

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

**FERTILIDADE DE SOLO E VIABILIDADE TÉCNICA –
ECONÔMICA DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA
REGIÃO DAS MISSÕES – RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Flavio André Schadeck

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**FERTILIDADE DE SOLO E VIABILIDADE
TÉCNICA – ECONÔMICA DA AGRICULTURA DE
PRECISÃO NA REGIÃO DAS MISSÕES – RS.**

Flavio André Schadeck

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologias em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

Orientador: Profa. Dra. Claire Delfini Viana Cardoso

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Schadeck, Flavio André
Fertilidade de solo e viabilidade técnica - econômica da agricultura de precisão na região das Missões - RS. / Flavio André Schadeck.-2015.
48 f.; 30cm

Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2015

1. Agricultura de Precisão 2. Fertilidade de solo 3. Viabilidade econômica 4. Saturação por bases I. Cardoso, Claire Delfini Viana II. Título.

© 2015

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

E-mail: flavioas@via-rs.net

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da UFSM
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**FERTILIDADE DE SOLO E VIABILIDADE TÉCNICA – ECONÔMICA
DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA REGIÃO DAS MISSÕES – RS.**

elaborado por
Flavio André Schadeck

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claire Delfini Viana Cardoso, Dra (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ)

Daniel Boemo, Dr. (IFFARROUPILHA)

Santa Maria, 30 de Janeiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade da realização deste curso, onde aprendi novas formas de pensar e olhar para a terra (solo), meu instrumento de trabalho.

A Coordenação e todos os docentes do Programa de Pós-Graduação do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria.

A minha esposa Valéria R. do Nascimento, por ter sempre me estimulado e auxiliado neste trabalho. E que sem seu apoio não teria começado e nem terminado este.

Ao meu filho Vicente, que muitas vezes visitou o pai no escritório para brincar e teve de ter paciência para esperar após os trabalhos.

A minha professora orientadora Claire Delfini Viana Cardoso, sempre muito prestativa nas correções e demais dúvidas e apoio durante a realização do trabalho.

Ao professor Jackson Ernani Fiorin, também muito prestativo e disposto responder as dúvidas surgidas no decorrer das análises dos resultados.

A empresa BaseAP pela disponibilidade das informações e dados solicitados para realização do trabalho.

“Conhecimento real é saber a extensão da própria ignorância...”

(Confúcio)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Colégio Politécnico da UFSM
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

FERTILIDADE DE SOLO E VIABILIDADE TÉCNICA – ECONÔMICA DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA REGIÃO DAS MISSÕES – RS.

AUTOR: FLAVIO ANDRÉ SCHADECK
ORIENTADOR: CLAIRE DELFINI VIANA CARDOSO
Santa Maria, 30 de janeiro de 2015.

Este trabalho apresenta um estudo que foi realizado em uma área comercial de produção de grãos, no Município de Santo Ângelo, região das Missões - Noroeste do Rio Grande do Sul, durante a conclusão do curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão pela Universidade Federal de Santa Maria/UFSM. O clima da região é segundo classificação de Köppen-Geiger do tipo Cfa subtropical úmido e o relevo levemente ondulado, com uma fertilidade para o nutriente fósforo (P) já construída. Esse trabalho teve como objetivo verificar se o uso de ferramentas de Agricultura de Precisão, pela aplicação de correção de fertilizantes a lanço e a taxa variada apresenta um aumento nos teores de fertilidade solo, verificando também as produtividades de soja e trigo ao longo de três anos subsequentes e sua viabilidade técnica e econômica. O período do experimento foi definido para os meses de junho de 2011 a junho de 2014. Metodologicamente o projeto teve uma pesquisa aplicada, de cunho quantitativo, do ponto de vista de seus objetivos foi descritiva contemplando um estudo de caso. As análises de solo foram realizadas pela Empresa BaseAP, destacando-se como variáveis principais pH do solo, Saturação por bases e Potássio que apresentaram necessidade de correção. Obteve-se uma redução de 43% no uso de calcário dolomítico e um aumento de produtividade de soja e trigo entre 19 e 28%. O estudo mostrou um retorno econômico ao produtor de 22% comparado a uma área testemunha sem Agricultura de Precisão. Esperava-se um aumento nos teores de potássio na reamostragem mas não foi encontrado, levantando a hipótese de se fazer uma adubação de manutenção na cultura ao invés de se fazer uma correção de solo.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Fertilidade de solo. Viabilidade econômica. Saturação por bases.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Polytechnic College of UFSM
Master Course in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria

SOIL FERTILITY AND TECHNICAL FEASIBILITY - ECONOMIC OF PRECISION AGRICULTURE IN THE REGION OF MISSIONS – RS.

AUTHOR: FLAVIO ANDRÉ SCHADECK
SUPERVISOR: CLAIRE DELFINI VIANA CARDOSO
Santa Maria, January 30, 2015.

This paper presents a study that was conducted in a commercial area of grain production in the municipality of Santo Ângelo, region of the Missions - northwest of Rio Grande do Sul, during the Master Course in Precision Agriculture, Federal University Santa Maria / UFSM. The Climate is second Köppen classification of humid subtropical Cfa and gently undulating, with a fertility for the nutrient phosphorus (P) already built. This study aimed to determine whether use of precision agriculture tools, by applying fertilizers correction broadcasted with the variable rate shows an increase in soil fertility levels, and to verify the yield of soybean and wheat over three years subsequent and its technical and economic viability. The Trial period was set for the months of June 2011 to June 2014. Methodologically the project had an applied research, quantitative nature, from the point of view of its objectives was contemplating a descriptive case study. technical and economic. The Soil analyzes were performed by BaseAP Company, highlighting the main variables pH soil, Saturation for bases and potassium with need correction. Obtained was a 43% reduction in the use of lime and an increase in soybean and wheat productivity between 19 and 28%. The study showed an economic return to the producer of 22% compared to a control area without Precision Agriculture. It was expected an increase in the potassium concentration in the resampling but not found, raising the possibility of doing a maintenance fertilization on crop instead of making a soil amendment.

Keywords: Agricultural soil Precision. Fertility of soil. Economic viability. Base Saturation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da Região da Missões	24
Figura 2 – Localização do Município de Santo Ângelo no RS.....	25
Figura 3 – Localização da Propriedade em estudo	25
Figura 4 - Espacialização dos valores de Calcário Dolomítico	27
Figura 5 – Espacialização dos valores da Cloreto de Potássio	28
Figura 6 – Espacialização dos valores da Saturação de bases	33
Figura 7 – Espacialização dos valores do pH em água.....	35
Figura 8 – Espacialização dos teores de Potássio no solo.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise estatística descritiva dos teores de pH	33
Quadro 2 – Análise estatística dos valores de Saturação por bases	34
Quadro 3 – Análise estatística descritiva dos teores de potássio	36
Quadro 4 – Balanço Nutricional de (P e K - manutenção x exportação)	38
Quadro 5 – Faixas de interpretação e distribuição percentual de potássio	39
Quadro 6 – Avaliação econômica de áreas com e sem AP	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1	Manejo do solo.....	14
3.1.1	Fertilidade de solo	17
3.1.2	Conceito de Agricultura de Precisão (AP).....	17
3.2	Uso de tecnologias de AP.....	18
3.3	Viabilidade técnica econômica da AP.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	Área do trabalho	24
4.2	Metodologia.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6	CONCLUSÕES	41
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola brasileira vem crescendo em ritmos cada vez maiores, atendendo a necessidade de um aumento da demanda por alimentos devido a fatores tais como a elevação da renda de determinadas camadas da população mundial principalmente em países em desenvolvimento, acarretando um aumento significativo na procura por estes.

Muteia (2010) relata dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), que em 2010 a produção de cereais caiu 1,1%, diante de um aumento de 1,9% na sua utilização. A arrancada econômica dos países emergentes registrada na última década resultou no aumento do consumo de produtos da agropecuária.

Segundo Carvalho (2011), as estimativas da FAO e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) mostram que a população brasileira poderá crescer 40% nos próximos 50 anos, a população mundial poderá chegar a 8,3 bilhões de habitantes em 2030. Considerando a área disponível para produção de alimentos e o número de habitantes, percebe-se que cada vez mais a área agricultável/habitante irá diminuir mostrando no contexto atual que o aumento da produtividade será fundamental para atender a demanda mundial por alimentos.

As oscilações na produção de alimentos podem comprometer o suprimento destes, paralelamente ao crescimento da população ao ritmo de quase 1% ao ano, observa-se a importância de avaliar novas tecnologias, que tem sido colocadas a disposição dos produtores dentre outras podemos citar: Agroquímicos, Biotecnologia, Equipamentos de Irrigação e a Agricultura de Precisão.

Diante das mudanças climáticas que estão ocorrendo fica evidente a grande necessidade dos produtores agrícolas brasileiros, aqui em específico os produtores da Região das Missões, buscarem recursos, seja através das novas tecnologias para garantir sua rentabilidade e conseqüentemente sua permanência na atividade, ou mesmo a manutenção de práticas adotadas e conhecidas e que permitem uma reavaliação dos resultados obtidos.

Dentro deste contexto, um conjunto de técnicas que vem sendo adotadas e surtindo efeitos positivos em produtividade e reduzindo custo e impactos ambientais

é a Agricultura de Precisão (AP) para auxiliar o produtor na escolha de melhores estratégias de manejo, permitindo identificar a variabilidade presente na áreas e, a partir disso, averiguar os fatores limitantes, propondo alternativas de manejo diferenciado de acordo com as necessidades de cada zona de manejo Pes et al. (2006).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consiste em verificar se a prática do uso da Agricultura de Precisão, pela aplicação de correção de adubos a lanço e a taxa variável possibilita o aumento dos teores de fertilidade do solo e as produtividades de soja e trigo ao longo de três anos subsequentes e a sua viabilidade técnica e econômica.

