

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO A TAXA VARIÁVEL EM
ÁREAS MANEJADAS COM AGRICULTURA DE
PRECISÃO NO RIO GRANDE DO SUL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ricardo Batista Cerezer Dellamea

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Dellamea, Ricardo Batista Cerezer, 1980-

D357e

Eficiência da adubação à taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul / por Ricardo Batista Cerezer Dellamea ; orientador Telmo Jorge Carneiro Amado. – Santa Maria, 2008.

161 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

1. Ciência do solo 2. Mapas de fertilidade 3. Mapas de rendimento 4. Manejo localizado 5. Agricultura de precisão I. Amado, Telmo Jorge Carneiro, orient. II. Título

CDU: 631.4

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

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO A TAXA VARIÁVEL EM ÁREAS
MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO NO
RIO GRANDE DO SUL**

por

Ricardo Batista Cerezer Dellamea

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

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

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO A TAXA VARIÁVEL EM ÁREAS
MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO NO RIO GRANDE
DO SUL**

elaborada por

Ricardo Batista Cerezer Dellamea

como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr.
(Presidente/Orientador)

Flavio Luiz Foletto Eltz, Dr. (UFSM)

Antônio Luis Santi, Dr. (UNOCHAPECO)

Santa Maria, 26 de setembro de 2008

DEDICATÓRIA

A ti, Bianca, grande amor da minha vida.

Bi, te Amo! Sem ti eu não conseguiria dar passos tão importantes em minha caminhada.

Aos meus pais: Dair Dellamea e

Elsa Inês Cerezer Dellamea.

À minha irmã Suzana Dellamea Dal Ross.

Ao meu amigo e compadre Gustavo Luiz Bellé.

A essas pessoas maravilhosas a quem devo tudo, em especial pela compreensão, apoio, convívio e incentivo constante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, por ser luz na minha caminhada e por me conceder saúde, inteligência e oportunidades tão valiosas para meu crescimento pessoal.

Aos meus pais, Dair e Elsa Dellamea, pelos exemplos de bondade, simplicidade, coragem e valor da família. Obrigado pelo amor, compreensão e confiança em mim depositados.

A ti Bianca, sempre presente nos meus momentos de dificuldade, dando-me, além de amor, segurança e incentivo para minhas superações. “Vai boneco, você é ferozz”. Não tenho palavras para manifestar o quanto és importante em minha vida.

À minha irmã, Suzana e a meu cunhado Laércio, pelo apoio e convivência. Suzi, sei que você sempre acreditou no meu potencial, por isso sou grato pelo exemplo de pessoa correta que é.

À minha segunda família, a Família Tolfo. Agradeço aos 100% Tolfo pelos momentos agradáveis vividos nos inúmeros churrascos na chácara da vó Auta.

A Gustavo Luiz Bellé e Eder Trentin, pelo convívio, pela amizade e exemplos de vida. Obrigado mesmo, pelas inúmeras viagens e horas dedicadas à realização desse sonho. Vocês são meus irmãos de coração.

Ao meu grande amigo, Orcial. Negão, valeu pelos anos de parceria e convívio, você foi fundamental para meu crescimento.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, que me concederam esta oportunidade de formação.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado, pelo convívio, orientação e trocas de experiências.

Aos amigos e colegas, Antonio Luis Santi (Fino), Luciano Zucuni Pes (Pes), Ricardo Bergamo Schenato (Ricardinho), Ricardo Fulber (Alemão), Luciano Pizzuti (Oveia), Guilherme Londero, Ruberlei Dondé, José Alan Acosta, Marta Rocha (Martinha), Vitor Girardello (Vitinho), Jardes Bragagnolo (Côco), Janice, Dirceu, Tiago, Finamor, Cláudio (Pitt), Nicoloso (Nico), Mastrangelo, Marcelo Mentges e Niumar Dutra Aurélio. Um agradecimento, em especial, pela colaboração nos trabalhos a campo, pelo companheirismo, pela amizade e pelos momentos de descontração.

Aos colegas do programa de pós-graduação pelas discussões, dicas e trocas de experiências. Em especial ao Sidi e ao Otávio.

Aos amigos e colegas da Stara, pelo convívio, aprendizado e espírito de equipe, em especial ao Cristiano, Fernando, Vagner, Cíntia, Evandro e Gilson.

Ao departamento técnico da Cotrijal, pelo apoio e assistência na coleta dos dados. Agradeço em especial ao Edílson, Leonardo e ao Barbosa.

A todos os produtores pertencentes ao Projeto Aquarius de Agricultura de precisão, pela cedência das áreas analisadas.

Às empresas envolvidas no projeto: Massey Ferguson, Cotrijal, Stara e YARA pelo financiamento da pesquisa e cedência de equipamentos para o monitoramento das áreas.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho.

O autor.

“Quanto mais as pessoas acreditam em uma coisa,
quanto mais se dedicam a ela,
mais podem influenciar no seu acontecimento”.

Dov Éden

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO A TAXA VARIÁVEL EM ÁREAS MANEJADAS COM AP NO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: RICARDO BATISTA CEREZER DELLAMEA
ORIENTADOR: PROF. TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Santa Maria - RS, 26 de setembro de 2008

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão (AP) no Rio Grande do Sul, com diferentes níveis tecnológicos. No capítulo 1 foram analisados 19 ha cultivados com soja nas safras 2005/06 e 2006/07, localizados em uma pequena propriedade no município de Silveira Martins, região central do estado do Rio Grande do Sul. Nessa área foram utilizados os recursos tecnológicos disponíveis na propriedade. Com isso, foram determinadas as variabilidades espaciais dos atributos do solo através de um grid com 100 x 100 m, confeccionados mapas de produtividade de forma manual, aplicados os insumos em diferentes doses por zonas de manejo. O manejo localizado proporcionou uma economia de 17% na quantidade total dos insumos e um aumento de 8% na produtividade da soja, o que representou um retorno financeiro bruto de R\$ 72,05 ha⁻¹ e um aumento na eficiência de 29% em relação ao manejo tradicional. No capítulo 2 foram analisados 138 ha com a cultura da soja e 96 ha com a cultura do milho na safra 2006/07, distribuídos em 6 áreas pertencentes a produtores ligados ao Projeto Aquarius de AP e localizadas em diferentes municípios na região do Alto Jacuí – RS. A colheita georreferenciada foi realizada com o auxílio de uma colhedora marca Massey Ferguson modelo MF34 e as aplicações, a taxas variáveis de insumos, foram realizadas através do distribuidor centrífugo Hércules 10000, marca Stara. Para realizar a análise da eficiência do uso de fertilizantes foram comparadas as entradas e saídas de fertilizantes e grãos nos talhões com AP, com a estimativa média de entradas e saídas dos talhões com AC que serviram de testemunhas dentro das propriedades correspondentes. Os resultados evidenciam uma redução média de 33,1 e 36,8% no uso dos insumos e um aumento de 10 e 14% no rendimento das culturas da soja e milho, respectivamente. A eficiência do uso de fertilizantes foi incrementada em 47,2 e 55,1% com o uso da AP, quando consideradas as quantidades totais de fertilizantes, passando para 31,3 e 62,8%, quando considerados os recursos financeiros, proporcionando um retorno de R\$ 143,34 ha⁻¹ para a cultura da soja e R\$ 312,44 ha⁻¹ para a cultura do milho.

Palavras chave: mapas de fertilidade, mapas de rendimento, manejo localizado.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

EFFICIENCY OF VARIABLE FERTILIZER RATE IN CROPLANDS UNDER PRECISION AGRICULTURE IN RIO GRANDE DO SUL STATE

AUTHOR: RICARDO BATISTA CEREZER DELLAMEA
ADVISER: PROF. TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Santa Maria- RS, September 26th,2008

This research aim to evaluate the efficiency of variable fertilizer rate in croplands under precision agriculture (PA) in Rio Grande do Sul State with different level of technologies adoption. In the first chapter was evaluated the PF performance in a small farm with 19 ha in which was cropped soybean in 2005/06 and 2006/07 located in central of Rio Grande do Sul State. In this cropland were used the equipments and technology available in this farm. It was determined the spatial variability of soil attributes by grid sampling with 100 x 100 m also the yield map was done by manual sampling of crop and variable fertilizer rates by soil management zones. The PA increased in average 8% the soybean yield. The soil attribute that had better correlation with yield was soil organic matter. The economic analysis show a return of R\$ 72,05 ha⁻¹ due inputs save and increase yields. Also, the PA had a 29% increase of fertilizer use efficiency. In the second chapter were evaluated 6 farms totalizing 138 ha of soybean and 96 ha of maize linked to Aquarius Project of PA located in different counties of Alto Jacui, RS. The main activities evaluated were yield map with a Massey Ferguson combine, model MF 34, fertilizer variable rate with centrifuge force distribution Hercules 10.000 from STARA. The average of result shows decrease of 33.1 and 36.8% in fertilizer inputs and increase of 10 and 14% in soybean and maize yields, respectively. The efficiency use of fertilizer was increased in 47.2 and 62.8% allowing a return of R\$ 143.34 ha⁻¹ to soybean and R\$ 312.44 ha⁻¹ to maize.

Key words: : yield maps, soil fertility map, site specific management.

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

TABELA 1: Histórico de cultivos da área utilizada para este estudo – Silveira Martins – RS.....	37
TABELA 2: Diagnóstico da fertilidade no ano de 2005 na área com AP – Silveira Martins /RS.....	43
TABELA 3: Diagnóstico da fertilidade no ano de 2007 na área com AP – Silveira Martins /RS.....	44
TABELA 4: Estatística descritiva com os valores mínimos, máximos, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos principais atributos do solo amostrados na área experimental em Silveira Martins – RS, 2005.....	45
TABELA 5: Estatística Descritiva com os valores mínimos, máximos, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos principais atributos do solo amostrados na área experimental em Silveira Martins – RS, 2007.....	46
TABELA 6: Evolução dos teores de fósforo na área com AP, Silveira Martins – RS.....	48
TABELA 7: Evolução dos teores de potássio na área com AP, Silveira Martins –RS.....	49
TABELA 8: Limites inferior e superior dos percentuais de argila e matéria orgânica e de concentrações de cálcio e magnésio extraídos da análise do solo segundo a classificação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004).....	50
TABELA 9: Recomendação de P ₂ O ₅ com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo no talhão com AP.....	52
TABELA 10: Recomendação de K ₂ O com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo no talhão com AP.....	52
TABELA 11: Produtividade de soja em cada ponto georreferenciado da malha de amostragem nas safras 2005/06 e 2006/07.....	57
TABELA 12: Parâmetros comparativos da estimativa de produtividade de soja entre as safras 2005/06 e 2006/07.....	59

TABELA 13: Peso bruto, líquido e descontos de impurezas e umidade das cargas transportadas do talhão com AP e entregues à Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma – Nova Palma –RS, 2005.....	61
TABELA 14: Peso bruto, líquido e descontos de impurezas e umidade das cargas transportadas do talhão com AP e entregues à Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma – Nova Palma –RS, 2007.....	61
TABELA 15: Correlações entre atributos químicos do solo e a produtividade de soja analisados nas safras 2005/06 e 2006/07.....	62
TABELA 16: Dados de produtividade de grãos de soja utilizados na determinação das zonas de potencial produtivo.	66
TABELA 17: Intervalo de produtividade de grãos de soja utilizado na determinação de cada zona de potencial produtivo.....	66
TABELA 18: Análise simplificada da AP em pequena propriedade na cultura da soja, Silveira Martins/RS.....	70
TABELA 19: Eficiência do uso de fertilizante na agricultura convencional e agricultura da precisão na área em estudo – 19 ha, Silveira Martins/RS.....	72
<u>CAPITULO II</u>	
TABELA 1: Relação dos municípios e produtores participantes do projeto com o respectivo tamanho das áreas.....	90
TABELA 2: Históricos de manejos empregados nas áreas de estudo.....	93
TABELA 3: Estatística descritiva dos parâmetros químicos que balizaram as aplicações a taxa variável nas áreas cultivadas com soja e milho na safra 2006/07.....	107
TABELA 4: Recomendação de P ₂ O ₅ com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo nos talhões com AP.....	120
TABELA 5: Recomendação de K ₂ O com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes de fertilidade do solo nos talhões com AP.....	120
TABELA 6: Quantidade total de fertilizantes utilizados nos talhões com AP e nas áreas com AC correspondentes (Soja/ Milho – safra 2006/07).....	125
TABELA 7: Total de recursos (R\$) disponibilizados para cada fertilizante nas diferentes áreas e culturas manejadas na safra 2006/07.....	127

TABELA 8: Adubação total (SFT 46%, KCL 60%), planejada x adubação aplicada e respectivas diferenças nas áreas com a cultura da soja na safra 2006/07.....	131
TABELA 9: Produtividades mínimas, máximas e médias das culturas e parâmetros estatísticos analisados nas áreas pertencentes a este estudo, safra 2006/07.....	132
TABELA 10: Produtividades médias das culturas nas áreas em estudo, considerando os dois sistemas de manejo na safra 2006/07.....	141
TABELA 11: Produtividades médias (R\$) das culturas nas áreas em estudo, considerando os dois sistemas de manejo na safra 2006/07.....	142
TABELA 12: Exportação de P ₂ O ₅ e K ₂ O nas diferentes áreas e culturas manejadas com AC e AP na safra 2006/07.....	143
TABELA 13: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 64,8 ha cultivados com soja no município de Carazinho- RS, durante a safra 2006/07.	144
TABELA 14: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 38,6 ha cultivados com soja no município de Não-Me-Toque – RS, durante a safra 2006/07.....	145
TABELA 15: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 34,6 ha cultivados com soja no município de Santo Antônio do Planalto - RS, durante a safra 2006/07.	146
TABELA 16: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 21,9 ha cultivados com milho no município de Vista Alegre - RS, durante a safra 2006/07.....	147
TABELA 17: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 45,2 ha cultivados com milho no município de Saldanha Marinho - RS, durante a safra 2006/07.....	147
TABELA 18: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 28,7 ha cultivados com milho no município de Almirante Tamandaré do Sul - RS, durante a safra 2006/07.....	148
TABELA 19: Eficiência do uso dos fertilizantes nas áreas cultivadas com soja, durante a safra 2006/07 – 138 ha.....	149
TABELA 20: Eficiência do uso dos fertilizantes nas áreas cultivadas com milho, durante a safra 2006/07 – 96 ha.....	149
TABELA 21: Eficiência do uso de P ₂ O ₅ e K ₂ O nas áreas com a cultura da soja na safra 2006/07 - 96 ha.....	150

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

FIGURA 1: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com a localização do município de Silveira Martins.....	31
FIGURA 2: Mapa de localização da área utilizada para o estudo de AP para pequenas propriedades.....	32
FIGURA 3: Imagem parcial da área com AP em pequena propriedade, Vila Cattani, Silveira Martins – RS.....	34
FIGURA 4: Mapa de contorno da área do experimento e malha de amostragem com os pontos georreferenciados.....	35
FIGURA 5: Esquema do raio e forma de coleta, em detalhe o GPS de navegação para localização dos pontos e trado calador utilizado para a coleta de solo na malha de amostragem.....	36
FIGURA 6: Método de amostragem utilizado na coleta manual de plantas de soja para estimativa da produtividade da cultura.....	38
FIGURA 7: Janela de abertura do software de gerenciamento de produção rural CR-Campeiro 5®.....	40
FIGURA 8: Teores de fósforo na área com AP nos anos (a) 2005 e (b) 2007 no município de Silveira Martins –RS.....	47
FIGURA 9: Teores de potássio na área com AP nos anos (a) 2005 e (b) 2007 no município de Silveira Martins –RS.....	47
FIGURA 10: Distribuidor centrífugo monodisco –Tornado 600 MD (Stara) realizando as aplicações de fertilizantes por zonas, na área de estudo com AP em pequena propriedade.....	51
Figura 11: Determinação das quantidades de fertilizantes para cada taxa de aplicação e as respectivas porcentagens na área do estudo de caso.....	53
FIGURA 12: Exportação de fósforo e potássio na safra 2005/06 e a adubação da fórmula NPK 0-20-20 de forma convencional.....	55
FIGURA 13: Mapa de produtividade de soja (Kg ha^{-1}) nas safras (a) 2005/06 e (b) 2006/07, determinada com técnicas de AP.....	56

FIGURA 14: Evolução da produtividade de soja na área com técnicas de AP em pequenas propriedades – Silveira Martins/RS.....	58
FIGURA 15: Médias de produtividade (kg ha ⁻¹) do município de Silveira Martins, da propriedade do Sr. Dair Dellamea e do talhão com AP nas diferentes safras.....	60
FIGURA 16: Índices pluviométricos das safras 2005/06, 2006/07 e média histórica de precipitações nos diferentes meses no município de Silveira Martins –RS.....	60
FIGURA 17: Distribuição espacial dos teores de matéria orgânica em (a) 2005, produtividade de soja na safra (b) 2005/06, na área em estudo.....	64
FIGURA 18: : Mapa das zonas de potencial produtivo (kg ha ⁻¹) na cultura da soja na safra (a) 2005/06 e na safra (b) 2006/07, determinados com técnicas de manejo localizado.....	67
FIGURA 19: Área de cada zona de potencial produtivo na cultura da soja nas safras 2005/06 e 2006/07.....	68
FIGURA 20: Análise econômica simplificada entre a AC e AP na área do estudo de caso.....	70
<u>CAPITULO II</u>	
FIGURA 1: Vista aérea das áreas iniciais do Projeto Aquarius.....	88
FIGURA 2: Ciclo da AP. Adaptado de AGCO.....	89
FIGURA 3: (A) Mapa do estado do Rio Grande do Sul, (B) mapa dos principais municípios de abrangência do Projeto Aquarius, após a adesão da Cotrijal.....	90
FIGURA 4: Grade de amostragem de 100x100 metros nas áreas situadas nos municípios (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque, (C) Sto Antonio do Planalto, (D) Vista Alegre, (E) Saldanha Marinho e (F) Almirante Tamandaré do Sul.....	95
FIGURA 5: (A) Trado utilizado para a amostragem de solo georreferenciada nas áreas selecionadas para este estudo, (B) GPS utilizado para a localização das amostras dentro de cada talhão.....	96
FIGURA 6: (A) Janela de abertura do software de gerenciamento de produção rural CR-Campeiro 5, (B) visualização dos mapas no software SGIS (AGCO)....	97

FIGURA 7: (A) Equipamento Hércules Stara equipado com o sistema taxa variável, (B) detalhe do controlador Falcon 3500, (C) mapa de aplicação em taxa variável de potássio no município de Almirante Tamandaré do Sul (RS), (D) cartão de memória onde os mapas de aplicação foram gravados.....	99
FIGURA 8: (A) Bandejas alveoladas utilizadas para o teste do perfil de distribuição transversal, (B) copo coletor para averiguação da uniformidade do perfil de distribuição, (C) metodologia utilizada para a realização do teste da uniformidade do perfil de distribuição transversal.....	101
FIGURA 9: (A) Colheita de milho nas áreas do projeto, (B) detalhe da cabine da MF 34 equipada com o computador de bordo, (C) colhedora realizando a colheita de soja nas áreas do projeto, (D) detalhe do sensor de rendimento Micro Track, (E) monitor Datavision de AP.....	103
FIGURA 10: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 64,8 ha pertencente ao Sr. Mario Elly, Carazinho – RS.....	109
FIGURA 11: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 38,7 ha pertencente ao Sr. Nei Mânica, Não – Me Toque – RS.....	111
FIGURA 12: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 34,6 ha pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, Santo Antônio do Planalto – RS.....	112
FIGURA 13: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 21,9 ha pertencente ao Sr. Juliano Michelini, Vista Alegre – RS.....	113
FIGURA 14: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 45,2 ha pertencente ao Sr. Sergio Limberger, Saldanha Marinho – RS.....	114
FIGURA 15: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 28,7 ha pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, Almirante Tamandaré do Sul– RS.....	116
FIGURA 16: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal de fósforo nos 234 ha selecionados para este estudo.....	117
FIGURA 17: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal do potássio nos 234 ha selecionados para este estudo.....	117
FIGURA 18: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal do fósforo nos 234 ha selecionados para este estudo, segundo Comissão (2004).....	118
FIGURA 19: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal do potássio nos 234 ha selecionados para este estudo, segundo Comissão (2004).....	119

FIGURA 20: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Mario Elly, Carazinho –RS.....	121
FIGURA 21: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Nei Mânica, Não – Me- Toque –RS.....	122
FIGURA 22: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, Santo Antônio do Planalto –RS.....	123
FIGURA 23: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Juliano Michelini, Vista Alegre-RS.....	123
FIGURA 24: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Sergio Limberger, Saldanha Marinho –RS.....	124
FIGURA 25: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, Almirante Tamandaré –RS.....	125
FIGURA 26: Balanço da quantidade total de P ₂ O ₅ e K ₂ O utilizada nos 138 ha cultivadas com soja e nos 96 ha de milho, safra 2006/07.....	129
FIGURA 27: Espacialização da produtividade da cultura da soja na safra 2006/07, nos municípios de (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque e (C) Santo Antônio do Planalto – RS.....	133
FIGURA 28: Espacialização da produtividade da cultura do milho na safra 2006/07, nos municípios de (A) Vista Alegre, (B) Saldanha Marinho e (C) Almirante Tamandaré - RS.....	134
FIGURA 29: Índices pluviométricos ocorridos durante a safra de soja 2006/07, nas áreas correspondentes aos municípios pertencentes ao projeto Aquarius.....	135
FIGURA 30: Índices pluviométricos ocorridos durante a safra de milho 2006/07, nas áreas correspondentes aos municípios pertencentes ao Projeto Aquarius.....	136

FIGURA 31: Espacialização horizontal e verticalização da produtividade da soja em relação à média da lavoura na safra 2006/07, nos municípios de (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque e (C) Santo Antônio do Planalto - RS.....	138
FIGURA 32: Espacialização horizontal e verticalização da produtividade do milho em relação à média da lavoura na safra 2006/07, nos municípios de (A) Vista Alegre, (B) Saldanha Marinho e (C) Almirante Tamandaré - RS.....	139
FIGURA 33: Exportação de potássio na cultura da soja na área de Santo Antônio do Planalto/RS – 34,6 ha na safra 2006/07 e a adubação da fórmula NPK 0-20-20 de forma convencional.....	152

LISTA DE ANEXOS

CAPITULO I

Anexo A: Diagnóstico da fertilidade da área que serviu de testemunha no estudo de AP em pequena propriedade – Silveira Martins /RS.....	79
Anexo B: Produtividade média, produtividade a subamostra coletada nos pontos amostrais para cultura da soja safra 2005/06 e coeficientes de variação correspondentes.....	80
Anexo C: Produtividade média, produtividade a subamostra coletada nos pontos amostrais para cultura da soja safra 2006/07 e coeficientes de variação correspondentes.....	80

CAPITULO II

Anexo A: Diagnóstico da fertilidade das áreas que serviram de testemunhas (AC) nas seis áreas selecionadas para este estudo dentro do Projeto Aquarius.....	161
--	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	22
2 <u>CAPÍTULO I</u>: AP EM PEQUENA PROPRIEDADE NO MUNICÍPIO DE SILVEIRA MARTINS – RIO GRANDE DO SUL/ ESTUDO DE CASO.....	24
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
2.1 INTRODUÇÃO.....	27
2.2 HIPÓTESE.....	29
2.3 OBJETIVO GERAL.....	30
2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
2.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.5.1 Área do projeto.....	31
2.5.2 Justificativa da escolha do local.....	32
2.5.3 Características da área.....	33
2.5.4 Mapeamento da área e georreferenciamento da amostras.....	34
2.5.5 Determinação de atributos químicos do solo.....	35
2.5.6 Semeadura.....	36
2.5.7 Histórico de cultivos da área.....	37
2.5.8 Confecção dos mapas de produtividade.....	37
2.5.9 Tratamento dos dados e geração dos mapas.....	39
2.5.10 Aplicação de insumos em taxas variáveis.....	40
2.5.11 Determinação de zonas de potencial produtivo na cultura da soja	41
2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
2.6.1 Caracterização da variabilidade espacial e temporal da fertilidade na área em estudo.....	42
2.6.2 Aplicação a taxa variável de fertilizante por zonas de manejo.....	51
2.6.3 Produtividade da cultura da soja	55
2.6.4 Correlação entre atributos químicos do solo e a produtividade da soja.....	62
2.6.5 Zonas de potencial produtivo na cultura da soja.....	65
2.6.6 Análise econômica simplificada.....	69
2.6.7 Eficiência do uso dos fertilizantes a taxa variável.....	71

2.7 CONCLUSÕES.....	72
2.8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
2.10 ANEXOS.....	79
3 <u>CAPÍTULO II</u>: EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES APLICADOS A TAXA VARIÁVEL EM LAVOURAS COMERCIAIS DO PROJETO AQUARIUS	81
RESUMO.....	82
ABSTRACT.....	83
3.1 INTRODUÇÃO.....	84
3.2 HIPÓTESE.....	86
3.3 OBJETIVOS.....	86
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3.4.1 O Projeto Aquarius.....	87
3.4.2 Áreas experimentais utilizadas para a análise de eficiência do uso de fertilizantes.....	91
3.4.2.1 Áreas com a cultura da soja na safra 2006/07.....	91
3.4.2.2 Áreas com a cultura do milho na safra 2006/07.....	92
3.4.3 Coleta das amostras de solo e determinações dos atributos.....	94
3.4.4 Tratamento dos dados e geração dos mapas.....	97
3.4.5 Forma de aplicação de insumos.....	98
3.4.5.1 Aplicação de insumos a taxa fixa.....	98
3.4.5.2 Aplicação de insumos em taxas variáveis.....	99
3.4.6 Obtenção dos dados de produtividade.....	102
3.4.7 Dados pluviométricos.....	104
3.4.8 Análise da eficiência do uso de fertilizantes.....	105
3.4.9 Determinação de zonas de potencial produtivo na cultura da soja e milho	106
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
3.5.1 Caracterização da variabilidade dos atributos do solo utilizados para as aplicações a taxa variável.....	106
3.5.2 Aplicação a taxa variável nas áreas selecionadas para este estudo.....	120
3.5.3 Produtividade das culturas.....	131

3.5.4 Análise da eficiência do uso de fertilizantes para a cultura da soja e milho na safra 2006/07.....	144
3.6 CONCLUSÕES.....	153
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
3.8 ANEXOS.....	161

1 INTRODUÇÃO GERAL

O conceito da agricultura de precisão (AP) não é novo; ele já era praticado no início da agricultura em que predominava uma agricultura familiar, explorada em pequenas áreas. Era possível aos agricultores observar a variabilidade espacial das propriedades dos solos e seus efeitos no desenvolvimento e na produção das culturas. Posteriormente, com a mecanização da agricultura, passou-se a manejar economicamente as culturas em grandes áreas com a aplicação uniforme de insumos.

