferenciada para mapeamento do solo devem ser processados e validados segundo alguns princípios de geoestatística e concluídos através de um Sistema de Informações Geográficas (RESENDE e COELHO, 2014).

Os SIG's causaram impacto na agricultura na forma de cultivar e gerir uma propriedade, impulsionada, principalmente, pela adoção do GPS, Orellana (2006), e o que diferencia os SIGs específicos para AP dos demais são as opções de terminologias específicas da área, facilidade para operações corriqueiras em AP, além de interfaces para os sistemas que geram dados no meio agrícola (MOLIN et al, 2015).

Para que a AP seja uma ferramenta de gestão eficiente (Figura 2), os bancos de dados devem ser construídos com base em um constante monitoramento das lavouras (solo e planta), análise de imagens multiespectrais e interpretação dos resultados obtidos, formando um ciclo, aliado às informações econômica e administrativa, (ORELLANA, 2006).

Figura 2 - Ciclo de manutenção de um SIG em Agricultura de Precisão.



Fonte: Adaptado de Orellana et al 2006.

Nesse sentido, Lucca (2012), reforça que estes Sistemas fornecem mapas e análises dos vários aspectos da lavoura, do solo e das culturas, enriquecendo os processos de definição de estratégias, dos mapas de aplicação localizada de insumos, e o gerenciamento de forma localizada de toda a propriedade.

2.2.3 Sistema CR Campeiro 7

O Sistema CR Campeiro, onde CR significa Ciência Rural, consiste em ser um produto genuinamente desenvolvido no Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), (Boemo; Giotto 2002 apud Cardoso, 2012, 2005).

O CR Campeiro tem como objetivo principal de proporcionar ao produtor rural, ao profissional e ao acadêmico da área rural, ferramentas informatizadas de gestão e a partir do desenvolvimento de rotinas aplicadas à agricultura de precisão (GIOTTO et. al, 2016).

Sendo o primeiro programa computacional nesta área no Brasil, com usuários em todas as regiões agrícolas do país, e mantendo hoje, duas atividades de relevância, a primeira com o treinamento de usuários em Ensino a Distância e outra sendo a disponibilidade gratuita de aplicativos de tecnologia móvel para tablets e smartphones (GIOTTO et al, 2016).

Projeto CR Campeiro é estruturado sobre um sistema computacional integrado, com diversas ferramentas de gestão e de análises técnicas, que irão auxiliar o aluno, o professor, o produtor rural, o profissional e a empresa no alcance de seus objetivos (BOEMO, 2011).

Este sistema disponibiliza, para emprego nas rotinas de topografia, geoprocessamento e AP, funções de interface com aparelhos de posicionamento global, permitindo carregar/descarregar dados com receptores do tipo Garmin, além da conexão online (GIOTTO et al, 2016).

Com aproximadamente 20 anos de desenvolvimento contínuo e constante aperfeiçoamento em suas rotinas, podemos citar as principais funções operacionais que

se encontram no Sistema: agricultura de precisão, administração rural, agricultura familiar, gestão técnica de lavouras, geoprocessamento, topografia, silvicultura, gestão e nutrição de animais (avicultura, bovinocultura e suinocultura).

2.6 AMOSTRAGEM DE SOLO

A amostragem de solo tem o objetivo de determinar as necessidades do solo com maior detalhamento quando comparado a prática de amostragem convencional (MOLIN. 2013).

A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos devido aos fatores de sua formação e as práticas de manejo, da adubação e da calagem aumentam esta heterogeneidade, dificultando a coleta de amostras representativas (CQFS/RS-SC, 2004).

Conforme coloca 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; a amostragem do solo, a análise de laboratório; a interpretação dos resultados e as recomendações de calagem e adubação.

Para Resende e Coelho (2014), uma boa caracterização edáfica, com análises de solo frequentes, é um procedimento básico para orientar a tomada de decisões no gerenciamento agrônomo, visto que os atributos químicos, físicos e biológicos do solo apresentam grande variabilidade espacial e temporal.

A amostragem de solo, para Molin et al (2015), é o método mais apropriado de se obter informações, principalmente em áreas extensas, onde a percepção do agricultor sobre toda a área é dificultada. Por esse motivo, Giotto et al (2016), considera a amostragem de solo a fase mais crítica para confecção de mapas de fertilidade, pois estes devem refletir a realidade do solo em estudo.

Em agricultura de precisão, 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 densidade de pontos amostrados deve ser tanto maior quanto maior for a variabilidade dos fatores analisados Molin et al (2015), pois, conforme coloca Andriotti (2013), a qualidade de uma estimativa depende basicamente da representatividade de uma amostra, ou seja, que essa amostra reproduza as características da população que representa.

Para Molin et al (2015) quanto mais dados disponíveis ou coletados, mais consiste é a informação gerada e o consequente diagnóstico referente à variabilidade existente na lavoura.

A coleta de amostras representativas de solo é essencial para a avaliação precisa das necessidades de corretivos e de fertilizantes, o que possibilita a obtenção de rendimentos econômicos. A amostra representativa é aquela que melhor reflete as condições de fertilidade de uma área específica (CHITOLINA et al, 2009).

A característica de espacialização do atributo na amostragem é que possibilita a intervenção em taxas variáveis, em contraste com a investigação pela média (agricultura convencional) que possibilita apenas um tratamento uniforme para toda a área, conforme Molin et al (2015). No entanto, pondera Fiorin (2007), uma amostragem não representativa pode causar erros de até 50% na avaliação da fertilidade do solo e na recomendação dos fertilizantes e corretivos.

O erro na amostragem é o mais prejudicial, pois ele não pode ser corrigido nas etapas de análise em laboratório, de interpretação dos resultados analíticos e de recomendação dos fertilizantes e corretivos, Fiorin (2007). A escolha do método de amostragem afetará não somente a qualidade do mapa final de determinando atributo, mas a própria intervenção a taxa variada (MOLIN et al, 2015).

No Brasil adota-se quadriculas com tamanho de 1 a 4 hectares, devido ao elevado custo de amostragem e análise de solo, dessa forma, há uma dificuldade em harmonizar o rigor geoestatístico com a viabilidade econômica e operacional (RESENDE e COELHO, 2014).

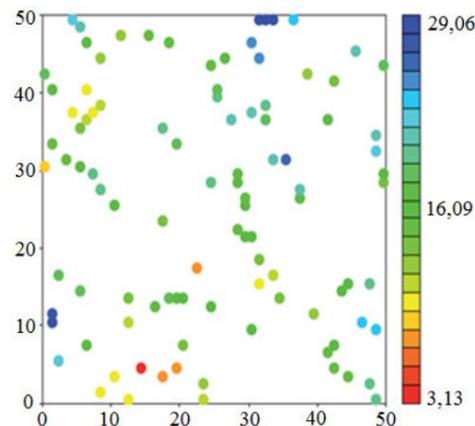
2.6.1 Métodos de Amostragem

Existem diversos planos de amostragem espacial e sua escolha depende, além de tempo e de recursos financeiros, também do propósito do experimento, das características da área de estudo e das características da distribuição espacial da variável na área de estudo, conforme Guedes, (2008), das quais citamos:

- Amostragem Aleatória Simples

Em estudos geoestatísticos, segundo Yamamoto e Landim (2013), as observações são feitas em pontos de amostragem localizadas dentro da área de estudo, desse modo, a componente aleatória são as coordenadas geográficas a serem escolhidas casualmente, conforme exemplifica a Figura 3.

Figura 3 - Amostragem Aleatória Simples.



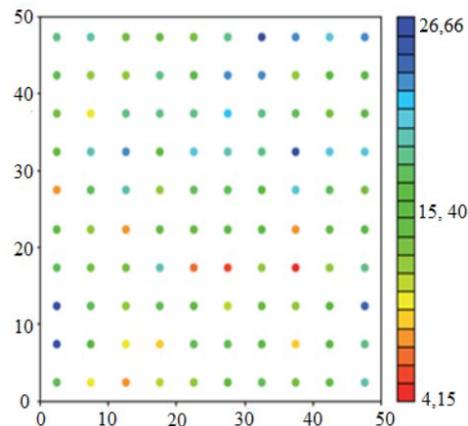
Fonte: Adaptado Yamamoto e Landim, 2013 p. 20.

Como exemplo de amostragem ao acaso, podemos referir ao método utilizado para a agricultura convencional (COELHO et al, 2010).

- Amostragem Sistemática

Amostragem sistemática em grade (Figura 4) é a mais divulgada e utilizada, pois evita desequilíbrios que podem ocorrer na distribuição de pontos amostragem e dificuldades associada à interpolação.

Figura 4 - Amostragem Sistemática em Grade.



Fonte: Adaptado Yamamoto e Landim, 2013 p. 21.

A grade sistemática regular pode variar em tamanho e forma, como por exemplo, a grade quadrada, triangular, retangular e hexagonal (COELHO et al, 2010; GUEDES, 2008; ROEL e TERRA, 2006).

Se a amostragem sistemática é alinhada em ambas as direções, ela é chamada de amostra sistemática centrada, onde a área é dividida em subáreas iguais e a unidade amostral estará no centro de cada subárea. Assim, as amostras são equidistantes. Além da fácil implementação na área de interesse, esta é preferível, pois não favorece nenhum lado da área devido à localização das amostras no centro de cada subárea (RIPLEY, 1981 apud GUEDES 2008).

A amostragem sistemática centrada comparada com as amostragens aleatória e estratificada aleatória produz melhor estimativa pela média, menor erro padrão, intervalo de confiança mais eficiente (MILNE, 1959 apud GUEDES 2008).

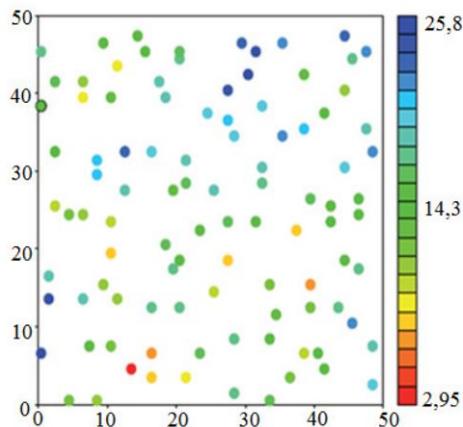
A amostragem sistematizada é o sistema recomendado para aplicação das tecnologias da Agricultura de Precisão, sendo o método mais adequado para estudar a

variabilidade espacial das propriedades do solo de uma área, pois a variabilidade em todas as direções é levada em consideração (COELHO et al, 2010).

- Amostragem Estratificada

A amostragem estratificada é feita em estratos, ou seja, subdivide-se a região de estudo em células de dimensões fixas nas direções leste-oeste e norte-sul. Dentro de cada célula um ponto é escolhido aleatoriamente, assim o número de unidades selecionadas será o mesmo que o número de células (Yamamoto e Landim, 2013).

Figura 5 - Amostragem Estratificada.



Fonte: Adaptado Yamamoto e Landim, 2013 p. 21.

Comparando os três métodos de amostragem, Yamamoto e Landim (2013), verificaram que a aleatória simples oferece o pior resultado, pelos pontos agrupados e espaços não amostrados; a aleatória estratificada é melhor que a anterior, mas tem problemas na distribuição espacial dos pontos; sendo a sistemática a que oferece melhor resultado.

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).

É importante diferenciar erros de incertezas, pois os erros dependem do conhecimento dos valores verdadeiros da variável estimada. Qualquer estimativa baseada em pontos amostrais está, porém, sujeita a uma incerteza (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

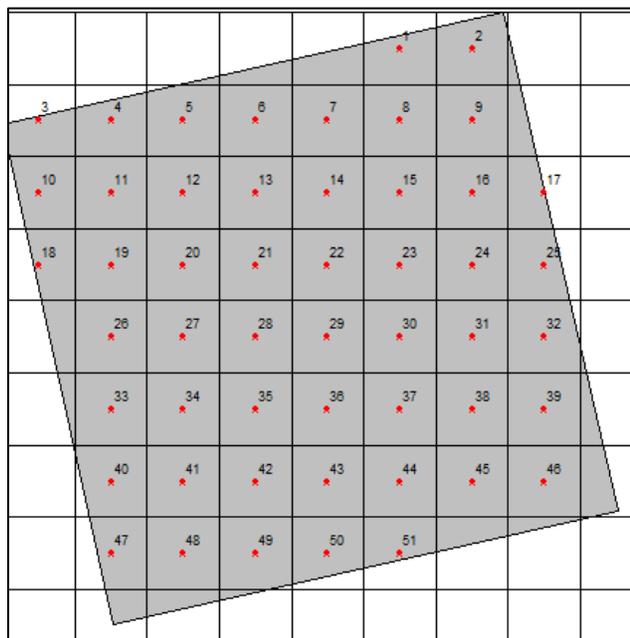
A amostragem é feita, conforme Yamamoto e Landim (2013), com base em um planejamento, que deve definir a coleta de forma aleatória simples, aleatória estratificada ou sistemática.

Em malhas regulares é possível analisar a inferência espacial com maior precisão (YAMAMOTO e LANDIM, 2013 p. 56).

2.6.2 Malha de Amostragem Retangular

O modelo de malha retangular, Figura 6, consiste em ter espaçamentos regulares de mesma distância entre as linhas (espaçamento y) e entre as colunas (espaçamento x), (GIOTTO et al., 2013).

Figura 6 - Exemplo de malha de amostragem retangular.



Fonte: Autor.

É a forma mais comumente utilizada, devido à praticidade e facilidade de orientação nas áreas para encontrar os pontos georreferenciados a campo, quando comparadas a outras malhas, como a triangular, retangular ou hexagonal (ROEL e TERRA, 2006).

No entanto, Roel e Terra (2006), ponderam que a grades retangulares são recomendados quando há evidência a variabilidade espacial com anisotropia (dependente da direção) devido a fatores topográficos ou outros. Sendo as células triangulares mais eficientes para capturar a variabilidade espaço.