Como objetivos específicos propôs-se realizar uma comparação entre os níveis de pH, Saturação por bases e Potássio amostrados no ano de 2011 e os teores reamostrados em 2014 da área em estudo. Procurou-se também demonstrar a viabilidade econômica através de um balanço financeiro entre os custos de implantação da agricultura de precisão e receitas, medidas pelas produtividades de soja e trigo obtidas nas áreas em estudo, comparadas a uma área testemunha sem agricultura de precisão.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Manejo do solo

O manejo do solo consiste em um conjunto de operações e decisões sobre a maneira como se trabalha o solo, tais como aplicações de defensivos e nutrientes, escolha de culturas, sistema de plantio e outras mais. Todas as decisões em relação a forma, técnica e sistema que se trabalha o solo estão interligados. Cada operação agrícola influencia o sistema, contribuindo ou prejudicando as demais operações em um ciclo dinâmico e subsequente. Devido a esses fatores destacamos o manejo de solo como algo de extrema importância para o entendimento dos estudos que vamos abordar neste trabalho.

Para contribuir, Vezzani (2001) nos diz que o manejo pode conduzir, gradualmente, a uma melhoria da qualidade do solo agrícola até alcançar a excelência expressa por, entre outras propriedades, elevado potencial produtivo. Em sentido oposto, o manejo adotado pode conduzir a um processo de regressão da qualidade do solo até alcançar a degradação, que se expressa por baixas produtividades.

Sulzbach (2003) demonstra a importância da conservação do solo onde ele cita como os principais problemas ambientais encontrados atualmente compreendem a água, o ar, a sanidade dos alimentos produzidos e a degradação dos solos.

Segundo Amado & Santi (2007), o manejo racional do solo pode ser considerado a base de sustentação dos sistemas agrícolas. Sendo assim, avanços tecnológicos tem possibilitado o aprimoramento do manejo do solo. Historicamente, a insustentabilidade do preparo convencional, no Sul do Brasil, estimulou os agricultores a adotarem o sistema plantio direto. Assim como o sistema de plantio direto, outras tecnologias transformaram profundamente a agricultura brasileira nas últimas décadas. O melhoramento genético ofertando cultivares adaptadas à diferentes zonas agroclimáticas no país, a biotecnologia, a irrigação por pivô central, o gerenciamento da unidade da produção e a busca de eficiência em todos os

processos dotaram de competitividade a agricultura nacional, tornando-a capaz de adaptar-se a globalização e de competir no mercado internacional. Nesse cenário, o monitoramento da variabilidade espacial das características do solo e seus efeitos no desenvolvimento e na produtividade das culturas passou a ser possível.

Para tanto, as novas ferramentas como as tecnologias de AP estão sendo desenvolvidas como meio de gerenciar a variabilidade existente na propriedade.

Girardello (2010) estudando um Latossolo submetido a escarificação de sítio específico e o rendimento das soja relata que a escarificação apresentou melhoria nas propriedades físicas do solo, mas não incrementou o rendimento.

Dentro do contexto da globalização da economia e a competitividade de preço dos produtos agrícolas, surgiu a necessidade de se obter níveis de competitividade internacionais. Além disto, a busca pela conservação dos recursos naturais, impõe à atividade agrícola novos métodos e técnicas de produção, aliados à eficiência e maior controle dos resultados obtidos no campo, em relação ao que se pratica hoje Vargas (2003).

Outro aspecto que devemos considerar no estudo do manejo do solo é seu grau de resistência a penetração, que vem a ser o nível de compactação do solo. Em áreas manejadas sob sistema de plantio direto, tem sido observada a formação de uma camada de solo mais compactada a 8-20 cm de profundidade (GENRO JUNIOR et al., 2009). Em algumas situações, o grau de compactação do solo dessa camada atinge valores limitantes à produtividade das culturas Franchini et al. (2009).

Entre os atributos físicos, a densidade do solo acaba sendo o de maior relação com o processo de compactação. A diminuição de volume de macroporos interfere diretamente na aeração do solo, bem como no desenvolvimento radicular, sendo que em solos de elevada densidade, possíveis déficits hídricos são mais corriqueiros. Entre as propriedades físicas, o teor de argila é a que mais influencia na densidade do solo, conseqüentemente a sua suscetibilidade à compactação. O processo de compactação do solo promove modificações da sua estrutura comprometendo fatores importantes ao desenvolvimento das plantas: aumento da resistência mecânica a penetração radicular, redução de aeração, alteração do fluxo de água e calor e a disponibilidade de nutrientes (HAUSCHILD, 2013).

Estudos direcionados aos parâmetros edáficos indicam a relação direta da compactação com a redução da produtividade no sistema de plantio direto na palha. Neste mesmo sistema tem sido observado aumento de densidade de solo

superficial, tendo como conseqüência maior resistência à penetração (RP) ou índice de cone (VIACHESLAV & MOLIN, 2006).

Segundo Molin (2002), as principais causas da compactação estão relacionadas aos sistemas de manejo adotados, onde a perda da matéria orgânica causa o adensamento do solo, influenciando diretamente em sua resistência à penetração, como também o uso de máquinas e implementos pesados acaba agravando a condição de compactação dos solos, principalmente devido as condições de trabalho inadequadas, como excesso de umidade.

Relatando em seu estudo a condição física dos solos das propriedades na Região das Missões do RS, Fiorin et al. (2007) comenta em especial na camada de 0,07 a 0,14 m, onde 69,6% das propriedades rurais apresentaram valores de compactação acima do nível crítico.

Santi et al (2006), ressalta que é preciso estratificar, espacializar na forma de mapas os resultados obtidos das leituras realizadas utilizando penetrômetro e GPS (avaliação georreferenciada). Isto se mostra como uma estratégia racional e eficaz na identificação, a campo, de problemas oriundos da compactação do solo, sendo bastante e aplicável a realidade da AP.

A exigência de uma maior produtividade vem gerando um número cada vez maior de operações nas lavouras, destacando uma tendência de maior compactação de solo. Debiasi & Franchini (2012) conclui em seu estudo que a variabilidade espacial da resistência a penetração é influenciada pela profundidade e pela intensidade de amostragem. E que a redução do número de pontos amostrais promove maior erro na estimativa de resistência a penetração por krigagem, o que é mais evidente na camada de maior interesse para avaliação da compactação de 10 a 20 cm.

Analisando os vários estudos que vem sendo feitos por instituições de pesquisa ligadas a agricultura podemos verificar que no quesito variabilidade temporal existem uma série de fatores interferindo sobre a dinâmica de elementos nutricionais das plantas, o que nos leva a concluir que o grau de precisão de um estudo será maior quanto maiores forem as variáveis estudadas durante o processo de realização do trabalho.

3.1.1 Fertilidade de solo

Fageria (1998) afirma que a adubação é a prática que, tomada isoladamente, mais retorno traz em produtividade e rentabilidade para a cultura. Da mesma forma, se atribui a ela o maior custo da produção, representando em média 30% do custo total de produção.

O manejo para obtenção de altas produtividades na cultura da soja é traduzido na interação clima, planta e solo, propondo o uso eficiente e racional dos fertilizantes (VITTI & TREVISAN, 2000 apud SCHOFFEL et al. 2011).

Os resultados obtidos em estudo com soja, mostraram que o manejo da adubação para alta produtividade foi superior em até 851,9 kg ha⁻¹ (24,5%) em relação ao manejo padrão, demonstrando ser essencial na busca de altos tetos produtivos das novas cultivares de soja (SCHOFFEL et al. 2011).

As variedades hoje no mercado possuem alto potencial produtivo. O que precisa é combinar o manejo e técnica para que ela possa expressar essa produtividade. Há uma combinação (de tecnologia) que, bem feita e dominada, traz uma performance sustentável com vários anos de produtividade (BALBINOTTI, 2014).

3.1.2 Conceito de Agricultura de Precisão (AP)

Segundo Blackmore et al (1994) relata que a Agricultura de Precisão é um termo que descreve a meta de aumentar a eficiência do manejo da agricultura, sendo uma tecnologia em desenvolvimento, que modifica técnicas existentes e incorpora novas ferramentas para o administrador utilizar. O mesmo autor considera que o manejo da variabilidade é chave para o uso efetivo da tecnologia da agricultura de precisão.

Para Lemainski (2007), a AP trata-se de uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações precisas e completa-se com as decisões, levando em conta o fato de que cada unidade agrícola possui condições diferentes.

Para Queiroz et al.(2000) apud Amado & Santi (2007):

A AP se propõe a aumentar a eficiência da atividade agrícola, com base no manejo localizado, respeitando a variabilidade existente na área. Integra a computação, a eletrônica, a geomática e a agronomia, proporcionando níveis de controle mais elevados de gerenciar a atividade agrícola.

Campo (2000) considera que Agricultura de precisão é o conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferente produtividade, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistema de posicionamento global (GPS). Até o presente, a agricultura de precisão não pode ser completamente definida porque estamos todos procurando por seus ingredientes uma combinação adequada de instrumentos, medidas e métodos para gerenciar quantitativamente as áreas produtivas. (NIELSEN et al., 1996).

Para Amado & Santi (2007):

A agricultura de precisão é uma forma moderna de gerenciamento da atividade agrícola que objetiva aplicar os insumos no local correto(espço) e no momento adequado (tempo) as quantidades necessárias à produção, para áreas cada vez menores e homogêneas tanto quanto a tecnologia e os custos lhe permitam (DOBERMANN & PING, 2004). A AP compreende um conjunto de técnicas que envolvem máquinas, equipamentos, programas computacionais e pessoal especializado que possibilita o gerenciamento agrícola compatível com o nível empresarial requerido pela agricultura globalizada (FOCH et al., 2004; DURIGON, 2007). São sinônimos da AP o manejo localizado e a agricultura de informação. Desta forma, pode-se resumir o conceito de AP como um conjunto de tecnologias que objetiva o aumento da eficiência dos recursos, com base no manejo localizado das áreas agrícolas, proporcionando incrementos de rendimento, racionalização do uso de insumos e proteção ambiental.

3.2 Uso de tecnologias de AP

O cenário que observamos hoje mostra uma tendência forte pela busca de uma maior eficiência dos recursos ambientais, humanos e técnicos, paralelamente um menor impacto ambiental. Sob este ponto de vista a adoção de técnicas e tecnologias com maior precisão para o manejo adequado do ecossistema pode reduzir o impacto ambiental de maneira significativa, a partir de uma aplicação eficiente de insumos. Neste caminho os benefícios econômicos e ambientais do uso de tecnologias de agricultura de precisão, usando a variabilidade espacial e temporal necessitam de mais estudos.