Na agricultura hoje praticada, a busca pelo aumento da capacidade de trabalho do homem e da produtividade da lavoura levou à mecanização em larga escala. A solução hoje adotada é a de focar grandes áreas produtivas e considerá-las como homogêneas. Esse raciocínio leva ao conceito da necessidade média para a aplicação de insumos (água, fertilizantes, defensivos, etc.) e faz com que, por exemplo, a mesma formulação e/ou dosagem do fertilizante seja utilizada para toda área. Assim, são atendidas apenas as necessidades médias, não considerando, dessa forma, as necessidades específicas de cada parte do campo. O resultado observado é uma lavoura com produtividade não uniforme e custo de produção oneroso, além da possibilidade de danos ambientais significativos, como, por exemplo, a contaminação dos recursos hídricos existentes.

Nesse contexto há a necessidade de novas tecnologias que proporcionem maiores informações sobre os diferentes fatores que determinam o potencial produtivo das culturas, a fim de reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade, elevando, com isso, a eficiência na atividade agrícola.

No final dos anos 90 presenciava-se, ainda que de uma forma um pouco tímida, a inserção de tecnologias embarcadas em máquinas e implementos agrícolas que, naquele momento, revelavam-se uma revolução para a agricultura. A nova tecnologia é composta de conjuntos de sensores, computadores, eletrônica embarcada e receptores de sinal GPS (Sistema de Posicionamento Global), tudo denominado de ferramentas da AP. Através delas, era possível o gerenciamento e ampliação do conhecimento dos campos de produção, com avaliação e tratamento

da variabilidade espacial até então presente na fertilidade do solo e na produtividade, mas sem alternativa prática para sua mensuração em condições de lavoura.

Cria-se, então, certo grau de expectativa em torno dos benefícios possíveis de serem obtidos com tais ferramentas. No entanto, por questões como: limitado conhecimento técnico sobre o tema, insuficiência de dados de pesquisa e altos custos iniciais de implantação do sistema, tem-se uma lenta adoção e disseminação das ferramentas.

Com os avanços nas pesquisas sobre o tema, a redução dos custos de aquisição dos equipamentos e a maior divulgação dos potenciais dessas novas ferramentas, atualmente a AP tem um elevado grau de aceitação perante os produtores brasileiros. Porém, necessita-se de maiores informações técnicas para o melhor uso dessa tecnologia.

As propriedades agrícolas brasileiras com capacidade para absorver a mais avançada tecnologia de AP, atualmente, ainda são as de grande porte, devido ao elevado dispêndio de recursos necessários para tal. Porém a filosofia da AP pode ser adotada em qualquer tamanho de área, pois sabe-se que a variabilidade em lavouras de pequeno porte também existe, podendo manifestar-se de maneira mais acentuada devido ao tipo de manejo adotado.

Com o intuito de demonstrar o potencial da AP em elevar a eficiência dos processos em áreas de pequeno porte, apresenta-se, no capítulo 1, um estudo de caso em uma área de 19 ha, localizada numa pequena propriedade no município de Silveira Martins –RS. Foram utilizadas as ferramentas disponíveis na propriedade, como a aplicação de insumos por zona de manejo e mapas de colheita confeccionados de forma manual.

Já no capítulo 2, foram analisadas seis áreas manejadas com alta tecnologia dentro do Projeto Aquarius de AP na região do Alto Jacuí – RS. Foram confeccionados mapas de colheita mecanizada e aplicados insumos a taxa variável para as culturas da soja e do milho, com o objetivo de avaliar a eficiência do uso dos fertilizantes com a AP.

Os resultados deste trabalho pretendem servir como base de conhecimento para a difusão e adoção dessa nova tecnologia, além de fornecer subsídios para trabalhos futuros.

2 CAPÍTULO I

AGRICULTURA DE PRECISÃO EM PEQUENA PROPRIEDADE NO MUNICÍPIO DE SILVEIRA MARTINS/RS – ESTUDO DE CASO

RESUMO

A determinação da variabilidade de rendimento de grãos e dos atributos do solo torna-se uma ferramenta importante para tomar decisões no que diz respeito ao manejo e para possibilitar o conhecimento dos fatores que limitam o rendimento da cultura. Com as ferramentas da AP, como os mapas de produtividade e a amostragem do solo utilizando o GPS manual de navegação, é possível identificar a variabilidade espacial em condições de lavoura comercial. Com isso, podem-se monitorar as entradas e saídas da produção agropecuária, obtendo mais eficiência e competitividade, não importando o tamanho da propriedade. Por outro lado, é necessário considerar que a adoção dessa tecnologia envolve um custo que nem todos os agricultores têm estrutura para suportar. O presente trabalho dedicou-se à aplicação de técnicas de AP em uma pequena propriedade no município de Silveira Martins-RS, onde a preocupação foi gerenciar uma área de 19 hectares com ferramentas e tecnologia de informação mais adequadas ao perfil agrossocioeconômico do produtor. Para atender ao proposto, os objetivos deste trabalho foram: a) identificar a variabilidade espacial horizontal dos atributos de solo através de mapas de fertilidade; b) aplicar fertilizantes em diferentes doses por zonas de manejo; c) confeccionar mapa de produtividade de soja de forma manual; d) correlacionar os atributos do solo com produtividade da soja; e) realizar uma análise econômica simplificada para validar a tecnologia. Entre os principais resultados, encontrou-se variabilidade horizontal dos teores de fósforo e potássio no solo. Com isso, foi possível aplicar diferentes doses de fertilizantes em zonas de manejo, utilizando um distribuidor centrífugo de taxa fixa. Essa prática proporcionou melhorias na fertilidade da área. A cultura da soja apresentou variabilidade nas duas safras acompanhadas. Na safra 2005/06, a média foi de 3210 kg ha⁻¹ e na safra 2006/07 houve um incremento de 8%, passando para 3450 kg ha⁻¹. O atributo que mais se correlacionou com a produtividade foi a matéria orgânica. A análise econômica apontou um retorno econômico de R\$ 72,05 ha⁻¹ (incluindo a economia de insumos e o aumento no rendimento). Ainda, observou-se um aumento de eficiência no uso dos fertilizantes em 29 % a partir da utilização das técnicas da AP. De uma forma geral, as ferramentas de AP podem ajudar o produtor a conhecer melhor e mais detalhadamente cada parcela da área destinada à atividade agrícola, permitindo aumentar a eficiência produtiva, através do manejo e do uso racional dos insumos, diminuir custos, e por vezes, aumentar a produtividade.

Palavras-chave: pequena propriedade, AP.

PRECISION FARMING APPLIED TO SMALL FARM IN SILVEIRA MARTIN/RS - STUDY OF CASE

ABSTRACT

The yield variability and soil attributes variability turns an important tool to take decisions and understand the main factors that limits the grain yield. With the tools of the Precision Farming like yield maps and soil sampling using the portable GPS is possible identify the spatial variability in farming conditions. With this, it is possible register the inputs and outputs of farming production, so there is the possibility of increasing the efficiency and competitiveness in any farm size. On the other hand, it is necessary consider that this technology has costs and maybe it is not accessible to all farmers. The present work aim evaluate the application of Precision Farming techniques in a small farm located in Silveira Martins RS, where to manage an area with 19 ha with instruments and information technology were adapted to the farmer social profile. To understand this purpose, the objectives of this work was: a) identify the spatial variability of soil attributes trough the fertility maps; b) apply variable fertilizer rate based on management zone; c) generate a manual soybean yield map; d) correlate the soil attributes with soybean yield; e) make a simplified economic analysis. Among main results, it was found out the horizontal variability of *Phosphorus* and *Potassium* content in soil, with this, it was possible apply variable fertilizer rate using a centrifuge distributor. This practice improves the soil fertility in the area. The yield soybean has present spatial variability in both harvests investigated. In the harvest of 2005/06 the average was about 3210 kg ha¹ and in 2006/07 it had an increase about 8% resulting in 3450kg ha¹. The attribute that was more correlated with soybean yield was the soil organic matter. The financial analysis indicated an economic return from R\$ 72, 05 ha (including the save with inputs and the increase in the yield). It was registered yet an increase in fertilizers use efficiency of 29% by using Precision Farming techniques. In a general form, the Precision Farming can help the farmer to know better and in detail each portion of your area that is in use to agriculture activity, making possible the increase of yield trough the the rational use of inputs, saving costs, and increasing the productivity.

Key words: small farming, precision farming.

2.1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da globalização da economia tem obrigado os diversos setores produtivos nacionais a buscar tecnologia de ponta para poderem enfrentar os grandes concorrentes no mercado internacional. A agricultura brasileira não foge à regra, e somente poderá enfrentar concorrentes como Estados Unidos, Inglaterra, França, Canadá, Austrália e outros, se dispuser de tecnologias avançadas que possibilitem aos seus produtos serem competitivos em preço e qualidade.

Segundo Maohua (2001), cabe ressaltar a importância socioeconômica do investimento em novas tecnologias, entre elas a AP, para o desenvolvimento tecnológico dos países em desenvolvimento, o incremento da produção agrícola e o fomento ao desenvolvimento de novas tecnologias. A “era da informação” e a facilidade de aquisição de informação tecnológica, trouxeram uma transformação nesse quadro.

Segundo Schueller (1992), a AP pode ser entendida como um método de administração cuidadoso e detalhado do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada pedaço da lavoura. Ela veio para modificar os conceitos e contribuir para uma agricultura racional, menos agressiva ao ambiente. O seu emprego deve estar relacionado com a melhoria do meio ambiente e com a preservação dos recursos naturais.

Dessa forma, Strauch (2002) define a AP como um conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade da produção agrícola.

Segundo Fraisse e Faoro (1998), a AP é uma tecnologia de informação que possibilita o gerenciamento da atividade agrícola, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal das condições do solo e da cultura, permitindo, dessa forma, a otimização da utilização do uso dos insumos agrícolas.

A adoção das técnicas associadas à AP encontra uma grande limitação devido ao elevado custo de aquisição dos equipamentos e à implantação do sistema, nem sempre garantindo o retorno esperado. Dentre as consequências do custo elevado está a restrição do uso dessa tecnologia em pequenas propriedades, caracterizadas pela Agricultura Familiar (KNOB, 2006).

A agricultura familiar é constituída de pequenos e médios produtores e representa a imensa maioria de produtores rurais no Brasil. São cerca de quatro milhões de estabelecimentos que detêm 30% das terras e respondem por 40% da produção brasileira. Em se tratando de alguns produtos básicos da dieta do brasileiro, como feijão, arroz, milho, hortaliças, mandioca e pequenos animais, a agricultura familiar chega a ser responsável por 60% da produção. Em geral, são agricultores com baixo nível de escolaridade que diversificam os produtos cultivados para diluir custos, aumentar a renda e aproveitar as oportunidades da disponibilidade de mão-de-obra.

Segundo relatório da Federação dos Trabalhadores na Agricultura (FETAG, 2002), a agricultura familiar ocupa lugar de destaque no estado do Rio Grande do Sul (RS), onde a maioria das propriedades possui pequenas extensões de terra. Essa realidade está diretamente ligada à forma como a maioria das terras do RS foi colonizada. As pequenas propriedades surgiram ainda no século passado, com a colonização de italianos e alemães que aqui chegaram com expectativas de melhores condições de vida.

Segundo Lamarche (1993), a colonização das terras feita pelos imigrantes europeus, em forma de núcleos regionalizados, deu origem a pequenas propriedades, com enfoque na diversificação de culturas voltadas à subsistência. Com o passar das gerações, por questões de herança, sofreram subdivisões, intensificando a exploração agrícola. Com a subdivisão das propriedades, a subsistência da família tornou-se impossível porque sua estrutura organizacional não estava preparada para absorver toda a mão-de-obra existente, além da falta de área agricultável para a exploração agrícola, dando início às primeiras dificuldades e crises.

Hoje, a agricultura familiar brasileira passa por um período difícil, pois ocorre uma mudança na matriz tecnológica da produção agrícola que obriga os pequenos produtores a uma readequação nos métodos de produção, a fim de se tornarem mais eficientes.

A discussão sobre a importância e o papel da agricultura familiar no desenvolvimento brasileiro vem ganhando força nos últimos anos, impulsionada pelo debate sobre desenvolvimento sustentável, geração de emprego e renda, segurança alimentar e desenvolvimento local.

Portanto, não é correto restringir os meios tecnológicos apenas a um determinado grupo de exploradores de grandes extensões de terra, pois estaria sendo excluída socialmente uma parcela vital da economia, responsável pela produção de alimentos.

É necessário criar instrumentos que respondam a uma das principais questões comum a todos aqueles que ambicionam a adoção e aplicação de técnicas de AP: a viabilidade técnico-econômica para todos os modos de produção.

O diagnóstico deste estudo pretende apontar subsídios que permitam selecionar as ferramentas de AP e a tecnologia de informação mais adequada ao perfil agrossocioeconômico do produtor, sem perder de vista os princípios básicos preconizados pela AP. Deve-se, por isso, trabalhar com ferramentas e técnicas simples, que, muitas vezes, podem ser executadas de forma manual, enfocando a mão-de-obra disponível na propriedade agrícola. Inclui-se, nesse aspecto, a geração manual de mapas de produtividade e de mapas de atributos do solo com ferramentas de baixo custo, com a finalidade de efetuar aplicação a taxas variáveis em determinadas zonas de manejo.

Diante do conceito de AP, da evolução tecnológica pela qual a agricultura brasileira tem passado e da necessidade de adaptação a tal evolução, surge a necessidade de avaliar os resultados e também de estimar custos em AP. O que se percebe é que esse novo conceito é algo relativamente complexo e que ainda requer muita pesquisa. Embora o sistema possa ser usado para todas as culturas, é preciso considerar muitos aspectos, sobretudo no que diz respeito ao alto investimento inicial, à necessidade de mão-de-obra especializada e à viabilidade em pequenas áreas e culturas.

2.2 HIPÓTESE

A eficiência técnica e econômica é aumentada na produção de soja em pequena propriedade utilizando o manejo localizado e identificando fatores limitantes à produção através da determinação de correlações entre atributos de solo, de manejo e da cultura.

2.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi aplicar técnicas de AP em uma pequena propriedade, utilizando ferramentas menos sofisticadas, porém mais acessíveis e de baixo custo. Visou, portanto, desmistificar esta nova tecnologia entre os pequenos produtores e demonstrar a viabilidade técnica da AP para áreas menores de produção de cereais.

2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a)** Gerenciar uma área piloto dentro de uma pequena propriedade, em sistema de agricultura familiar, com princípios e ferramentas de AP;

- b)** Caracterizar a variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo e correlacioná-los com a variabilidade da produtividade das culturas, visando à aplicação de fertilizantes em zonas de manejo;

- c)** Confeccionar mapas de produtividade a partir de amostragem manual e avaliar os resultados através da análise da correlação com dados de fertilidade;

- d)** Realizar uma análise econômica simplificada para balizar a adoção dessa tecnologia em pequenas propriedades rurais.

2.5 MATERIAL E MÉTODOS

2.5.1 Área do projeto

A área em que se desenvolveu este estudo localiza-se na Vila Cattani, município de Silveira Martins (figura 1 e 2), região centro do RS, distante 324 km de Porto Alegre e 26 km da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Consiste num módulo independente, com área de 19 hectares, estrategicamente escolhido dentro de uma área maior de 54 ha pertencente ao produtor Dair Dellamea. A área está situada entre as coordenadas UTM médias 251948,23 (E) e 6720855,55 (N), numa altitude média de 480 metros usando datum WGS 84.

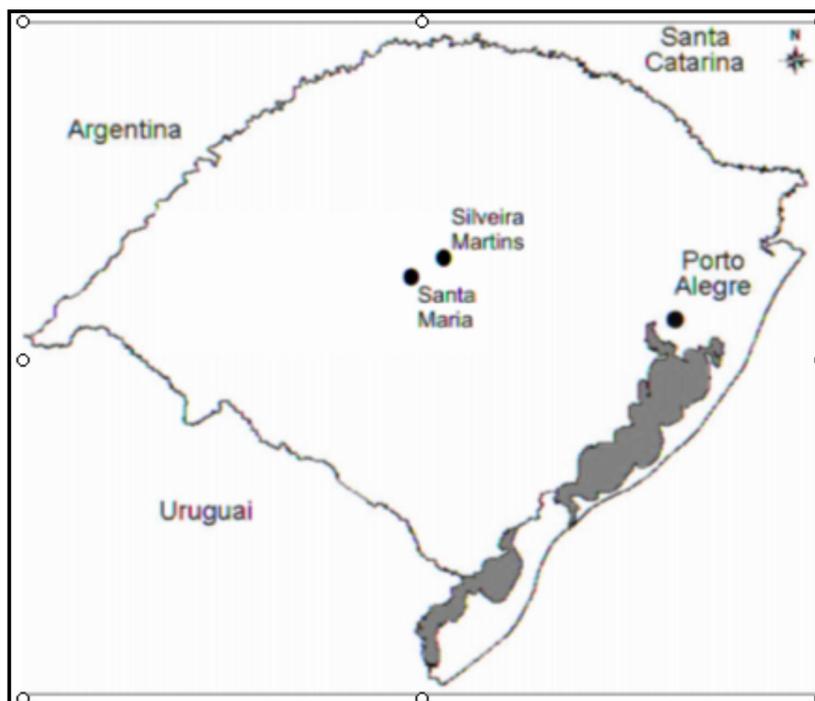


Figura 1: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com a localização do município de Silveira Martins.

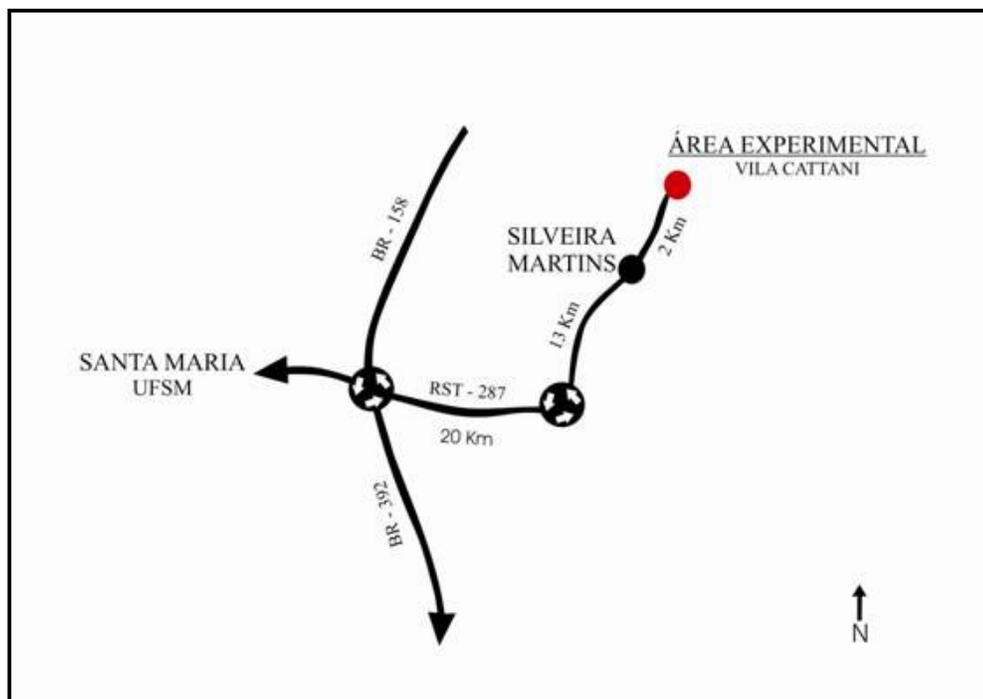


Figura 2: Mapa de localização da área utilizada para o estudo de AP para pequenas propriedades.

2.5.2 Justificativa da escolha do local

O fato de atender aos objetivos propostos e de se enquadrar como pequena propriedade, com sistema de produção familiar, que não suporta grandes investimentos em mecanização, justifica um estudo aprofundado das condições que limitam a adoção de tecnologias adequadas que possibilitariam o máximo retorno econômico.

A infra-estrutura de maquinário agrícola disponível na propriedade foi a seguinte: Tratores - Valmet 65 ano 1988; Trator MF 275 ano 1990; semeadora “Plantio Direto – Vence Tudo” com engate nos três pontos do sistema de levante hidráulico com largura de 5 linhas de 45 cm para soja, 3 linhas de 90 cm para milho; pulverizador de barra Jacto 600 L com 12 metros de barra com marcador de espuma; distribuidor centrífugo monodisco, Tornado 600 MD, marca Stara e carreta agrícola de dois eixos com capacidade para 8.000kg. Toda a estrutura existente na propriedade foi disponibilizada para ser utilizada no projeto, sem ônus adicional.