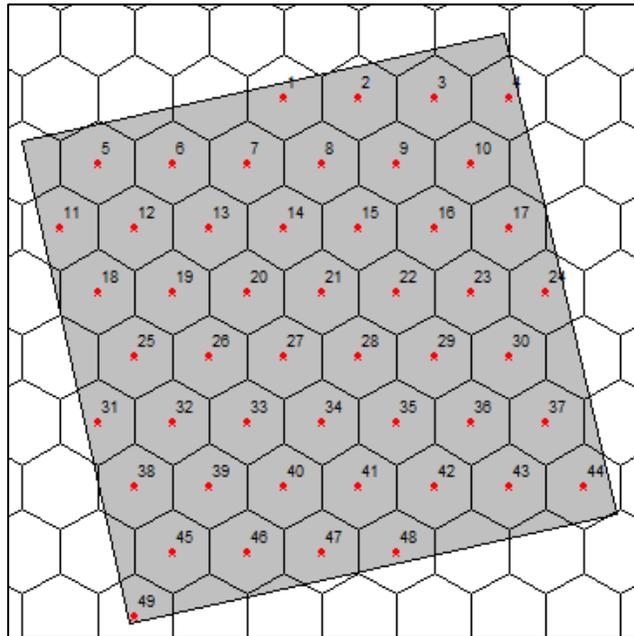
A maior desvantagem de amostragem sistemática é que os pontos de amostragem podem estar alinhados com padrões de variação do solo ou caminhos de gerenciamento variando sistematicamente, (ROEL e TERRA, 2006).

Como coloca Chitolina et al (2009), em um sistema de cultivo onde ocorre concentração de nutrientes em determinadas faixas do terreno, como é o caso do plantio direto, no qual o solo não é revolvido, os nutrientes estratificam-se na camada superficial, concentrando-se nas linhas de aplicação.

2.6.3 Malha de Amostragem Hexagonal

Na malha hexagonal, Figura 7, o espaçamento entre os pontos amostrais é definido pelo raio do hexágono, delimitado a partir da informação da área da célula do grid (GIOTTO et al., 2013).

Figura 7 - Exemplo de malha de amostragem hexagonal.



Fonte: Autor.

São encontrados alguns trabalhos utilizando a malha de amostragem hexagonal, como Bernardi et al 2010, que utiliza a malha de amostragem hexagonal para determinar a “Variabilidade espacial de parâmetros de solo e plantas em área cultivada com sorgo e braquiária em sistema integrado lavoura-pecuária”.

2.7 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

Essa expressão traduz, não somente a feição altimétrica, como era originariamente, de uma região, mas qualquer outra característica do terreno a ser representada de forma contínua, como solo, clima, planta (GIOTTO et al, 2016), (ROCHA, 2000).

Giotto et al (2016) conceitua MDT como sendo uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações do valor de um determinado atributo numa área definida.

O Modelo Digital do Terreno é gerado a partir de um conjunto de pontos georreferenciados, isto é, de posição conhecida através de suas coordenadas UTM (E,N), é uma grade de formato retangular, constituída de pontos alinhados em linhas e colunas, cujo pontos de intersecção são determinados “nós” (GIOTTO et al, 2016, p. 125).

Portanto, as coordenadas E e N são calculadas a partir da definição da origem da grade e os respectivos espaçamentos entre linhas e colunas. Enquanto que a coordenada Z é calculada por processo estatístico de interpolação, com algoritmos próprios (GIOTTO et al, 2016).

Interpolação, para Andriotti (2013), é o procedimento pelo qual se estimam valores de uma variável em área interior aos pontos amostrais disponíveis, permitindo representar em mapa, de forma contínua, o comportamento de variáveis amostradas pontualmente.

Ou ainda, pode ser entendida, conforme Fitz (2008), como método, que utilizando funções matemáticas, permite encontrar valores de dados intermediários contidos entre dois ou mais valores conhecidos.

Os métodos de interpolação são necessários quando não é viável conhecer a distribuição contínua de uma determinada grandeza, como por exemplo, o teor de nitratos no solo (MATOS, 2008).

Os dados interpolados representam uma aproximação da realidade, assim, quanto mais dados conhecidos, tanto mais fiel será a modelagem realizada (FITZ, 2008).

2.8 GEOESTATÍSTICA

A Geoestatística constitui uma das técnicas da Estatística Espacial, que é também composta por outras metodologias que visam as especificações de modelos inferenciais que consideram a estrutura de correlação espacial das observações dos fenômenos em estudo (SANTOS, 2010).

A Geoestatística tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais, com determinação das incertezas associadas (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Para Molin et al (2015), quando as coordenadas geográficas são adicionadas aos locais amostrados que os dados deixam de ser tratados como estatística clássica, na qual as amostras são independentes entre si, e passa-se a utilizar a geoestatística.

As técnicas de geoestatística, para Guedes (2008), permitem, a partir de um conjunto aleatório de elementos amostrais, conhecer a continuidade das variáveis de interesse em toda área de estudo, demonstrando assim, a variação espacial do fenômeno.

Os métodos geoestatísticos fornecem um conjunto de técnicas necessárias para entender a aparente aleatoriedade dos dados, os quais apresentam, porém, uma possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

No entanto, Andriotti (2013) coloca que a geoestatística não faz todo o tratamento de dados de forma integrada: é preciso ao final de cada etapa parar, selecionar e interpretar os dados; também não cria dados, apenas trata a informação disponível.

Os fenômenos naturais, segundo Jonhann (2001 apud Guedes 2008), possuem variabilidade espacial, existindo, portanto, um raio de dependência espacial entre as amostras.

Matheron (1962) define variável regionalizada, como uma função de espaço, onde os valores variam de um lugar para outro com certa aparência de continuidade.

As variáveis regionalizadas apresentam as seguintes características, conforme Matheron (1965, p. 7): localização, continuidade, anisotropia e fenômeno de transição.

- Localização: uma variável regionalizada não toma seus valores em qualquer lugar, mas em uma área determinada do espaço, chamada de campo geométrico;

- Continuidade: os elementos tendem a manter uma continuidade no espaço, quando há uma descontinuidade, pode-se denomina-lo de efeito pepita;

- Anisotropia: num dado local, uma variável regionalizada, tende a manter uma direção em que seus valores vão modificando-se lentamente;

- Fenômeno de Transição: podem ocorrer outros tipos de estruturas, relacionados com o campo geométrico, de forma descontínua.

Conforme Fuks (1998), os modelos geoestatísticos consideram que o valor de uma propriedade de solo considerada, $Z(s)$, indexada no espaço, pode ser descrita como:

$$Z(s) = \mu_v + \varepsilon(s)$$

Onde:

μ_v = valor médio da propriedade de interesse numa vizinhança V ; e

$\varepsilon(s)$ = componente aleatório no ponto geográfico S , com média zero e estocasticamente dependente, ou seja, espacialmente correlacionado.

Para Andriotti (2013), as técnicas de geoestatística podem ser usadas para:

- Descrever e modelizar padrões espaciais (variografia);
- Predizer valores em locais não amostrados (krigagem);
- Obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem);

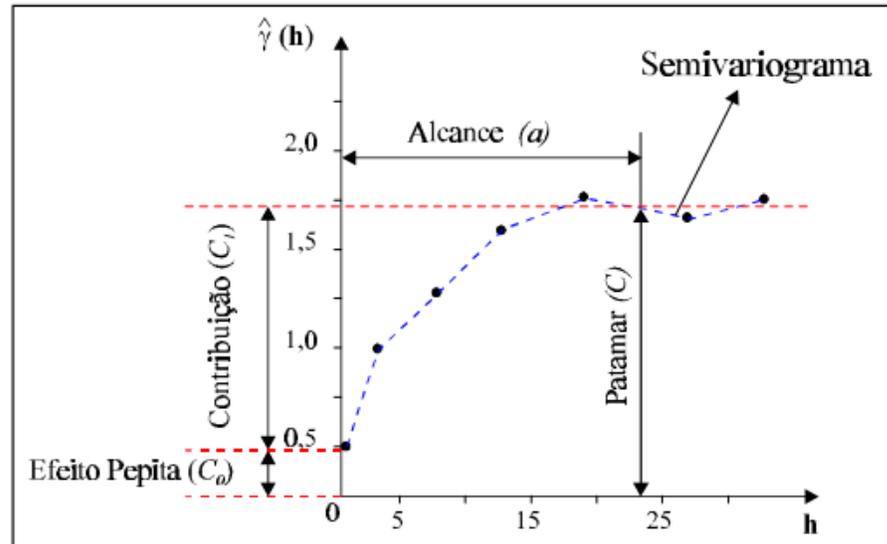
2.8.1 Semivariograma

A função variograma mede a variância entre pontos separados por uma distância (h). Assim, para pontos próximos, a diferença é pequena e, portanto, a variância é pequena, (Yamamoto e Landim, 2013), ou seja, é esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias (CAMARGO, 1998).

Desse modo, conforme coloca Johann (2001 apud Guedes 2008), pesquisas demonstram que muitos fenômenos naturais possuem variabilidade espacial, existindo, portanto, um raio de dependência espacial entre as amostras.

O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo (Figura 8), isto é, que as diferenças $\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}$ decresçam à medida que h , a distância que os separa decresce. Desta maneira, é esperado que $Y(h)$ aumente com a distância h (CAMARGO, 1998).

Figura 8 - Modelo de Semivariograma.



Fonte: Camargo (1998).

Onde, conforme (Camargo, 1998):

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância.
- Efeito Pepita (C_0): idealmente, $Y(0)=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $Y(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Isaaks e Srivastava, 1989 apud Camargo, 1998), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.

- Contribuição (C1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (Co).

Observa-se que, Wackernagel (1995 apud Guedes 2008) no semivariograma, geralmente, a média da dissimilaridade entre os valores aumenta quando se aumenta a distância (h) que separa os pontos amostrais.

Para Santos (2010) o variograma é uma ferramenta fundamental para descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado, pois conforme coloca Guedes (2008), são duas características que diferenciam a geoestatística de outras técnicas de estatística espacial: a localização espacial da variável é considerada fixa e distribuída de forma contínua no espaço.

Além de ser usado para analisar o grau de dependência espacial entre amostras de um campo experimental, o semivariograma, para Guedes (2008), permite definir os parâmetros necessários para a estimativa de valores em locais não amostrados.

2.8.2 Krigagem

A krigagem é um procedimento de inferência espacial estocástico que apresenta uma etapa de análise variográfica, anterior aos procedimentos inferenciais, em que se modela a estrutura de covariância espacial (FUKS, 1998).

Andriotti (2003 apud Santos 2010) a krigagem leva em consideração: o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área, a distância entre as amostras e a continuidade espacial da variável em estudo. Isso reduz em média os erros de estimação.

A krigagem é um dos métodos mais flexíveis e úteis para a grids de qualquer tipo de dados, Andriotti (2013), pois ela se diferencia dos demais por buscar minimizar a variância dos erros e, em vez de tornar os pesos uma simples função da distância, incorpora a influência da dependência espacial dos dados amostrados (MOLIN et al, 2015).

Conforme Guedes (2008) através da krigagem é possível prever um valor desconhecido em qualquer posição não amostrada e também de toda função de

distribuição acumulada da variável em casa ponto, possibilitando a construção de mapas da média, medianas, quartis e probabilidades.

A importância de uma análise exploratória dos dados, anterior ao procedimento de krigagem, está na possibilidade de visualizar o afastamento da amostra considerada da distribuição gaussiana e avaliar qual krigagem (linear, não linear ou paramétrica) deverá ser utilizada (FUKS, 1998).

Ainda para o mesmo autor, os dados de solo possuem uma variabilidade que se caracteriza por ser simultaneamente contínua e discreta ou abrupta. Assim, deve-se utilizar a krigagem considerando as informações do mapa de solos em que pode ser observada a existência de regiões de descontinuidade.

Uma das características das propriedades do solo, conforme ressalta o autor, que deve ser considerada na krigagem é a presença de dados discrepantes e distribuições acentuadamente assimétricas, uma vez que esses fatores causam impacto no variograma.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região central do Rio Grande do Sul, situada no município de Ivorá, município pequeno com 122,9 Km² e cerca de 2000 habitantes, conforme IBGE.

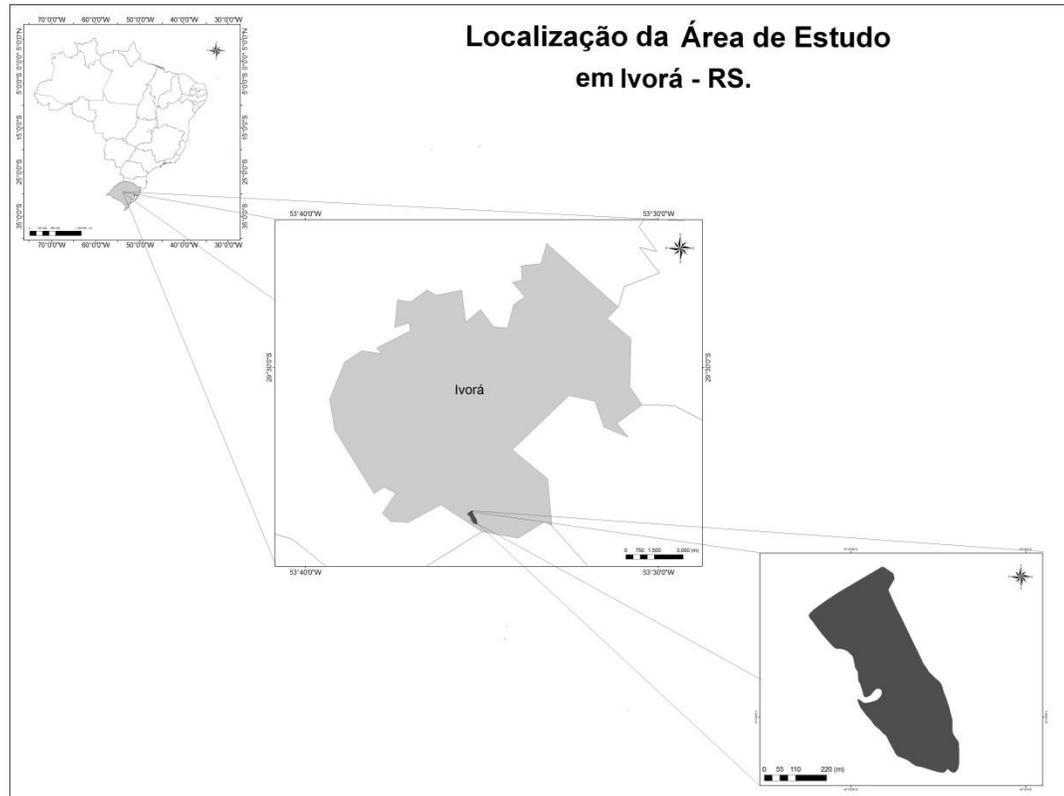
Está localizado no vale da Serra de São Martinho, na Microrregião de Restinga Seca e na Mesorregião Ocidental Rio-grandense, pertencendo à Serra Geral, na zona fisiográfica da Depressão Central, encosta do Planalto, no centro do Rio Grande do Sul, e faz parte dos municípios da Quarta Colônia de Imigração Italiana (DAL ROSS e VIERA, 2008).