Em estudos agronômicos envolvendo o sistema solo-água-planta deve-se considerar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, pois os fatores e processos de formação do solo (clima, relevo, tempo, ação de organismos e material de origem), que atuaram ao longo do tempo imprimiram-lhe heterogeneidade, que somado ao manejo realizado pelo homem, acentuaram a variabilidade dos atributos do solo (ALBUQUERQUE et al., 1996).

Segundo Amado & Santi (2007):

Parte da variabilidade registrada pelos mapas de produtividade pode ser atribuída a fatores constantes ou que variam lentamente, enquanto outros fatores são transitórios variando sua participação na variabilidade de uma safra para outra (CAPELLI, 2003; DURIGON, 2007). Os primeiros determinam a variabilidade consistente e os segundos a variabilidade inconsistente. Quando da interpretação de um mapa de produtividade, deve-se considerar principalmente os fatores consistentes, pois os fatores que não persistem no tempo são de difícil ou nenhum controle (DURIGON, 2007). Pelo exposto, a identificação da variabilidade consistente só pode ser feita através da análise de um conjunto temporal de mapas de produtividade. Entre os fatores que determinam a variabilidade consistente, destacam-se: baixos teores de matéria orgânica, reduzida profundidade do solo, acidez do solo, compactação, drenagem deficiente, declividade acentuada e exposição solar. Por outro lado, o conhecimento da variabilidade espacial dos principais indicadores químicos de avaliação da fertilidade também são uma alternativa para estudo da variabilidade na produtividade (VIANA, 2005; LIMA & SILANS, 1999).

A Agricultura de precisão tem se mostrado uma ferramenta importante, principalmente, para a caracterização da variabilidade espacial de atributos de solo e das culturas Bellé (2009). Mostrando que a AP não se limite apenas as correções de fertilizantes com taxa variável, este mesmo autor com relação a medição da umidade do solo com uso de dados de satélites obteve resultados com uma precisão de 95%.

O uso do inovador Satélite SMOS que possui sensores capazes de calcular os níveis de umidade do solo com uma alta taxa de precisão, foi um trabalho de comparação com os dados obtidos de quatro bacias Hidrográficas e os dados coletados pelo satélite (In: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/noticias/usacientificos-verifican-datos-t18685/p0.htm>).

Segundo Blackmore et al (1994) a Agricultura de Precisão é um termo que descreve a meta de aumentar a eficiência do manejo da agricultura, sendo uma tecnologia em desenvolvimento, que modifica técnicas existentes e incorpora novas ferramentas para o administrador utilizar.

Campo (2000) considera que Agricultura de Precisão é o conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas

de diferente produtividade, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistema de posicionamento global (GPS).

Oliveira et al (2012) conclui em seu trabalho de monitoramento da condutividade elétrica por sensores de alta resolução espacial pode prover informações importantes no suporte a decisão de adoção das técnicas de AP. A quantificação da variabilidade de solo através de um índice de oportunidade respondeu adequadamente as características conhecidas do sistema produtivo e correspondeu a interpretação dos mapas interpolados de condutividade elétrica nas profundidade de 30 e 90 cm, monitoradas.

Além da fertilidade de solo, outras áreas tem sido foco de estudos, usando ferramentas da AP como foi o caso de Cruvinel & Karam (2012) que apresentaram um sistema para mapear a área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho, o qual foi fundamentado com base em visão computacional e ferramentas da AP. Os resultados mostraram uma taxa de acerto em ambiente de campo da ordem de 84% para folhas largas e 79% para folhas estreitas, sendo uma alternativa para diminuir o impacto econômico e ambiental do uso de herbicidas com base no uso de mapas de aplicação em taxa variada.

Amado et al (2009) conclui em um trabalho feito sob áreas irrigadas no Rio Grande do Sul que o fósforo apresentou a maior variabilidade espacial e o pH a menor. Embora manejadas sob irrigação, ambas as áreas apresentaram variabilidade espacial de rendimento e que a ocorrência de zonas com menor rendimento das culturas irrigadas nas duas áreas estudadas foi associada a limitações químicas e físicas do solo, especialmente em subsuperfície.

Dalchiavon et al (2011) estudando o Feijoeiro, obteve em seus estudos que 22% da variação da produtividade foram atribuídos à variação nos atributos químicos do solo. Tanto linear quanto espacialmente, o pH do solo foi um bom indicador da produtividade de grãos de feijão cultivado sob sistema de semeadura direta.

Santi (2007) em estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade observou que a produtividade da soja, milho e trigo alcançada apresenta variabilidade com continuidade espacial, correlacionando-se entre si ao longo dos anos. E que em anos de déficit hídrico, verificou-se um aumento da variabilidade espacial da produtividade e que a cultura do milho foi mais eficiente que a de soja

para detectar a variabilidade espacial da produtividade existente na lavoura em estudo.

Caon (2013) estudando densidades amostrais de 0,25; 0,5; 1,2 e 4 ha relata que a diminuição da densidade amostral depreciou a qualidade dos mapas gerados, sendo que todas as densidades amostrais diferiram entre si quanto a exatidão, porém foram encontrados bons níveis de exatidão até a densidade amostral de uma amostra por hectare. A agricultura de precisão utiliza, de forma mais eficiente, a quantidade de calcário e fertilizantes do que a agricultura convencional.

Motomiya (2012) verificou que o uso de sensor óptico ativo em algodoeiro (sensoriamento remoto ao nível terrestre) permite estimar indiretamente a quantidade de Nitrogenio absorvido, o índice de clorofila a produtividade do algodoeiro.

Outra ferramenta usada para o mapeamento da fertilidade de solo em AP são os mapas de produtividade. De acordo com Molin (2007), o mapa de produtividade é a informação mais completa para se visualizar na variabilidade espacial das lavouras. Sendo assim, a determinação da variabilidade é mais facilmente visualizada a partir da produtividade expressa, podendo assim, ser associado com outros fatores que podem estar interferindo a expressão do potencial de rendimento da cultura. Este mesmo autor relata que a variabilidade que se expressa na colheita, em termos de diferenças de produtividade ao longo da lavoura, tem causas variadas e de maneira alguma pode ser atribuída a um ou outro fator isoladamente.

Segundo Amado & Santi (2007) os mapas de produtividade permitem que o produtor faça comparações de variedades, fertilizantes, fungicidas, inseticidas em sua própria área. De maneira que os mapas de produtividade podem ser uma ferramenta para comprovar a eficiência de novas tecnologias.

3.3 Viabilidade técnica econômica da AP

A utilização das ferramentas de AP na área de um produtor rural permitiu que houvesse uma racionalização no uso dos fertilizantes com redução na ordem de 53% na quantidade aplicada, em relação aquela em que o produtor, tradicionalmente, aplicava à taxa fixa, segundo PES (2006).

Ainda, o uso da aplicação a taxa variável proporcionou uma redução média de 33,1% e 36,8% das quantidades totais de fertilizantes utilizados na cultura da soja e milho, respectivamente. Quando considerados os recursos financeiros disponibilizados para os fertilizantes, obteve-se uma economia média de 18,1 e 43,8%, respectivamente. Nas áreas com AP, a produtividade das culturas apresentou um incremento de 10% para as áreas com soja e 14% para as áreas com milho (DELLAMEA, 2008).

Embora Bellé (2009) estudando as relações de fertilidade e produtividade com uso de taxa variável obtivesse em áreas com altos teores de fósforo e potássio, a amplitude de variação foi mantida ao longo dos anos, porém, com a diminuição de valores extremos e que a distribuição de fósforo e potássio a taxa variada permitiu que fosse ampliado o fornecimento de nutriente acima e/ou abaixo da exportação das culturas, não interferindo no rendimento.

Artigo publicado pela revista "A Granja" (2014) relata uma diminuição dos gastos com fertilizantes entre 10% e 30% dependendo da área com uso da Agricultura de Precisão. No mesmo artigo constata um incremento de produtividade da soja em até 15% e no milho juntamente com novos híbridos de até 25%.

Amado (2007) comenta a racionalização no uso de insumos, no caso de calcário de 25% e potássio de 15% e incrementos de produtividade entre 5% e 10% com uso da AP. Ainda, Fiorin et al. (2011) observa sobre o retorno econômico ao produtor variando de 9,2% a 13,7% com o uso de técnicas em Agricultura de Precisão.

Costa (2011) em estudo sobre os impactos econômicos da Agricultura de Precisão comenta que há necessidade de aumento de produtividade das culturas de grande influência econômica como cana-de-açúcar, soja e milho, ao qual somente com a redução de uso de fertilizantes não obteria impacto positivo, somente redução de impactos ambientais.

Estudo feito em usinas de cana-de-açúcar e álcool por Menegathi e Molin (2006), obtiveram redução nos gastos com calcário e fósforo na ordem de 15% e 36% e aumento de produtividade de 9% e 4,5% em relação a média.

Magalhães (2013) estudando o efeito da Agricultura de Precisão em pomares de laranjeiras obteve redução dos insumos entre 30% e 40%, enquanto o aumento da produtividade ficou em 10% quando houve, isto é, o crescimento na produção não foi constante, mas pôde ser observado em alguns momentos. Onde também, foi

possível melhorar alguns parâmetros da fertilidade do solo como os níveis de potássio e saturação de bases na área toda.

Oliveira (2011) constata que com uso de piloto automático em transplante de mudas de citros, foi possível trabalhar com velocidades maiores, o que resultou numa capacidade de campo efetiva maior para este sistema em relação ao sistema convencional de abertura de sulcos. Também destacou ainda que o custo da operação de abertura de sulcos foi menor para o sistema com piloto automático quando comparado com sistema convencional, especialmente devido a redução da demanda de mão de obra.

Sendo assim, constata-se que existem no momento uma série de ferramentas de agricultura de precisão, todas elas evidenciando benefícios em diferentes culturas e em diferentes mecanismos do processo da agricultura, mas que necessitam diferentes testes em variadas situações de uma propriedade rural, para ser possível comprovar a sua validade. As aplicações de fertilizantes a taxa variada e a lanço, são apenas uma parte deste conjunto de ferramentas disponíveis.