2.5.3 Características da área

- Área de coxilha de relevo ondulado, com declividade média a moderada, (figura 3).
- Tipo de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico (EMBRAPA, 2005) com teores médios de argila de 32 %, enquadrando-se, assim, na classe 3 de interpretação preconizada por (COMISSÃO, 2004).
- Clima: “**Cfa**” subtropical úmido, segundo classificação de Köppen. A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro (24,6°C) e a do mês mais frio em junho (12,9°C). Quanto à média normal das máximas, esta é de 30,4°C (janeiro) e de 19,2°C em junho. A média das temperaturas mínimas do mês mais quente é de 18,7 °C em dezembro e de 9,3 °C a do mês mais frio, em junho. As chuvas apresentam boa distribuição em praticamente todos os meses do ano, sem estação seca definida, com índices pluviométricos anuais de 1.500 mm a 1750 mm (BRASIL, 1983).

Segundo Streck et al (2002), os argissolos são solos naturalmente ácidos, profundos e bem drenados e são assim denominados por apresentarem um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. Esses solos necessitam de calagem para correção da acidez e, posteriormente, podem ser cultivados cereais e forrageiras. São solos com alta suscetibilidade à erosão, por isso recomenda-se o uso de práticas conservacionistas, como o sistema de plantio direto com o uso de plantas protetoras no inverno.



Figura 3: Imagem parcial da área com AP em pequena propriedade, Vila Cattani, Silveira Martins – RS.

2.5.4 Mapeamento da área e georreferenciamento das amostras

A área experimental foi conduzida com manejo localizado (georreferenciamento) e seu mapeamento foi realizado através de um GPS Garmin^R de navegação, com o qual se demarcaram os vértices da área, para posterior geração do mapa e da malha de amostragem de solo e planta. Adotou-se uma malha hexagonal com 17 pontos, de forma a configurar uma melhor distribuição espacial dos pontos na área.

A malha de amostragem utilizada (figura 4), foi determinada e georreferenciada através do programa “Sistema Agropecuário CR – Campeiro 5” desenvolvido pelo Setor de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da UFSM (GIOTTO et al., 2004).

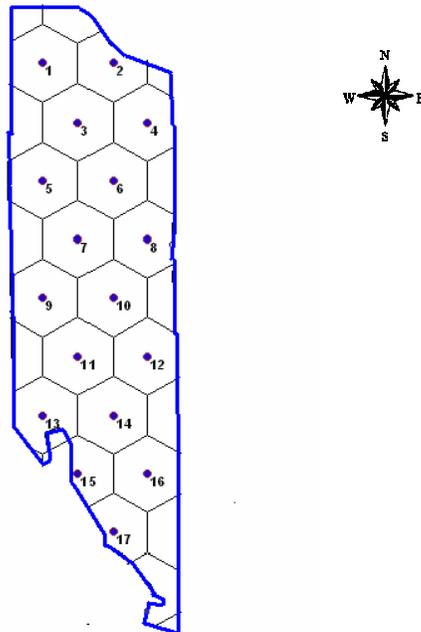


Figura 4: Mapa de contorno da área do experimento e malha de amostragem com os pontos georreferenciados.

2.5.5 Determinação de atributos químicos do solo

A amostragem do solo para análise química foi realizada através da coleta de oito subamostras em cada ponto da malha (hectare) por meio de trado calador na profundidade de 0-0,1 metros, para compor a amostra a ser enviada ao Laboratório de Análises de Solos do setor de Uso, Manejo e Conservação do solo e da água da UFSM. A metodologia de amostragem seguiu as determinações descritas pela Comissão (2004). Foram coletadas as subamostras num raio de 3 metros ao redor do ponto georreferenciado no centro da grade amostral (figura 5). Além disso, foram determinados os teores de P disponível, K, Ca, Mg, pH em água, teor de argila, índice SMP, Al, CTC efetiva e matéria orgânica, segundo metodologias descritas em Tedesco et al. (1995) e Embrapa (1997).

A primeira coleta de amostras de solos ocorreu na primeira quinzena de setembro do ano de 2005, num período anterior à semeadura da safra 2005/06. Já a

segunda coleta de solo ocorreu após a safra 2006/07, durante a segunda quinzena do mês de abril de 2007.

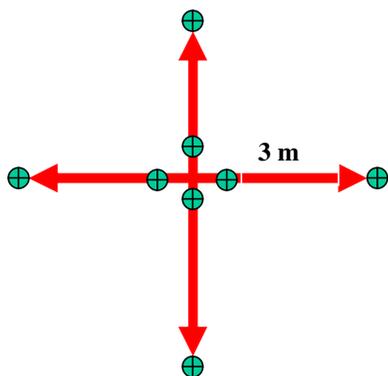


Figura 5: Esquema do raio e forma de coleta, em detalhe o GPS de navegação para localização dos pontos e trado calador utilizado para a coleta de solo na malha de amostragem.

Os resultados da análise de solo foram usados para elaborar os modelos digitais e a estruturação dos mapas específicos para cada atributo químico do solo. Para a definição das classes, nos mapas de atributos de solo, foi utilizado o critério de interpretação, segundo as recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO, 2004). As recomendações técnicas de adubação e calagem para a cultura da soja, nas duas safras, também seguiram as prescrições da mesma Comissão.

2.5.6 Semeadura

Na área em estudo foi semeada a cultura da soja nos dois anos agrícolas acompanhados por essa pesquisa. Na safra 2005/06, a cultura da soja foi semeada na segunda quinzena de outubro e na safra 2006/07, na primeira semana de novembro. Nas duas safras a variedade utilizada foi a RR A 6001 RG, também

conhecida como “maradona”, e a densidade de semeadura foi de 14 sementes por metro linear.

2.5.7 Histórico de cultivos da área

Na área experimental é utilizado o sistema plantio direto há 11 anos, sendo que a rotação de culturas utilizada é de dois anos soja e um ano milho (tabela 1). No inverno não é cultivado trigo, nem cevada por questões climáticas. A região apresenta muita neblina e ventos frios no inverno, o que propicia o aparecimento de muitas doenças fúngicas. Esse fato faz com que os custos de produção se elevem, pois é necessário um maior número de aplicações de defensivos, determinando, assim, um baixo retorno econômico. O manejo praticado no inverno é a utilização de pastagens para a terminação de novilhos que são comercializados no final da estação. A densidade de animais na área durante o inverno é 0,8 animais por hectare.

Tabela 1: Histórico de cultivos da área utilizada para este estudo – Silveira Martins – RS.

	Anos agrícolas				
	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Inverno	Aveia + azevém	Aveia + azevém	Aveia + ervilhaca	Azevém	Azevém
Verão	Soja	Soja	Milho	Soja	Soja

2.5.8 Confecção dos mapas de produtividade

A amostragem de plantas de soja, para estimativa da produtividade da cultura, foi realizada na mesma malha hexagonal utilizada para a coleta de solo. Nessa malha de 17 pontos foram coletadas, de forma manual, quatro subamostras de

plantas em uma área de 0,25 m² por subamostras (figura 6). As amostras foram colocadas em sacos de plástico com o respectivo número de identificação do ponto da malha. Posteriormente, as amostras foram levadas para secagem em estufa à temperatura de 60°C por 3 dias.



Figura 6: Método de amostragem utilizado na coleta manual de plantas de soja para estimativa da produtividade da cultura.

Após a secagem, procederam-se a debulha manual e a separação dos grãos da palha. A debulha manual foi adotada como forma de evitar possíveis perdas e danos mecânicos, que normalmente ocorrem no processo mecanizado. Os grãos limpos de cada amostra individualizada foram pesados e recolocados na estufa em 105 °C durante 24 horas para determinação da umidade (método gravimétrico). A correção de peso e a padronização da umidade a 13 % seguiram a metodologia preconizada por Weber (1995) pela seguinte equação:

$$\text{Equação: } Pf = Pi \times \frac{100 - Ui}{100 - Uf}$$

Onde:

Pf = peso final (kg), Pi = peso inicial (kg), Ui = umidade inicial (%),
Uf = umidade final (%).

A produtividade por hectare (kg ha^{-1}) foi calculada através de uma regra de três simples. De posse dos dados de produtividade pontual e de suas respectivas coordenadas geográficas, foi confeccionado o mapa de produtividade auxiliado pelo programa “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 5”.

Na safra 2005/06, a coleta de amostras de plantas de soja para estimativa da produtividade da cultura ocorreu no fim do mês de março e na safra 2006/07 a coleta ocorreu no começo do mês de abril.

A produtividade da soja determinada nas quatro subamostras coletadas por ponto amostral nas safras 2005/06 e 2006/07, assim como, o coeficiente de variação entre elas é apresentado em Anexos A e B, respectivamente

2.5.9 Tratamento dos dados e geração de mapas

Os resultados das análises de atributos do solo e da produtividade da soja foram utilizados para elaboração de modelos digitais através do programa “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 5” (figura 7).

O método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, com raio máximo de pesquisa de 150 metros. Esse método geoestatístico de interpolação é um processo de estimação de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, bastante importante e utilizado quando a densidade de pontos amostrais é pequeno.

As correlações entre modelos digitais foram determinadas com base no método de correlação de Pearson, ao nível de probabilidade de 5%, através do programa “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 5”. Para tanto, os modelos digitais selecionados para gerar correlações entre si eram espacialmente idênticos, isto é, com a mesma origem, mesmo espaçamento e mesmo número de linhas e de colunas.



Figura 7: Janela de abertura do software de gerenciamento de produção rural CR-Campeiro 5®.

2.5.10 Aplicação de insumos em taxas variáveis

Em função dos resultados de correlações obtidos entre atributos de solo e produtividade da soja na safra 2005/06, realizou-se a aplicação de Super Fosfato Triplo (SFT) e Cloreto de Potássio (KCL) em taxas variáveis por zonas de fertilidade na safra 2006/07, utilizando-se os critérios definidos pela Comissão (2004), tanto para correção, como para manutenção. Mais detalhes no item Resultados e Discussão.

A variação de dose de fertilização por zonas de manejo foi operacionalizada por meio de um distribuidor centrífugo monodisco (Tornado 600 MD), marca Stara, com taxa fixa.

Por vezes, quando se conveniu realizar aplicações parciais numa determinada zona, que deveria receber dosagens diferenciadas, ela foi localizada geograficamente por GPS e demarcada por estacas e bandeiras. Dessa forma, o trator manobrava dentro das áreas específicas, limitando a aplicação à zona determinada.

O procedimento de regulação do distribuidor seguiu instruções do manual de operações do equipamento. Buscou-se um equilíbrio entre um bom perfil de distribuição e um satisfatório índice de eficiência operacional. Determinou-se,

assim, uma largura de aplicação de 12 metros e uma velocidade de deslocamento de 7 km/h. Isso gerou uma eficiência operacional de 75 % e um rendimento nas aplicações de 6,4 ha h⁻¹.

Todas essas características foram levadas em consideração para a regulagem, garantindo-se uma boa qualidade na aplicação dos fertilizantes nas zonas de manejo.

2.5.11 Determinação de zonas de potencial produtivo na cultura da soja

As zonas de potencial produtivo na cultura da soja foram determinadas segundo a metodologia proposta por Molin (2002), a qual estabelece um conjunto de limites e condições que caracterizam diferentes unidades de manejo, em função da variabilidade espacial e temporal da produtividade de cada quadrícula (ponto), conforme descrito abaixo:

- Produtividade alta e consistente: produtividade do ponto acima de 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%;
- Produtividade média e consistente: produtividade do ponto entre 95% e 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%;
- Produtividade baixa e consistente: produtividade do ponto abaixo de 95% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%;

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.6.1 Caracterização da variabilidade espacial e temporal da fertilidade na área em estudo

O resultado das análises de solo nos anos de 2005 e 2007 evidenciou três aspectos importantes: a presença de atributos sem variação de classe (COMISSÃO, 2004), fósforo e potássio com grande variação de classes e um satisfatório nível de fertilidade da área, conforme se observa nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Os pesquisadores Walters; Goesch (1998) relataram a importância de se conhecer a variação temporal e espacial dos nutrientes, para que seja feita aplicação de fertilizantes a taxa variável, a fim de torná-la mais eficiente. Esse conhecimento tem de ser criterioso no contexto da AP, uma vez que envolve investimentos em maquinário, o que possibilita a aplicação, e investimento em grande volume de insumos.

Segundo Amado et al (2006), áreas com grande variabilidade dos principais atributos determinam que a forma tradicional de se fazer agricultura agrava a variabilidade de atributos naturalmente existente nessas áreas. Assim, na área investigada, coexistem subáreas com necessidade de incremento nos teores de nutrientes no solo e subáreas nas quais os teores já se encontram próximos ao do excesso (muito alto). Esse fato justifica a necessidade da aplicação de fertilizantes a taxa variável.

Tabela 2: Diagnóstico da fertilidade no ano de 2005 na área com AP – Silveira Martins /RS.

Ponto	Arg	pH	SMP	P	K	MO	Ca	Mg	CTC
	%	Água		mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
1	33	6,1	6,8	5,7	244,3	2,2	6,7	3,3	10,6
2	38	6,4	6,7	22,8	240,6	3,1	6,6	2,9	10,1
3	29	6,6	6,9	24,3	168,5	2,5	7,0	3,6	11,0
4	30	6,7	7,1	9,7	60,9	1,9	6,9	3,1	10,2
5	31	6,3	6,5	12,3	84,3	3,4	7,1	2,8	10,1
6	34	6,2	6,8	12,1	60,1	2,0	6,2	3,2	9,6
7	35	6,3	7,0	16,8	92,5	3,8	6,4	3,0	9,6
8	34	6,1	6,6	7,4	152,6	1,8	6,3	2,9	9,6
9	29	6,4	6,5	16,0	100,4	3,3	6,8	3,7	10,8
10	30	6,6	6,8	31,0	80,9	2,2	6,5	3,0	9,7
11	37	6,6	6,8	11,9	136,1	2,9	6,7	2,9	9,9
12	32	6,1	6,7	6,6	60,2	2,3	6,8	3,3	10,3
13	32	6,2	6,9	16,5	200,7	3,7	6,0	2,9	9,4
14	28	6,3	6,6	10,8	80,5	3,0	6,1	3,6	9,9
15	36	6,3	6,8	10,2	236,8	3,6	6,4	3,2	10,2
16	31	6,7	7,0	15,3	48,5	1,8	6,9	3,3	10,3
17	30	6,2	6,5	21,2	100,1	2,9	6,0	3,1	9,4

Tabela 3: Diagnóstico da fertilidade no ano de 2007 na área com AP – Silveira Martins /RS.

Ponto	Arg	pH	SMP	P	K	MO	Ca	Mg	CTC
	%	Água		mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
1	36	5,8	6,2	11,7	210,7	2,7	6,9	3,4	10,9
2	40	5,9	6,2	20,5	235,2	3,3	7,1	2,7	10,4
3	27	6,3	6,5	19,3	172,9	2,8	6,4	3,3	10,1
4	31	6,5	6,6	13,2	87,3	1,7	6,9	3,2	10,3
5	33	6,6	6,9	14,6	112,2	3,3	7,2	2,5	10,0
6	29	6,0	6,4	15,9	77,6	2,1	6,1	3,2	9,6
7	37	6,5	6,5	20,6	122,1	3,9	6,4	2,6	9,4
8	31	5,7	6,0	10,4	143,1	1,6	6,7	2,9	10,0
9	26	6,3	6,6	21,0	96,8	3,5	6,3	3,6	10,1
10	32	6,6	6,7	28,4	91,5	2,8	6,9	2,7	9,8
11	39	6,0	6,3	15,5	146,8	2,9	6,4	3,4	10,2
12	25	5,8	6,1	9,8	102,3	2,1	6,9	3,3	10,5
13	26	6,4	6,9	18,2	186,2	3,6	7,0	3,2	10,7
14	35	6,3	6,4	12,6	97,2	3,4	6,4	2,9	9,5
15	27	6,1	5,8	13,4	217,1	3,7	6,8	3,0	10,4
16	33	6,6	7,0	17,2	73,8	2,2	6,3	3,3	9,8
17	28	6,2	6,4	26,7	114,5	2,7	6,2	2,8	9,3

Para julgar um atributo de variabilidade horizontal, podem-se adotar dois critérios: calcular o coeficiente de variação entre as amostras ou adotar tabelas de classificação que apresentam os valores limites para cada classe de enquadramento. De acordo com os valores de coeficiente de variação (CV), a variabilidade dos atributos pode ser classificada, segundo proposto por Warrick & Nielsen (1980), em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

Observa-se, nas tabelas 4 e 5, que nenhum atributo apresentou CV alto, enquanto que fósforo, potássio e matéria orgânica enquadram-se na classificação média nos dois anos analisados. Já para o pH, cálcio e magnésio apresentaram um CV baixo, nas duas coletas realizadas. Os CVs fornecem, segundo Landim (1998), uma medida relativa da precisão do experimento, sendo bastante útil na avaliação da dispersão dos dados e, normalmente, apresentados em porcentagem.

Essas amplitudes de valores revelam os possíveis problemas ao se fazer uso da média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisões quanto à fertilização e/ou à correção do solo. Ou seja, em alguns locais, a dose recomendada estará subdimensionada, em outros, adequada, ou ainda poderá ocorrer aplicação excessiva de determinados fertilizantes e/ou corretivos. Essa situação pode gerar prejuízos econômicos, tanto pela aplicação desnecessária, quanto pelo desequilíbrio entre os níveis de nutrientes que serão disponibilizados à cultura. Além disso, pode haver contaminação do ambiente.

Tabela 4: Estatística descritiva com os valores mínimos, máximos, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos principais atributos do solo amostrados na área experimental em Silveira Martins – RS, 2005.

Parâmetros	P	K	MO	pH	Ca	Mg	CTC
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Água	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
Mínimo	5,7	48,5	1,8	6,1	6,0	2,8	9,6
Máximo	31	244,2	3,8	6,7	7,1	3,7	11,6
Média	14,3	126,3	2,7	6,4	6,5	3,2	10,1
Mediana	15,2	132,4	2,6	6,3	6,5	3,3	10,2
Desvio Padrão	7,8	70,6	0,7	0,2	0,4	0,3	0,2
Coefic.Variação	50,9	53,3	25,5	3,4	5,6	9,1	2,5

Tabela 5: Estatística descritiva com os valores mínimos, máximos, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos principais atributos do solo amostrados na área experimental em Silveira Martins – RS, 2007.

Parâmetros	P	K	MO	pH	Ca	Mg	CTC
	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Água	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
Mínimo	9,8	73,8	1,6	5,7	6,1	2,6	9,3
Máximo	28,4	235,2	3,9	6,6	7,2	3,6	10,9
Média	16,8	135,4	2,8	6,3	6,6	3,2	10,4
Mediana	17,3	138,2	2,9	6,2	6,7	3,1	10,2
Desvio Padrão	5,9	54,8	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2
Coefic. Variação	34,1	39,2	25,8	5,0	5,1	10,8	4,6

Na camada de referência (0-0,1 metros), os teores de P em 2005 variaram de 5 a 31 mg dm⁻³, apresentando um CV de 50,9 % e, em 2007, de 9 a 28,4 mg dm⁻³ com um CV de 34,1%. O K variou em 2005 de 48 a 244 mg dm⁻³ (CV=53,3%) e, em 2007, de 73 a 235 mg dm⁻³ (CV= 39,2%). Esses resultados comprovam a eficiência do manejo em taxa variada, uma vez que se alcançou o propósito inicial que era o de elevar os teores de P e K para uma faixa ideal de fertilidade, (figura 8 e 9). Mesmo assim, cabe ressaltar que, baseando-se nos resultados obtidos, novos passos devem ser dados no sentido de evitar a elevação excessiva dos níveis de nutrientes no solo, com prováveis ocorrências de desequilíbrios nutricionais. Tanto para o P como para o K, os maiores ganhos foram obtidos na zona de baixa produtividade. Esses ganhos devem-se às adubações realizadas e à menor exportação de nutrientes.

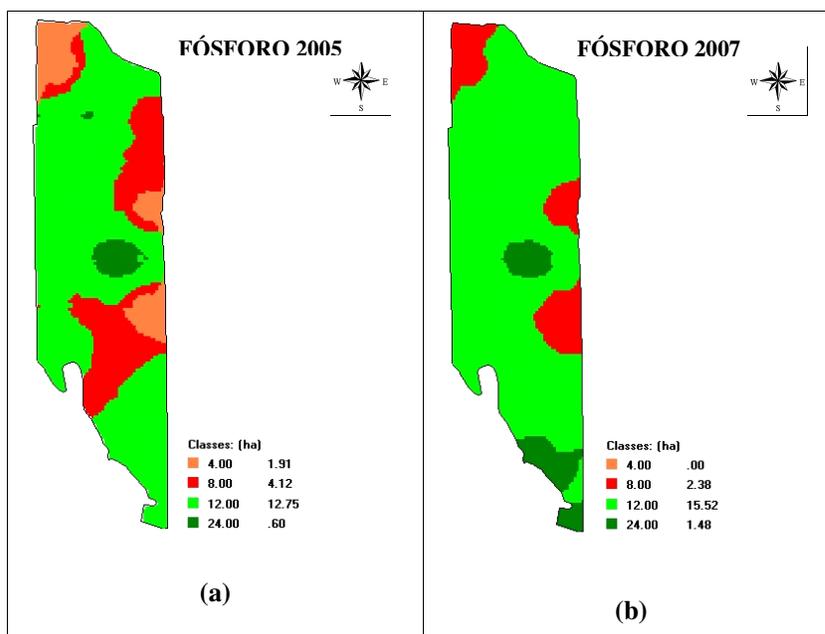


Figura 8: Teores de fósforo na área com AP nos anos (a) 2005 e (b) 2007 no município de Silveira Martins –RS.

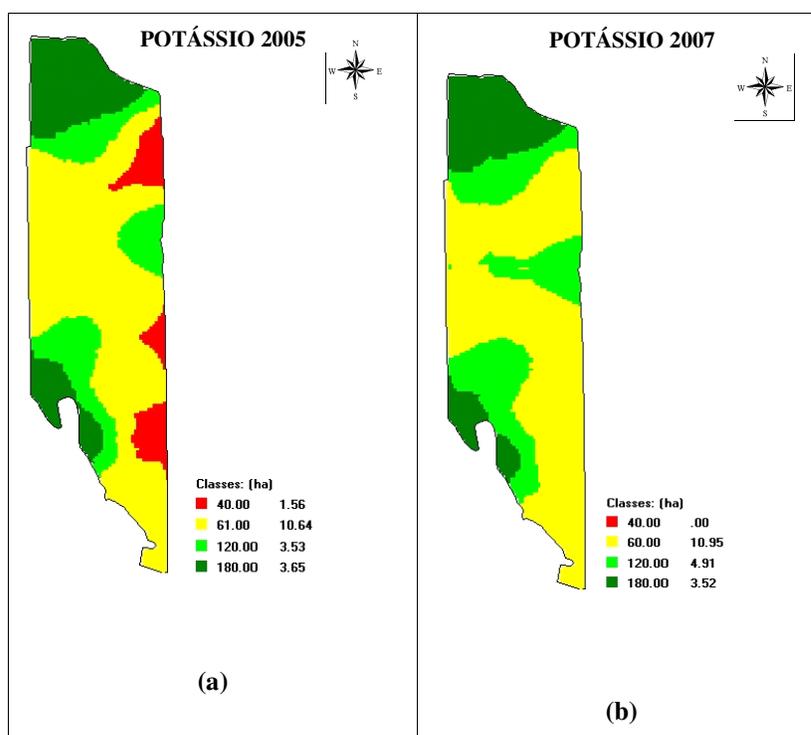


Figura 9: Teores de potássio na área com AP nos anos (a) 2005 e (b) 2007 no município de Silveira Martins –RS.