A vegetação é predominantemente da Mata Atlântica, apresenta clima subtropical úmido, do tipo “Cfa”, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, com inverno e verão bem definidos, sendo que as médias normais de temperatura mais elevada ocorrem no mês de janeiro e as médias normais de temperatura mais baixa ocorrem no mês de junho. Há ocorrência precipitação em todos os meses do ano.

O município tem como principal fonte de renda a agropecuária, conforme o IBGE.

A área de estudo é trabalhada há mais de 10 anos com cultivos alternados, pastagem para o gado e soja, adotando o sistema de plantio direto. Tem uma área de 15,29 ha com coordenadas centrais de 29°34'14.16"S e 53°35'15.22" O, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: Autor.

Através de uma imagem do Google Earth de 2011 (Figura 10) pode-se verificar a área de estudo, onde é possível constatar algumas de suas características, como que seu solo é bastante arenoso, com formação de bancos de areia e também que a área se encontra em um local com declividade moderada.

Figura 10 - Área de estudo.



Fonte: Google Earth.

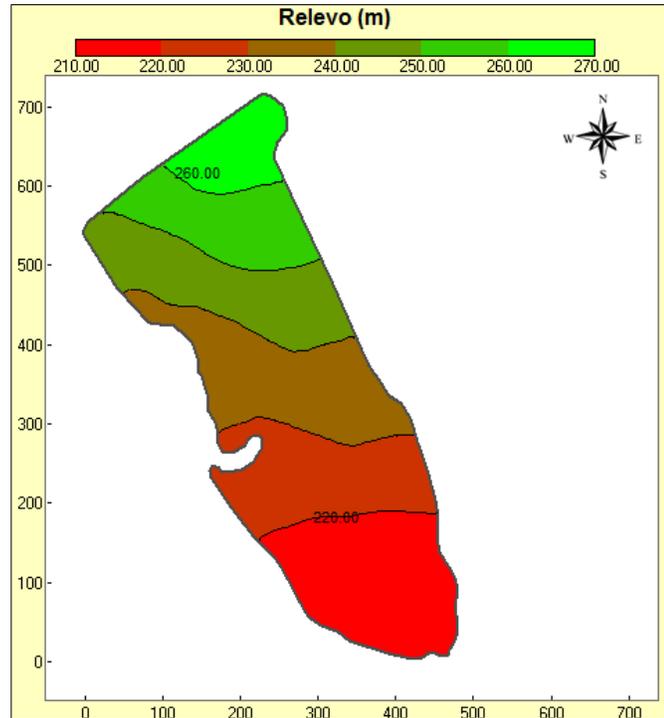
Á área tem como características solo arenoso (Figura 11) e relevo ondulado (Figura 12) com altitude média de 230 metros.

Figura 11 - Caracterização da área.



Fonte: Arquivo pessoal autor.

Figura 12 - Relevo da área de estudo.



Fonte: Autor.

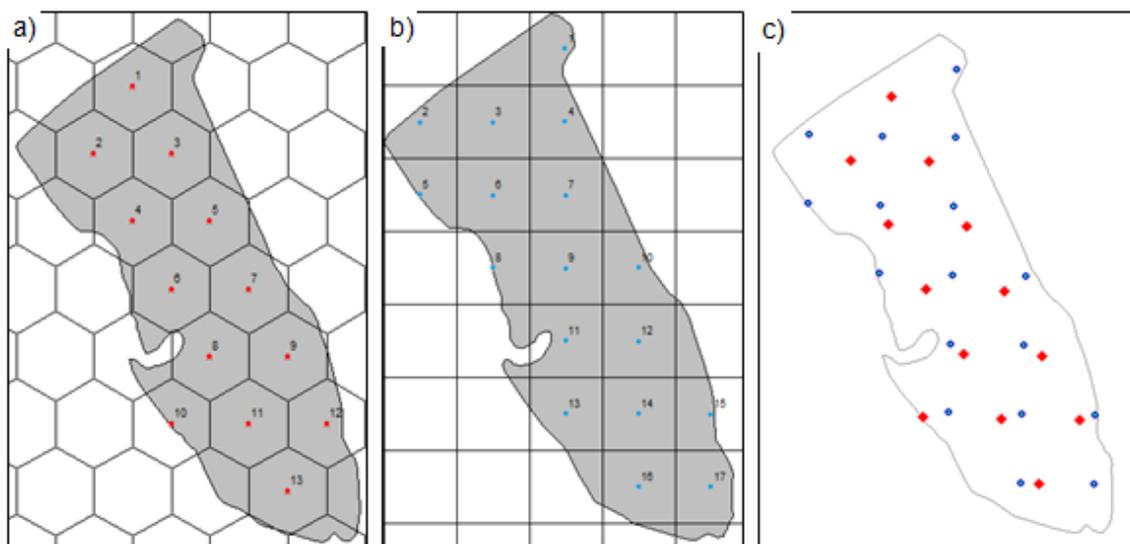
3.2 ESTRUTURAÇÃO DAS MALHAS DE AMOSTRAGEM

As malhas de amostragem do tipo sistemática alinhadas utilizadas no trabalho foram estruturadas no Sistema CR Campeiro 7, versão 7.35..

As mesmas foram estruturadas de modo automático, ou seja, sem a interferência do usuário quanto à distribuição dos pontos na área de estudo. A metodologia foi adotada a fim de estabelecer os mesmos critérios de determinação da localização dos pontos na lavoura, já que o objetivo principal do trabalho é analisar as diferenças entre as malhas amostrais. No entanto, ressalta-se que na prática, ao estruturar uma malha de amostragem para coleta de solo, esta deve ser criteriosamente planejada e os pontos devem ser realocados, quando necessário, conforme as características da lavoura.

Tendo-se a vetorização do limite da área, realizada com um receptor GNSS - GPS eTrex 20, foi possível estruturar as malhas com grid de 1 ha. Dessa forma a malha hexagonal totalizou 13 pontos amostrais e a malha retangular 17 pontos, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Malhas de amostragem hexagonal (a) e retangular (b) de 1 ha na área de estudo e distribuição dos pontos para ambos casos (c).

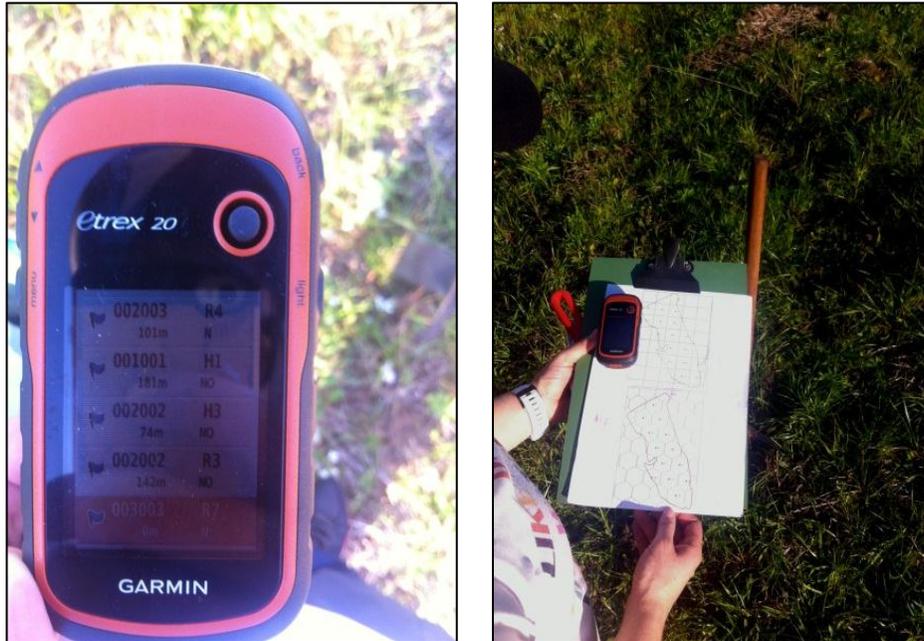


Fonte: Autor.

3.3 COLETA DOS DADOS

Tendo as malhas de amostragem estruturadas, as mesmas foram identificadas e enviadas para o receptor GNSS através da função GPS - *Upload* do Sistema CR Campeiro 7. À campo, para localização dos pontos amostrais utilizou-se um receptor GNSS, do tipo navegação (Figura 14) Garmim eTrex 20, onde os pontos foram localizados com precisão próxima à zero metros.

Figura 14 - Receptor GNSS utilizado a campo.

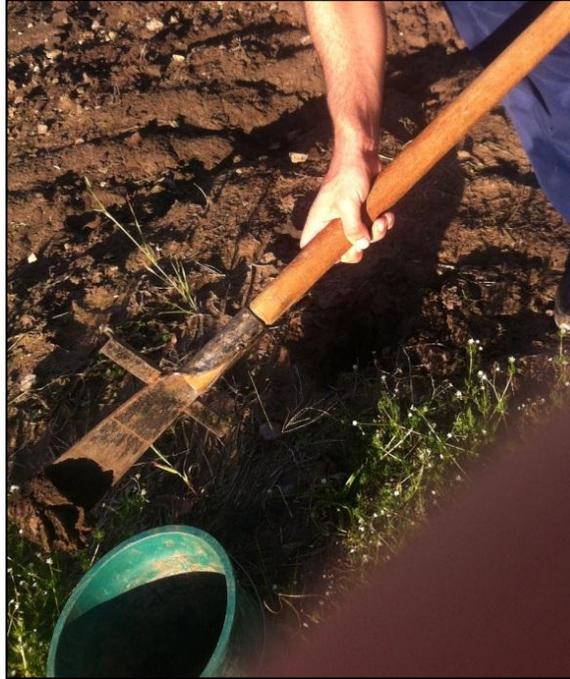


Fonte: Arquivo pessoal autor.

A coleta de solo para análise química ocorreu no mês de junho de 2015, tendo a área com pós-soja e pastagem em estágio inicial, foram coletados os 30 pontos amostrais de solo, sendo 13 amostras da malha hexagonal e 17 da retangular com camada de 0 a 10 cm de profundidade, pois, conforme CQFS/RS-SC (2004), se tratando de sistema plantio direto consolidado, recomenda-se amostrar a camada de zero a 10 cm de profundidade.

Para a coleta do solo foi utilizada uma pá adaptada, uma espátula e um balde, (Figura 15), a pá-de-corte é a mais indicada para a amostragem de solo no sistema plantio direto, tanto em áreas com adubação a lanço como em linha, (CQFS/RS-SC, 2004).

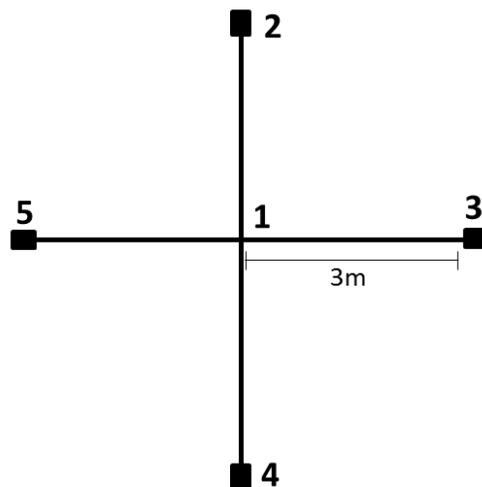
Figura 15 - Material utilizado para a coleta de solo.



Fonte: Arquivo pessoal autor.

Para formar as amostras compostas, foram coletadas 5 subamostras simples (Figura 16) num raio de aproximadamente 3 metros, pois, na amostragem sistemática em grades, recomenda-se coletar de 5 a 8 subamostras num raio máximo de 3 m ao redor do ponto georreferenciado, para reduzir o efeito das micro e mesovariabilidade resultantes da aplicação de fertilizantes (grânulo ou linha de semeadura) e aumentar o volume de solo amostrado (CQFS/RS-SC, 2004).

Figura 16 - Esquema de amostragem de solo.



Fonte: Adaptado GIOTTO et al (2016, p. 88).

As amostras simples foram homogeneizadas em um balde plástico com auxílio de uma espátula e condicionadas em embalagens individuais e devidamente identificadas.

Após, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) credenciado Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos do RS (ROLAS).

Solicitou-se a análise química básica do solo amostrado, onde são analisados os seguintes parâmetros: percentagem de argila, classe textura, pH em água, índice SMP, teores de P e K disponíveis, MO, Al, Ca e Mg trocáveis, além dos resultados de saturação por bases, saturação por Al, CTC efetiva e $CTC_{pH7,0}$. Os resultados de análise do solo são interpretados com base nas tabelas do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, publicado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004).

Em posse dos resultados da análise química do solo, foi possível organizar os dados, analisá-los e inseri-los no Sistema CR Campeiro 7 para geração dos mapas de fertilidade.