Figura 2 – Mapa destacando o Município de Santo Ângelo no Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: www.mfrural.com.br.

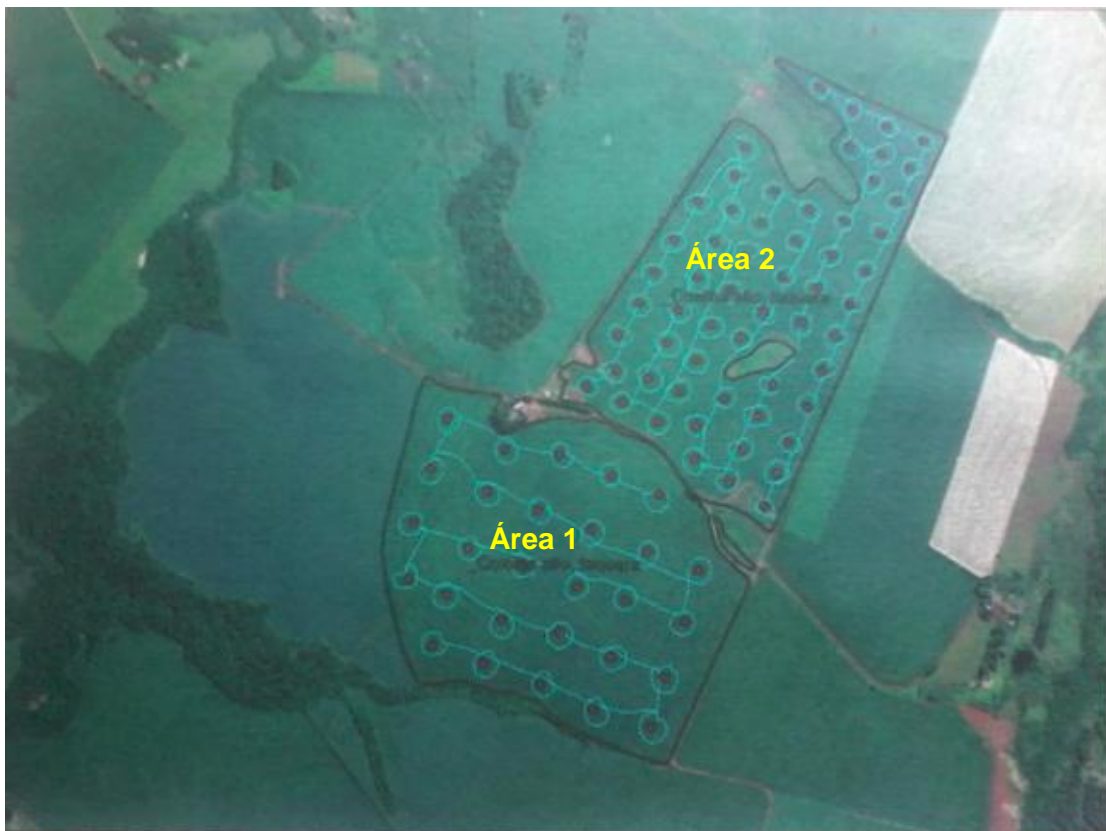


Figura 3 – Imagem da área de estudo – Coxilha do Alto (58 ha) – (Área 1) da figura e a Coxilha da Taquaras (57ha) – (Área 2) usada como testemunha, Município de Santo Ângelo – RS.

Fonte: Arquivo do autor.

4.2 Metodologia

O manejo e condução do sistema de AP foi iniciado em junho de 2011, em uma área comercial de 58 ha. Foi realizada amostragem georreferenciada do solo; interpretação dos atributos químicos; elaboração de mapas de condições químicas; recomendações e aplicações de corretivos e fertilizantes a taxa variada. A área vem sendo manejada com sistema de plantio direto desde o ano de 1997, portanto em um sistema já consolidado. No período estudado de junho de 2011 a junho de 2014, a sequência de culturas utilizada foi: aveia cobertura/soja, trigo/soja e trigo/soja. E outra área ao lado de 57 ha, utilizada como testemunha para o devido acompanhamento do experimento, realizado com a sequência de culturas de trigo/soja, aveia cobertura/soja e trigo/soja.

A amostragem do solo foi realizada em 05/06/2011 e a reamostragem em 23/06/2014, utilizando uma malha quadricular regular de 200 X 200 m, totalizando 28 pontos amostrais. Cada amostra foi composta por doze subamostras, coletadas em raio aproximado de 10 m ao redor do ponto central georreferenciado. A profundidade de coleta foi de 0 a 15 cm, utilizando como instrumento amostrador quadriciclo com trado. As amostras foram encaminhadas ao laboratório da empresa Base AP em Silveira Martins, RS. Em todas amostras foram realizadas análises completas, segundo as metodologias de análise descritas por Tedesco (1995), com controle de qualidade pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos (ROLAS). Na reamostragem foram determinados os mesmos pontos e parâmetros químicos propostos para análises da condição inicial.

O manejo da fertilidade, envolvendo a correção da acidez e a adubação de correção do potássio (K) foram determinadas para elevar a saturação por bases a 80% e o K a 2 % da CTC. Nos 58 ha da área em teste foram utilizados 65,5 toneladas de calcário dolomítico em 55,2 ha como visto na Figura 4; e 2,9 toneladas de cloreto de potássio em 12,4 ha na Figura 5, aplicados a taxa variada em superfície. Utilizou-se equipamento da Marca Jan, Modelo 12000 que possui controlador de vazão de taxa variada, este comprado em parceria com outro produtor, no mês de maio de 2011.

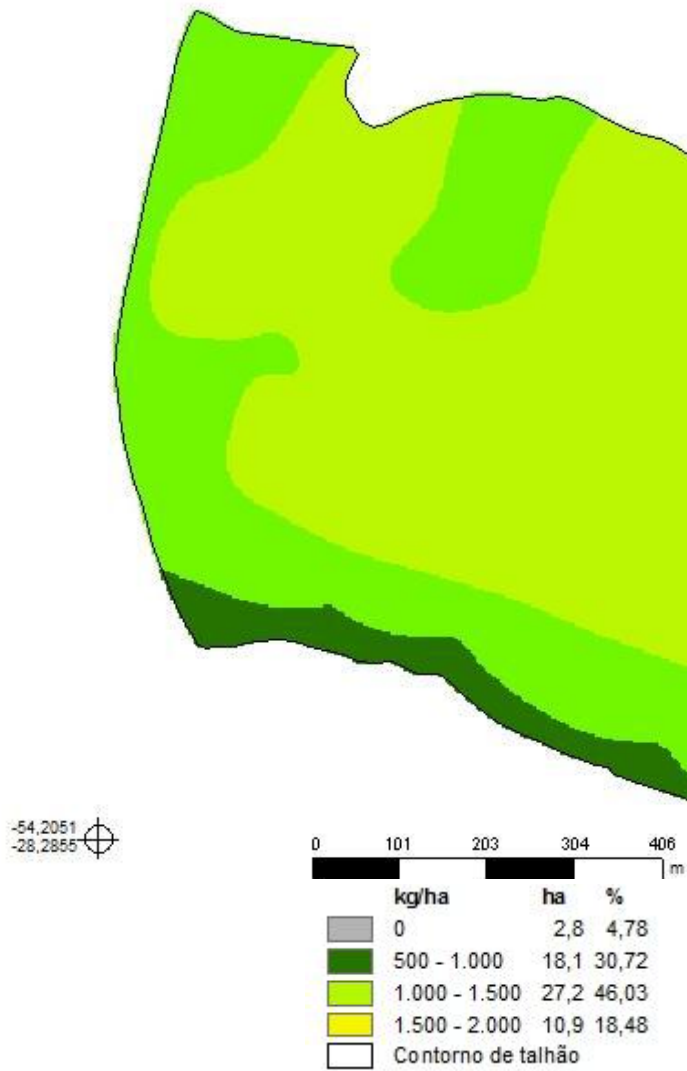


Figura 4 – Espacialização dos valores de Calcário Dolomítico Kg ha⁻¹ para elevação da saturação por bases a 80%.

Fonte: Arquivo do autor.

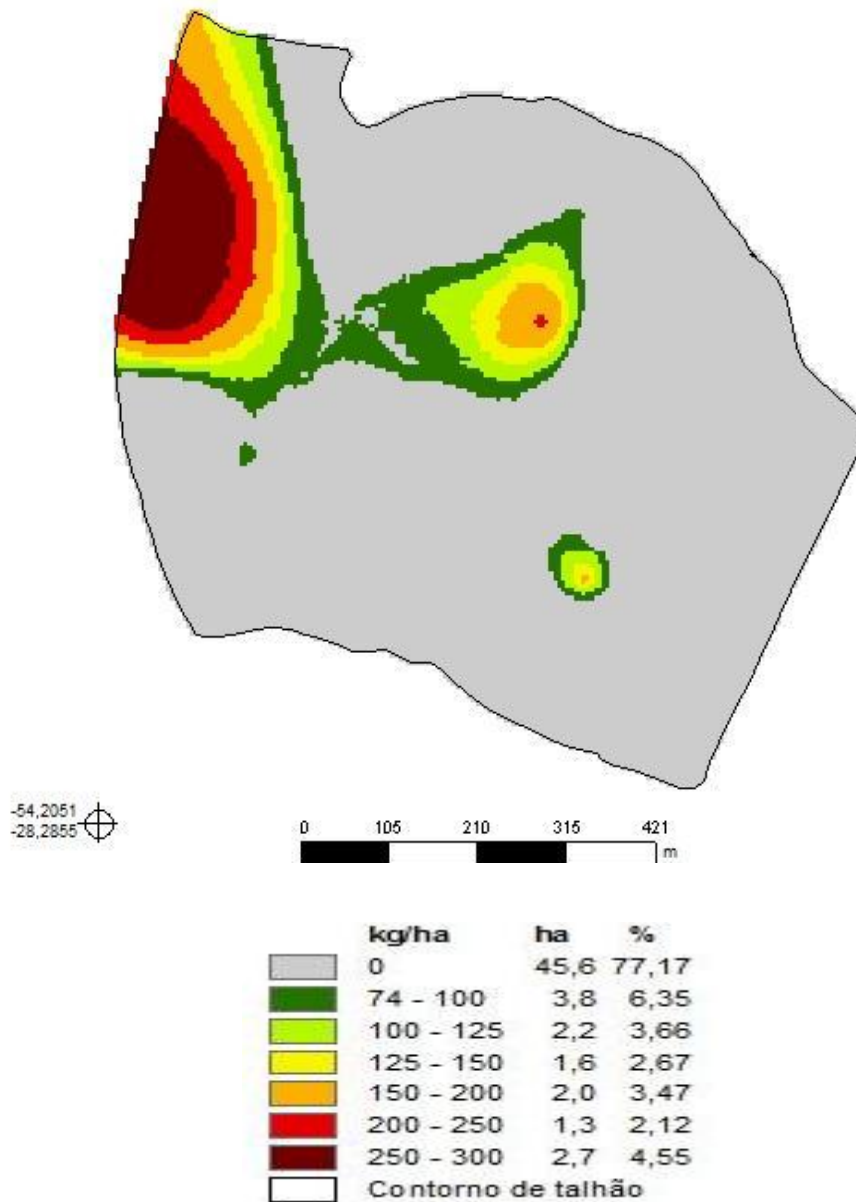


Figura 5 – Espacialização dos valores de cloreto de potássio Kg ha^{-1} para correção de K a 2 % da CTC.