Observa-se que, com técnicas de AP, foi possível corrigir totalmente as subáreas com deficiência de potássio. Já para o fósforo, observamos uma redução das áreas com teores abaixo do nível de suficiência, mas, apesar das diferentes doses de fertilizantes aplicados nessas zonas, ainda existem subáreas com teores limitantes. Para a correção total da área em estudo, serão necessárias novas intervenções localizadas nas próximas safras agrícolas e também um monitoramento contínuo das entradas e saídas, garantindo, assim, a fertilidade em níveis adequados ao longo dos anos.

Na tabela 6, pode-se verificar a evolução da fertilidade na área. Para o fósforo na camada 0-0,1 metros tinha-se, em 2005: 10%, 21% e 66% da área com teores nas classes de interpretação baixo, médio e alto, passando, em 2007, para 0%, 12%, 80%, respectivamente. Para os teores na classe “muito alto” tivemos um acréscimo de 3% para 8% da área, durante os anos analisados. Resultados semelhantes a esses foram encontrados por (SANTI, 2007) em uma área com 70 % de argila onde se utilizaram aplicações de diferentes doses de fertilizantes através de zonas de manejo, no planalto rio-grandense.

Tabela 6: Evolução dos teores de fósforo na área com AP, Silveira Martins –RS.

Classes de Interpretação (mg dm ⁻³)*	2005		2007	
	ha	%	ha	%
Muito Baixo (≤ 4,0)	0	0	0	0
Baixo (4,1 – 8,0)	1,9	10	0	0
Médio (8,1 – 12,0)	4,2	21	2,3	12
Alto (12,1 - 24,0)	12,7	66	12,5	80
Muito Alto (> 24,0)	0,6	3	1,4	8

* Comissão de Química e Fertilidade do Solo –RS/SC (2004)

Em relação aos teores de potássio, nos dois anos de amostragem não se observaram teores “muito baixos” (21 – 40 mg dm⁻³). Já os teores “baixos” representavam 10% da área em 2005 e, em 2007, conseguiu-se eliminá-los. Em contrapartida, para as classes do “altos” e “muito altos” tinha-se, na primeira coleta,

55 e 37 % da área, respectivamente (tabela 7). Após dois anos, esses valores passaram para 80% e 43 % do talhão, demonstrando uma evolução na fertilidade, devido ao manejo localizado.

Tabela 7: Evolução dos teores de potássio na área com AP, Silveira Martins – RS.

Teores de Potássio no solo 0 -10 cm				
Classes de Interpretação (mg dm⁻³)*	2005		2007	
	ha	%	ha	%
Muito Baixo (≤ 21)	0	0	0	0
Baixo (21 – 40)	0	10	0	0
Médio (40 – 60)	1,5	8	0	0
Alto (61 – 120)	10,6	55	12,5	80
Muito Alto (> 120)	7,2	37	8,4	43

* Comissão de Química e Fertilidade do solo –RS/SC (2004)

Analisando a tabela 8, verifica-se que a área apresentou atributos sem variabilidade espacial. É o caso da argila, onde os percentuais confirmam o enquadramento integralmente na Classe 3 (argila 21 - 40 %). Quanto aos atributos cálcio e magnésio, toda a área se insere na classe alta e a matéria orgânica pode ser considerada de classe média.

Tabela 8: Limites inferior e superior dos percentuais de argila e matéria orgânica e de concentrações de cálcio e magnésio extraídos da análise do solo, segundo a classificação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004).

Atributo	Teores no solo	Níveis de Classificação ROLAS
Argila (%)	28 a 38	Classe 3 (21-40)
pH (água)	6,1 a 6,7	Muito Alto (6,0 – 6,5)
Matéria Orgânica (%)	1,8 a 3,8	Médio (2,6 – 5,0)
Cálcio (cmol dm⁻³)	6,0 a 7,1	Alto (> 1,0)
Magnésio (cmol dm⁻³)	2,8 a 3,7	Alto (> 1,0)

A concentração de alumínio trocável e a saturação de alumínio no solo são nulas em toda a área nas duas amostragens, indicando que não há necessidade de correção de pH por calagem sob o ponto de vista da limitação de absorção de nutrientes e crescimento de raízes. Este fato é confirmado pela alta concentração de cálcio e magnésio.

Na área, a última prática de calagem foi realizada no ano de 2000, quando foram distribuídas uniformemente 3 toneladas por hectare de calcário dolomítico com PRNT de 80%. Pode-se perceber que, apesar de sete anos, não se necessita de calagem. Isso demonstra que o sistema plantio direto consolidado, com a manutenção do solo constantemente coberto por plantas, pode reduzir muito a reacidificação do solo. Vários são os mecanismos propostos pela literatura para explicar a menor necessidade de calcário no sistema plantio direto. Provavelmente, o mais importante se refere à complexação de alumínio pelos ácidos orgânicos do solo, provenientes da decomposição da MO e da exudação pelas raízes das plantas (MIYAZAWA et al., 1993; SALET, 1999; FRANCHINI et al., 1999).

2.6.2 Aplicação a taxa variável de fertilizante por zonas de manejo

A adubação de P e K foi realizada a lanço em área total. Pelo fato de a área não apresentar teores muito baixos dos dois nutrientes, optou-se pela realização da correção total no primeiro ano. As aplicações ocorreram dias antes do plantio da safra de 2006/07. A variação de doses da fertilização por zonas de manejo foi operacionalizada por meio de um distribuidor centrífugo monodisco, Tornado 600 MD, marca Stara (figura 10).



Figura 10: Distribuidor centrífugo monodisco –Tornado 600 MD (Stara) realizando as aplicações de fertilizantes por zonas, na área de estudo com AP em pequena propriedade.

Na safra 2005/06, foram utilizados 250 kg da fórmula NPK 0-20-20 aplicados em taxa fixa na linha de plantio. Já na safra 2006/07, optou-se por realizar as

aplicações de fertilizantes por zonas de manejo, baseadas nos dados de fertilidade do solo da primeira amostragem.

Na fertilização da área em estudo, na safra 2006/07 foram utilizados produtos não formulados, buscando-se trabalhar com produtos mais concentrados, como Super Fosfato Triplo (SFT) a 46 %, como fonte de fósforo e Cloreto de Potássio (KCL) a 60 % para suprir as necessidades de potássio.

Nas tabelas 9 e 10, tem-se a recomendação de P e K, respectivamente para a cultura da soja na safra 2006/07 no talhão de 19 hectares.

Tabela 9: Recomendação de P_2O_5 com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo no talhão com AP.

Classes de Fertilidade	P_2O_5	Área	Necessidade P_2O_5
$mg\ dm^{-3}$	$Kg\ ha^{-1}$	ha	$Kg\ ha^{-1}$
4 - 8	60 C* + 30 M** + 15 E***	1,91	198,45
8-12	30 C + 30 M + 15 E	4,12	342
> 12	30 M + 15 E	12,75	556
Total		19	1096,45

* Adubação de Correção ** Adubação de Manutenção *** Exportação pela expectativa de rendimento de 3.000 $Kg\ ha^{-1}$ de soja.

Tabela 10: Recomendação de K_2O com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo no talhão com AP.

Classes de Fertilidade	K_2O	Área	Necessidade K_2O
$mg\ dm^{-3}$	$Kg\ ha^{-1}$	ha	$Kg\ ha^{-1}$
< 60	30 C* + 45 M** + 10 E***	1,56	132,60
60 - 120	45 M + 10 E	10,69	587,95
> 120	15 M + 15 E	7,13	213,90
Total		19	934,45

*Adubação de Correção ** Adubação de Manutenção *** Exportação pela expectativa de rendimento de 3.000 $Kg\ ha^{-1}$ de soja.

As diferentes taxas aplicadas foram determinadas a partir dos teores iniciais dos nutrientes do solo, da manutenção dos teores existentes e também da expectativa de rendimento de 3000 kg ha⁻¹ para a cultura da soja, seguindo as recomendações da Comissão 2004.

Ao transformar as quantidades de P₂O₅ em SFT 46% e K₂O em KCL 60% (figura 11), verificou-se que as taxas de aplicações variaram de 100 a 230 kg ha⁻¹ e 50 a 140 kg ha⁻¹, respectivamente, conforme os níveis de fertilidade das áreas, sendo que as quantidades médias são de 125 kg ha⁻¹ para o SFT e 82 kg ha⁻¹ para o KCL. Com isso, foi possível maximizar o uso desses fertilizantes, aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos de fertilização e os riscos de desequilíbrios no sistema.

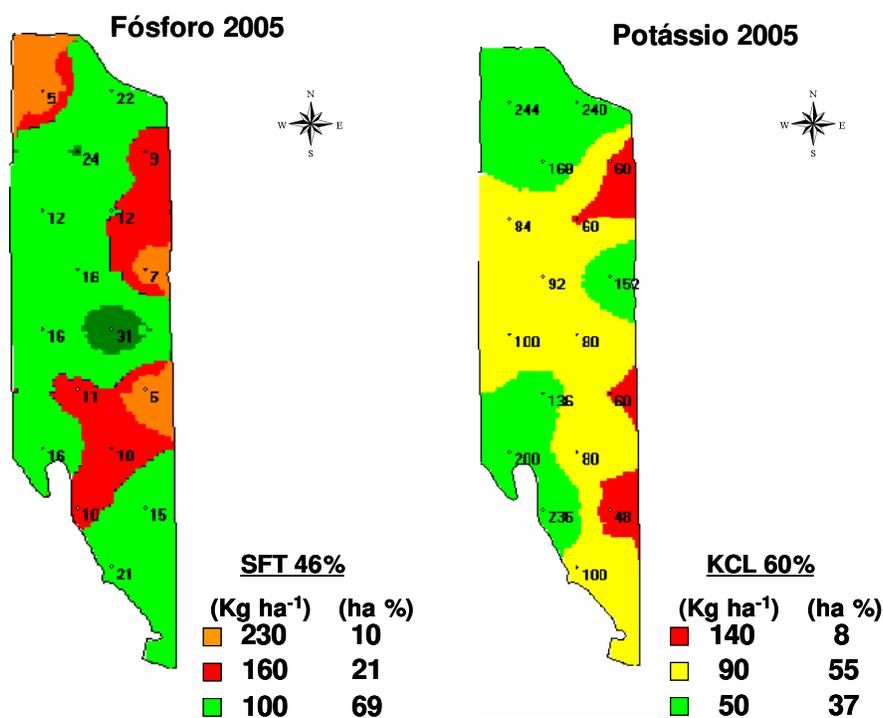


Figura 11: Determinação das quantidades de fertilizantes para cada taxa de aplicação e as respectivas porcentagens na área do estudo de caso.

Percebe-se que o manejo da fertilidade de forma convencional, utilizando a mesma quantidade de fertilizante em toda a área, não seria a forma mais correta,

pois acarretaria áreas subfertilizadas e áreas superfertilizadas. Com isso, perde-se a eficiência na adubação, causando possíveis desequilíbrios nutricionais.

Para justificar de maneira mais detalhada a adoção da aplicação a taxa variável por zonas de manejo, pode-se fazer uma simulação: - Se, na safra 2006/07, a adubação utilizada tivesse sido aquela utilizada tradicionalmente pelo produtor, ter-se-ia a seguinte situação: 250 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-20-20 na linha de semeadura representam 50 kg de P₂O₅ e K₂O, o que equivale a 108 kg ha⁻¹ de SFT (46%) e 83 kg ha⁻¹ de KCL (60%) de forma uniforme na área. Percebe-se que esses valores contemplam apenas os teores médios de fertilidade. Para o fósforo, ter-se-ia mais de 31 % da área subfertilizadas e para o potássio, em torno de 10 % da área na mesma condição. Observa-se que as áreas, que estariam sendo adubadas em excesso, representam 69 % da área total para o fósforo e 37 % para o potássio, configurando, assim, desperdício de investimento .

Outra justificativa para o manejo localizado nessa área é a análise dos nutrientes exportados na safra 2006/07. Ao considerar os valores exportados de nutrientes por tonelada de grãos produzida da cultura, segundo proposição da Comissão 2004, tem-se, para a cultura da soja, 14 kg de P₂O₅ Mg⁻¹ de grãos e 20 kg de K₂O Mg⁻¹ de grãos. Assim, observa-se, na figura 12, a exportação pontual de fósforo e potássio da soja na safra 2005/06 e a adubação convencional (250 kg ha⁻¹ de NPK 0-20-20) utilizada pelo produtor.

Percebe-se, também, que a utilização da adubação convencional contemplaria somente a exportação de fósforo nessa safra (2005/06), ficando aquém da exportação de potássio em praticamente todos os pontos, isso sem que sejam consideradas as doses de manutenção e a expectativa de rendimento da cultura. Conclui-se, então, que a adubação utilizada tradicionalmente estava contribuindo para aumentar a variabilidade espacial na área. Isso justifica o interesse em trabalhar com ferramentas de AP que possibilitam o controle de entradas e saídas de nutrientes no talhão.

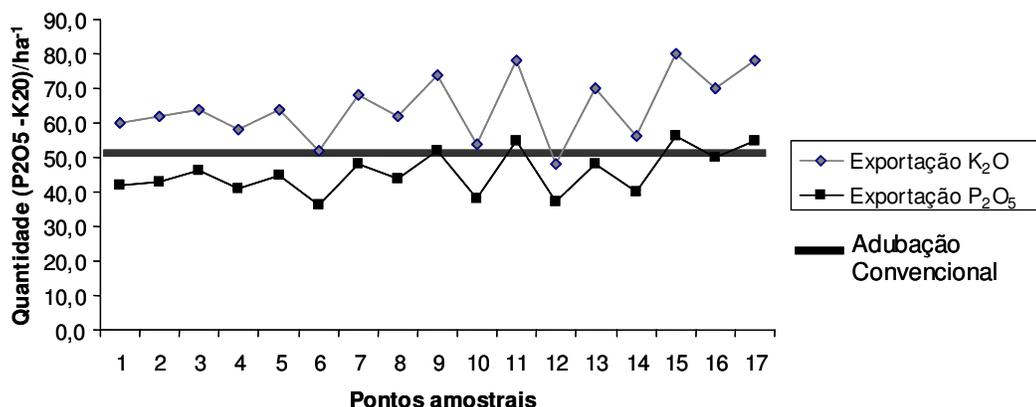


Figura 12: Exportação de fósforo e potássio na safra 2005/06 e a adubação da fórmula NPK 0-20-20 de forma convencional.

2.6.3 Produtividade da cultura da soja

Os dados de produtividade da cultura de soja mostraram variabilidade espacial em ambas as safras (figura 13). Na safra 2005/06, observou-se uma diferença de 43 % entre a produtividade mínima e a máxima; já na safra 2006/07, essa diferença caiu para 32 %. Pode-se atribuir a redução ao manejo localizado de fertilizantes na safra 2006/07 e também aos maiores índices pluviométricos ocorridos nessa safra. Mas, mesmo assim, tais diferenças evidenciam a importância de considerar essa variabilidade existente no talhão, a fim de aumentar a eficiência no manejo das culturas.

Em razão da grande variabilidade observada na produção de grãos, é importante, para a ampliação e aplicação das técnicas da AP, quantificar a estrutura espacial dessa variabilidade (COELHO, 2003). Se a variabilidade não apresenta estrutura espacial, ou seja, se ela não ocorre concentrada em áreas possíveis de serem manejadas, a melhor estimativa de qualquer parâmetro obtido nessa área é o valor médio ou a mediana, e a melhor maneira de se manejá-la é usando os conceitos da agricultura convencional, por meio de manejo uniforme. No entanto, se há comprovação dessa repetibilidade estrutural na área e se a variabilidade espacial e temporal remete à definição de unidades pela sua abrangência e espacialização, então o mapa de produtividade ganha a devida importância no cenário contextual de

busca incessante pelo conhecimento gerencial das unidades de produção agrícola (SANTI, 2007).

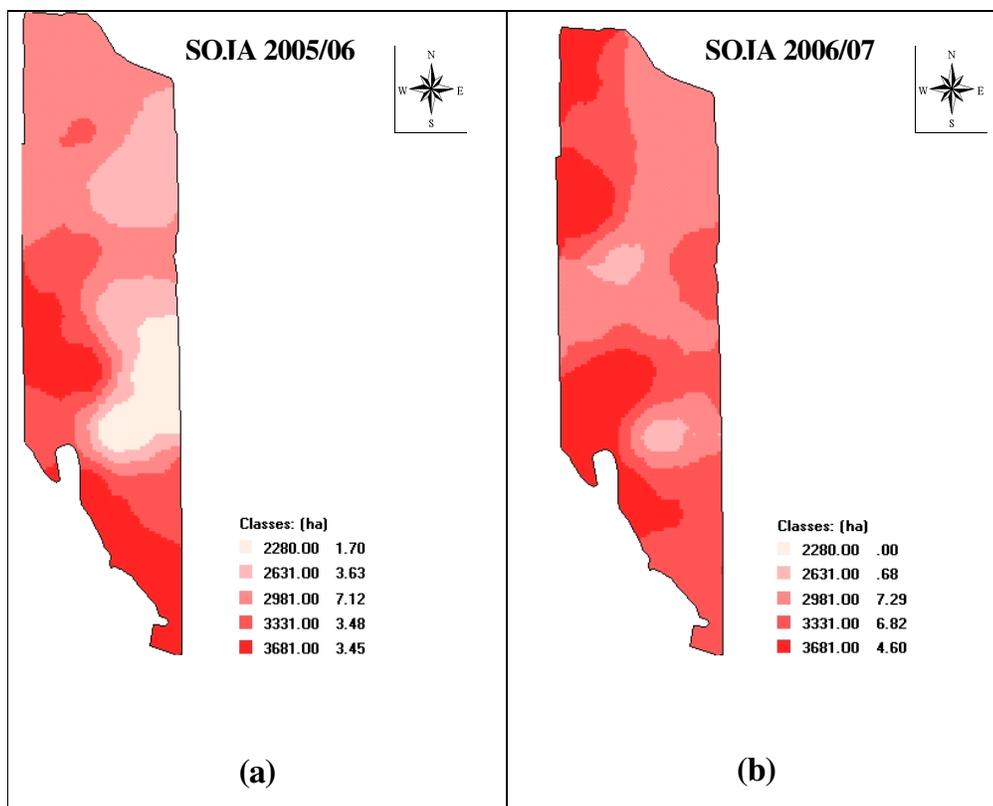


Figura 13: Mapa de produtividade de soja (kg ha^{-1}) nas safras (a) 2005/06 e (b) 2006/07, determinada com técnicas de AP.

Na tabela 11, pode-se verificar a evolução da produtividade ponto a ponto, em relação às duas safras agrícolas. Observa-se que os incrementos ocorridos ficaram entre 4 – 28 % e os decréscimos na produtividade ficaram entre -4 e -16 %.

Essa situação é comum em áreas com diferentes históricos de manejo ao longo dos anos; isso confere diferentes níveis de qualidade do solo e faz com que se tenha um potencial produtivo diferenciado entre diferentes partes do talhão (VEZZANI, 2001).

Tabela 11: Produtividade de soja em cada ponto georreferenciado da malha de amostragem nas safras 2005/06 e 2006/07.

Pontos	Produtividade		Incremento
	Safra 2005/06	Safra 2006/07	
	----- Kg ha ⁻¹ -----		%
1	3000	3720	+ 19
2	3120	3000	- 4
3	3360	3360	0
4	2880	3120	+ 8
5	3240	4080	+ 21
6	2640	3000	+ 12
7	3420	2880	- 16
8	3060	3480	+ 12
9	3720	3180	- 15
10	2700	3240	+ 17
11	3960	4140	+ 4
12	2400	3360	+ 28
13	3480	4080	+ 15
14	2280	2820	+ 18
15	4020	4020	0
16	3480	3660	+ 5
17	3900	3600	- 8

Esse potencial se manifesta de maneira distinta durante os anos agrícolas, devido a diferentes condições edafoclimáticas; por isso, têm-se diferentes produtividades nos mesmos pontos ao longo das safras (figura 14). Tais resultados levaram às constatações de que, nessa lavoura, embora o nível de fertilidade do solo estivesse elevado, ainda se observava uma grande variação espacial no rendimento de grãos das culturas. Esse fato pode estar relacionado a uma variabilidade espacial de outros atributos do solo, como os atributos físicos e biológicos. Santi (2007), encontrou em seus estudos que atributos físicos como macro e microporosidade, disponibilidade de água e a resistência à penetração do solo são fatores que determinam a maior correlação com o rendimento das culturas

em zonas com diferentes potenciais produtivos. Ainda, o mesmo autor destaca o papel da biologia do solo para promover uma maior infiltração de água, determinando, assim, um ambiente mais propício para as plantas manifestarem os seus potenciais genéticos.

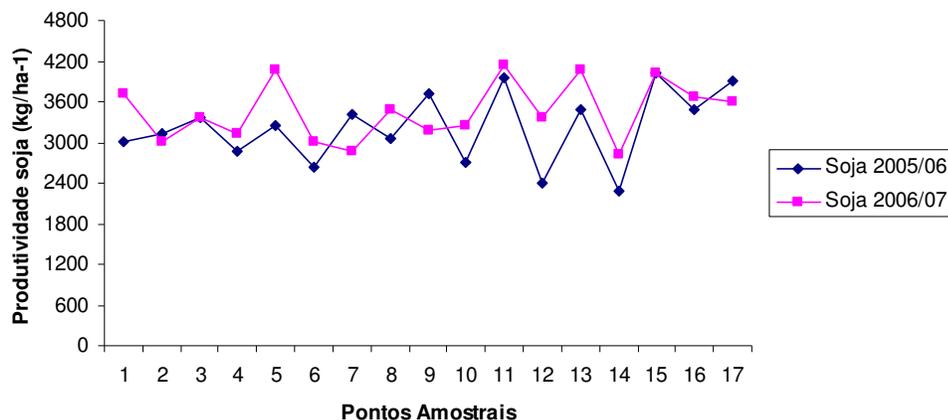


Figura 14: Evolução da produtividade de soja na área com técnicas de AP em pequenas propriedades – Silveira Martins/RS.

Na safra 2005/06, a produtividade mínima verificada foi de 2280 kg ha⁻¹, média de 3210 kg ha⁻¹ e máxima de 4020 kg ha⁻¹, apresentando um Coeficiente de Variação (CV) entre os pontos amostrais de 16,4 % e um desvio padrão de 527,32 kg ha⁻¹. Na safra 2006/07, a produtividade mínima verificada foi de 2820 kg ha⁻¹, média de 3450 kg ha⁻¹ e máxima de 4140 kg ha⁻¹, com um CV de 12,75% e desvio padrão de 440,43 kg ha⁻¹ entre os pontos amostrais (tabela 12). Tais dados representam um aumento na produtividade de soja na segunda safra avaliada, verificando-se um acréscimo de 19 % na produtividade mínima, 8 % na produtividade média, 3 % na produtividade máxima. Isso indica facilidade em aumentar a produtividade, através do manejo, em zonas com baixa produtividade quando o problema for de origem química. Resultado semelhante foi encontrado por Durigon (2007), para a cultura do arroz irrigado no RS.

Tabela 12: Parâmetros comparativos da estimativa de produtividade de soja entre as safras 2005/06 e 2006/07.