3.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE FERTILIDADE

Para estruturar os mapas de fertilidade do solo foram utilizadas rotinas de AP que se encontram no Sistema CR Campeiro 7, versão 7.35 (Figura 17).

Com a entrada dos resultados da análise de solo no sistema, foram associados os valores de solo para cada ponto amostral, através do Projeto de Agricultura de Precisão (PAP), que conforme Giotto et al (2016), consiste em identificar, codificar e georreferenciar (através da malha amostral) uma determinada variável de solo ou planta. Assim foi possível definir os parâmetros para estruturar os Modelos Digitais do Terreno (MDT) para cada atributo.

Figura 17 - Janela inicial do Sistema CR Campeiro 7.



Fonte: Autor.

Os parâmetros definidos para interpolação dos dados foram espaçamento em x e y de 3 x 3 metros, totalizando 160 colunas e 241 linhas e raio de pesquisa de 150 metros.

Os mapas de fertilidade gerados neste trabalho foram classificados seguindo a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, sendo que a coluna destacada se refere à classe em que as amostras se encontram.

Para classificar o nível de fósforo na área, foi necessário verificar a porcentagem de argila (média) na lavoura, pois conforme a (CQFS-RS/SC, 2004), a interpretação de P é feita conforme o teor de argila para as culturas de sequeiro, tomando como referência a Tabela 1.

Tabela 1- Classificação do nível de fósforo.

Interpretação	Classe de solo conforme o teor de argila ⁽¹⁾			
	1	2	3	4
	-----mg/dm ³ -----			
Muito Baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0
Baixo	2,1 – 4,0	3,1 – 6,0	4,1 – 8,0	7,1 – 14,0
Médio	4,1 – 6,0	6,1 – 9,0	8,0 – 12,0	14,1 – 21,0
Alto	6,1 – 12,0	9,1 – 18,0	12,1 – 24,0	21,1 – 42,0
Muito Alto	>12	>18	>24	>42,0

⁽¹⁾ Teores de argila: Classe 1 = >60%; classe 2= 60 a 41%; classe 3= 40 a 21%; classe 4= ≤20%.
Fonte: CQFS-RS/SC, 2004

Para classificar os mapas de Potássio, foi tomado como parâmetro a CTC $pH_{7,0}$, conforme recomenda a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, (Tabela 2), pois os teores de potássio variam conforme a capacidade de troca de cátions a $pH_{7,0}$.

Tabela 2 - Classificação do nível de potássio.

Interpretação	Classe de solo conforme o teor $CTC_{pH7,0}$ ($cmol_c/dm^3$)		
	>15	5,1 – 15,0	≤ 5,0
	-----mg de K/dm ³ -----		
Muito Baixo	≤30	≤20	≤15
Baixo	31 – 60	21 - 40	16 – 30
Médio	61 – 90	41- 60	31 – 45
Alto	91 – 180	61 – 120	45 – 90
Muito Alto	>180	>120	>90

Fonte: CQFS-RS/SC, 2004

Da mesma forma, tomado como referência a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, classificaram-se os demais elementos como argila, CTC, pH e Saturação por Bases, conforme as tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Classificação do nível de argila e CTC.

Argila		$CTC_{pH7,0}$	
Faixa	Classe	Faixa	Interpretação
%		$cmol_c/dm^3$	
≤20	4	≤5,0	Baixo
21 – 40	3	5,1 – 15,0	Médio
41 – 60	2	>15,0	Alto
>60	1	-	-

Fonte: CQFS-RS/SC, 2004

Tabela 4 - Classificação do nível de pH e Saturação por Bases.

Interpretação	pH em água	Saturação por Bases
		(CTC _{pH7,0}) %
Muito Baixa	≤5,0	<45
Baixo	5,1 – 5,4	45 – 64
Médio	5,4 – 6,0	65 – 80
Alto	>6,0	>80

Fonte: CQFS-RS/SC, 2004

3.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE APLICAÇÃO

Com os mapas de fertilidade devidamente estruturados e classificados foi possível fazer as recomendações para correção do solo, tomando como referência a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC.

Para estruturar os mapas de prescrição para a aplicação em taxa variável foi utilizado o programa SMS - Spatial Management System™, que consiste em um software desenvolvido pela Ag Leader® Technology, que permite o tratamento dos dados de campo transformando em decisões de gestão, usando informações recolhidas desde o plantio até a colheita.

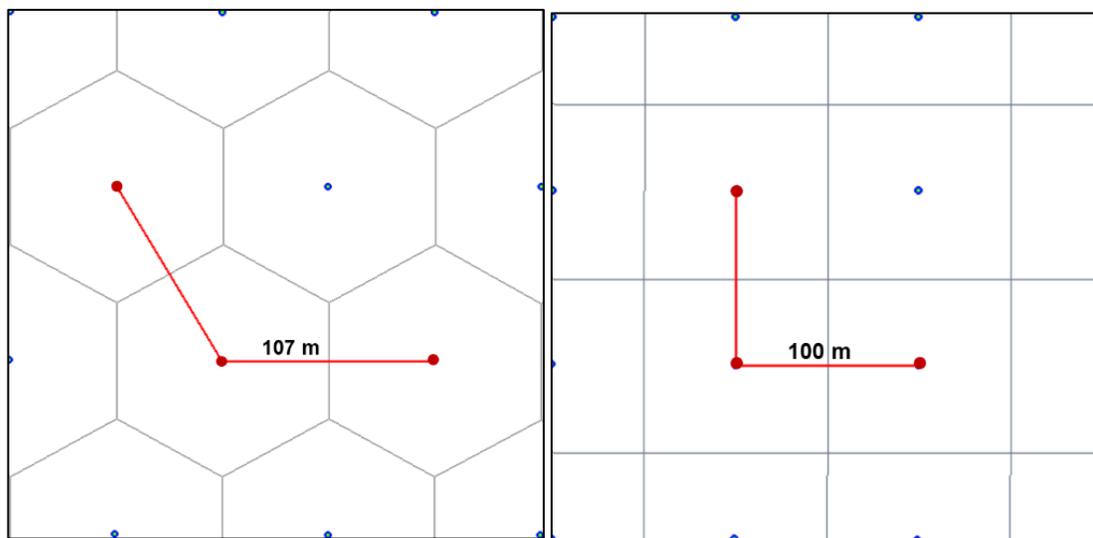
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS MALHAS

Para que se possa optar pela implantação de uma das malhas amostragem é necessário que se conheça os detalhes e comportamento de cada uma.

Uma das características constatada ao estruturar as malhas de amostragem retangular e hexagonal de 1 ha, foi quanto a distância entre os pontos. Onde a equidistância entre os pontos da malha hexagonal foi de 107 metros e na retangular foi de 100 metros, como podemos observar na Figura 18.

Figura 18 - Equidistância entre os pontos amostrais de grid 1 ha: malha hexagonal 107m e retangular 100m.



Fonte: Autor.

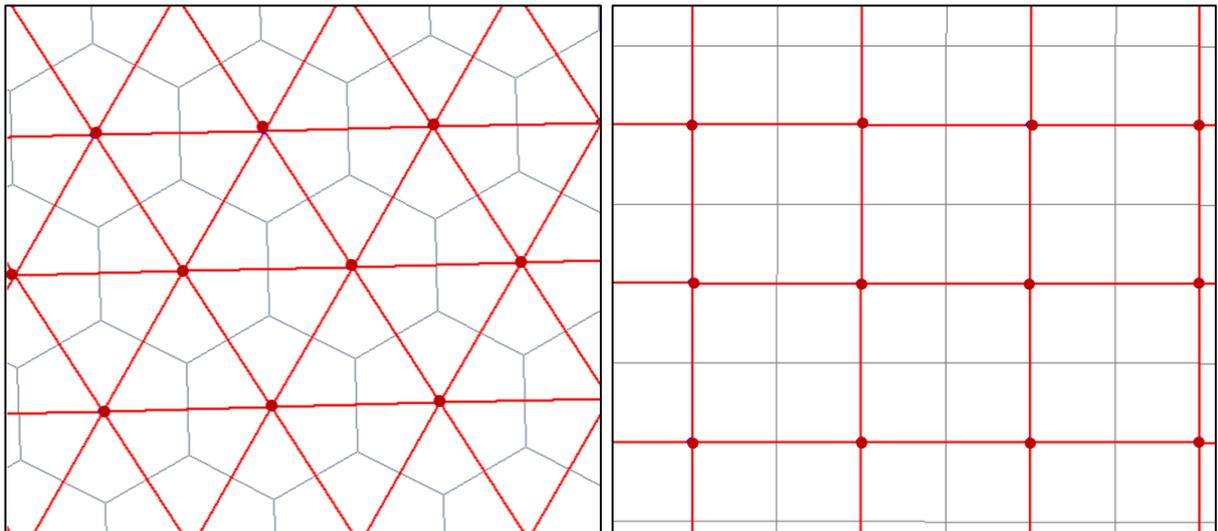
Além da distância entre os pontos não ser a mesma para a malha hexagonal e retangular, há uma diferença também na forma como os pontos são distribuídos na lavoura. A malha hexagonal dispõe os pontos de forma alternada entre as linhas e

colunas, formando triângulos entre os mesmos, já a malha retangular distribui os pontos numa mesma linha e coluna, formando quadrados entre os pontos.

Desse modo, os pontos da malha hexagonal terão 6 vizinhos mais próximos, todos equidistantes, enquanto que a malha retangular terá 4 vizinhos mais próximos influenciando nos cálculos de estimação dos valores amostrais.

Assim, a malha hexagonal terá mais relações com os pontos próximos do que a malha retangular, como se observa na Figura 19.

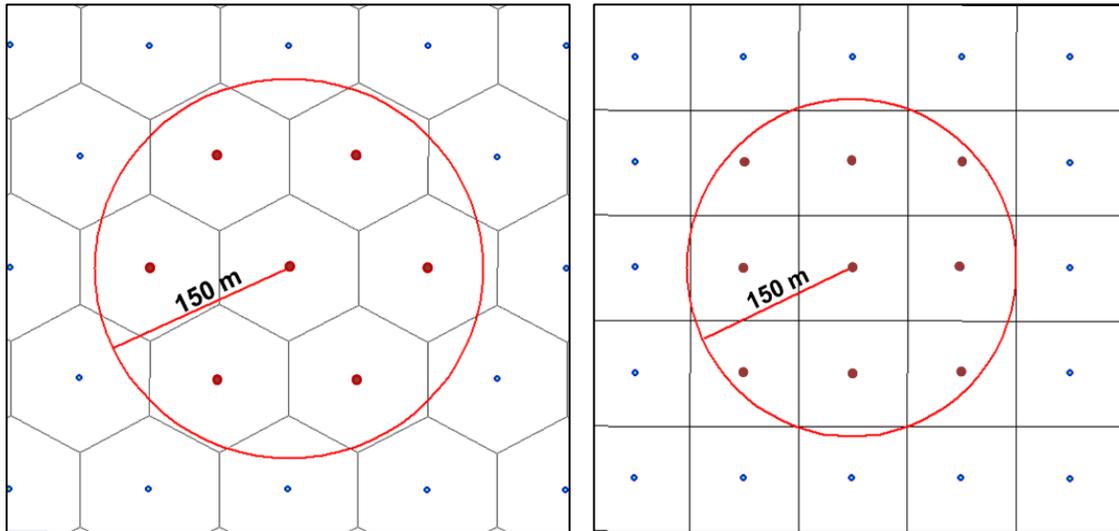
Figura 19 - Distribuição dos pontos em linhas e colunas nas malhas de amostragem hexagonal e retangular.



Fonte: Autor.

Outra observação é quanto ao número de pontos que influenciam na interpolação dos dados (Figura 20), considerando a grade amostral de 1ha e aplicando-se um raio de pesquisa de 150 metros, a malha hexagonal terá 6 pontos inclusos, enquanto a malha retangular terá 8 pontos exercendo influência na determinação dos valores do atributo.

Figura 20 - Pontos de abrangência em uma grade de 1 ha aplicando-se um raio de 150 metros para malha hexagonal e retangular.



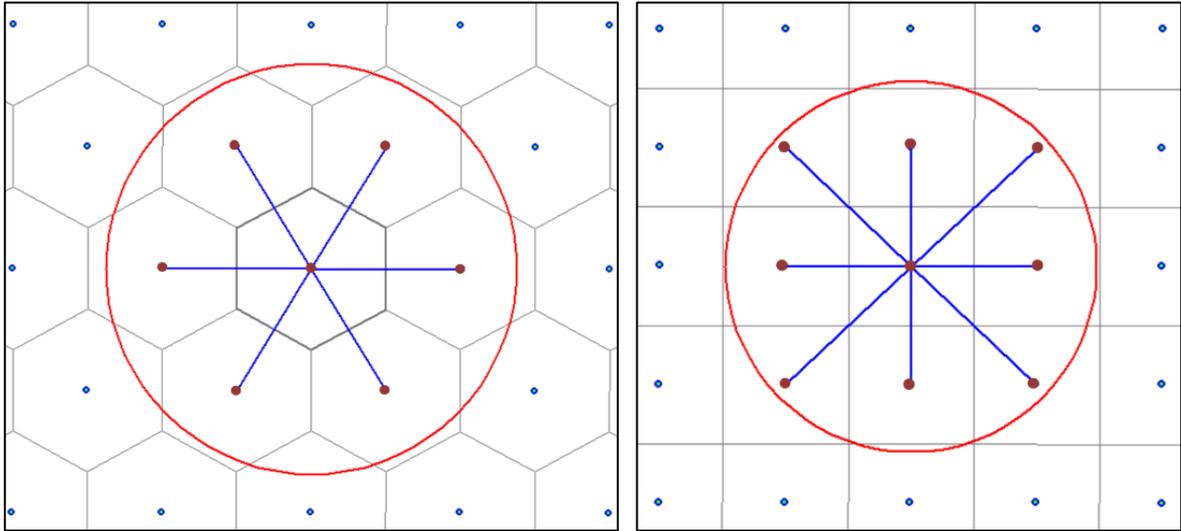
Fonte: Autor.