Fonte: Arquivo do autor.

Quanto ao fósforo (P), optou-se em não fazer a correção utilizando o critério de que 96 % da área encontra-se com teores acima de 15 mg dm^{-1} e apenas 4% da área entre a faixa de 12 a 15 mg dm^{-1} , considerando que 100% da área estava com níveis altos e só necessitando de adubações de manutenção. Tratando-se de uma situação diferenciada da maioria das propriedades dos produtores, ao qual se tem uma fertilidade para o fósforo (P) já construída.

Um fator que prejudicou a uniformidade de distribuição a lanço dos fertilizantes foi o fato da cultura da aveia preta estar em pleno florescimento, com uma altura de plantas acima dos pratos distribuidores do equipamento, de modo que trajeto de uma parte dos grânulos dos fertilizantes lançados foi obstruída mudando sua trajetória concentrando mais os grânulos em algumas partes e em outras menos.

As adubações de manutenção foram realizadas no plantio das culturas, na linha no mesmo padrão que comumente se usava nos anos anteriores, 200 Kg ha^{-1} da fórmula 02 23 23 na soja, DAP 200 Kg ha^{-1} (18 46 00) e 100 Kg ha^{-1} de uréia cloretada na fórmula (30 00 20) em cobertura no trigo e 150 Kg ha^{-1} , da fórmula (05 20 20) na aveia- preta para cobertura de solo.

A adubação de manutenção das culturas de soja e trigo foram realizadas considerando as expectativas de produtividades de 5,0 e $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos, respectivamente.

Na área testemunha de 57 ha ao lado dentro da mesma propriedade, foi realizada a correção do pH com 143 toneladas (2 ton ha^{-1}) de Calcário Dolomítico a lanço em dose fixa no ano 2012 sobre aveia preta com adubação de 150 Kg ha^{-1} (05 20 20), no trigo com 200 Kg/ha de DAP (18 46 00) na linha em dose fixa no plantio, mais 100 Kg ha^{-1} de uréia cloretada (30 00 20) e soja 200 Kg ha^{-1} de adubo fórmula (02 23 23) normalmente usadas na lavoura.

Devido ao fato de no período 2011/2012 ter ocorrido uma estiagem de aproximadamente cinco meses, fato esse que comprometeu a avaliação das produtividades, sendo que estas avaliações foram realizadas a partir do ano 2012/2013. A semeadura ocorreu no período compreendido dos dias 05 a 23 novembro, exceto para a área testemunha plantada até 05/12/13, devido a dificuldades de plantio na palhada da aveia preta. Para o trigo, o plantio ocorreu

durante do dia 01 a 15 de junho. A aveia preta não foi colhida, usada somente com objetivo de cobertura de solo.

A avaliação de produtividade foi feita pela média dos talhões de 58 ha e 57 ha com base no peso líquido entregue a empresas de recebimentos de grãos da cidade de Santo Ângelo e os custos pelos valores pagos pelos fertilizantes utilizados.

O balanço nutricional de fósforo e potássio foi realizado somando todos os Kg ha^{-1} de P_2O_5 e K_2O de todas as adubações na linha e a lancha desde a adubação na linha para aveia de cobertura no ano de 2011 até a aveia para cobertura no ano de 2014, representado pelo valor total em números positivos no Quadro 4. Considerando que para cada tonelada de soja foram exportados 14 Kg de P_2O_5 e 20 Kg de K_2O e de trigo 8 Kg de P_2O_5 e 6 Kg de K_2O . Foi realizado o somatório dos valores dos kg de P_2O_5 e K_2O exportados através das produções de soja e trigo de 2011 a 2014, representado pelo valor total em números negativos. Sendo o saldo o resultado do valor total das adubações menos o valor das exportações.

Os mapas que seguem nas figuras foram elaborados usando interpolação por Krigagem, o software utilizado foi o SGIS da Topcon, ferramenta utilizada para criar os mapas de taxa variável de nutrientes, também pode fornecer dados de colheita como massa e volume de safra e teor de umidade.

A recomendação da correção da acidez foi feita utilizando a fórmula:

$$\text{NC (t/ha)} = \text{CTC} \frac{\text{V2}-\text{V1}}{100} \times 1,42 \times 0,5$$

No qual a NC é necessidade de calcário toneladas ha^{-1} com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100%, V2 é a percentagem de saturação desejada, V1 é a percentagem de saturação por bases encontrada na análise do solo, que teve como meta a elevação da saturação de bases para 80%, multiplicado por 1,42 para corrigir o (PRNT) de 70 % para 100% e a multiplicação por 0,5 com objetivo de usar apenas metade da dose da fórmula.

Em relação aos custos de implantação do sistema AP foram feitas pela empresa Base AP, todos os serviços de coleta, análise e confecção de mapas de fertilidade ao custo de R\$ 50,00/ha, resultando nos 58 ha um total de R\$ 2.900,00. Os gastos com aplicação de três toneladas de cloreto de potássio foram de R\$

2.940,00, sendo R\$ 1.014,00/tonelada. A economia de 50,5 toneladas de calcário dolomítico foi equivalente a R\$ 4.040,00.

A despesa com a compra de um equipamento de aplicação a taxa variada teve o custo de R\$ 15.590,00/ 3 anos, parcelado em 10 anos, ao juro de 6,5% ao ano. A análise de custo realizada, ao qual foram feitos cálculos permitiu chegar-se a conclusão de que o gasto no aluguel de um equipamento terceirizado poderia ser usado para pagar o financiamento de um equipamento novo comprado em parceria com outro produtor. Foram feitos nestes dois anos 302 ha, resultando em um custo de R\$ 52,00 /ha. Para os valores da receita bruta/ha/anual foram obtidos usando como referência valores do preço de uma saca de 60/Kg de soja a R\$ 50,00 e o trigo a 25,00.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se na safra de soja de 2012/13, que embora a área onde aplicou-se técnicas de AP ficou com uma população de plantas de 178 000 plantas/ha devido a problemas de germinação e vigor, tenha representado uma diferença de 33% menos plantas/ha que a área testemunha que ficou com uma população de 266 000 plantas/ha, ainda produziu 4,2% menos que esta. As plantas da área com AP, mostraram-se mais verdes e mais resistentes durante o período de estiagem, o que confirmou-se durante a colheita com uma pequena diferença entre a área de teste e testemunha, demonstrando uma boa capacidade de recuperação.

Analisando os resultados obtidos na análise estatística descritiva dos valores de pH no Quadro 1 que segue, verificou-se que as medidas de posição média, mediana e máxima tiveram uma redução dos valores na reamostragem e que a medida de mínima teve leve aumento, demonstrando a ação do processo de acidificação do solo pelo uso das adubações de manutenção e cobertura durante este período dos três anos. Obteve-se valores de desvio padrão e CV% menores na reamostragem, mostrando que houve pequena redução da heterogeneidade da área em relação ao pH de solo como podemos observar na Figura 6.

Em relação ao teste de assimetria, ambas as amostragem mostraram-se dentro dos padrões de moderada, compreendidos na faixa de $0,15 < AS < 1,00$. Como também para o teste de Shapiro-Wilk aos quais os valores mostraram-se significativos dentro de um padrão de distribuição normal.

A curtose foi classificada como leptocúrtica, ou seja que a distribuição tem caudas pesadas, obtendo-se mais facilmente valores que se afastam da média a vários múltiplos do desvio padrão.

Parâmetros Estatísticos	2011	2014
Número de Observações	28	28
Mínimo	5,30	5,33
Média	5,72	5,64
Mediana	5,70	5,64
Máximo	6,30	6,25
Desvio Padrão	0,24	0,22
Coeficiente de variação (CV %)	4,22	3,90
Assimetria	0,74	0,97
Curtose	0,20	1,07
Teste Shapiro-Wilk	0,05	0,03

Quadro 1 – Análise estatística descritiva dos teores de pH em água no solo coletados nos anos de 2011 e 2014, na profundidade de 0 a 15 cm. Santo Ângelo – RS, 2014.

Fonte: Arquivo do autor.