Parâmetros	Safra 2005/06	Safra 2006/07	Variação %
Produtividade Mínima (kg ha⁻¹)	2280	2820	+ 19
Produtividade Média (kg ha⁻¹)	3210	3450	+ 8
Produtividade Máxima (kg ha⁻¹)	4020	4140	+ 3
Produtividade Total Área(kg)	60990	65550	+ 8
Desvio Padrão (kg ha⁻¹)	527,32	440,43	- 16
Coefficiente de Variação (%)	16,4	12,75	- 22

Ainda comparando a produtividade de soja na safra 2006/07, em relação à safra 2005/06, verifica-se que também houve um aumento na produtividade média no município de Silveira Martins-RS (figura 15). Esse fato pode estar relacionado a condições climáticas mais favoráveis, como a maior índices pluviométricos nos meses de janeiro e fevereiro na safra 2006/07 (figura 16). Entretanto, a diferença de produtividade de soja obtida no experimento, em relação à média do município, foi de 940 kg ha⁻¹ na safra 2005/07 e de 820 kg ha⁻¹ na safra 2006/07, mostrando, nesse sentido, que o efeito climático foi considerável. Já as diferenças de produtividade de soja entre o talhão com AP e a média da propriedade foi de 210 kg ha⁻¹ na safra 2005/06 e de 300 kg ha⁻¹ na safra 2006/07. Esse aumento na produtividade pode ser atribuído à melhoria da fertilidade do solo, promovida pela utilização de maiores quantidades de SFT 46% e KCL 60% nas zonas de manejo com baixos teores desses nutrientes.

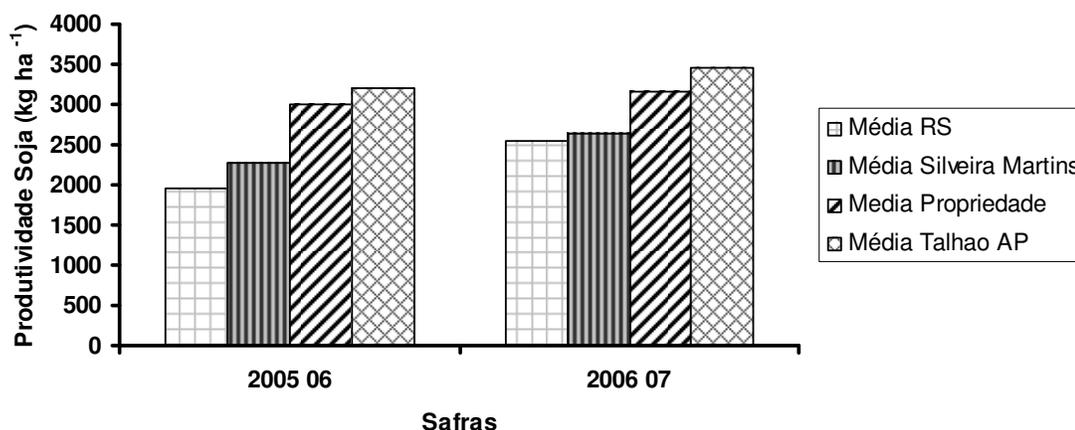


Figura 15: Médias de produtividade (kg ha⁻¹) do município de Silveira Martins, da propriedade do Sr. Dair Dellamea e do talhão com AP nas diferentes safras.

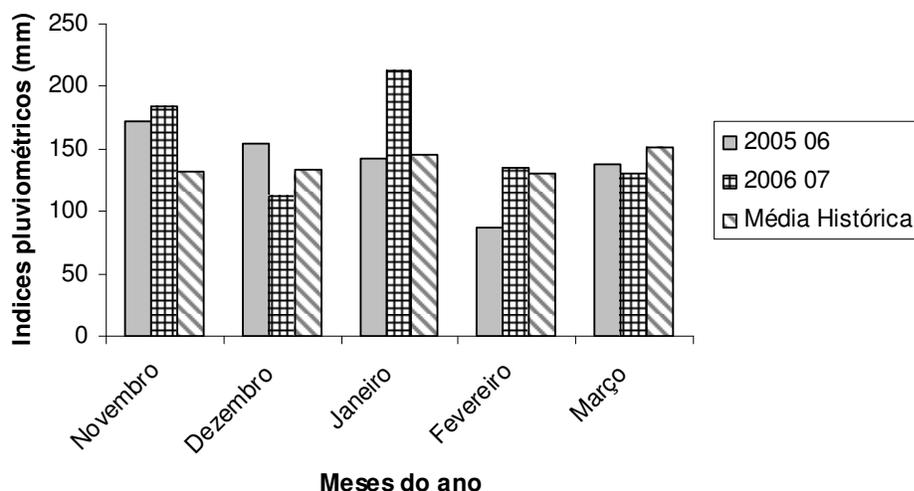


Figura 16: Índices pluviométricos das safras 2005/06, 2006/07 e média histórica de precipitações nos diferentes meses no município de Silveira Martins –RS.

Para que seja possível validar toda a discussão acima, é importante verificar a eficiência da elaboração de mapas de colheita de forma manual. Para isso, acompanhou-se cada carga de soja transportada do talhão com AP até o depósito da Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma (tabela 13 e 14). A colheita da soja nas duas safras foi realizada de forma mecanizada. Tanto a colheita como o transporte das safras foi terceirizado, pois o produtor não dispunha de estrutura para isso.

Tabela 13: Peso bruto, líquido e descontos de impurezas e umidade das cargas transportadas do talhão com AP e entregues à Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma – Nova Palma –RS, 2005.

Cargas Transp.	Peso	Desconto	Desconto	Peso
	Bruto	Umidade	Impureza	Líquido
	Kg	%	%	Kg
1	11780	7,2	2,5	10640
2	13755	6,4	1,9	12613
3	14700	5,2	1,5	13715
4	12840	3,8	1,7	12133
5	14334	4,2	2,0	13445
	Média AP* = 60990		Média	62546

* Determinação da produtividade de forma manual.

Tabela 14: Peso bruto, líquido e descontos de impurezas e umidade das cargas transportadas do talhão com AP e entregues à Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma – Nova Palma –RS, 2007.

Cargas Transp.	Peso	Desconto	Desconto	Peso
	Bruto	Umidade	Impureza	Líquido
	Kg	%	%	Kg
1	10630	6,2	2,0	9758
2	14357	4,8	1,9	13395
3	13100	3,4	1,3	12485
4	10240	2,6	2,4	9728
5	7934	1,9	2,0	7624
6	6745	4,7	3,0	6225
7	4567	6,0	2,6	4174
	Média AP* = 65550		Média	63394

* Determinação da produtividade de forma manual.

Pode-se verificar que a estimativa de produtividade de forma manual foi eficiente, pois se obteve uma diferença inferior a 5% entre a produtividade real e a estimada com ferramentas de AP, nas duas safras nesse caso. Knob (2006), em seu trabalho com AP em pequenas propriedades, encontrou valores semelhantes,

quando realizou amostragens georreferenciadas de forma manual para a estimativa de produtividade de soja e trigo.

2.6.4 Correlações entre atributos químicos do solo e a produtividade da soja

Os dados de produtividade e dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de correlação pela matriz de correlação de Pearson em níveis de significância de 5% (tabela 15). Os dados de rendimento da safra 2005/06 foram correlacionados com a coleta de solos de 2005 e os dados de rendimento da safra 2006/07 foram correlacionados com a segunda coleta feita em 2007.

De modo geral, a maioria das variáveis consideradas apresentou baixas correlações com a produtividade da cultura da soja nas safras observadas. Fato semelhante ocorreu com Shatar & McBratney (1999), Stafford et al., (1996) e Blackmore et al.(1998). Eles encontraram baixas correlações entre os atributos de solo e a produtividade, quando considerados os dados de toda a área. Também diversos trabalhos encontrados na literatura (MATA et al., 1999; YANAI et al., 2001; VIEIRA; MOLIN, 2001 e PONTELLI, 2006) relatam a baixa correlação entre fertilidade do solo e produtividade das culturas.

Tabela 15: Correlações entre atributos químicos do solo e a produtividade de soja analisados nas safras 2005/06 e 2006/07.

Atributo do solo	Correlações com a produtividade da soja *	
	Safra 2005/06	Safra 2006/07
%	
Fósforo	22	27
Potássio	13	34
Matéria Orgânica	35	28
Cálcio	- 11	9
Magnésio	- 10	8
Argila	8	22
pH	12	- 6
CTC Efetiva	- 16	31

*Correlações obtidas com 17 pontos amostrais pelo método de Pearson a 5 % de probabilidade de erro.

De modo geral, as correlações entre os atributos de solo e os resultados de produtividade apresentaram grandes variações. Esse fato pode ser, em parte, compreendido pelas diferenças climáticas entre as duas safras, pois na safra 2005/06 os níveis pluviométricos ficaram abaixo da média nos meses de janeiro e fevereiro.

Na análise dos dados, em alguns casos, encontrou-se correlação inversa em ambas as safras, como o ocorrido entre os dados de cálcio, magnésio e CTC na safra 2005/07 e pH na safra 2006/07. Tal situação pode ser atribuída aos altos valores de pH encontrados na área.

Ainda em relação aos dados de correlação, têm-se atributos que apresentaram baixas correlações, como, por exemplo, o pH na safra 2005/06 e cálcio e magnésio na safra 2006/07. Tais diminuições nos índices de correlação remetem a conclusões de que, quando os atributos químicos do solo estiverem em níveis preconizados para a expressão do potencial produtivo, sua correlação com a produtividade será minimizada e outros atributos passam a explicar a variabilidade na produção.

Por outro lado, observam-se, também, as correlações positivas que ocorrem com o fósforo, potássio e matéria orgânica em ambas as safras. Na questão do fósforo e do potássio, é possível encontrar um aumento de correlação na safra 2006/07. Os índices aumentaram de 22% para 27 % e 13% para 34 %, respectivamente. Pode-se atribuir esse fato ao manejo diferenciado na fertilização por diferentes taxas desses nutrientes na safra 2006/07, o que proporcionou um aumento nos teores nas zonas com níveis abaixo da suficiência. Segundo Amado & Santi (2007), os macronutrientes fósforo e potássio são alguns dos principais elementos que determinam a produtividade da soja: o fósforo por participar das divisões celulares e do metabolismo das plantas, garantindo uma maior retenção das vagens da soja; o potássio por ser um ativador enzimático e por participar na abertura e fechamento dos estômatos, mecanismo fundamental para manter as células túrgidas, garantindo menores perdas por evapotranspiração em anos com estiagens.

Dentre os atributos de solo avaliados, a MO foi o que apresentou os maiores índices de correlação, tendo valores de 35% e 28% para as safras 2005/06 e 2006/07, respectivamente. Na figura 17, pode-se observar a distribuição espacial da MO e da produtividade de soja na safra 2005/06.

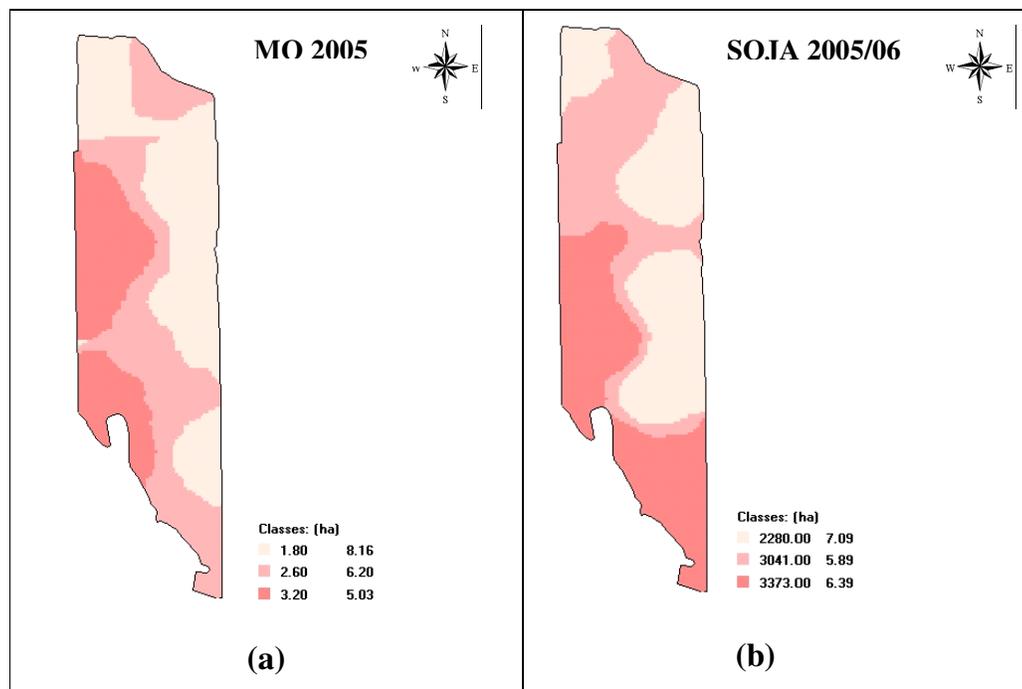


Figura 17: Distribuição espacial dos teores de matéria orgânica em (a) 2005, produtividade de soja na safra (b) 2005/06, na área em estudo.

A MO tem sido apontada por pesquisadores como um indicador chave da qualidade do solo, devido à influência que possui nos demais atributos necessários para que esse solo possa desempenhar suas múltiplas funções. A dinâmica da MO sob sistema de cultivos tem sido apontada como o indicador mais sensível de alteração da qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; GARCIA, 2002). Esse fato deve-se à participação da MO em numerosas propriedades do solo, como as físicas (densidade, retenção de água no solo, permeabilidade, capacidade de disponibilidade de água, agregação, resistência à compactação, calor e temperatura); as químicas (reserva de nutrientes, pH, capacidade de troca de cátions, capacidade tampão, formação de quelatos) e as biológicas (biomassa microbiana, atividade biológica, frações lábeis de nutrientes) (GARCIA, 2003; AMADO; COSTA, 2004).

Por isso, é fundamental adotar um sistema de manejo que proporcione um incremento e manutenção dos teores de MO nos solos. O sistema plantio direto tem proporcionado a gradual recuperação dos estoques de MO. Esse sistema tem se mostrado eficiente, pois promove o incremento do estoque de MOS, devido ao

acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo. Isso garante uma maior ciclagem de nutrientes e menores perdas por erosão (AMADO et al., 2007).

Ainda Amado et al. (2007), destacaram a importância do uso de uma rotação de culturas adequada, a fim de manter e elevar os níveis de MO no solo. Havlin et al. (1990) e Garcia (2003) alertam que a soja, quando utilizada em monocultivo ou com grande frequência no programa de rotação, pode promover o decréscimo do estoque de MO, mesmo sob sistema plantio direto. Com esta preocupação adotou-se, na área em estudo, culturas de cobertura no inverno e uma rotação de culturas de dois anos soja e um ano milho, na tentativa de elevar o potencial produtivo do solo.

Segundo foi relatado pelo proprietário, Sr. Dair Dellamea, as áreas com menores teores de MO coincidem com as partes da lavoura com maiores declividades, e isso, certamente, proporcionou uma maior erosão nesses locais nos anos anteriores à implantação do plantio direto, quando era cultivada a cultura da batata de forma convencional. De acordo com Burnett et al. (1985), embora a deficiência de nutrientes em solos erodidos possa ser corrigida pela aplicação de fertilizantes químicos, em geral, isso não é suficiente para restaurar o seu potencial produtivo.

Carter et al. (1985) verificaram que a aplicação de fertilizantes contendo N, P, K, e Zn não proporcionou aumento significativo na produção de sete culturas em solos erodidos artificialmente. Nessas condições, a aplicação de adubo orgânico (esterco e resíduos de culturas) é a principal alternativa encontrada para a restauração da produtividade de solos erodidos pela substituição da perda de matéria orgânica da camada superficial (LARNEY; JANSEN, 1996; ROBBINS et al., 1997).

2.6.5 Zonas de potencial produtivo na cultura da soja

Na tabela 16, encontram-se os dados de produtividade mínima, máxima e média da soja, bem como os valores de produtividade equivalentes a 95 e 105% em relação à média para as safras 2005/06 e 2006/07, os quais foram utilizados na determinação das zonas de manejo. O intervalo de produtividade da soja para as zonas de manejo baixa, média e alta encontram-se na tabela 17.

Tabela 16: Dados de produtividade de grãos de soja utilizados na determinação das zonas de potencial produtivo.

Safra	Produtividade de soja				
	Mínima	Máxima	Média	95 % Média	105% Média
kg ha ⁻¹				
2005/06	2280	4020	3210	3048	3372
2006/07	2820	4140	3450	3276	3624

Tabela 17: Intervalo de produtividade de grãos de soja utilizado na determinação de cada zona de potencial produtivo.

Safra	Produtividade de soja		
	Baixa	Média	Alta
kg ha ⁻¹		
2005/06	2280 – 3041	3041 – 3373	3373 - 4020
2006/07	2820 - 3175	3175 – 3591	3591 - 4140

Analisando a distribuição espacial das zonas de potencial produtivo na cultura da soja, verifica-se uma grande variabilidade das mesmas (figura 18). Esse fato pode ser justificado pela variabilidade na produtividade entre as duas safras de soja (variabilidade temporal), sendo grande parte desta variabilidade induzida pelo manejo adotado na área anteriormente à safra 2005/06 e 2006/07. Excessivas erosões, anteriores ao plantio direto, aliadas à irregularidade do terreno determinaram diferenças na qualidade do solo em diferentes pontos do talhão, e isso, certamente, afeta a produtividade das culturas nas safras atuais e determina a grande variabilidade espacial da produtividade na área.

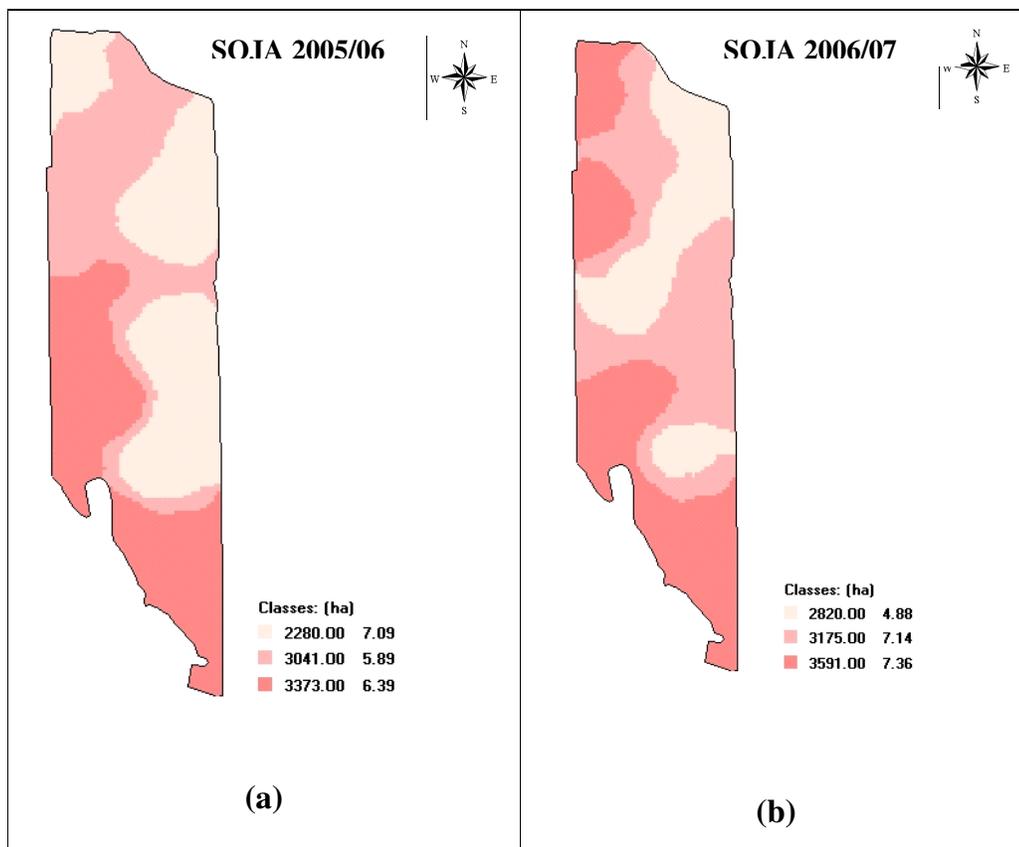


Figura 18: Mapa das zonas de potencial produtivo (kg ha⁻¹) na cultura da soja na safra (a) 2005/06 e na safra (b) 2006/07, determinados com técnicas de manejo localizado.

Na safra 2005/06, a área com baixa produtividade foi de 7,09 hectares, enquanto na safra 2006/07 a área foi de 4,88 hectares (figura 19), representando uma redução de 31,17%.

Em contrapartida, a área com média produtividade passou de 5,89 hectares na safra 2005/06 para 7,14 hectares na safra 2006/07, o que representou um aumento de 17,50%. Para a área de alta produtividade houve um aumento de 13,2%. Passou de 6,39 hectares, na safra 2006/07, para 7,36 hectares na safra 2006/07.

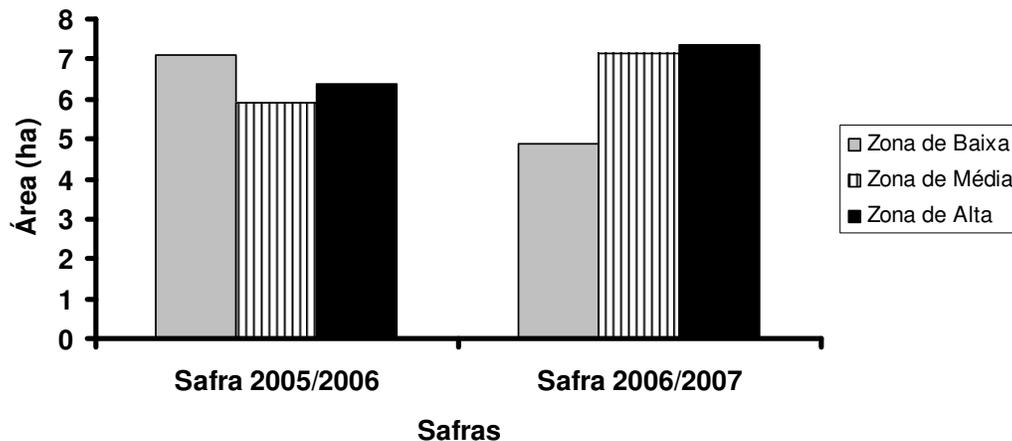


Figura 19: Área de cada zona de potencial produtivo na cultura da soja nas safras 2005/06 e 2006/07.

A análise do mapa de produtividade na cultura de soja em apenas duas safras não permitiu obter informações seguras a respeito da distribuição espacial das zonas de baixa, média e alta produtividade dentro do talhão. Segundo Molin (2002) e Santi (2007), a quantidade de safras monitoradas (mapas individuais) vai definir a qualidade da informação, pois quanto mais safras, maior será a população de dados, melhor o ajuste da medição da variabilidade temporal e maior será a segurança na delimitação das zonas de manejo.

Segundo Molin (2002), existem várias possibilidades de se abordar o processo de tomada de decisão para a intervenção com tratamentos localizados. As estratégias vão depender das particularidades e do conhecimento prévio da área, dos princípios de gerenciamento e das circunstâncias econômicas e financeiras desenvolvidas. Para fins de tomada de decisão, é necessário estabelecer critérios. Um deles pode ser a variabilidade espacial e temporal da produtividade. Porém, ainda existem outros aspectos gerenciais a serem considerados, como, por exemplo, atuar nas áreas de alta produtividade, buscando otimizá-las, ou isolar as áreas de produtividade baixa para intervir nelas.

2.6.6 Análise econômica simplificada

Diante dos resultados encontrados até o momento, faz-se necessária uma análise econômica do uso da AP em pequena propriedade. Essa análise é importante, pois os pequenos produtores precisam ter um balizamento para que possam aderir ou não a essa nova tecnologia.

Para que fosse possível realizar uma análise econômica representativa, foram comparadas as entradas e saídas no talhão com AP (19 ha) com a estimativa de entradas e saídas em um talhão com AC, com a mesma dimensão de área.