No entanto, outra questão que merece atenção, é quanto à disposição dos pontos quando definido o mesmo raio de pesquisa para geração do modelo digital (Figura 21).

Mesmo a malha retangular apresentado 8 pontos no raio de pesquisa, 2 pontos a mais que a malha hexagonal, estes não exercem a mesma influência na determinação dos valores nos cálculos de interpolação, visto que, os mesmos apresentam distâncias diferentes, os 4 pontos mais próximos apresentam 100 metros e os outros 4 pontos apresentam 140 metros de distância do ponto central.

Já malha amostral hexagonal tem os 6 pontos contidos no raio de pesquisa de forma equidistantes em relação ao ponto central, tendo, portanto, o mesmo peso nos cálculos de estimação dos valores da área.

Figura 21 - Equidistâncias entre os pontos amostrais, conforme raio de pesquisa.

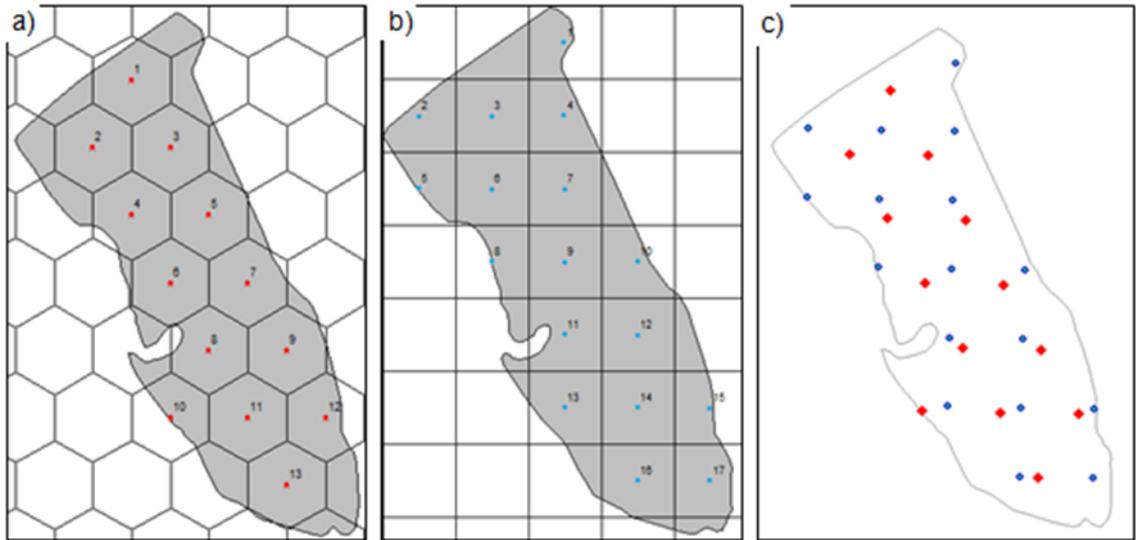


Fonte: Autor.

4.2 DADOS DE FERTILIDADE DO SOLO

Ao analisar ambas as malhas de amostragem, observa-se algumas características sobre as mesmas, a primeira delas é quanto o número de pontos amostrais, 13 pontos para a malha hexagonal e 17 para a retangular, conforme a Figura 22, totalizando uma diferença de 4 pontos amostrais.

Figura 22 - Distribuição dos pontos amostrais para ambas as malhas de amostragem: a) hexagonal; b) retangular; c) ambas as malhas.



Fonte: Autor.

A malha hexagonal, neste caso, distribuiu seus pontos mais afastados da borda, enquanto que a retangular tem pontos muito próximos à borda.

Já a malha retangular distribuiu maior numero de pontos na área, no entanto, são necessários maiores ajustes ou realocações destes pontos, pois há pontos nas bordas da lavoura.

Nas Tabelas 5 e 6, encontram-se as análises de solos das respectivas malhas de amostragem.

Tabela 5 – Relação de análise de solo correspondente à malha hexagonal.

Ponto	% Argila m/v	pH (1:1)	SMP	P mg dm-3	K mg dm-3	MO %	Al cmolc/L	Ca cmolc/L	Mg cmolc/L	H+Al cmolc/L	C cmolc/L	% Saturação		
												efetiva	pH 7	Bases
1	9	5.7	6.5	19.3	40	1.2	0	1.5	0.5	2.5	2.2	4.6	46.9	0.0
2	14	5.6	6.3	17.9	60	1.2	0	3.6	1.2	3.1	4.9	8.0	61.4	0.0
3	9	7	7.3	32.3	44	0.8	0	2.6	0.7	1.0	3.4	4.4	77.6	0.0
4	14	5.9	6.7	40.3	72	1	0	3.8	1.0	2.0	5.0	6.9	71.8	0.0
5	13	6.6	7	60	100	1.3	0	5.3	1.7	1.4	7.3	8.7	84.2	0.0
6	9	6.3	7.1	34.8	60	0.9	0	2.3	0.5	1.2	2.9	4.2	70.3	0.0
7	8	6.8	7.2	33.6	44	0.7	0	2.7	0.7	1.1	3.5	4.6	76.1	0.0
8	14	6.3	6.6	38.7	60	1.2	0	2.8	0.7	2.2	3.6	5.8	62.2	0.0
9	13	5.8	6.5	32.8	44	1.1	0	2.0	0.4	2.5	2.6	5.0	51.3	0.0
10	9	6.2	6.7	31.3	52	0.5	0	2.3	0.6	2.0	2.9	4.9	60.1	0.0
11	10	6.6	6.5	25.2	52	1	0	1.9	0.7	2.5	2.8	5.2	53.0	0.0
12	12	6.2	6.4	22.5	80	1.1	0	1.8	0.6	2.8	2.6	5.4	49.0	0.0
13	14	6.4	6.6	13.2	68	1.9	0	3.4	1.1	2.2	4.6	6.8	67.9	0.0

Fonte: Autor.

Tabela 6 - Relação de análise de solo correspondente à malha retangular.

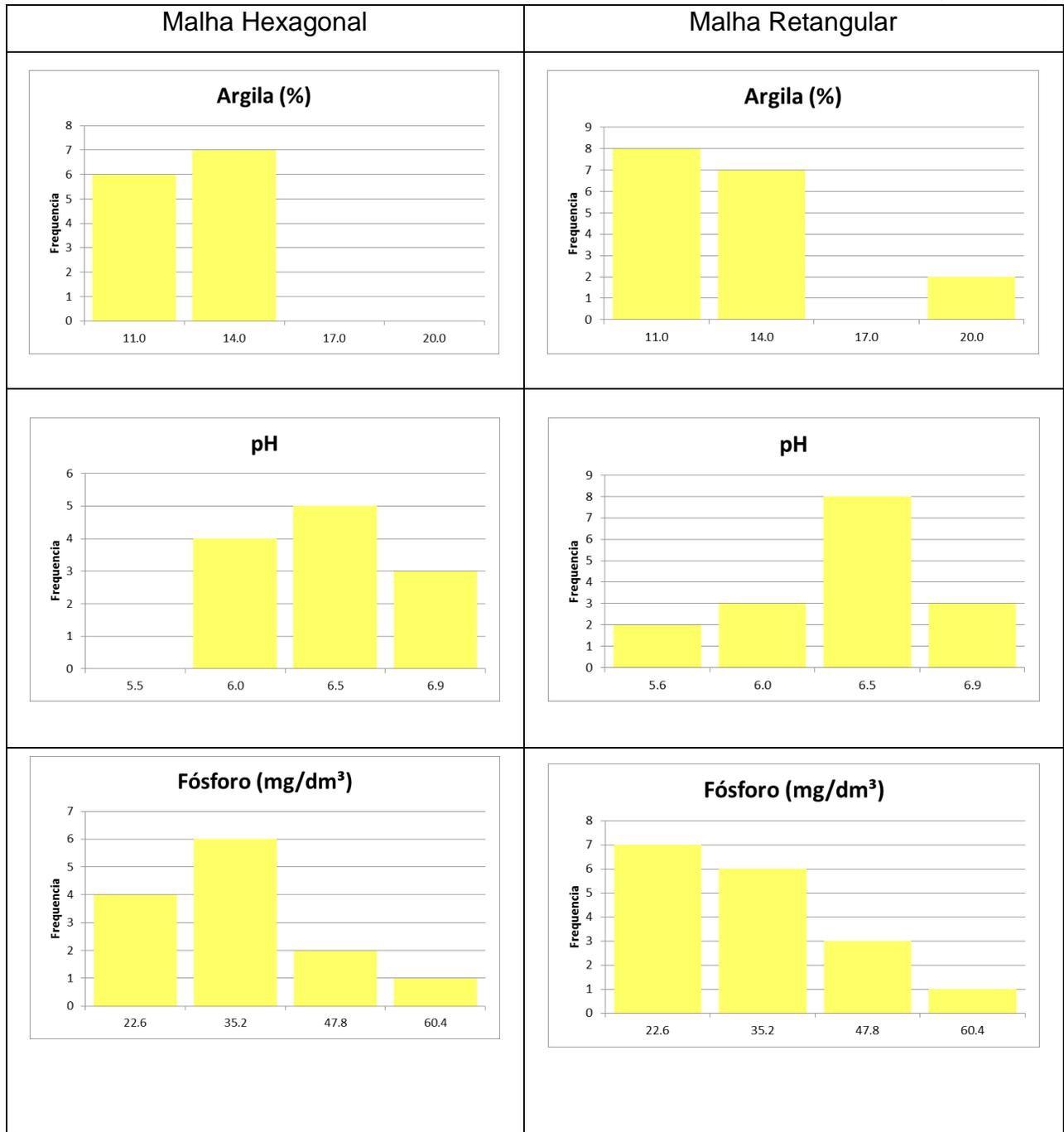
Ponto	% Argila m/v	pH (1:1)	SMP	P mg dm-3	K mg dm-3	MO %	Al cmolc/L	Ca cmolc/L	Mg cmolc/L	H+Al cmolc/L	C cmolc/L	% Saturação		
												efetiva	pH 7	Bases
1	9	5.7	6.7	27.5	52	1.9	0	2.2	0.6	2.0	2.9	4.8	59.6	0.0
2	20	5.1	4.7	15	92	1.4	1	1.8	0.5	19.4	3.5	11.0	23.0	28.3
3	14	5.7	6.3	11.8	56	2.2	0	2.5	0.8	3.1	3.4	6.5	52.4	0.0
4	10	6.3	6.7	13.7	44	1.5	0	2.3	0.7	2.0	3.1	5.0	61.0	0.0
5	14	6.2	6.6	18.5	88	1.8	0	3.2	1.1	2.2	4.5	6.7	67.3	0.0
6	14	5.6	6.3	14.5	56	0.8	0	1.1	0.4	3.1	1.7	4.7	34.9	0.0
7	19	6.8	6.8	37.1	136	1.7	0	5.6	2.5	1.7	8.5	10.2	83.0	0.0
8	12	6.4	6.7	36.7	80	1.8	0	3.5	1.0	2.0	4.6	6.6	70.4	0.0
9	10	6.3	6.8	32.1	72	1	0	3.0	1.3	1.7	4.5	6.3	72.2	0.0
10	9	6.3	6.8	33.2	56	1	0	2.2	0.7	1.7	3.0	4.7	63.2	0.0
11	8	6.4	7.2	30.6	64	0.9	0	2.4	0.9	1.1	3.4	4.5	75.7	0.0
12	10	6.1	7.1	47.9	48	1	0	2.1	0.7	1.2	2.9	4.2	70.4	0.0
13	14	5.2	6.4	20.7	60	0.4	0.9	0.3	0.4	2.8	1.7	3.6	23.0	52.2
14	8	7	7.1	31.2	48	0.8	0	2.3	0.7	1.2	3.1	4.3	71.2	0.0
15	9	6.8	6.5	41.6	84	1.4	0	3.5	1.1	2.5	4.8	7.2	65.9	0.0
16	12	6.4	6.7	26	56	1.3	0	2.9	1.0	2.0	4.0	6.0	67.4	0.0
17	13	6.8	6.9	12.6	112	1.3	0	5.1	1.7	1.6	7.1	8.6	82.0	0.0

Fonte: Autor.

Foram elaborados histogramas para que os valores dos dados amostrais encontrados possam ser avaliados de outra forma além dos mapas, pois para Andriotti (2013), os histogramas são ferramentas muito importantes na visualização e na interpretação dos dados disponíveis, de modo que devem ser construídos sempre que trabalhamos com dados numéricos e sobre eles desejarmos fazer inferências.