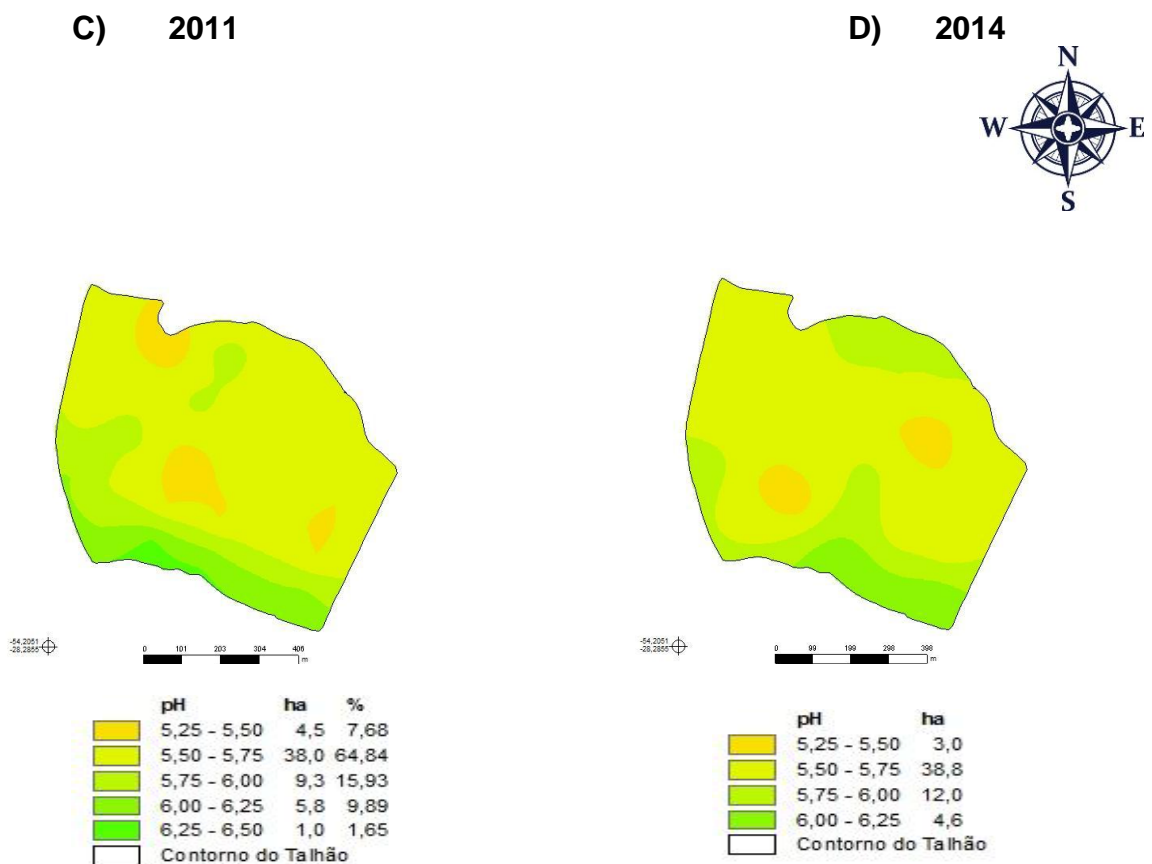


Figura 6 – Espacialização dos valores de pH em água, na profundidade de 0 – 15 cm (C) no momento da amostragem (2011) e (D) no momento da reamostragem (2014).

Fonte: BaseAP, 2011/ 2014.

Analisando os resultados obtidos na análise estatística descritiva dos valores da saturação por bases como apresentado no Quadro 2, verificou-se que os valores das medidas de posição mínima, média e mediana foram levemente inferiores na reamostragem e levemente maiores para a medida de máxima. Para as medidas de desvio padrão e CV% na reamostragem foram um pouco maiores, como podemos observar na Figura 7, que define na reamostragem, uma redução de 8,5 ha na faixa de saturação de bases de 70 a 80% e de 1,7 ha na faixa acima de 80%, consequentemente um aumento da faixa de 60 a 70% de 16,18 ha.

Para a assimetria os valores encontraram-se na faixa de moderada entre $0,15 < AS < 1,00$. Quanto ao teste W os valores das medidas mostraram-se não significativos, valores $> 0,05$, na qual a hipótese de distribuição normal é rejeitada, mostrando um comportamento aleatório.

Parâmetros Estatísticos	2011	2014
Número de Observações	28	28
Mínimo	60,2	57,5
Média	69,31	67,43
Mediana	68,5	66,8
Máximo	81,2	84,4
Desvio Padrão	6,19	6,42
Coefficiente de variação (CV %)	8,93	9,52
Assimetria	0,53	0,89
Curtose	-0,88	0,56
Teste Shapiro-Wilk	0,052	0,113

Quadro 2 – Análise estatística dos valores da Saturação por bases no solo coletadas nos anos de 2011 e 2014, na profundidade de 0 a 15 cm. Santo Ângelo – RS, 2014.

Fonte: Arquivo do autor.

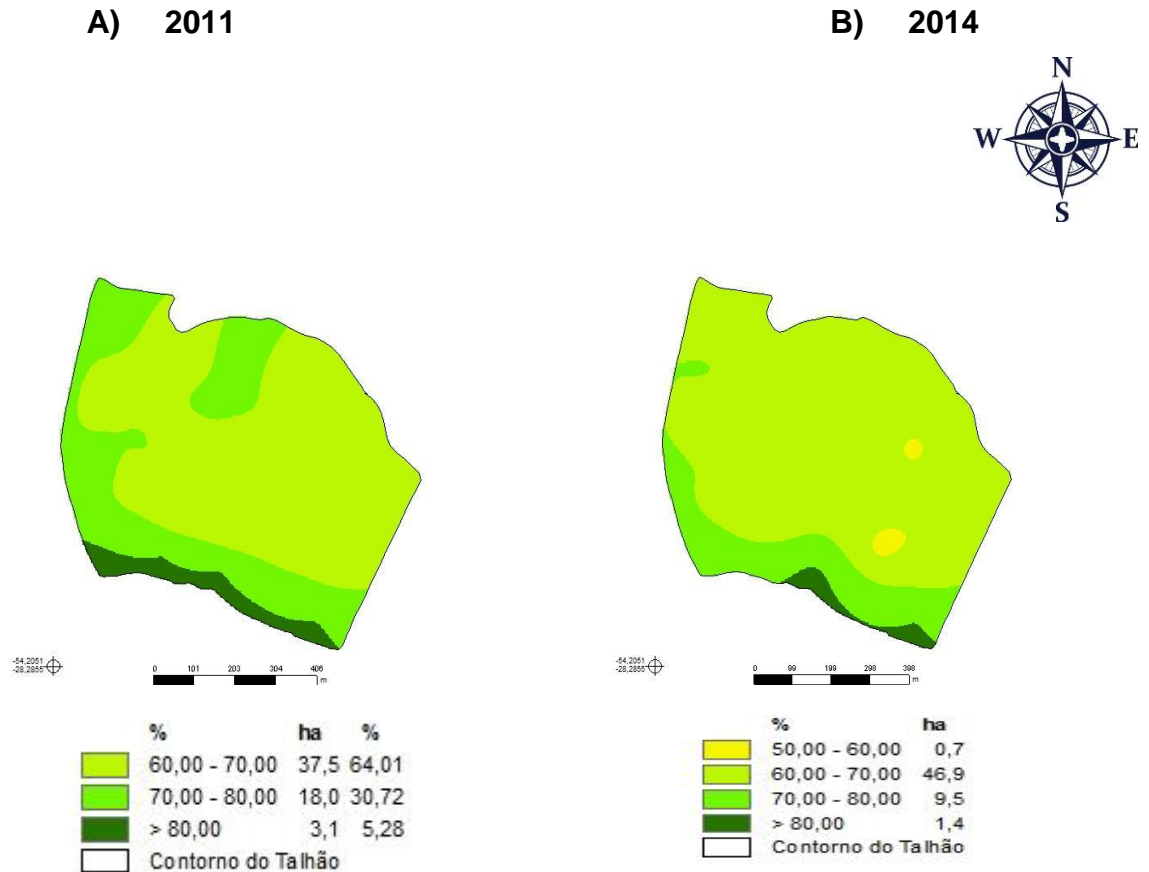


Figura 7 – Espacialização dos valores da saturação por bases, na profundidade de 0 – 15 cm (A) no momento da amostragem (2011) e (B) no momento da reamostragem (2014).

Fonte: BaseAP, 2011/2014.

A recomendação da adubação de correção de potássio (K) teve como meta a elevação dos teores para 4% da CTC. Para isso realizaram-se aplicações com cloreto de potássio a taxa variada em quantidades que variaram de 50 a 300 Kg/ha, num total de 2900 Kg na área das 58ha.

Analisando os resultados obtidos na análise estatística descritiva do teores de K (Quadro 3) verificou-se que as medidas de posição mínima, média, mediana e máxima tiveram uma redução dos teores na reamostragem, sendo maiores para o Desvio Padrão. Com relação ao Coeficiente de Variação (CV%) tanto na amostragem como na reamostragem, os valores ficaram na faixa média ($12 < CV < 62\%$) e verificou-se um aumento do CV% na reamostragem de 2014 como podemos visualizar na Figura 8.

Parâmetros Estatísticos	2011	2014
Número de Observações	28	28
Mínimo	128,80	66,8
Média	165,51	159,06
Mediana	163,70	139,50
Máximo	207	180,9
Desvio Padrão	20,60	34,96
Coeficiente de variação (CV %)	12,45	26,64
Assimetria	0,67	-0,24
Curtose	-0,82	-1,25
Teste Shapiro-Wilk	0,09	0,58

Quadro 3 – Análise estatística descritiva dos teores de potássio no solo coletados nos anos de 2011 e 2014, na profundidade de 0 a 15 cm. Santo Ângelo – RS, 2014.

Fonte: Arquivo do Autor.