Ao analisar os gastos com adubação, verifica-se que, na maneira convencional de adubação, foram utilizados 250 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-20-20, totalizando 4,75 toneladas de fertilizantes ao preço de R\$ 660,00/tonelada em outubro de 2006. Estima-se, assim, um gasto de R\$ 3135,00. Entretanto, na fertilização por zonas de manejo, utilizando os princípios da AP, foram investidos apenas R\$ 2602,00. Para chegar a tal montante foram utilizadas 2,38 toneladas de SFT 46 % e 1,55 toneladas de KCL 60 % (Correção + Manutenção + Expectativa de rendimento de 3.000 kg ha⁻¹ de soja) ao preço de R\$ 690,00 e R\$ 630,00, respectivamente. Tudo isso totaliza um gasto de R\$ 1642,00 para o fósforo e de R\$ 960,00 para o potássio.

Ao comparar os gastos com adubação, na AC, com os gastos realizados na AP, na área em estudo, é possível verificar uma economia de R\$ 533,00 ou 17 % (figura 20). Isso representa uma redução de R\$ 28,05 ha⁻¹, ou 1,3 sacos ha⁻¹. Considerando que o preço da saca de soja, em outubro de 2006, era de R\$ 23,00, a redução nos gastos representa uma economia de soja de 78 kg ha⁻¹.

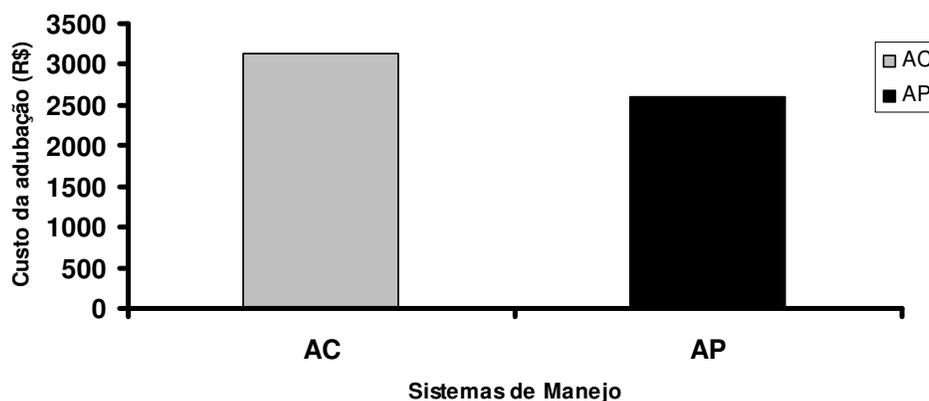


Figura 20: Análise econômica simplificada entre a AC e AP na área do estudo de caso.

Para a determinação do ganho em reais da produtividade, foi adotado o preço base do mês de outubro de 2006, quando a saca de soja custava R\$23,00. Na safra 2005/06 foram colhidos 1016 sacos de soja no talhão (19 ha) e na safra 2006/07 foram 1092 sacos, o que representa uma diferença de 76 sacos e um aumento de R\$ 92,00 ha⁻¹.

Tabela 18: Análise simplificada da AP em pequena propriedade na cultura da soja, Silveira Martins/RS.

ITENS	VALOR
	R\$ ha ⁻¹
RECEITA	120,05
Aumento da produtividade ⁽¹⁾	92,00
Economia de fertilizantes ⁽²⁾	28,05
CUSTOS	48,00
Análise de Solo ⁽³⁾	18,00
Operação de aplicação ⁽⁴⁾	30,00
LUCRO	72,05

⁽¹⁾ Aumento de produtividade de soja na safra 2006/07 em relação à safra 2005/06 = 240 kg/ha⁻¹ x R\$ 0,38 kg⁻¹

⁽²⁾ Taxa Fixa – Taxa Variável (safra 2006/07)

⁽³⁾ Malha amostral de 17 pontos x R\$ 18,00 a amostra⁻¹

⁽⁴⁾ Valor estimado pelos prestadores de serviço da região = R\$ 15,00 / ha⁻¹ para cada produto. Na área foram realizadas duas aplicações (SFT 46% + KCL 60%).

Analisando os resultados de forma simplificada, verifica-se que é viável, economicamente, aplicar as técnicas de manejo localizado na cultura da soja, pois a receita obtida com a economia de fertilizantes, somada ao aumento de produtividade de grãos, resultou em uma receita total de R\$120,05 ha⁻¹, enquanto o custo total (análise de solo + operação de aplicação de fertilizantes) foi de R\$ 48,00 ha⁻¹. Isso proporcionou um lucro de R\$ 72,05 ha⁻¹, o que equivale a aproximadamente 227,4 kg ha⁻¹ de soja.

2.6.7 Eficiência do uso dos fertilizantes a taxa variável

Buscou-se comparar a eficiência do uso de fertilizantes na AP com a maneira convencional de adubação no talhão de 19 ha, utilizado para este estudo de caso. Para uma análise representativa, foram comparadas as entradas e saídas no talhão, na AP, com a estimativa média de entradas e saídas de fertilizantes e grãos de um talhão, na AC.

Na tabela 19, verificou-se que, para cada quilo de fertilizante aplicado na AC, foram colhidos 12,84 quilos de soja. Já na AP, essa relação teve um incremento de 28%, passando para 16,68 kg de soja a cada quilo de fertilizante aplicado.

Outra preocupação é quanto ao retorno financeiro dessa nova tecnologia. Buscou-se, então, a relação entre os recursos investidos e o retorno financeiro na cultura da soja na safra 2006/07. Ainda na Tabela 19, observa-se que na AC, cada R\$ 1,00 investido representou um retorno de R\$ 10,37 e, na AP, esse montante passou a representar R\$ 13,43, um incremento de 29 %.

Esses valores comprovam que a AP pode proporcionar benefícios expressivos, mesmo em pequenas propriedades. Isso poderá contribuir para a sustentabilidade das mesmas, garantindo aos pequenos produtores maior rentabilidade.

Cabe ressaltar que na safra 2006/07 houve melhores condições climáticas, o que pode ter contribuído para a melhor expressão do potencial produtivo da cultura da soja.

Tabela 19: Eficiência do uso de fertilizante na agricultura convencional e agricultura da precisão na área em estudo – 19 ha, Silveira Martins/RS.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	3.930	2.603	65.550	34.944	16,68	13,43
AC	4.750	3.135	60.990	32.512	12,84	10,37
AP-AC %***	- 17	- 17	+ 8	+ 8	+ 28	+ 29

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Obs: Preço da soja na venda (outubro de 2007) = R\$ 32,00

AC => 250 kg de NPK 0-20-20 ao preço de R\$ 530,00/tonelada (outubro de 2006)

AP => KCL 60 % ao preço de R\$ 630,00/ton e SFT 45% ao preço de R\$ 690,00/ton (outubro de 2006)

Análises desse gênero são fundamentais para que uma nova tecnologia possa ser testada e, posteriormente, adotada pelos produtores. Os resultados evidenciam que a AP não é um modismo, mas, sim, uma necessidade de cada produtor que busca maior eficiência na atividade agrícola. As suas ferramentas auxiliam nas tomadas de decisões; no entanto, os resultados nem sempre são imediatos, como ocorreu neste estudo de caso, mas o seu potencial está comprovado. Com isso, acredita-se possível uma adoção cada vez maior da tecnologia entre os produtores, independentemente do tamanho da propriedade.

2.7 CONCLUSÕES

Os teores de fósforo e potássio apresentaram variabilidade espacial nos dois anos amostrados. Porém, a fertilização a taxa variável em zonas foi eficiente em diminuir essa variabilidade, fato que proporcionou uma correção total dos teores de K e uma correção parcial dos teores de P na área e camada de solo analisadas.

A reamostragem do solo, após dois anos da adoção de práticas de manejo baseadas em ferramentas da AP, foi eficiente em detectar a evolução na sua fertilidade.

Obteve-se um incremento médio de 8 % na produtividade da safra 2006/07 em relação à safra 2005/06.

As maiores correlações positivas entre a produtividade da soja e os atributos químicos do solo foram verificadas para a matéria orgânica, fósforo e potássio nos dois anos amostrados. Na safra 2005/06, essas correlações foram de 35, 22 e 13 %, respectivamente. Já na safra 2006/07, as correlações passaram para 28, 27 e 34 %, respectivamente.

A aplicação de fertilizantes por zonas de manejo acarretou uma economia de 17 % na quantidade total dos insumos, representando uma redução de R\$ 28,05 ha⁻¹ ou 1,3 sacos de soja ha⁻¹. Aliando-se a economia de fertilizantes apresentada ao aumento no rendimento entre as safras, teve-se um retorno econômico bruto de R\$ 72,05 ha⁻¹. Isso representa um aumento de 29% na eficiência.

Os resultados mostram a viabilidade técnica e econômica da utilização das técnicas da AP na cultura da soja em pequenas propriedades.

2.8 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Acredita-se que é necessário avançar e inovar mais para implementar, com sucesso, técnicas de AP em pequenas propriedades. Ainda são muitas as dificuldades em gerar mapas de produtividade de forma prática, precisa e com baixo custo.

É preciso desenvolver meios de realizar aplicação de insumos a taxa variável plena, ponto a ponto dentro da área. É aparentemente inviável a aquisição de distribuidores automatizados por um pequeno agricultor. Talvez, seria interessante pensar na aquisição coletiva de máquinas, por grupos de produtores ou por cooperativas. A alternativa seria a terceirização do serviço, quando essa opção é disponível. Em ambos os casos, um detalhado estudo econômico deve embasar as decisões a serem tomadas, resguardando, fundamentalmente, a viabilidade econômica do sistema produtivo.

Por fim, serão necessários novos estudos que contemplem o uso da AP em pequenas propriedades, para que se tenham maiores informações sobre o potencial dessa tecnologia.

2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto em direção à sustentabilidade agrícola. **A Granja**, Porto Alegre, v. 60, n. 672, p. 59-62, dez. 2004.

AMADO, T. J. C. et al. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, p. 39- 47, 2006.

AMADO, T. J. C.; SANTI A. L. Agricultura de Precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep, 2007.

BLACKMORE, B. S. et al. Understanding Variability in Four Fields in the United Kingdom. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minnesota, 1998. **Proceedings...** Minnesota: ASA, CSSA, SSSA, SEAFBS & ASPRS, 1998.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., 1997, Warwick. **Proceedings...** London: BIOS Scientific, 1997. p.851-859.

BLACKMORE, B.S. et al. **The role of precision farming in sustainable agriculture: a European perspective**. Minneapolis/USA, 1994. P.13.
Disponível na Internet. -
<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/pfsusag2/pfsusag2.pdf> em 22 Jul. 2007. Trabalho apresentado na 2nd International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems in Minneapolis/USA.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. **Levantamento de Recursos Naturais**, Rio de Janeiro: DNPV, 1983. 764 p. v.31.

BURNETT, E.; STEWART, B. A.; B LACK, A. L. Regional effect of soil erosion on corn productivity: Gret plains. In FOLLET, R. F.; STEWART, B. A., (eds.) **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 335-356.

CARTER, D. L.; BERG, R. D.; SANDERS, B. J. The effect of furrow irrigation erosion on crop productivity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, U.S.A, v. 49, n 1., p. 207-211, aug. 1985.

COELHO, A. M., Agricultura de Precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, n.3, p.249-290, mar. 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400 p.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005.

COSTA, F. S. et al. Aumento de matéria orgânica num Latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.1, p. 587-589, jan./fev. 2004.

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

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Manual de Métodos de análise de solo** 2ª ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 374 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP). **Histórico do plantio direto no Brasil**. Disponível em <http://www.febrapdp.org.br/port/historico>. Acesso em 31 de outubro de 2007.

FETAG. **Agricultura familiar**. Porto Alegre: 2002. Disponível em: <<http://www.fetagr.com.br>> Acesso em setembro de 2007.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 533- 542, mar. 1999.

FRAISSE, C., FAORO, L. Agricultura de precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator GIS On Line**. Curitiba, v.21, nov, dez, jan, 1998.

GARCIA P. Macrófitos acuáticos en los humedales andaluces. **Revista Medio Ambiente**, Sevilla, v. 2, n. 42, p.23-29, set.2003.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 5**. Manual do usuário. Laboratório de Geomática – Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais – UFSM, 2004. 319 p.

HAN, S. et al. Cell size selection for site specific crop management. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 19-26, Jan./Feb. 1994 .

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de Agricultura de Precisão em pequenas propriedades**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LAMARCHE, H. **A agricultura familiar**: comparação internacional. Unicamp: Campinas.1993. 122 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998. 226 p.

LARNEY, F. J.; JANSEN, H. H. Restoring of productivity to a desurfaced soil with livestock manure, crop residue, and fertilizer amendments. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 1, p. 921-927, ago. 1996.

MAOHUA, W. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 30, n. 1-3, p.45-50, fev. 2001.

MATA, J. D. V. et al. Relação entre produtividade e resistência à penetração em área irrigada por pivô central, sob dois sistemas de preparo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 21, n. 3, p. 519-525, jun. 1999.

MIELNICZUK J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 01-08.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito do material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.17, n. 3, p. 411-416, maio 1993.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2003. 83 p.

_____. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 121-32, mar. 1998.

_____. Agricultura de precisão. Parte I: O que é estado-da-arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, maio/ago. 1997.

_____. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, jan./abr., 2002.

MOURA, D.; TYBUSH, T. M.; TAVARES, M. F. F. A agricultura familiar e a agricultura de precisão. In: COLÓQUIO SOBRE TRANSFORMAÇÕES TERRITORIAIS, 35., Montevideo, 2002. **Anais...** Montevideo, 2002.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROBBINS, C. W.; MACKEL, B. E.; FREEBORN, L. L. Improving exposed subsoil with fertilizers and crop rotation. **Soil Sic. Am.**, Madison, v. 61, n.4, p. 1221-1225, aug. 1997.

SALET, R. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. 1998. 117 f. Tese (Doutorado em...) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade de alumínio na solução de um solo no sistema plantio direto. **R. Ci. Unicruz**, Cruz Alta, v. 1, n.1, p. 9-13, mar./abr. 1999.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of spatially-**variable** control of crop production. **Fertilizer Research**, The Hague, n. 33, p.1-34, 1992.

SHATAR, M. T., MCBRATNEY, A. B. **Empirical modeling of relationships between sorghum Yield and soil properties: precision Agriculture**,: Kluwer Academic Publisers, 1999. p.249-76, v.1.

STAFFORD, J. V. et al. Mapping and interpreting yield variation in cereal crops. **Comput. Electron. Agr.**, v.14, n.1, p. 101 19, marc. 1996.

STRAUCH, J. C. M, **Estudo de viabilidade técnica-econômica para implantação da AP na cultura de soja sob rotação de culturas em plantio direto na região de Campos Gerais – PR. 2002**. disponível em:www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj07/home.html acesso em 23/10/2007.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.126 p.
TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA S. R.; MOLIN J. P. Spatial variability of soil fertility for precision agriculture. In. EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001., Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: Agro Montpellier, 2001, v. 1, n.2, p. 491-496.

WALTERS, D. T.; GOESCH, J. E. Temporal and spatial variation in soil nitrate aquisition by Maize as influenced by nitrate depth distribution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minessota. **Proceedings...** St. Paul: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p.41-54.

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

WEBER, E. A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 108 p.

YANAI, J. et al. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 47, n. 2, p. 291-301, oct., 2001.

2.10 ANEXOS

Anexo A: Diagnóstico da fertilidade da área que serviu de testemunha no estudo de AP em pequena propriedade – Silveira Martins /RS.

Ponto	Arg	pH	SMP	P	K	MO	Ca	Mg	CTC
	%	Água		mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
1	37	5,7	6,1	13,4	147,3	2,8	6,2	2,8	9,6

Anexo B: Produtividade média, produtividade a subamostra coletada nos pontos amostrais para cultura da soja safra 2005/06 e coeficientes de variação correspondentes.

Pontos	Média	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	CV
Kg ha ⁻¹					(%)
1	3000	2950	3105	3075	2870	3,16
2	3120	3008	2970	3285	3217	4,29
3	3360	3470	3300	3270	3400	2,37
4	2880	2765	3004	2810	2941	3,35
5	3240	3410	3150	3340	3060	4,35
6	2640	2932	2740	2540	2348	8,27
7	3420	3210	3385	3642	3443	4,51
8	3060	3170	3282	2970	2818	5,85
9	3720	3840	3635	3540	3865	3,68
10	2700	2670	2945	2760	2425	6,93
11	3960	4105	3874	3900	3963	2,26
12	2400	2530	2470	2382	2218	4,90
13	3480	3475	3344	3772	3329	5,11
14	2280	2370	2242	2197	2311	2,89
15	4020	4115	4086	3942	3937	2,02
16	3480	3295	3372	3584	3669	4,37
17	3900	3945	3874	4015	3766	2,36

* Coeficiente de Variação

Anexo C: Produtividade média, produtividade a subamostra coletada nos pontos amostrais para cultura da soja safra 2006/07 e coeficientes de variação correspondentes.

Pontos	Média	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	CV*
Kg ha ⁻¹					(%)
1	3720	3650	3840	3700	3650	1,87
2	3000	2870	3009	3087	3034	2,60
3	3360	3450	3398	3289	3303	1,74
4	3120	3013	2976	3350	3350	4,68
5	4080	3760	4139	3980	4441	3,62
6	3000	3120	3074	2860	2946	3,27
7	2880	2870	2979	3000	2671	1,97
8	3480	3290	3354	3587	3689	3,34
9	3180	3217	3056	2945	3502	3,46
10	3240	3323	3257	2987	3393	3,99
11	4140	4067	4284	4111	4098	1,96
12	3360	3502	3287	3336	3315	2,37
13	4080	3900	3870	4212	4338	3,46
14	2820	2734	2810	2976	2760	3,10
15	4020	4320	3876	3900	3984	4,38
16	3660	3856	3777	3467	3540	3,97
17	3600	3489	3512	3608	3791	1,48

* Coeficiente de Variação

3 CAPÍTULO II

EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES APLICADOS A TAXA VARIÁVEL EM LAVOURAS COMERCIAIS DO PROJETO AQUARIUS

RESUMO

A AP surge como uma ferramenta de grande potencial, pois pode fornecer informações que possibilitam um gerenciamento racional das propriedades, tornando-as mais eficientes e sustentáveis. Com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade dessa tecnologia em lavouras comerciais, foi criado no Rio Grande do Sul, no ano 2000, o Projeto Aquarius, que é uma parceria entre a UFSM, empresas privadas, cooperativas e produtores rurais. Nesse projeto são monitoradas 16 áreas, num total de 726 ha. Todas as áreas possuem mapeamento da fertilidade do solo, aplicação a taxa variável e confecção de mapas de rendimento. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de fertilizantes com a utilização das ferramentas da AP em seis áreas do Projeto Aquarius na safra 2006/07. Foram selecionadas três áreas cultivadas com a cultura da soja e três cultivadas com a cultura do milho, totalizando 138 e 96ha, respectivamente. Para realizar a análise da eficiência do uso de fertilizantes, foram comparadas as entradas e saídas de fertilizantes e grãos nos talhões com AP, com a estimativa média de entradas e saídas dos talhões com AC que serviram de testemunhas dentro das propriedades correspondentes. Os resultados evidenciam uma redução média de 33,1 e 36,8% no uso dos insumos e um aumento de 10 e 14% no rendimento da soja e milho, respectivamente. A eficiência no uso de fertilizantes, avaliada pela relação kg de grão produzido por kg de fertilizante aplicado nos dois sistemas de manejo estudados, demonstrou um aumento de 47,2 e 55,1% com o uso da AP, quando consideradas as quantidades totais de fertilizantes, passando para 31,3 e 62,8%, quando considerados os recursos financeiros para soja e milho, respectivamente. Esses resultados proporcionaram um retorno de R\$ 143,34 ha⁻¹ para a cultura da soja e R\$ 312,44 ha⁻¹ para a cultura do milho.

Palavras-chave: Mapas de colheita, variabilidade da fertilidade, manejo sítio específico.

EFFICIENCY OF VARIABLE FERTILIZER RATES IN CROPLANDS CONNECTED TO THE AQUARIUS PROJECT

ABSTRACT

The precision agriculture is a farming tool with great potential, because it could provide information that allow a rational management with efficiency and sustainability characteristics. This research aim to evaluate the advantages of precision agriculture applied in Aquarius Project since 2000, this project is a joint venture among UFSM, private companies and farmers. In this project 16 croplands are monitored, totalizing 726 ha. In these croplands there are available soil fertility maps, variable fertilizer rates applications and yield maps. This research aim evaluate the efficiency of fertilizer use with site specific management under precision agriculture in six croplands of Aquarius Project in 2006/07. To this research three soybean croplands and three maize croplands were selected totalizing 138 and 96 ha, respectively. To evaluate the efficiency of fertilizer use the input and output were recorded and compared to conventional agriculture. The results show an increasing of 10 and 14% in soybean and maize, respectively. The efficiency of fertilizer use was increased in 47.2 and 55.1% in precision agriculture when the total amount of fertilizer was considered, while the increased of 31.3 and 62.8% when the cost of fertilization was considered. This way, the economic return was R\$ 143, 34 ha⁻¹ to soybean and R\$ 312.44 ha⁻¹ to maize.

Key words: Yield maps, variable fertilizer rate, site specific management.

3.1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem passado por uma série de transformações, tornando a atividade agrícola cada vez mais competitiva e exigindo do produtor maior nível de especialização, de capacidade de gerenciamento e de profissionalismo. Os produtores, além de administradores, cada vez mais, terão de assumir a função de produtores pesquisadores de suas áreas, atuando diretamente na coleta de informações, interagindo com novas técnicas e tomando decisões mais eficazes de manejo.

A crescente demanda por ferramentas, que garantam a eficiência no gerenciamento da unidade de produção, tem instaurado um novo paradigma no campo, denominado como AP. Essa, por sua vez, reacendeu a necessidade de informações a respeito da variabilidade espacial do potencial produtivo das culturas nas lavouras. Recentemente, tecnologias embarcadas em máquinas e equipamentos, como sensores de rendimento e GPS, têm permitido a obtenção de mapas de produtividade, aplicações de fertilizantes, corretivos a taxa variável e um conhecimento detalhado da lavoura (AMADO; SANTI, 2007).

Para Blackmore et al. (1994), a AP é a expressão que descreve a meta de aumentar a eficiência do manejo da agricultura. É uma tecnologia em desenvolvimento, que modifica técnicas existentes e incorpora novas ferramentas para o administrador utilizar.

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 gerenciamento da atividade agrícola (QUEIROZ et al., 2000). Através de análise detalhada dos campos de produção e do aprimoramento das técnicas de manejo, novos níveis de eficiência qualitativos e quantitativos da produção de culturas podem ser alcançados (BALASTREIRE, 2000).

Segundo Dampney; Moore (1999), a denominação AP refere-se às medições e manejo da variabilidade espacial dentro de culturas e campos individuais.

De acordo com Blackmore; Larscheid (1997), os conceitos da AP estão relacionados à variabilidade da produtividade e dos atributos do solo e das plantas. Segundo esses autores, existem três tipos de variabilidade: espacial, temporal e

preditiva. A variabilidade espacial é observada ao longo do campo e pode ser facilmente constatada em qualquer mapa de produtividade ou fertilidade. A variabilidade temporal é observada quando se comparam mapas de produtividade de vários anos. Já a variabilidade preditiva é a diferença entre a previsão de algum fator e o que realmente aconteceu. Os autores relatam que, para gerenciar cada uma das variabilidades, é necessário entendê-las e, sobretudo, mensurá-las.