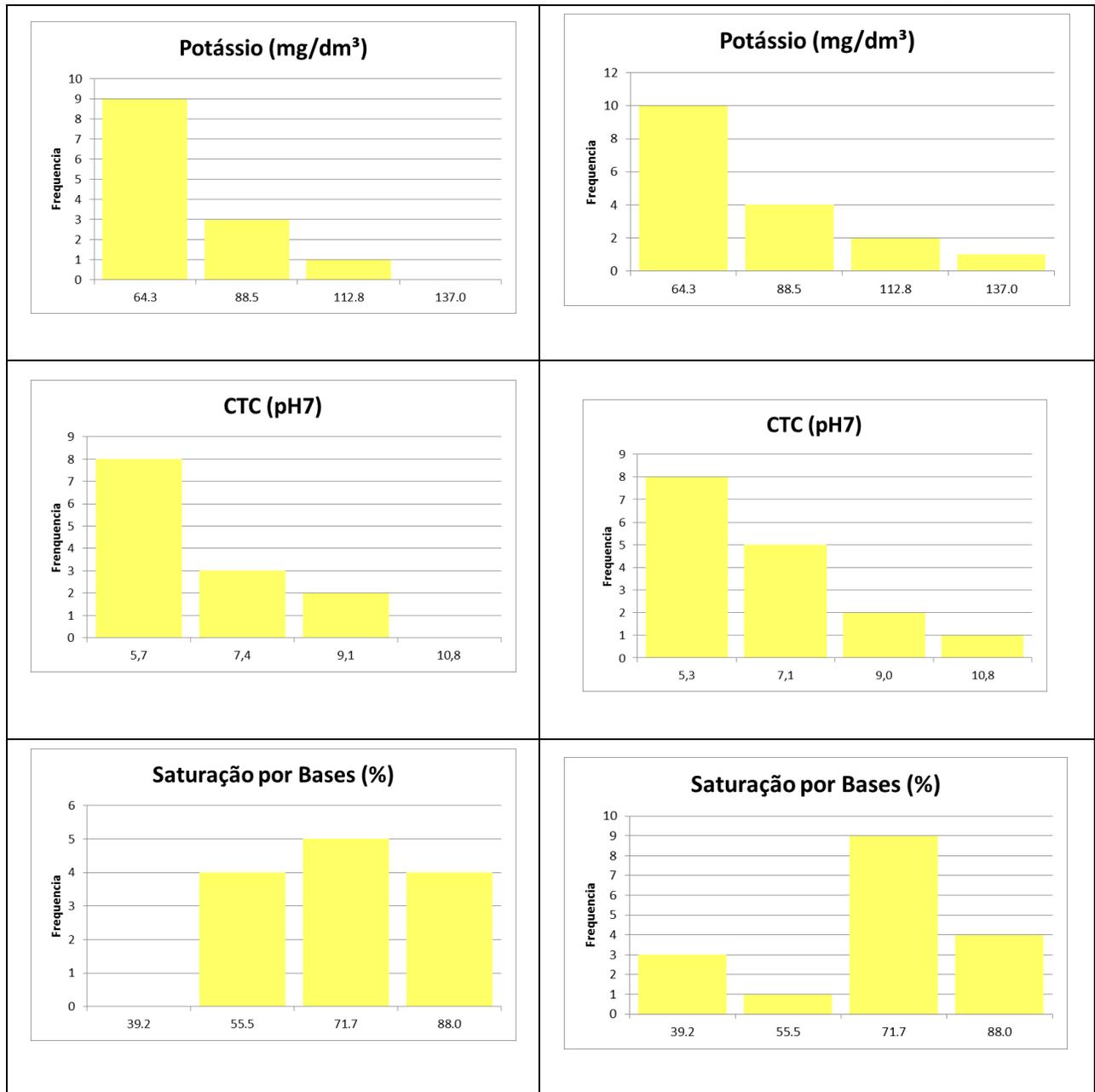
Quadro 1 - Histogramas dos atributos de solo para ambas as malhas de amostragem.

(continua)



Quadro 1 - Histogramas dos atributos de solo para ambas as malhas de amostragem.

(conclusão)

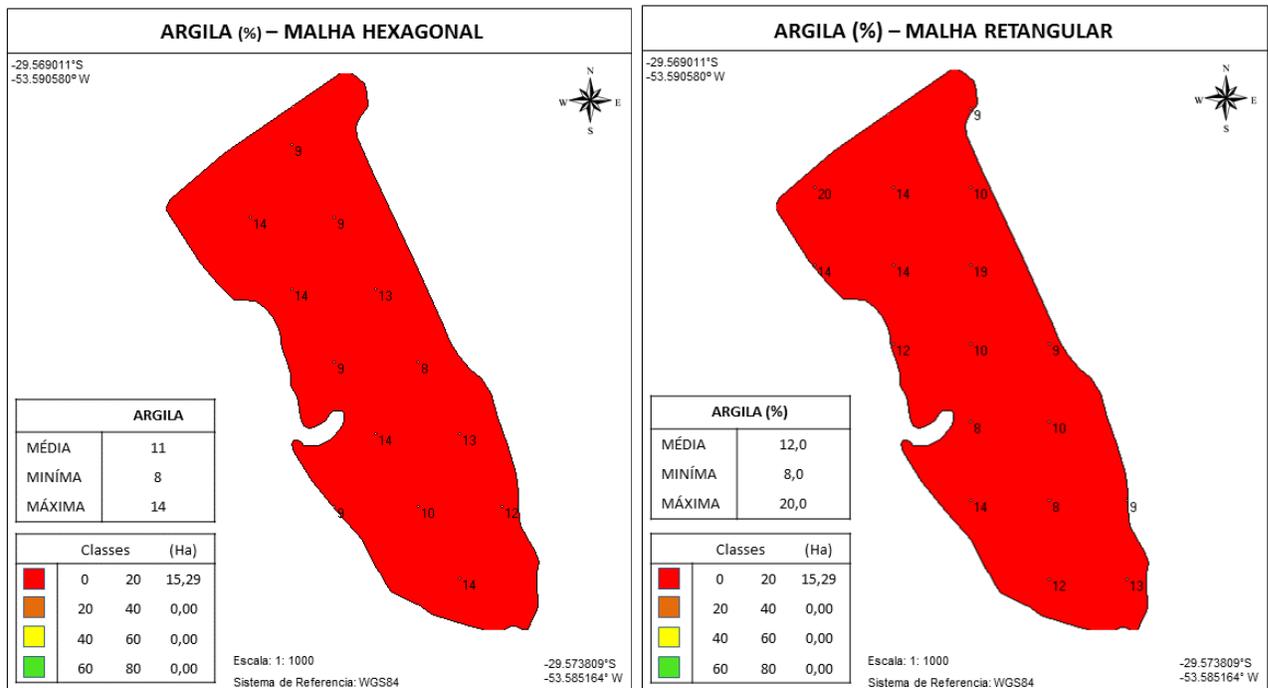


Fonte: Autor.

4.3 MAPAS DE FERTILIDADE DO SOLO

Depois de organizados os dados referentes à análise de solo, foram possíveis gerar os mapas de fertilidade para as duas malhas de amostragem, na Figura 23 temos o mapa de argila.

Figura 23 - Mapas do teor de argila para ambas as malhas de amostragem.

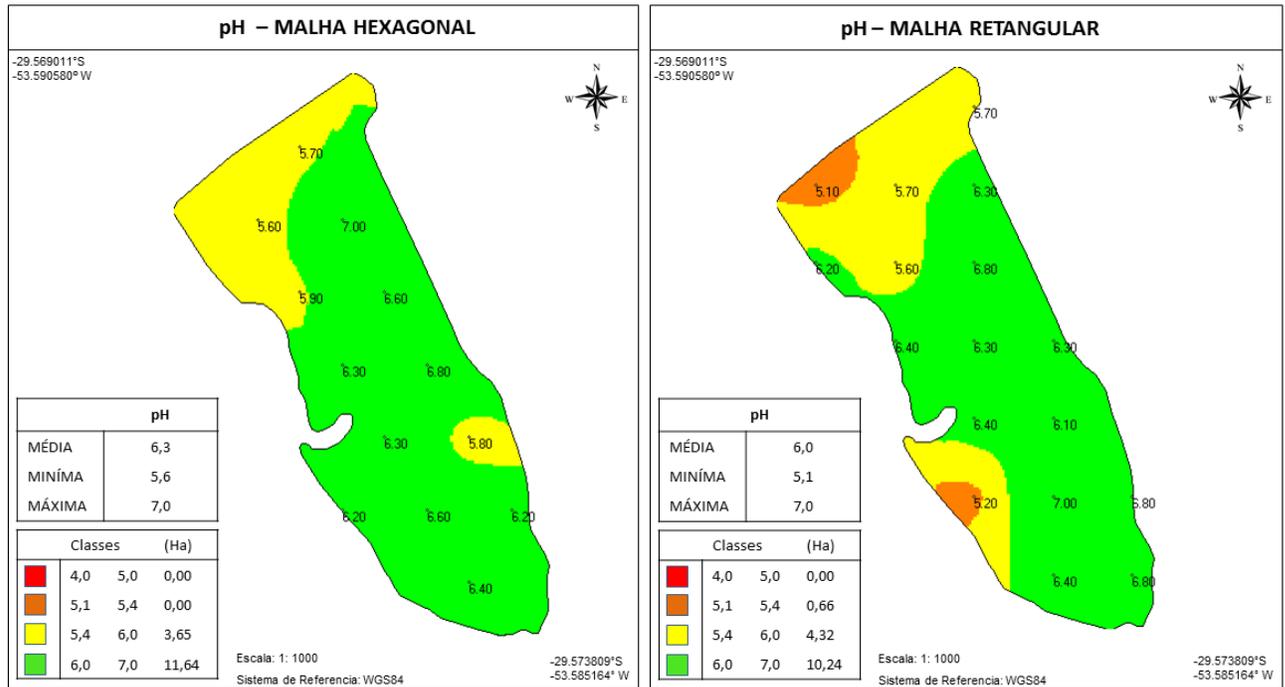


Fonte: Autor.

Como a área apresenta-se muito arenosa, a concentração de argila encontra-se numa classe mais baixa.

O próximo o mapa foi gerado e classificado foi o de pH, conforme segue na Figura 24.

Figura 24 - Mapas de teor de pH para ambas as malhas de amostragem.

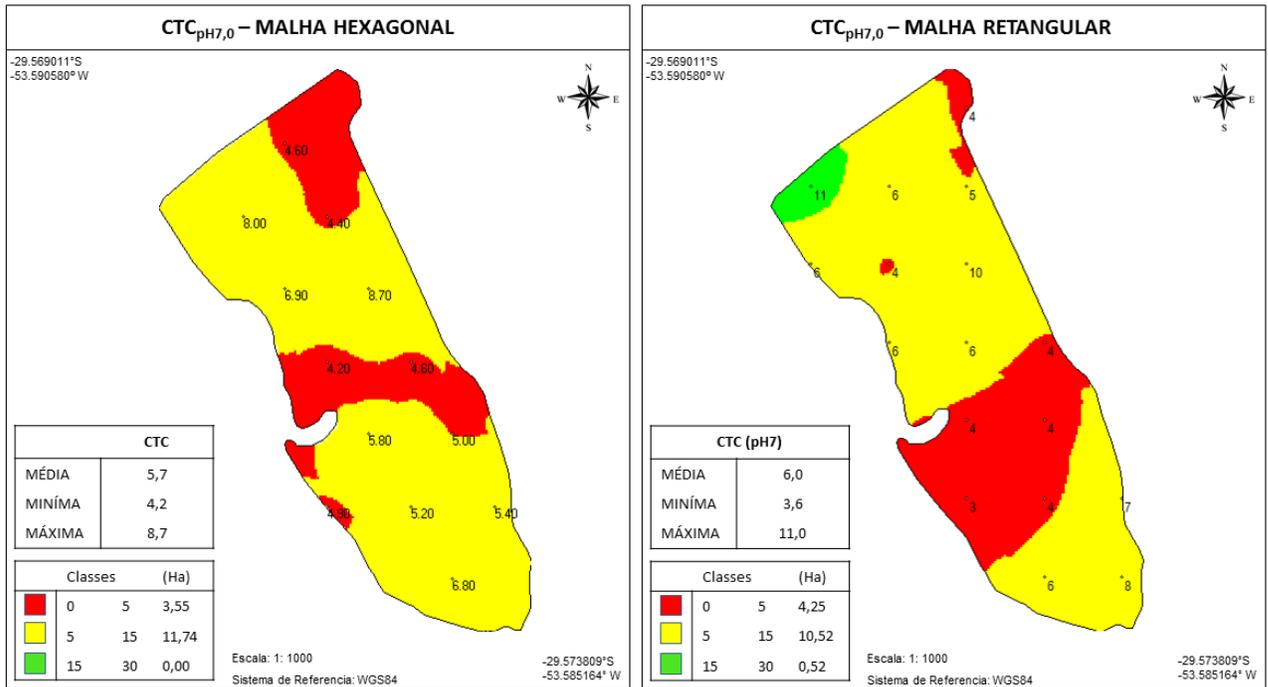


Fonte: Autor.

O mapa que representa a variação de pH no solo (Figura 24), tem manchas representadas na malha retangular que não são consideradas na malha hexagonal pelo fato que a malha retangular tem 4 pontos amostrais a mais que a hexagonal, abrangendo desse modo pontos que na hexagonal não são amostrados.

O mapa da CTC_(pH7) é representado pela Figura 25.

Figura 25 - Mapas de CTC.

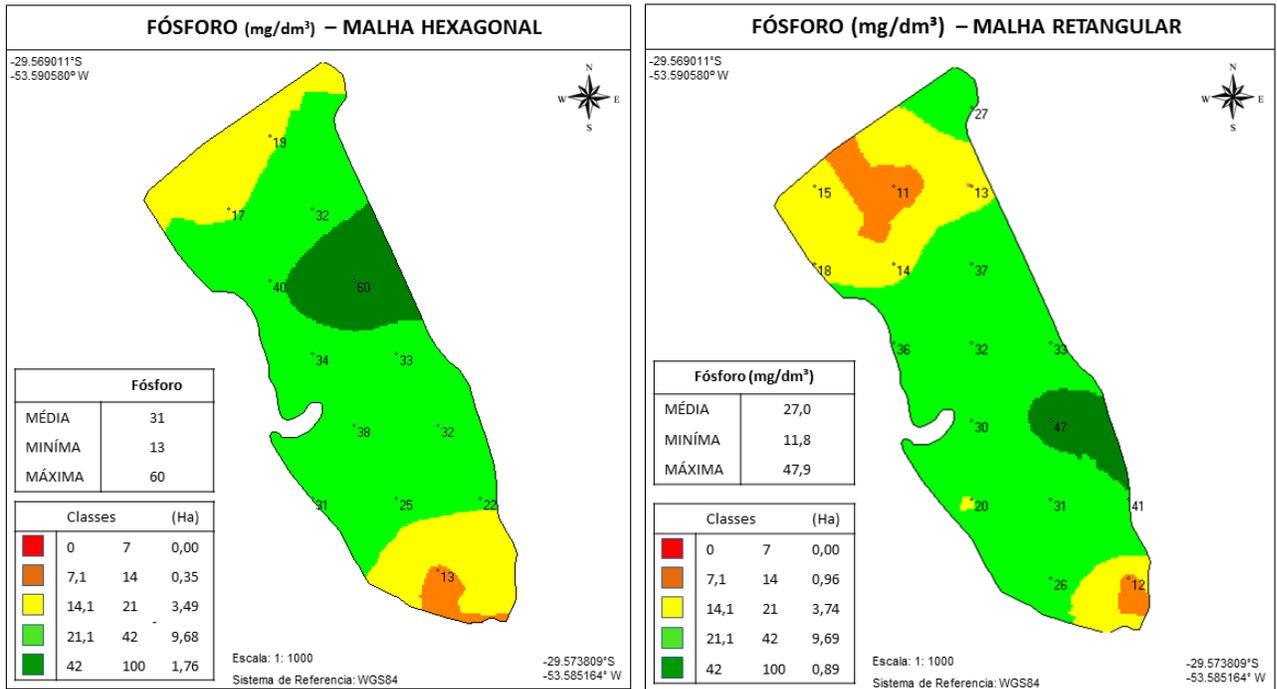


Fonte: Autor.