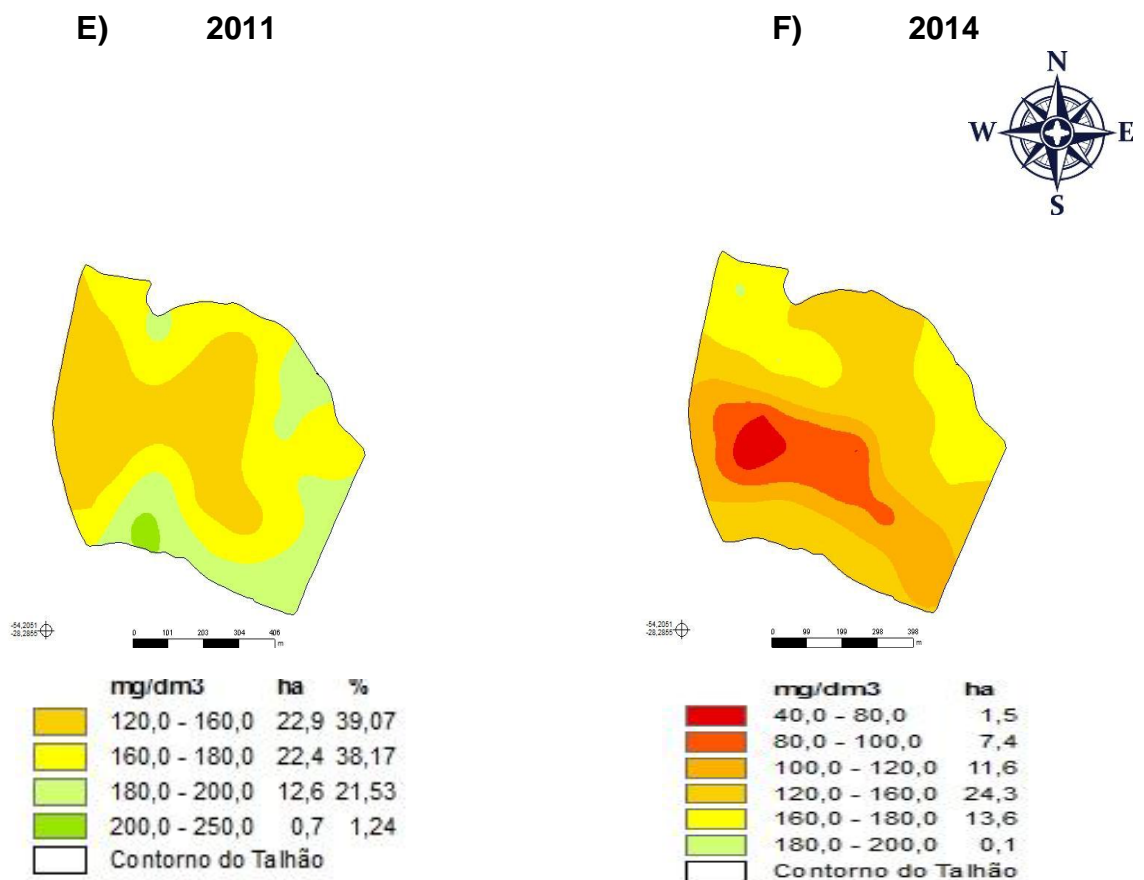


Figura 8 – Espacialização dos valores de potássio, na profundidade de 0 – 15 cm (E) no momento da amostragem (2011) e (F) no momento da reamostragem (2014).

Fonte: BaseAP, 2011/2014.

Esse aumento do CV% do Potássio a lanço em taxa variada também foi encontrada por Santi et al. (2012). em trabalhos analisando solos coletados nos anos de 2008 e 2010.

Constatou-se uma maior heterogeneidade nos teores de K na reamostragem, o que nos leva a concluir, que outros fatores interagem na sua distribuição, mostrando que as aplicações de correção a taxa variada realizada tiveram um efeito residual menor que três anos. Também foi realizado um Balanço Nutricional como visto no Quadro 4, ao qual constatou-se que o saldo do balanço nutricional de K₂O foi de 108 Kg positivo descartando a hipótese de que as exportações deste pudessem ser maiores que as manutenções.

Quanto a assimetria, verificamos que na amostragem os valores encontravam-se na faixa moderada ($0,15 < AS < 1,00$) e que na reamostragem passaram a faixa de fraco ($AS < 1,00$), mostrando maior tendência ao erro.

No teste de Shapiro-Wilk, tanto a amostragem quanto a reamostragem mostraram valores não significativos, apresentando um comportamento aleatório. A não normalidade dos dados é bastante freqüente em estudos que levam em consideração a posição geográfica e a dependência espacial dos dados. Cressie (1991 apud CORA & BERALDO, 2006), afirma que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que pode comprometer resultados.

Um outro fator que pode estar interagindo nos teores de potássio é o escoamento superficial, que pode estar sendo agravado pela compactação de solo que neste caso não foi avaliada.

Ano	Cultura	Adubação na linha Kg ha ⁻¹	Produtividade sc ha ⁻¹	Adição		Exportação	
				P2O5	K2O	P2O5	K2O
2011	Aveia	150 (02 20 20)	Cobertura	30	30	0	0
2011	Correção	2900Kg (00 00 60)		0	30	-	-
2011/12	Soja	200 (02 20 20)	2,5	40	40	2,10	3
2012	Trigo	200 (18 46 00)+ 100 (30 00 20)	49	66	20	29,40	17,64
2012/13	Soja	200 (02 23 23)	40,2	46	46	33,77	48,24
2013	Trigo	200 (18 46 00)+ 100 (30 00 20)	66	66	20	39,60	23,76
2013/14	Soja	150 (02 23 23)	45	34,50	34,50	37,80	54
2014	Aveia	150 (02 23 23)	Cobertura	34,50	34,50	0	0
Total				+317	+225	- 142,5	-146,5
Saldo				+174,50	+108,50		

Quadro 4 – Balanço nutricional de fósforo e potássio das culturas em sucessão entre as adubações de manutenção e cobertura (Kg ha⁻¹ de nutriente adicionado na adubação de manutenção) e as exportações medidas pelos teores destes nutrientes (Kg toneladas de grãos⁻¹) produzidos.

Fonte: Arquivo do Autor.

Analisando a Quadro 4, observamos que o saldo final do balanço nutricional foi o resultado da soma de todas as adubações de manutenção desde o ano de 2011 a 2014, subtraindo a exportação de nutrientes no mesmo período. Os resultados mostraram que os valores ficaram positivos tanto para o P2O5 como para o K2O.

Considerando que as amostras obtiveram como resultado da CTC, pH 7,0 valores entre 10,1 e 15 e adotando o padrão de teor do potássio segundo a Tabela 5, podemos observar que na amostragem (2011), todas as amostras classificavam-se na faixa de interpretação como alto e que após a reamostragem (2014) passaram a se encontrar apenas 61 % como alto e 39% como baixo a médio. Pela dinâmica do elemento Potássio no solo, observou-se que em certas partes da área ocorreu um decréscimo acentuado dos teores de Potássio, ao qual não era esperado.

Neste caso, podemos observar outros fatores interagindo na distribuição do K, ao qual neste momento ainda não está esclarecido. E que analisando estes valores encontrados e pela dinâmica de K no solo podemos levantar a hipótese de uma adubação de manutenção na cultura ou dividir a correção de forma a se usar metade na cultura de inverno e metade na cultura de verão ou o quanto mais próxima a implantação desta, ao invés de se fazer uma adubação de correção de solo em uma única aplicação.

Faixa de interpretação	Teor de potássio	Amostragem(2011) %	Reamostragem(2014) %
Muito baixo	< 40	0	0
Baixo	41 – 80	0	10
Médio	81 – 120	0	29
Alto	121 – 240	100	61
Muito Alto	➤ 240	0	0

Quadro 5 – Faixas de interpretação e distribuição percentual dos teores de potássio, na amostragem e reamostragem (0 - 15 cm) para a classe de solo com CTC pH 7,0 entre 10,1 e 15. Santo Ângelo – RS, 2014

Fonte: Arquivo do Autor.

Analisando os valores demonstrados na Tabela 6 a seguir, podemos observar uma redução de 43% no uso de Calcário, o que representou uma economia de R\$ 70,00/ha, equivalente a R\$ 4.035,00 na área total das 58ha. Também observou-se na mesma, pelos valores da receita bruta um acréscimo na área manejada com AP de R\$ 675,00/ha por ano em relação a área testemunha.

Observou-se na (Quadro 5) que os aumentos de produtividade média durante os dois anos seguintes a grande estiagem de cinco meses no verão de 2011/12, foram para as culturas de soja e trigo respectivamente, de 19 e 28%.

Apesar de que os benefícios com a adoção de técnica de agricultura de precisão em termos de ganhos de produtividade e/ou redução de custos estarem relacionados à variabilidade encontrada nas lavouras e ao nível de acerto que tecnicamente podem ser obtidos nas diferentes fases do processo, o estudo mostra que o retorno econômico ao produtor foi positivo de 22%.

	AP (58 ha)	Testemunha (57 ha)
Média produtividade de soja sc/ha	43	36
Média produtividade de trigo sc/ha	58	45
Equipamento (TV)	3016,00	0
Calcário	5245,00	9120,00
Cloreto de Potássio	2940,00	0
Gasto de combustível aplicações	137,00	0
Equipamento (TV) R\$/há	52,00	0
Serviço (TV) – R\$/há	2900,00	0
Total R\$/ha/ano	82,00	54,00
Receita Bruta total R\$/ha/ano	3600,00	2925,00
Saldo Operacional/ha/ano	3518,00	2871,00
Saldo Operacional %	122,00	100

Quadro 6 – Avaliação econômica de áreas conduzidas em agricultura de precisão (AP) comparativamente a forma convencional (Testemunha), nas áreas em avaliação nos anos de 2012 a 2014. Santo Ângelo – RS. 2014.

6 CONCLUSÕES

Foram aplicadas 65,5 toneladas de Calcário dolomítico, uma redução de 43% em relação a um total de 116 toneladas, equivalente a 2,0 toneladas por hectare normalmente usadas, com acréscimo de produtividade 19 e 28% nas culturas da soja e trigo em relação a área testemunha sem AP.

Constatou-se que o efeito da calagem foi inferior a três anos e que houve uma redução CV% dos valores, com uma pequena redução da heterogeneidade horizontal dos valores de pH do solo desta área em estudo.

Apesar de que o estudo ter sido realizado em uma área com fertilidade já construída para o Fósforo e de que alguns resultados não terem sido os esperados, o sistema de AP mostrou um retorno econômico de 22% em relação a uma área testemunha, sem AP.

O estudo realizado mostrou viabilidade econômica na compra de um equipamento de taxa variada, parcelado em 10 anos ao juro de 6,5% ao ano, ao invés de contratar uma empresa terceirizada.

Os estudos realizados e a posse de informações tão relevantes sobre o crescimento da população e a grande demanda de alimentos que serão necessários em nível global, juntamente com ferramentas tecnológicas que estão surgindo e propondo ganhos em produtividade e rentabilidade, confirmam esta tecnologia como mais um ferramenta de trabalho que vem a trazer maior rentabilidade ao produtor rural e maior produção de alimentos que a população mundial necessita.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim sendo, confirma-se a importância da conservação e melhoria da fertilidade do solo como um importante recurso para aumento da rentabilidade das propriedades rurais.