A variabilidade do solo é causada por variações no clima, topografia, material de origem, vegetação, processos geológicos e pedológicos complexos e práticas de manejo do solo. Esses fatores influenciam a variabilidade em diferentes escalas (CAHN et al., 1994; CAMBARDELLA et al., 1994; MALLARINO, 1996). Em escala regional, fatores climáticos, sistemas de uso do solo, cobertura vegetativa e características da superfície do solo são os principais fatores que afetam a variação. Em escala de campo, os principais fatores que influenciam a variabilidade são o tipo de solo, a topografia, a cultura anterior e as práticas de manejo do solo. Em menor escala, a orientação da linha da cultura, o método de aplicação de nutrientes, o cultivo e a compactação podem predominar como as causas de variabilidade.

Agricultores, pesquisadores e técnicos ligados à agricultura têm por longo tempo reconhecido que as produções das culturas não são uniformes no campo. Alguns locais apresentam baixas ou altas produtividades em comparação com a média da área. Essas variações reduzem a eficiência das práticas uniformes de manejo e o potencial produtivo da área (COELHO, 2003).

Por ser evidente que não se pode planejar e manejar o que não se conhece, mensurar a variabilidade é a primeira etapa na AP. Entre as diversas maneiras de conduzir a investigação da variabilidade, destacam-se a amostragem de solo em malha (grid), os mapeamentos de plantas daninhas, de condutividade elétrica do solo, de compactação, o acompanhamento do desenvolvimento da cultura por sensoriamento remoto e, de forma mais difundida, o mapeamento da produtividade por ocasião da colheita (RODRIGUES, 2002).

Após identificar a variação de atributos, considerando-se inclusive a variação temporal, o passo mais importante seria encontrar as relações de causa e efeito entre os atributos do solo e os dados de produtividade. Após apontar as causas e efeitos que determinam a variabilidade na produtividade das culturas, faz-se necessário intervir de maneira localizada, a fim de eliminar ou amenizar tais limitantes (DELLAMEA et al., 2007).

Um das práticas de AP mais difundida em meio aos produtores é o uso das aplicações a taxa variável de fertilizantes, objetivando aplicar, no local correto (espaço) e no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola (DODERMANN ; PING, 2004).

A aplicação de fertilizantes em taxa variável, baseada na variabilidade do solo dentro de um campo, tem um potencial para reduzir sub e super fertilizações, e assim melhorar a eficiência de uso de fertilizantes, o rendimento das culturas e o lucro líquido da propriedade (FIEZ et al., 1994).

Apesar do grande potencial dessa tecnologia no meio agrícola, não se encontram no Brasil muitas pesquisas e publicações que demonstrem seus reais benefícios. Portanto, o objetivo deste estudo foi apresentar resultados técnicos e econômicos da adoção de aplicações em taxa variável em lavouras comerciais no Rio Grande do Sul (RS), cultivadas com cereais em sequeiro.

3.2 HIPÓTESE

O uso das ferramentas da AP aumenta a eficiência do uso de fertilizantes nas culturas da soja e milho, cultivadas em sequeiro, em áreas comerciais do RS.

3.3 OBJETIVOS

- Avaliar a variabilidade existente na fertilidade do solo e no rendimento das culturas nas áreas estudadas;
- Determinar a economia no uso de fertilizantes proporcionada pela aplicação a taxa variável em relação ao utilizado convencionalmente pelos agricultores;
- Estimar o incremento da produtividade com o uso de aplicações a taxa variável de fertilizantes;
- Determinar a relação kg de cereais colhidos / kg de fertilizantes aplicados.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas utilizadas para o estudo pertencem a produtores associados da COTRIJAL (Cooperativa Mista Alto do Jacuí Ltda) e participantes do Projeto Aquarius de AP, desenvolvido na região produtora do Alto Jacuí, RS. Nesse projeto são desenvolvidas várias atividades que envolvem o ciclo da AP, tais como: caracterização da variabilidade dos atributos do solo, mapeamento do rendimento das culturas, aplicação a taxa variável, desenvolvimento e validação de novos produtos tecnológicos e acompanhamento agrônomo, com o objetivo de gerar conhecimento e demonstrar as potencialidades da nova tecnologia no campo.

3.4.1 O Projeto Aquarius

O Projeto Aquarius teve início no ano 2000, em duas áreas da Fazenda Anna, no município de Não-Me-Toque – RS: a área Schmidt, com 124 ha e a área da Lagoa, com 132 ha, (figura 1), perfazendo um total de 256 ha.

Conforme a Embrapa (1999), essa região situa-se na zona da escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro, e o solo da maioria das áreas é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico, com elevados teores de argila. O sistema de manejo empregado é o de plantio direto, com cultivo de cereais como soja e milho no verão, e trigo, cevada e culturas de cobertura no inverno.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa – subtropical. A temperatura média anual é de 18,7°C, máxima 39°C e mínima -5°C. A precipitação pluviométrica alcança 1618 mm ano⁻¹ (BRASIL, 1983).

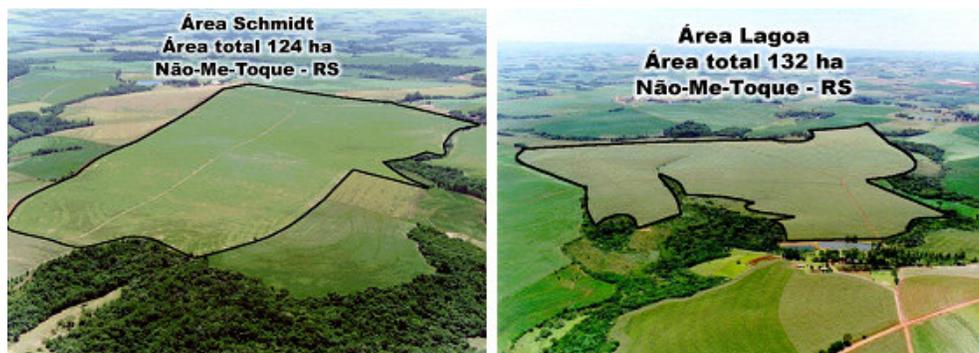


Figura 1. Vista aérea das áreas iniciais do Projeto Aquarius.

O projeto é uma parceria entre tradicionais empresas privadas do ramo agrícola (Stara, Massey Ferguson, YARA e Cotrijal), produtores agrícolas (Fazenda Anna e associados à cooperativa) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que está possibilitando o desenvolvimento, na região do Alto Jacuí, de um projeto pioneiro no sul do Brasil, visando desenvolver o ciclo completo da AP (figura 2). Segundo Amado et al. (2006), o ciclo completo baseia-se na amostragem intensiva e georreferenciada do solo, geração de mapas com a distribuição espacial dos atributos químicos analisados, interpretação e prescrição localizada de insumos, aplicação a taxa variável de insumos, geração de mapas de rastreabilidade, acompanhamento da lavoura durante o ciclo das culturas, geração de mapas de produtividade, investigação das relações de causa e efeito, análise econômica e replanejamento das atividades de manejo, visando à otimização dos recursos.

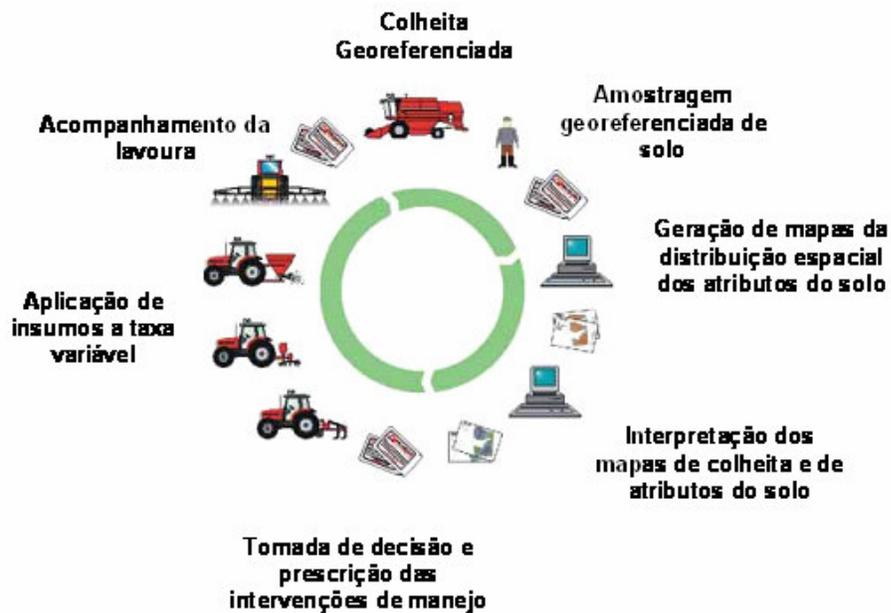


Figura 2: Ciclo da AP. Adaptado de AGCO.

Em outubro de 2005, a COTRIJAI, com sede em Não-Me-Toque, juntou-se ao projeto, disponibilizando doze áreas de produtores associados, distribuídos em vários municípios do planalto rio-grandense (tabela 1). Com isso, o projeto Aquarius praticamente triplicou a sua área de atuação, e passou a contar com 729 ha na principal região produtora de grãos do RS (figura 3).

Tabela 1: Relação dos municípios e produtores participantes do projeto com o respectivo tamanho das áreas.

Município	Produtor	Área (ha)
Não-Me-Toque	Fazenda Anna	256
Não-Me-Toque	Nei César Mânica	38,6
Saldanha Marinho	Sérgio Limberger	45,2
Vista Alegre	Juliano Michelini	21,9
Colorado	Inês Maria M. Vian	52,5
Lagoa Três Cantos	Gilberto Maldaner	26,8
Victor Graeff	Valdir Koeche	50,6
Tio Hugo	Luiz e Paulo Marquetti	28,0
Passo Fundo	Arcival Vieira Mello	30,6
Alm. Tamandaré	Luciano de Mattos	28,7
Carazinho	Mario Elly	64,8
Santo Antônio	Jairo M. Kohlrausch	49,2
Nicolau Vergueiro	João P. Tagliari	34,8
Total		728

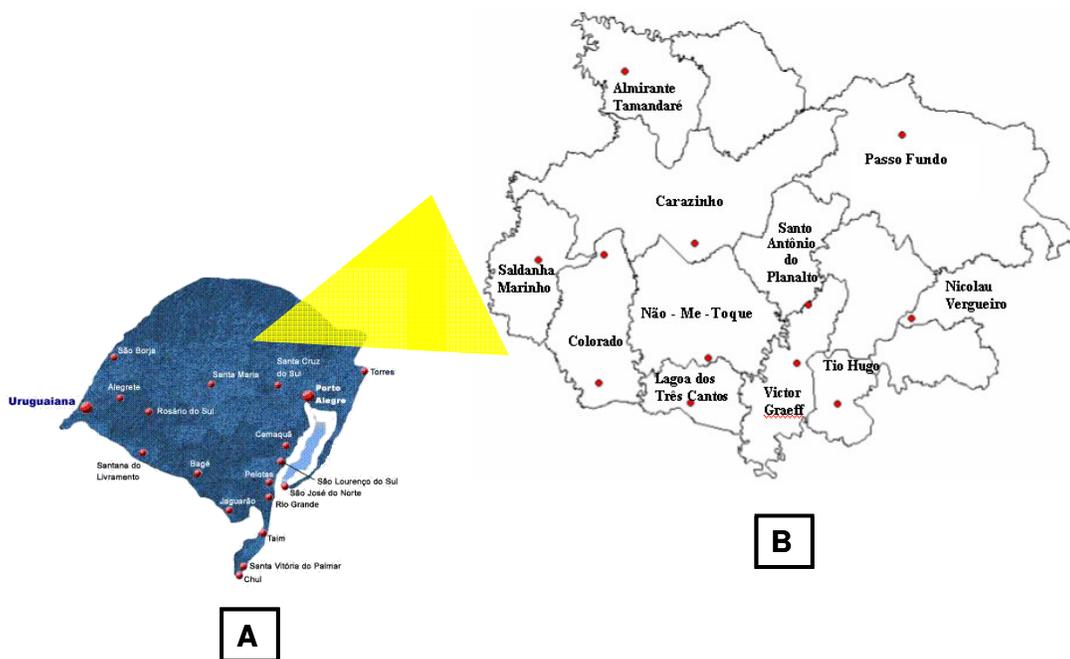


Figura 3: (A) Mapa do estado do Rio Grande do Sul, (B) mapa dos principais municípios de abrangência do Projeto Aquarius, após a adesão da Cotrijal.

Além das áreas supracitadas, a cooperativa disponibilizou todo o seu corpo técnico, composto por 33 profissionais. Tal fato foi relevante, pois no projeto utilizou-se uma metodologia participativa, na qual as principais intervenções de manejo foram definidas em reuniões de planejamento, envolvendo os agentes do projeto (empresas, universidade, corpo técnico da cooperativa e agricultores).

3.4.2 Áreas experimentais utilizadas para a análise de eficiência do uso de fertilizantes

Para este estudo foram selecionadas as áreas com os melhores resultados com o uso da AP, em comparação ao manejo tradicionalmente praticado pelos produtores. Visou-se detalhar as razões que proporcionaram tais resultados. Assim, foram selecionados 234 ha, divididos em seis áreas, três delas com a cultura da soja e três com a cultura do milho, perfazendo 138 e 96 ha, respectivamente. Todas as áreas foram cultivadas em sequeiro e distribuídas num raio de 70 km em diversos municípios na área de abrangência do projeto.

Segundo Streck et al. (2002), o solo, onde as áreas estão localizadas, são pertencentes à unidade de mapeamento Passo Fundo, sendo classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico, bem drenado, profundo e com altos teores de argila. O relevo é considerado suavemente ondulado.

3.4.2.1 Áreas com a cultura da soja na safra 2006/07:

- Área pertencente ao Sr. Mario Elly

A área selecionada para este estudo encontra-se no município de Carazinho, RS. Foram analisados 64,8 hectares de lavoura comercial, tendo como coordenadas UTM médias 319834,95 (E) e 6862693,97 (N), numa altitude aproximada de 530

metros, usando datum WGS 84. A precipitação normal para a área é de 832 mm e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 750 mm.

- Área pertencente ao Sr. Nei César Mânica

Foram selecionados 38,6 ha dessa propriedade localizada no município de Não-Me-Toque, RS. A área está situada nas coordenadas UTM médias de 321967,61 (E) e 6844236,20 (N), numa altitude média de 487 metros, usando datum WGS 84. A precipitação normal para a área é de 830 mm durante a safra de verão (outubro a março) e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 868 mm.

- Área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch

A área está localizada no município de Santo Antônio do Planalto, na localidade Barro Preto. Foram selecionados 34,6 ha de lavoura comercial, localizados nas coordenadas UTM 338568,98 (E) e 6894477,10 (N), numa altitude média de 585 metros, usando datum WGS 84. A precipitação normal para a área é de 859 mm durante a safra de verão (outubro a março) e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 955 mm.

3.4.2.2 Áreas com a cultura do milho na safra 2006/07:

- Área pertencente ao Sr. Juliano Michelini

Área com 21,9 ha de lavoura comercial situada na localidade de Vista Alegre, RS, com coordenadas UTM médias 305668,22 (E) 6860520,20 (N), numa altitude média de 512 metros, usando datum WGS 84. A precipitação normal para a área é de 876 mm durante a safra de verão (outubro a março) e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 1080 mm.

- Área pertencente ao Sr. Sergio Limberger

Para este estudo foram selecionados 45,2 ha de lavoura comercial localizados no município de Saldanha Marinho, RS. Suas coordenadas UTM médias são 296155,66(E) e 6859606,53 (N), numa altitude média de 498 metros, usando datum WGS84. A precipitação normal para a área é de 827 mm durante a safra de verão (outubro a março) e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 978 mm.

- Área pertencente ao Sr. Luciano de Mattos

Área com 28,7 há, localizada no município de Almirante Tamandaré do Sul, RS. Possui as coordenadas UTM médias de 309564,09 (E) e 6888930,34 (N) e está numa altitude média de 576 metros, usando datum WGS84. A precipitação normal para a área é de 855 mm durante a safra de verão (outubro a março) e a precipitação ocorrida na safra 2006/07 foi de 1160 mm.

A escolha desses locais deu-se pelo nível tecnológico adotado pelos produtores e pelo histórico de manejo empregado ao longo dos anos agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2: Históricos de manejos empregados nas áreas em estudo.

Anos Agrícolas			
Área Mario Elly - Carazinho –RS (64,8 ha)			
	2004/05	2005/06	2006/07
Inverno	Azevém	Cevada	Aveia Preta
Verão	Milho	Soja	Soja
Área Nei Mânica – Não Me-Toque –RS (38,6 ha)			
Inverno	Aveia Preta	Aveia+Ervilhaca	Cevada
Verão	Soja	Soja	Soja
Área Jairo Kohlrausch – Sto Antônio do Planalto (34,6 ha)			
Inverno	Aveia Preta	Aveia Preta	Cevada
Verão	Milho	Soja	Soja
Área Juliano Michelini – Vista Alegre –RS (21,9 ha)			
Inverno	Aveia Preta	Aveia Preta	Nabo Forrag.
Verão	Soja	Soja	Milho

Anos Agrícolas			
Área Sergio Limberger –Saldanha Marinho –RS (45,2 ha)			
Inverno	Trigo	Aveia Preta	Aveia+Nabo Forrag.
Verão	Soja	Soja	Milho
Área Luciano de Mattos – Almirante Tamandaré –RS (28,7 ha)			
Inverno	Trigo	Aveia Branca	Aveia Preta
Verão	Soja	Soja	Milho

Cabe ressaltar que o acompanhamento técnico dos engenheiros agrônomos da Cotrijal foi fundamental para a recuperação dos históricos de rotações de culturas e adubações empregadas em cada um dos talhões.

Destaca-se, também, que em algumas áreas foram realizadas aplicações de corretivos de acidez e adubos orgânicos em anos anteriores ao projeto.

A área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch recebeu 2,5 toneladas ha^{-1} de calcário no mês de maio de 2003. Já a área pertencente ao produtor Luciano de Mattos recebeu 3,0 toneladas ha^{-1} no inverno de 2004. As demais áreas não apresentaram adição de corretivos nos últimos 5 anos.

As áreas que receberam adubações orgânicas foram as pertencentes aos produtores Nei Mânica e Mario Elly, onde foram aplicadas, no inverno de 2002 e 2003, 3,0 toneladas $ha^{-1} ano^{-1}$ de esterco de galinha curtido.

A adubação convencional realizada pelos produtores do projeto é de 300 kg ha^{-1} da fórmula NPK 0-20-20 para a cultura da soja e de 350 kg ha^{-1} da fórmula NPK 9-23-28 para a cultura do milho. Nas duas culturas, a adubação é realizada tradicionalmente na linha de plantio. Os fertilizantes formulados, corretivos e adubos orgânicos são disponibilizados pela Cotrijal.

3.4.3 Coleta das amostras de solo e determinações dos atributos

As amostras de solo, tidas como base para as adubações a taxa variável para a safra 2006/07, foram coletadas no segundo semestre de 2005, exceto para as áreas do Sr. Nei Mânica e Jairo Kohlrausch, coletadas no segundo semestre de

2006. As coletas foram realizadas nos meses de agosto, setembro e outubro dos referidos anos agrícolas.

As áreas experimentais foram conduzidas com manejo localizado (georreferenciamento), e o mapeamento das áreas foi realizado através de um GPS Garmin^R de navegação, com o qual se demarcaram os vértices das áreas, para posterior geração dos mapas de contorno e da malha de amostragem de solo. A grade de amostragem utilizada foi de 100 x 100 m, (figura 4). Com isso foram definidos 61 pontos amostrais para a área localizada em Carazinho, 38 pontos amostrais na área de Não-Me-Toque, 35 pontos na área de Santo Antônio do Planalto, 20 pontos amostrais na área de Vista Alegre, 45 pontos amostrais na área de Saldanha Marinho e 27 pontos amostrais na área pertencente localizada em Almirante Tamandaré do Sul.

As malhas de amostragens foram geradas através do software “Sistema Agropecuário CR – Campeiro 5”, desenvolvido pelo Setor de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da UFSM (GIOTTO et al., 2004).

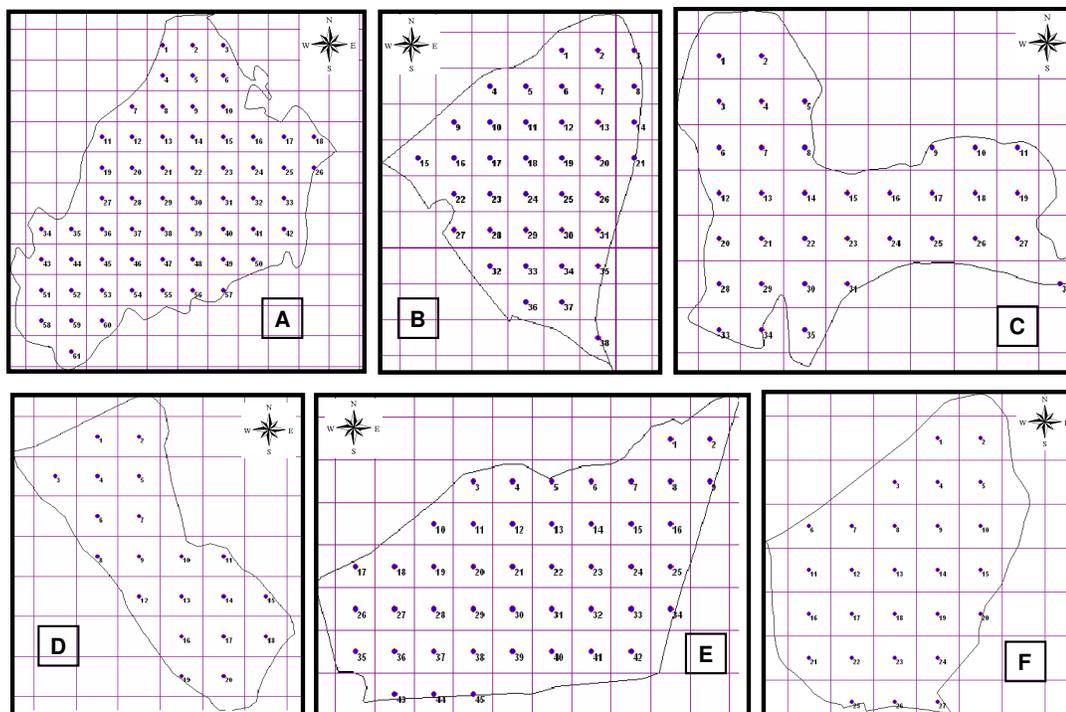


Figura 4: Grade de amostragem de 100x100 metros nas áreas situadas nos municípios (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque, (C) Sto Antonio do Planalto, (D) Vista Alegre, (E) Saldanha Marinho e (F) Almirante Tamandaré do Sul.

A metodologia de amostragem seguiu as determinações descritas pela Comissão... (2004). Dessa forma, foram coletadas subamostras num raio de 3 metros ao redor do ponto georreferenciado no centro da grade amostral, representando aproximadamente 28 m². Em cada ponto georreferenciado foram coletadas dez subamostras para compor uma amostra composta com o auxílio de um trado calador na profundidade 0 - 0,1 metros (figura 5).