No mapa que representa a CTC_(pH7,0) nota-se que a variação espacial do atributo é representada de forma semelhante nos dois métodos de amostragem sendo que o diferencial de destaque é novamente o ponto na malha retangular nº2 que se encontra em uma área crítica da lavoura e que não é contemplado pela malha hexagonal.

O mapa de Fósforo foi estruturado e classificado e sua representação se encontra na Figura 26.

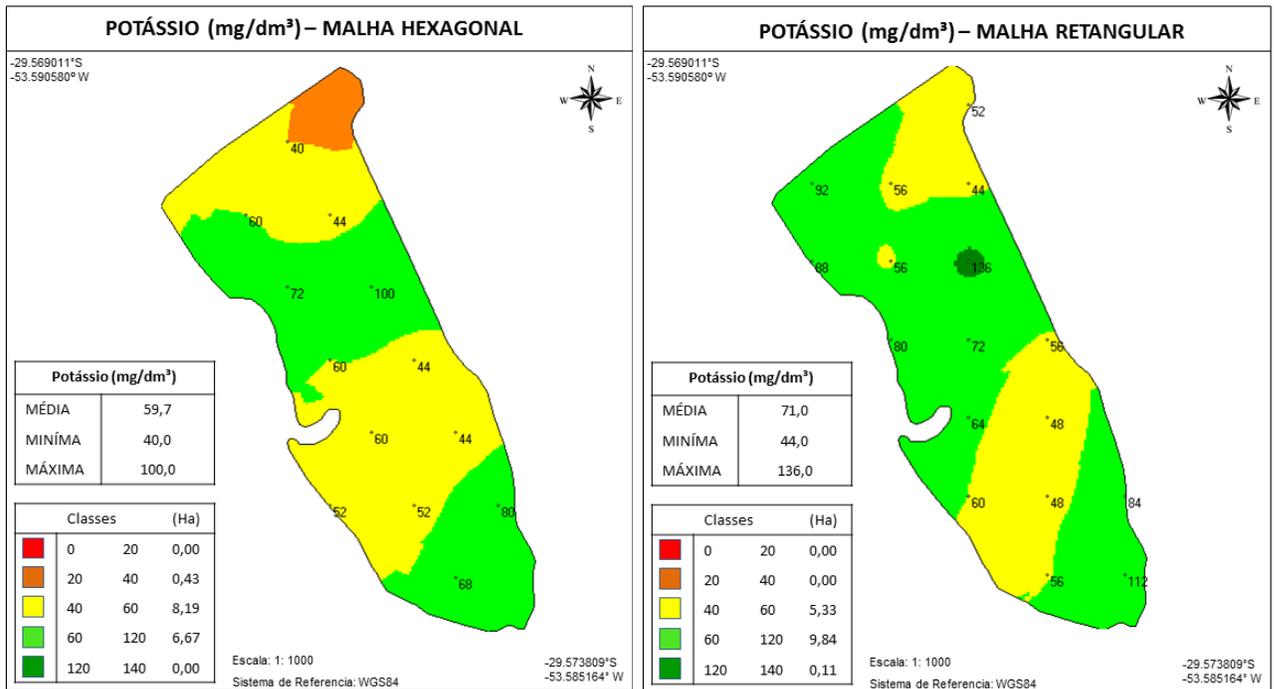
Figura 26 - Mapas do teor de Fósforo para ambas as malhas de amostragem.



Fonte: Autor.

Quanto aos mapas de fósforo, se observa que seguem uma mesma tendência para ambas as malhas de amostragem, no entanto, como o fósforo apresenta maior variabilidade mesmo em pequenas distâncias, a malha retangular por possuir mais pontos, representou a variabilidade de fósforo de maneira mais detalhada que a malha hexagonal.

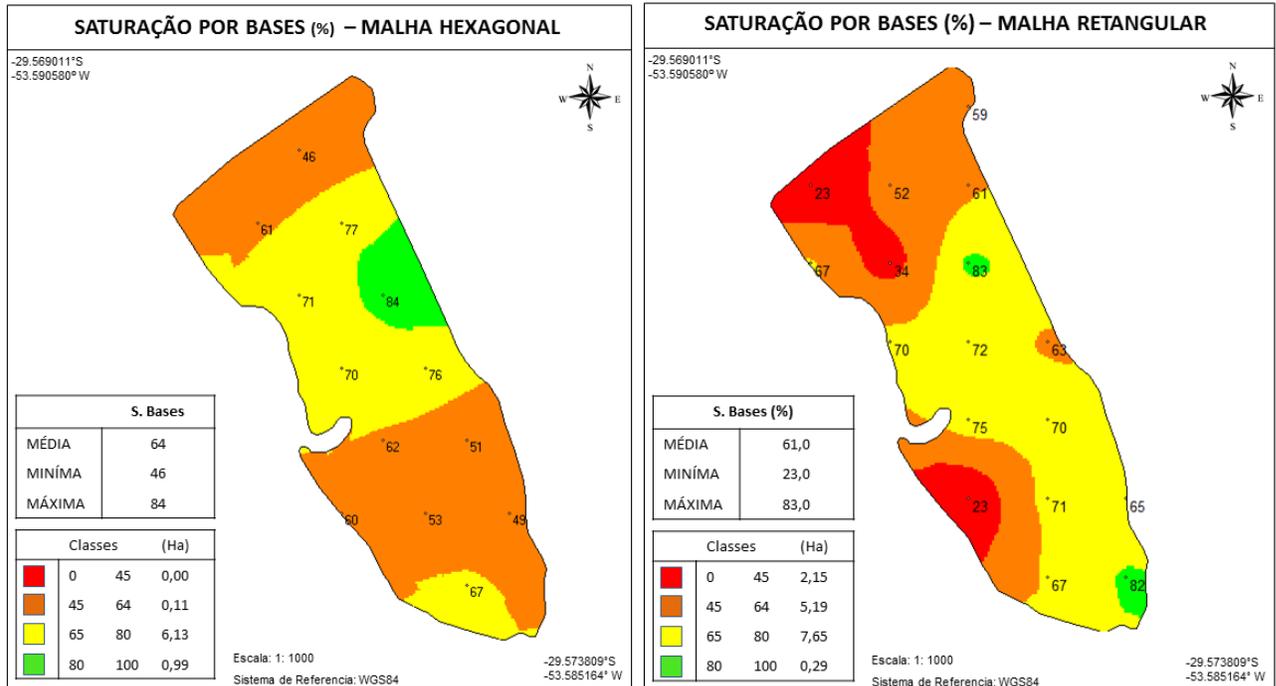
Figura 27 - Mapas do teor de Potássio.



Fonte: Autor.

Para o potássio, a malha hexagonal registrou um ponto com valor baixo que não foi contemplado pela retangular que se encontra próximo a borda, no geral, as duas malhas registraram, de forma semelhante, a tendência da lavoura, conforme verifica-se na Figura 27.

Figura 28 – Mapas do teor de Saturação por Bases.



Fonte: Autor.

A Saturação por Bases (Figura 28) apresentou diferença significativa em sua representação quando analisada através da malha hexagonal ou retangular.

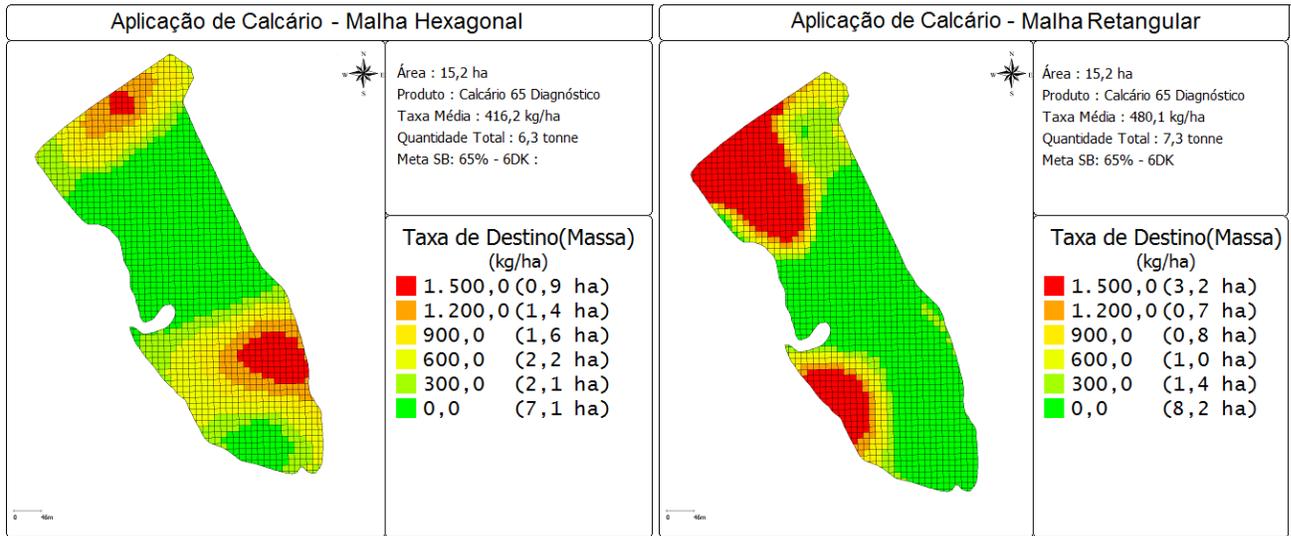
O ponto nº 2 da malha retangular apresenta-se destoante dos demais, pois conforme, já mencionado, é uma área crítica, com uma nascente intermitente. No entanto os demais pontos classificados como “baixo” não seguem o padrão da lavoura, sendo necessária uma nova coleta, para validar os dados, já que foi solicitada a reanálise para o laboratório.

4.4 MAPAS DE APLICAÇÃO

Os mapas de aplicação foram gerados seguindo os padrões de recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC.

Tomando os valores dos mapas de fertilidade foi possível prescrever dosagens para correção do solo, como a aplicação de calcário, representada pela Figura 29.

Figura 29 - Mapas de aplicação de calcário para ambas as malhas de amostragem.



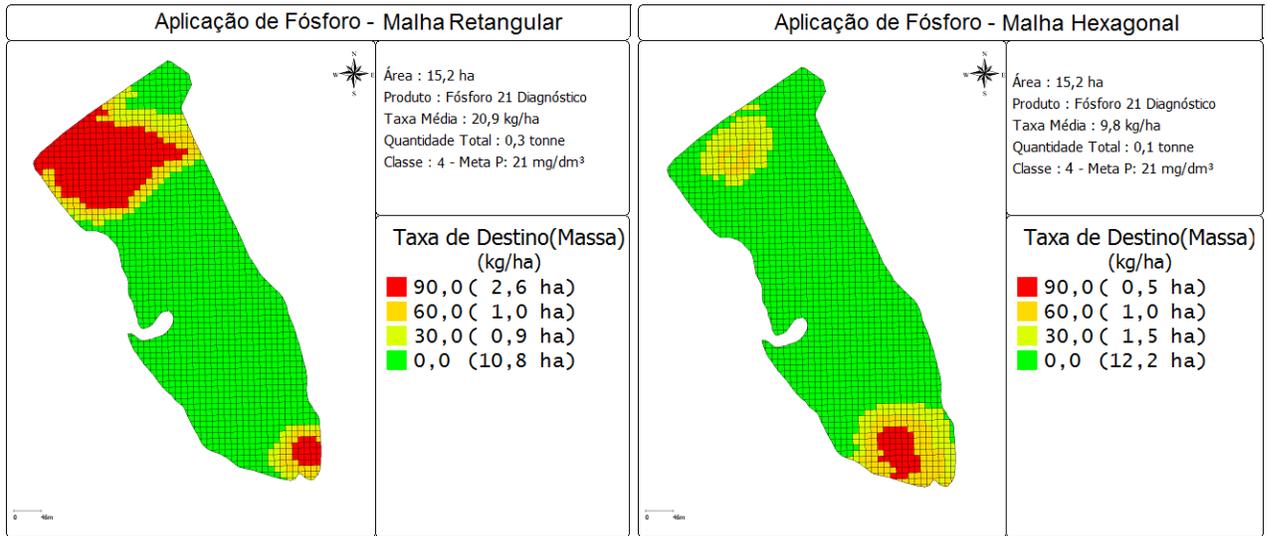
Fonte: Autor.

Para aplicação de calcário, (Figura 29), com a meta de Saturação por Bases de 65%, seriam necessárias 6,3 toneladas seguindo a recomendação conforme os mapas de fertilidade para malha hexagonal e 7,3 toneladas para a malha retangular.

Portanto, ao considerar os valores encontrados com a utilização da malha de amostragem hexagonal haverá uma diferença de 1 tonelada em relação a amostragem retangular para aplicação de calcário.

Da mesma forma o mapa de aplicação de fósforo foi estruturado e classificado conforme ilustra a Figura 30.

Figura 30 - Mapas de aplicação de fósforo para ambas as malhas de amostragem.