Devido ao fato da redução dos valores de média, máxima e não aumento dos valores de mínimas do pH do solo na reamostragem em 2014, levanta-se a hipótese de se aumentar a porcentagem da dose da fórmula da Necessidade de Calagem.

Sugere-se mais cuidado na forma de se fazer a correção de potássio, adotando medidas que possam reduzir perdas, tais como aplicação na cultura implantada ou o mais próximo possível da implantação desta, como também parcelamento da dose de correção, aplicando-se a metade na cultura de inverno e metade da cultura de verão.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, L. E. Variabilidade de solo e plantas em podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 20, n. 1, p. 151-157, 1996.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. **Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com rendimentos de milho e feijão irrigados**. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. 33(4), p. 831 Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2014.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. M.; SULZBACH, L. A. D. S. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2007, v. 42(8), p. 1101. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2014.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J. E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo: Berthier, 2007.

BELLÉ, G. L. **Agricultura de Precisão: Manejo da Fertilidade com Aplicação a Taxa Variada de Fertilizantes e sua Relação com a Produtividade das Culturas**. Santa Maria: UFSM, 2009.

BLACKMORE et al. (1994) apud TCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens**. In: Ciência Rural. v. 32, n. 1, Santa Maria, 2002.

CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. **Inovações do campo**. Piracicaba. 2000. Disponível em: <http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao.htm>. Acesso em 22 de julho de 2013.

CAON, D.; GENÚ, A. M. **Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi, 2013, v. 17(6), p. 629 Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>> Acesso 2 de fevereiro de 2014.

CARVALHO, I. F. **Agricultura de precisão**: Boletim Técnico. Brasília: Mapa/ACS. 2011.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após a calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

COSTA, C. C. G.; MARTINS, J. M. **Impacto da Agricultura de Precisão na Economia Brasileira**. (2011) Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/laboratorio-nacional-de-agricultura-de-precisao/livro-agricultura-de-precisao-um-novo-olhar/5.3>>. Acesso em 3 de Agosto de 2013.

CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. **Agricultura de Precisão**: um novo olhar. In: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-da-rede-ap/capitulos>>. Acesso em 19 jan. 2015.

CRUVINEL, P. E.; NETO, A. T. **Agricultura de precisão: Fundamentos, Aplicações e Perspectivas para a Cultura do Arroz**. Disponível em: <www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes/download.php?file=CT30_99.pdf> Acesso em 12 de Abril de 2014.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. **Variabilidade espacial da produtividade de feijoeiro correlacionado com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n4/25.pdf>> Acesso em 2 de fevereiro de 2014.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. **Atributos físicos de solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja**. In: Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1180-1186, Jul. 2012.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da Adubação a Taxa Variável em Áreas com Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2008.

FILHO, O. B. **Tecnologia de alta produtividade deve ser massificada, defende Cesb**. In: Revista Globo Rural. 24 de Julho de 2014 <<http://revistagloborural.globo.com>> Acesso 15 de fevereiro de 2015.

FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; AMADO, T. J. C.; WYZYKOWSKI, T.; LORENZONI, J.; SILVA Jr, V. L. R.; HAUSCHILD, F. E. G. **Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul.** BOLETIM TÉCNICO CCGL TEC. Cruz Alta: CCGL TEC, 2011.

FIORIN, J. E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto.** Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigo. Cruz alta, RS. 2007.

FIORIN, J. E.; SCHNELL, A.; RUEDELL, J. Diagnóstico das Propriedades rurais na região de abrangência das cooperativas COOPATRIGO, COOPERROQU, COTAP, COTRISA, COTRISAL (SB) E TRITÍCOLA. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO. In: HAUSCHLID, F. E. G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo.** UFSM. 2013.

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

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo de solo para redução de perdas da produtividade pela seca.** EMPRAPA SOJA. Londrina, PR. 2009.

GABRIEL, B. AGENCIA BRASIL. **População brasileira cresce 0,9% entre 2012 e 2013.** Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-08-29/populacao-brasileira-cresce-09-entre-2012-e-2013>> > Acesso em 2 de fevereiro de 2014.

GENRO JUNIOR, S. A. et at. **Atributos físicos de um latossolo vermelho e produtividade cultura cultivados em sucessão e rotação.** In: Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 65-73, jan./fev. 2009.

GIRARDELLO, V. C. **Qualidade Física de um Latossolo sob Plantio Direto Submetido à Escarificação de Sítio Específico e o Rendimento da Soja.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) PPGCS, Santa Maria: UFSM, 2010.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M. Alterações nos Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho sob Plantio Direto induzidas por diferentes tipos de Escarificadores e Rendimento da Soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35/2011.

HAUSCHLID, F. E. G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo**. Dissertação (Agricultura de Precisão) PPGAP UFSM. 2013.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, R. D.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. F.; BASSOI, L. H. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. In: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-da-rede-ap/capitulos>>. Acesso em 18 jan. 2015.

LEMAINSKI, C. L. **Agricultura de Precisão aplicada a áreas irrigadas com pivot central no RS**. Universidade Federal de Santa Maria. 2007.

MAGALHÃES, R. **Agricultura de Precisão mostra efeitos em laranjais**. Disponível em: < <http://www.usp.br/agen/?p=133563>> Acesso em 3 de Agosto de 2013.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GÓES, S. L.; KORNDORFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; LIMA, E. A. **Benefícios Econômicos e Agronômicos da Adoção da Agricultura de Precisão em Usinas de Cana-de-Açúcar**. ESALQ/USP. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. São Pedro, SP Disponível em:< <http://www.ler.esalq.usp.br/download/TEC%202006.07.pdf>> Acesso em 3 de Agosto de 2013.

MOLIN (2002) apud HAUSCHLID, F. E. G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo**. Dissertação (Agricultura de Precisão) PPGAP UFSM. 2013.

MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Disponível em:< <http://www.leb.esalq.usp.br/molin/definicao.pdf>>. Acesso em: 15 de Abril de 2013.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

MOTOMIYA, A. V. D. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A. N. **Diagnose nutricional com sensor óptico ativo em Algodoeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi, 2012, v. 16(11), p. 1159. Disponível em: < <http://www.periodicos.capes.gov.br>> Acesso 2 de fevereiro de 2014.

MUTEIA, H. Palestra no Rural Tecnoshow, **O papel dos países emergentes no combate a fome**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/FAOddma.asp> Organização da Nações Unidas para Alimentação e Agricultura> Acesso em 2 de fevereiro de 2014.

NOWICKI, A.; FIORIN, J. E.; COLLING, A. **Perdas na Cultura da Soja Ocasionalada pela Estiagem na Região Noroeste e Missões do Rio Grande do Sul** In: XVIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XVI Mostra de Iniciação Científica e XI Mostra de Extensão, 2013, Cruz Alta - RS. Anais do XVIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XVI Mostra de Iniciação Científica e XI Mostra de Extensão. , 2013.

OLIVEIRA, R. D.; BERNARDI, A. C. C.; RABELLO, L. M. **Agricultura de Precisão: um novo olhar.** In: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-da-rede-ap/capitulos>>. Acesso em 18 jan. 2015.

OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. **Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros.** Engenharia Agrícola, 2011, v. 31(2), p. 334. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>> Acesso 2 de fevereiro de 2014.

PACHECO, P. **Agricultura de Precisão eleva produtividade de grãos no Triângulo Mineiro.** Disponível em: <<http://www.correiodeuberlandia.com.br/cidade-e-regiao/agricultura-de-precisao-eleva-produtividade-de-graos-no-triangulo-mineiro/>> Acesso em 03 de Agosto de 2013.

PES, L. Z.; AMADO, T. J. C.; DELLAMEA, R. B. C.; LEMAINSKI, M. C.; BELLÉ, G. L.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, L. F.; FÜLBER, R. **Projeto Aquarius/Cotrijal – Pólo de Agricultura de Precisão na Região Alto Jacuí – RS.** In: 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Agricultura de precisão- ESALQ/USP. São Pedro – SP, 2006.

PES, L. Z.; AMADO, T. J. C.; DELLAMEA, R. B. C.; LEMAINSKI, M. C.; BELLÉ, G. L.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, L. F.; FÜLBER, R. **Projeto Aquarius/Cotrijal – Pólo de Agricultura de Precisão na Região Alto Jacuí – RS.** In: HAUSCHLID, F. E. G. Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo. UFSM. 2013.

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

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 129, p. 18 - 25, 2012.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C., HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. In: **Revista Plantio Direto**. Maio/Junho-2012. p. 18-25.

SAUERESSIG, D. **Tecnologia precisa a favor da produção**, In: A Granja. Junho/2013, n. 774, ano 69, p. 25-28.

SCHOFFEL, A.; FIORIN, J. E.; SILVA, A. N.; WYZYKOWSKI, T. **Manejo da Adução para Alta Produtividade na cultura da Soja**. Disponível em: <<http://www.unicruz.edu.br/seminario>> Acesso em 10 de Fevereiro de 2015.

SCHOSSLER, D. S.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; TEIXEIRA T. G.; GEIB L. R. N. **Fertilização Potássica Analisada Economicamente com Ferramentas de Agricultura de Precisão**. Santa Maria: UFSM, 2011.

STRECK et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008.

SULZBACH, L. A. S. **Tecnologia de Agricultura de Precisão: Estudo de Caso: Integração de Modelos Digitais de Atributos Químicos do Solo e Modelos Digitais de Produtividade de Culturas Agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 2003.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782002000100027> Acesso em 12 de Abril de 2014.

VARGAS, I. C. **Agricultura de Precisão – Nova Tecnologia Permite Conhecer Cada Metro Quadrado da Lavoura**. Disponível em: <<http://www.webrural.com.br/webrural/artigos/tecnologia/ap/ap.htm>> Acesso em 10 de fevereiro de 2015.

VIACHESLAV & MOLIN (2006) apud HAUSCHLID, F. E. G. **Técnicas de Agricultura de Precisão para definição de zonas de manejo de solo**. Dissertação (Agricultura de Precisão) PPGAP UFSM. 2013.