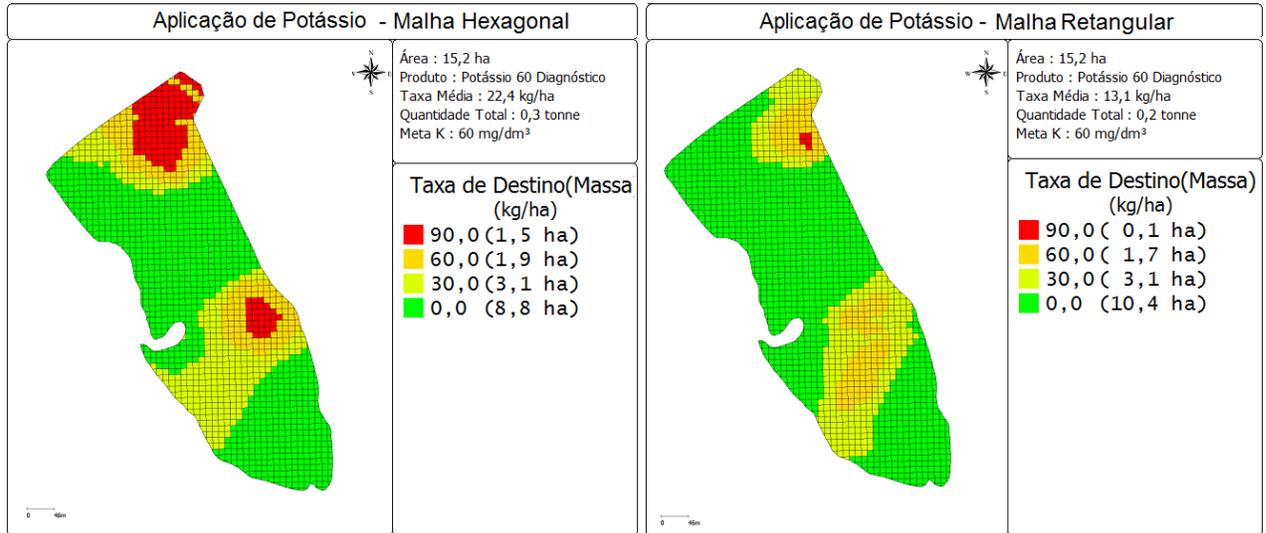
Fonte: Autor.

Para aplicação de Fósforo na classe 4, meta de 21 mg/dm³, seriam necessárias aplicar 0,1 toneladas de fósforo se considerada a amostragem hexagonal e 0,3 toneladas na amostragem retangular, conforme Figura 30.

Para fósforo a diferença encontrada na recomendação para aplicação utilizando uma ou outra malha de amostragem é de 0,2 toneladas.

O mapa de aplicação de potássio é representado pela Figura 31.

Figura 31 - Mapas de aplicação de potássio para ambas as malhas de amostragem.



Fonte: Autor.

Para aplicação de potássio com a meta de Potássio de 60 mg/dm³, seriam necessárias 0,3 toneladas para amostragem em malha hexagonal e 0,2 toneladas se considerada a amostragem retangular, originando uma diferença de 0,1 tonelada.

É importante analisar que se levado em consideração apenas a quantidade que cada insumo requer para correção do solo utilizando-se a malha de amostragem retangular ou hexagonal, a diferença encontrada, por vezes, pode não ser tão grande. No entanto, ao analisar as áreas (manchas) onde serão aplicadas maiores ou menores quantidades, estas variam consideravelmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho, que teve por objetivos estabelecer as diferenças encontradas ao se empregar dois métodos de amostragem de solo, hexagonal e retangular, nos mapas de fertilidade do solo e aplicação para correção do mesmo, permitiu aferir algumas considerações.

Ao utilizar a malha hexagonal ou retangular para amostrar o solo, nota-se que quando há uma alteração na posição e no número de pontos amostrais em uma lavoura, as representações dos mapas apresentam diferenças, que num primeiro momento, analisando somente os mapas de fertilidade, essas diferenças parecem ser pequenas, mas quando estruturado um mapa de correção, onde as taxas de aplicação são definidas, essa diferença passa a ser significativa, pois resultará em maior ou menor aquisição de insumos.

Em uma avaliação da utilização das malhas considerando somente o aspecto econômico, visando à redução de custos, a malha hexagonal seria indicada, pois gera menor número de pontos e conseqüentemente redução nos custos de amostragem e análise de solo.

Ambas as malhas conseguem representar de forma similar as tendências que o solo apresenta, no entanto, a malha retangular, por apresentar maior número de pontos, consegue representar a variabilidade de forma mais expressiva. Enquanto que a malha hexagonal causa uma homogeneização na variabilidade, visto que há menor número de pontos.

No entanto, acredita-se que pela forma como os pontos são dispostos na malha hexagonal, esta deveria ser empregada com maior frequência, pois favorece a representação da tendência espacial, visto que os pontos estão equidistantes. Se adotado esse método, sugere-se, acrescentar pontos para que a representação da variabilidade na lavoura possa ser mais representativa, abrangendo locais que não foram contemplados com pontos.

Salienta-se que ao aplicar uma malha de amostragem, esta apresentará características, como número e distribuição dos pontos, que, inevitavelmente, vão

variam de lavoura para lavoura, por isso, a malha de amostragem deve ser, sempre, planejada e ajustada conforme cada caso, aliando o conhecimento do produtor e dados adicionais disponíveis para definição da mesma. Desse modo, recomenda-se a estruturação de ambas as malhas para avaliação e escolha daquela que melhor se adequa a área que se pretende analisar.

REFERENCIAIS

ACOSTA A. **Agricultura de Precisão Brasileira: sonho ou realidade?** Jornal Agricultura de Precisão em Foco. Ano 2 – nº 4. 2013. Disponível em: <<http://www.drakkar.com.br/issuu/index/29#issu>>. Acesso em: 21 jan 2016.

AG LEADER TECHNOLOGY. Disponível em: <<http://www.agleader.com/products/sms-software/basic/>>. Acesso em: 22 Jul. 2016.

AMADO T.J. C. e SANTI A. L., **Using Precision Farming to Overcome Yield-Limiting Factors in Southern Brazil Oxisols: A Case Study**. In GIS Applications in Agriculture. Vol. 2. Cap. 3.(p. 31-60), 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=3IUBZVI6meUC&pg=PA35&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false> Acesso em: 02 ago. 2016.

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: 23 jun. 2015.

ANCHIETA L. **Amostragem de solo em Agricultura de Precisão: Particularidades e Recomendações**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-16082012-105301/pt-br.php>>. Acesso em: 22 jul 2015.

ANDRIOTTI J. L. S., **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora Unisinos. Coleção Manual Universitário. 2º reimpressão, 2013.

BRASIL. **Agricultura de Precisão** (Boletim Técnico). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2013.

BRASIL. **Agricultura de Precisão** (Boletim Técnico). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Boletim%20T%C3%A9cnico%20AP.pdf> Acesso em: 18 mai 2016.

BOEMO D. **Desenvolvimento de Sistemas de Geoprocessamento e tecnologia móvel aplicados à Agricultura de Precisão**. Tese (Doutorado) – UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS – 2011.

CARDOSO C.D.V. **Probabilidade de Ocorrência de Deficiência Hídrica nos Solos da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado), UFSM, 2005.

CHITOLINA et al. **Amostragem de solo para análises de fertilidade**, de manejo e de contaminação. In Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. Ver. Ampliada. Embrapa, 2009. Disponível em: <ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64061/1/Amostragem-solo.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2015.

CLARET M., BEST S. e LEÓN L., **Sistema de Posicionamento Global**. (GPS). In Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Cap. II. PORCISUR/IICA, Montevideo, Uruguay, 2006. Disponível em: <<http://www.procisur.org.uy/images/biblioteca/135050.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

Classificação Climática de Köppen-Geiger. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica_____o_Clim__tica_Koppen.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2015.

COELHO A. M. et al. **Amostragem de solos**: A base para aplicação de corretivos e fertilizantes. Embrapa Milho e Sorgo, Versão Eletrônica - 6ª edição, 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/feramostra.htm>. Acesso em: 12 set. 2014.

COELHO J. P. C. e SILVA J. R. M. **Agricultura de Precisão**. In Agricultura de Precisão. Cap. II. 1ª Edição. Lisboa, 2009. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_Agricultura_de_Precisao.pdf>. Acesso: 18 ago. 2016.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

DAL ROSS J., VIERA V., **Impactos ambientais sobre o arroio Jacutinga no perímetro urbano do município de Ivorá, RS**. 2008. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/CHUMANAS/2008/ambientais.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

EARL R. et al. **Soil Factors and their Influence on Within-Field Crop Variability**. I: Field Observation of Soil Variation. Biosystems Engineering, Volume 84, Issue 4, 2003. Disponível em: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/738/4/Soil_factors-Field_observation_of_soil_variation-2003.pdf>. Acesso em: 22 agos 2016.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

FUKS S. D. **Novos Modelos para mapas derivados de informação de solos** in Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura - 2.ed., rev. e ampl. - Embrapa, Brasília, 1998.

GIOTTO E., CARDOSO C. D. V., SEBEM E., **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**. Vol. I – Santa Maria/RS, UFSM – Laboratório de Geomática, 2013.

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

GRISSE R. ALLEY M. **Precision Farming Tools: GPS Navigation**. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009. Disponível em: <https://pubs.ext.vt.edu/442/442-501/442-501_pdf.pdf>. Acesso: 10 agos 2016.

GRISSE R. et all. **Precision Farming: A Comprehensive Approach**. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009. Disponível em: <https://pubs.ext.vt.edu/442/442-500/442-500_pdf.pdf>. Acesso: 10 agos 2016.

GUEDES L. P. C., **Otimização de amostragem espacial**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Tese (Doutorado), Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-16072008-122804/pt-br.php>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

IBGE – **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431075&search=rio-grande-do-sul|ivora|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>> Acesso em: 24 jun. 2016.

INAMASU R. **A importância da Agricultura de Precisão no futuro da agricultura brasileira**. Jornal Agricultura de Precisão em Foco. Ano 2 – nº 4. 2013. Disponível em: <<http://www.drakkar.com.br/issuu/index/29#issu>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

LAGO I. F. do, FERREIRA L. D. D., KRUEGER C. P. **GPS e GLONASS: Aspectos Teóricos e Aplicações Práticas**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 8, nº 2, p.37-53, 2002. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/1419>>. Acesso: 12 jul 2015.

LAS. **Laboratório de Análise de Solo da UFSM**. Disponível em: <coral.ufsm.br/labsolo/>. Acesso em: 22 jun. 2016.

LUCCA E. J., **O impacto de novas tecnologias no desenvolvimento regional: o caso da agricultura de precisão na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado), UNIJUÍ, 2012. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/1908>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

MANO A. **Satellite Navigation / Navegação por Satélite – O Essencial**. Departamento de Informação Geográfica da ALT – Sociedade de História Natural (Torres Vedras), 2012. Disponível em: <http://www.academia.edu/2150523/O_Essencial_sobre_Sistemas_de_Navega%C3%A7%C3%A3o_Global_por_Sat%C3%A9lite_GNSS> Acesso em: 23 jul. 2016.

MANTOVANI E. C., et al. **Introducción a la Agricultura de Precisión**. In Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Cap. I. PORCISUR/IICA, Montevideo, Uruguay, 2006. Disponível em: <<http://www.procisur.org.uy/images/biblioteca/135050.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2016.

MATHERON G., **Traité de Géostatistique Appliquée**. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, n° 14, Volume 1, Paris, 1962.

MATHERON G., **Les Variables Régionalisées et Leur Estimation**, Une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature, Paris, 1965.

MATOS J. **Fundamentos de Informação Geográfica**. 6ª Edição. LIDEL Edições Técnicas, Lda. 2008.

MOLIN J. P. AMARAL L. R. do, COLAÇO A. F. **Agricultura de Precisão**. 1ª Edição. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

MOLIN J. P. **Agricultura de Precisão**. In Agricultura de Precisão/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Boletim Técnico, Brasília, Mapa/ACS, 2013.

MONICO J. F. G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MONICO J. F. G., **Do GPS e Glonass ao GNSS**. Revista MundoGeo, 2013. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/do-gps-e-glonass-ao-gnss/>> Acesso em: 04 de jun. 2016.

MOTTA J. L. G., WATZLAWICK I. F. **A importância do Geoprocessamento o Planejamento Rural**. Revista MundoGeo, 2000. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/02/02/a-importancia-do-geoprocessamento-no-planejamento-rural/>> Acesso em: 21 mai. 2016.

NANNI M. R., et al. **Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management**. Scientia Agricola, v. 68, n.3, p. 386-392, 2011. Disponível em: <<http://producao.usp.br/handle/BDPI/4637>> Acesso em 02 ago. 2016.

YAMAOTO, J. K., LANDIM P. M. B., **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013.

ONUBR - **Nações Unidas no Brasil**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/novo-estudo-da-onu-indica-que-mundo-tera-11-bilhoes-de-habitantes-em-2100/>> Acesso em: 25 jun. 2016.

ORELLANA J., BEST S., CLARET M., **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**. In Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y

sustentable. Cap. VII. PORCISUR/IICA, Montevideo, Uruguay, 2006. Disponível em: <<http://www.procisur.org.uy/images/biblioteca/135050.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2016.

ROCHA C. H. B. **Geoprocessamento**: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG. Ed. Do Autor, 2000.

SANTOS G. R. dos. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos**. Tese (Doutorado) – Universidade de Lavras, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/4304>> Acesso em: 14 mai. 2016.

RESENDE A. V., COELHO A. M., **Muestreo para mapeo y manejo de la fertilidad del suelo** In Manual de Agricultura de Precisión. Parte I - IICA, PROCISUR - Montevideo: IICA, 2014. Disponível em: <<http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/b3382e.pdf>>. Acesso: 15 jun. 2015

ROEL A., TERRA J. **Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento**. In Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Cap. IV. PORCISUR/IICA, Montevideo, Uruguay, 2006. Disponível em: <<http://www.procisur.org.uy/images/biblioteca/135050.pdf>> Acesso em: 09 ago. 2014.