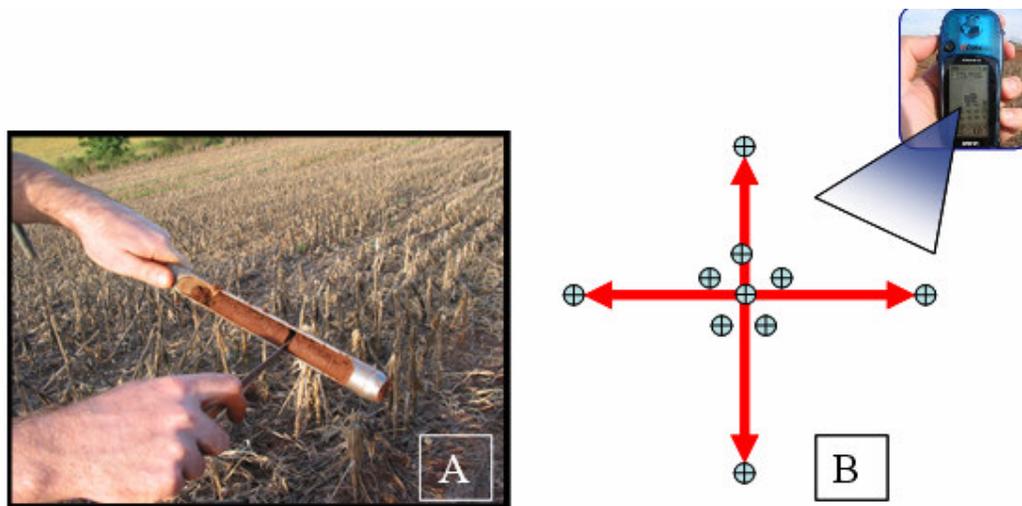


Figura 5: (A) Trado utilizado para a amostragem de solo georreferenciada nas áreas selecionadas para este estudo, (B) GPS utilizado para a localização das amostras dentro de cada talhão.

As amostras de solo foram enviadas ao Laboratório do setor de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFSM.

As amostras de solo coletadas foram secas em estufa a 65°C, moídas e tamizadas em malha de 2,0 mm. As determinações foram realizadas segundo metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e Embrapa (1997). Os atributos analisados foram: o teor de argila determinada pelo método da pipeta; pH em água determinado por meio de potenciometria; fósforo (P) e potássio (K) disponíveis (Mehlich⁻¹) determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente; cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e alumínio (Al⁺³), extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. O Ca⁺², e o Mg⁺² foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica e o Al⁺³, por meio de titulação com NaOH 0,0125 N. Foram

realizadas três repetições de laboratório para cada amostra, a fim de obter-se uma maior confiabilidade nos resultados analíticos.

3.4.4 Tratamento dos dados e geração de mapas

Os resultados das análises de atributos do solo e da produtividade da cultura da soja foram utilizados para elaboração de modelos digitais através dos softwares SGIS (AGCO) e “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 5” (figura 6). O método geostatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, com raio máximo de pesquisa de 150 metros.

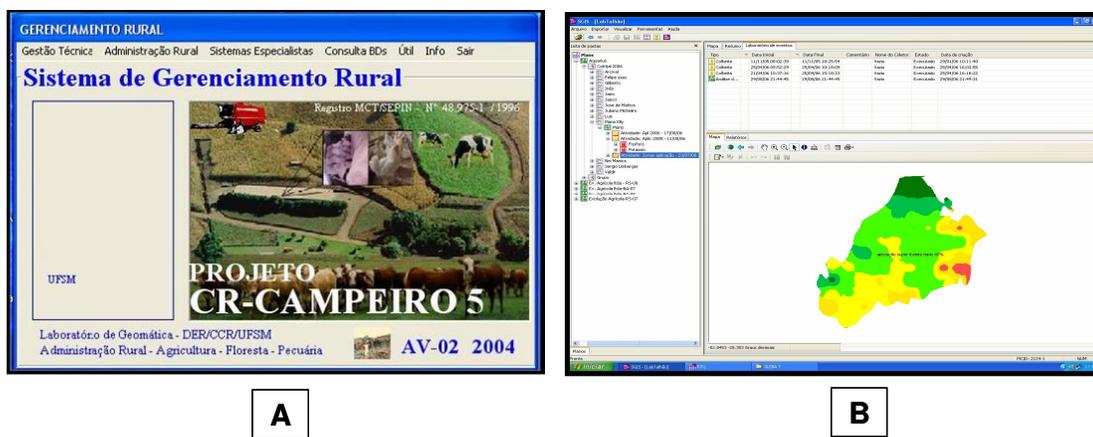


Figura 6: (A) Janela de abertura do software de gerenciamento de produção rural CR-Campeiro 5, (B) visualização dos mapas no software SGIS (AGCO).

O resultado foi um mapa representando a variabilidade dos atributos químicos do solo nas áreas estudadas. Esses dados fundamentaram a confecção dos mapas de aplicação a taxa variável de Super Fosfato Triplo (SFT 45%) e cloreto de potássio (KCL 60%) nas áreas manejadas com AP.

A determinação das diferentes doses de aplicação seguiu critérios determinados pela comissão científica do projeto, composta por técnicos das empresas envolvidas e pesquisadores da UFSM. As taxas foram definidas com o objetivo de suprir as necessidades das plantas, de repor as quantidades exportadas

e, ainda, de corrigir as subáreas com deficiência de determinados nutrientes. As quantidades totais em cada área não ultrapassaram as quantidades utilizadas historicamente nas mesmas.

Nas áreas em estudo, não foram necessárias aplicações de calcário, pois apresentavam pH acima de 5,5 e ausência de alumínio tóxico.

3.4.5 Forma de aplicação dos insumos

3.4.5.1 Aplicação de insumos a taxa fixa

Cada propriedade pertencente ao projeto disponibilizou uma área para a realização dos estudos com aplicações a taxa variável. O restante das áreas das propriedades continuou sendo manejado de maneira tradicional.

Para que houvesse comparação entre os talhões manejados com AP e os manejados com AC, computou-se, primeiramente, a quantidade de fertilizantes em cada sistema de manejo. Para os totais de fertilizantes na AC foram utilizadas as quantidades necessárias para um talhão com as mesmas dimensões do talhão com AP dentro das respectivas propriedades.

Nas aplicações em taxa fixa, realizadas na linha de plantio, foram aplicados fertilizantes formulados contendo NPK. Para a cultura da soja, foram utilizados 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-20-20 (60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O). Já para a cultura do milho, foram utilizados 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 9-23-28 (80,5 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 98 kg ha⁻¹ de K₂O).

A aplicação dos fertilizantes a taxa fixa foi realizada com auxílio de semeadoras-adubadoras pertencentes aos produtores ligados ao projeto. As regulagens foram efetuadas pelos próprios produtores, com o auxílio dos técnicos da Cotrijal.

3.4.5.2 Aplicação de insumos em taxas variáveis

Nas áreas deste estudo foram realizadas aplicações em doses variáveis de fósforo e potássio, optando-se pela aplicação de SFT 45% como fonte de fósforo e de KCL 60% como fonte potássica, sendo que ambas as aplicações ocorreram anteriormente à semeadura das culturas.

As aplicações em taxas variáveis foram realizadas com o distribuidor centrífugo rebocado Hércules 10000, disponibilizado pela Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas, parceira no projeto. O controle da variação das doses foi feito pelo Sistema Falcon 3500 e orientado por um GPS marca Outback, modelo S2. (figura 7).

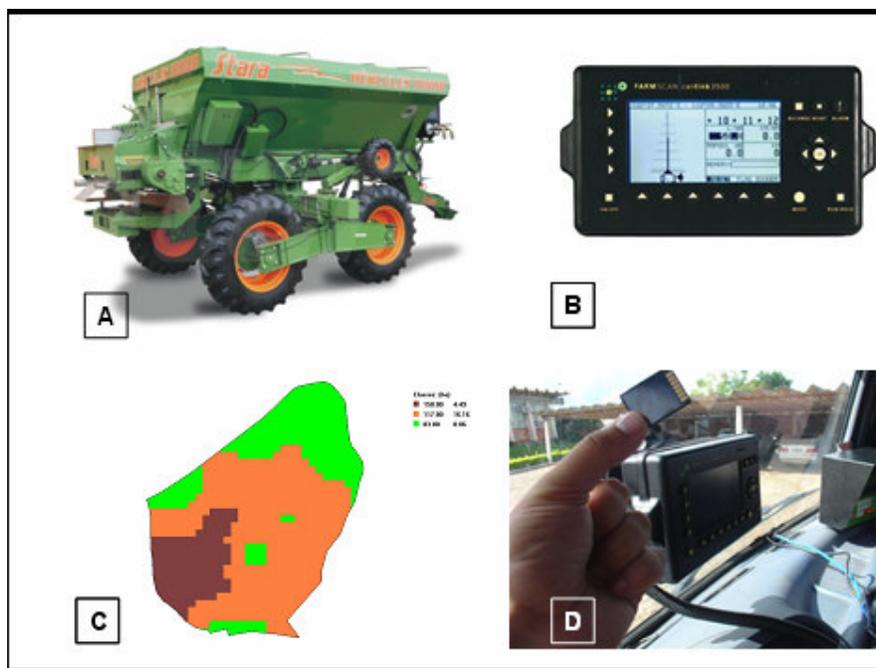


Figura 7: (A) Equipamento Hércules Stara equipado com o sistema taxa variável, (B) detalhe do controlador Falcon 3500, (C) mapa de aplicação em taxa variável de potássio no município de Almirante Tamandaré do Sul (RS), (D) cartão de memória onde os mapas de aplicação foram gravados.

A calibração do distribuidor Hércules 10000, com kit de aplicação em taxa variável, obedeceu à operacionalidade de cada área, baseada na topografia do terreno e no melhor direcionamento das aplicações.

Primeiramente, ajustou-se a abertura da comporta em função de valores tabelados na régua de cálculo, para após iniciar o procedimento de regulagem. Logo se definiu a faixa de aplicação dos produtos. Em todas as áreas do projeto foi utilizada a faixa de aplicação de 24 metros para ambos os produtos e, para isso, foi utilizado um conjunto de discos radiais modelo 18-24. Foi realizada, também, a calibração de cada produto, ou seja, um procedimento necessário para que o controlador fique calibrado de acordo com a densidade de cada produto a ser aplicado. O controlador faz o gerenciamento da aplicação, após estar calibrado, de maneira a ter definidos quantos pulsos elétricos são necessários que o sensor informe, para aplicar cada quilograma de produto. Para essa regulagem, é necessário utilizar baldes coletores e, através de um “menu” específico para tal calibração, define-se um número de pulsos para a esteira rodar e coleta-se o produto para ser pesado. O peso do produto é digitado no controlador que, por sua vez, realiza um cálculo, dividindo o número de pulsos pelo número de kilogramas de produto coletado. O resultado desse cálculo é o chamado fator de calibração em Pulsos/Kg.

A seguir foram realizados testes de bandejas para averiguar o perfil de distribuição transversal de cada produto, no intuito de conseguir a melhor qualidade da aplicação, ou seja, uniformidade para cada dose a ser aplicada. Para a verificação da vazão de produtos foi relacionada a quantidade de produto desejada (kg ha^{-1}) com a quantidade coletada nas bandejas, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Pb(Kg) = \frac{Vx2}{10000}$$

Onde:

Pb: valor de peso a ser coletado (kg)

V: taxa de aplicação (kg ha^{-1})

2: área das 8 bandejas (m^2)

10.000: equivalente a 1 ha em m^2 .

As bandejas foram dispostas em conjuntos de 4, em linha, sendo: uma dessas linhas no eixo longitudinal do percurso do conjunto mecanizado, para que a

aplicação do produto ficasse no centro dessa linha; uma linha de bandejas distanciada na faixa lateral de aplicação, ou seja, se o produto atingisse 24m, a segunda linha de bandejas seria distanciada em 12m da primeira (medido com trena). Mediu-se uma terceira linha, distanciada de 12m da segunda linha, e colocou-se uma marca, para que a máquina passasse por ela e a segunda linha de bandejas coletasse o transpasse das outras duas linhas. Após esse procedimento, coletou-se o volume de produto depositado nas bandejas, que foi colocado em copo coletor para averiguar a quantidade do produto no centro da faixa de aplicação e no transpasse das faixas. Além disso, esse volume foi pesado para uma maior precisão na regulagem (figura 8).

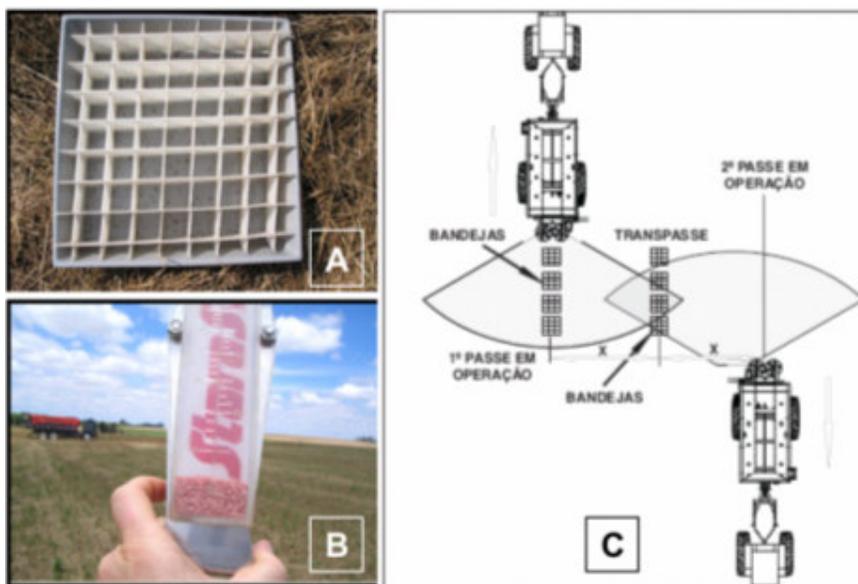


Figura 8. (A) Bandejas alveoladas utilizadas para o teste do perfil de distribuição transversal, (B) copo coletor para averiguação da uniformidade do perfil de distribuição, (C) metodologia utilizada para a realização do teste da uniformidade do perfil de distribuição transversal.

Para esse teste foram utilizadas 8 bandejas com grades internas, copo coletor, balança e trena. As bandejas são alveoladas para que se pudesse verificar a uniformidade de distribuição e também para evitar perdas de produtos por ricocheteamento.

Para adequar a calibragem das quantidades aplicadas no passe e transpasse, foram reguladas as palhetas dos discos distribuidores, sendo que as mais curtas distribuíam o produto predominantemente na faixa central (interna) do perfil de distribuição, enquanto que as palhetas mais longas o faziam nas partes mais externas desse perfil.

Notou-se que um componente indispensável para tornar a aplicação em taxas variáveis eficiente é a granulometria do fertilizante. Produtos armazenados com umidade e “empedrados” prejudicam a qualidade da aplicação, bem como as operações de reabastecimento.

3.4.6 Obtenção dos dados de produtividade

Nos talhões com AP, os dados de produtividade foram coletados através do auxílio de uma colhedora Massey Ferguson 34, equipada com o Sistema Fieldstar de AP. Esse equipamento congrega um conjunto de ferramentas, como sensores de rendimento Micro Track, cartão de dados PCMCIA para o armazenamento dos dados e uma antena receptora de sinal com Sistema de Posicionamento Global – GPS (figura 9).



Figura 9: (A) Colheita de milho nas áreas do projeto, (B) detalhe da cabine da MF 34 equipada com o computador de bordo, (C) colhedora realizando a colheita de soja nas áreas do projeto, (D) detalhe do sensor de rendimento Micro Track, (E) monitor Datavision de AP.

A tecnologia embarcada nessas máquinas permite que o usuário registre e armazene, em um determinado intervalo de tempo, a posição (latitude, longitude e altitude) da máquina no campo e a quantidade relativa de produção por unidade de área.

A colhedora utilizada nos trabalhos não estava equipada com sensor de umidade do grão. A forma de correção da umidade encontrada foi considerar cada carga de caminhão transportada até a cooperativa como um novo trabalho. Assim, cada carga de caminhão representava em média três tanques graneleiros da colhedora. Ao serem descarregadas no depósito da cooperativa, as cargas eram submetidas à pesagem com análise de sua umidade e descontos de impureza de modo que, ao final da jornada de trabalho, era possível corrigir as distorções relativas a esses itens. Com isso, foi possível obter os mapas de produtividade com grau de confiabilidade, porque havia uma conferência entre o peso do produto registrado na cooperativa e o estimado pelo Sistema Fieldstar, segundo procedimento proposto por Amado et al. (2006).

Após a colheita, os dados de produtividade armazenados foram transferidos para um microcomputador, auxiliado por uma leitora de cartão de dados modelo Fieldstar/Adtron/OmniDrive e pelo programa SGIS.

Os dados foram tabulados utilizando-se os programas Microsoft Office Excel 2003®, CR - Campeiro 5, desenvolvido pelo setor de Geomática da UFSM e SGIS, disponibilizado pela Massey Ferguson. Procurou-se eliminar, através de filtragens, os valores de produtividade discrepantes como os erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e a presença de valores de produtividade improvável que estavam muito alto ou muito baixo (discrepantes) e que não estavam condizentes com o potencial produtivo da cultura em questão. Os valores eliminados seguiram as proposições de Moore (1998) e Menegatti (2002).

Após a realização das filtragens, foram obtidas as produtividades mínimas, máximas e médias de cada talhão, que foram utilizadas para o cálculo da eficiência do uso de fertilizantes.

Os dados de produtividade média dos talhões com AC, dentro de cada propriedade pertencente a este estudo, foram registrados em áreas vizinhas às áreas com AP. A dimensão das áreas testemunhas foram em média 20% do tamanho das áreas manejadas com AP.

Os dados de produtividade média dos talhões com AC, dentro de cada propriedade pertencente a este estudo, foram registrados em áreas vizinhas às áreas com AP. A dimensão das áreas testemunhas foram em média 20% do tamanho das áreas manejadas com AP. Detalhes das condições de fertilidade das áreas com AC são apresentados no Anexo A.

Cabe ressaltar que todas as operações de colheita foram acompanhadas por algum estudante da UFSM, com o intuito de registrar todos os eventos envolvendo uma colheita georreferenciada.

3.4.7 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos foram obtidos através de pluviômetros instalados próximos de cada área de estudo e das informações coletadas pelo departamento

técnico da Cotrijal. Também foram utilizados dados normais de precipitações, segundo a estação meteorológica da Embrapa Trigo de Passo Fundo - RS.

Os dados foram tabulados com o auxílio do programa Microsoft Office Excel 2003®.

3.4.8 Análise da eficiência do uso de fertilizantes

Foram comparadas as entradas e saídas no talhão, na AP, com a estimativa média de entradas e saídas de fertilizantes e grãos de um talhão, na agricultura convencional, levando-se em consideração a mesma dimensão de área dentro das propriedades correspondentes.

Desta forma, foram obtidas as quantidades de grãos produzidos e as quantidades de fertilizantes utilizadas para cada talhão com AP. Esses parâmetros também foram obtidos e analisados nas áreas com AC nas respectivas propriedades.

Nos talhões com AP, as quantidades de grãos foram conseguidas através dos mapas de rendimentos filtrados. Já as quantidades de fertilizantes foram obtidas através dos mapas de rastreabilidade das aplicações a taxa variável.

Os dados de rendimento das respectivas propriedades com AC foram disponibilizados pelo departamento técnico da Cotrijal, que monitoram os depósitos de produtos de cada associado nas respectivas filiais da cooperativa, nos diferentes municípios na área de abrangência do projeto. Nenhuma das propriedades possuía colhedora equipada para a colheita georreferenciada.

Nas áreas com adubação convencional, as quantidades de insumos foram obtidas através da multiplicação da dose fixa aplicada na linha de plantio com o número correspondente de hectares.

Os valores, em reais (R\$), dos cereais e fertilizantes utilizados no cálculo foram obtidos junto ao departamento de vendas da Cotrijal. Adotaram-se, como referência, os valores pagos por saca de soja e milho no mês de outubro de 2007 e para os fertilizantes, a referência foram os valores de tabela em julho de 2006.

Dessa forma, o preço de comercialização da soja e do milho, nesse período, era R\$ 28,00 e R\$ 16,00, respectivamente. Já para os fertilizantes, utilizaram-se os

seguintes preços: Super Fosfato Triplo (45%) – R\$ 750,00/tonelada; Cloreto de Potássio (60%) –R\$ 580,00/tonelada; fórmula 0-20-20 – R\$ 550,00/tonelada e a fórmula 9-23-28 – R\$ 717,00/tonelada.

3.4.9 Determinação de zonas de potencial produtivo na cultura da soja e milho

As zonas de potencial produtivo na cultura da soja e milho foram determinadas segundo a metodologia proposta por Molin (2002), a qual estabelece um conjunto de limites e condições que caracterizam diferentes unidades de manejo, em função da variabilidade espacial e temporal da produtividade de cada quadrícula (ponto), conforme descrito abaixo:

- Produtividade alta e consistente: produtividade do ponto acima de 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%;
- Produtividade média e consistente: produtividade do ponto entre 95% e 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%;
- Produtividade baixa e consistente: produtividade do ponto abaixo de 95% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Caracterização da variabilidade dos atributos do solo utilizados para as aplicações a taxa variável

Embora as áreas estudadas sejam relativamente pequenas, variando de 21,9 a 64,8 ha, foi observada elevada variabilidade nos teores de fósforo e potássio, apresentando grandes amplitudes entre os máximos e mínimos teores dos nutrientes dentro de cada área (tabela 3).

Nas seis áreas analisadas, o maior valor encontrado para o fósforo foi 70,19 mg dm⁻³, enquanto que o menor valor foi 4,23 mg dm⁻³. Já para o potássio, o maior

valor foi de 400,34 mg dm⁻³, na propriedade localizada em Carazinho e o menor, 60,73 mg dm⁻³ no município de Saldanha Marinho, chegando a 670% de variabilidade. Essa tendência se repetiu nas demais propriedades e atributos investigados.

Tabela 3: Estatística descritiva dos parâmetros químicos que balizaram as aplicações a taxa variável nas áreas cultivadas com soja e milho na safra 2006/07.

Carazinho -RS					
	Parâmetros de solo			Estatística	
	Máxima	Média	Mínima	DP*	CV**
	------(mg dm ⁻³) -----				%
Fósforo	70,12	16,70	4,23	15,62	75,02
Potássio	400,34	226,62	104,91	77,27	34,09
Não – Me - Toque -RS					
Fósforo	70,19	34,38	24,60	10,54	24,86
Potássio	424,58	227,82	176,27	40,24	28,86
Santo Antônio do Planalto -RS					
Fósforo	60,50	24,17	13,72	8,39	47,89
Potássio	348,82	214,86	164,55	71,25	33,16
Vista Alegre -RS					
Fósforo	47,28	22,85	2,54	9,92	43,59
Potássio	348,25	226,43	84,32	66,12	29,10
Saldanha Marinho -RS					
Fósforo	53,51	28,50	10,50	9,55	33,47
Potássio	214,47	114,56	60,73	38,19	33,49
Almitante Tamandaré do Sul -RS					
Fósforo	39,11	21,75	9,78	7,93	36,49
Potássio	256,41	182,51	124,67	34,80	19,68

*DP= Desvio Padrão, ** CV= Coeficiente de Variação

Ao analisar os coeficientes de variação (CV) encontrados nas áreas, percebe-se que as mesmas necessitam ser manejadas de forma diferenciada. O CV variou de 24,86 a 47,89% para o fósforo e 19,68 a 34,09 para o potássio. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos coordenados por Cambardella et al., (1994); Mallarino (1996); Molin (2001); Penney et al., (1996); Schnitkey et al., (1996); Gupta et al., (1997), com coeficientes de variação de 30 a 55% para fósforo e 19 a 43% para potássio.

Observa-se, também, que as áreas de Carazinho, Santo Antônio do Planalto, Vista Alegre e Almirante Tamandaré do Sul apresentaram um CV maior de fósforo em relação ao potássio. Por outro lado, a área localizada em Não-Me-Toque

apresentou um CV maior para o potássio e apenas a área de Saldanha Marinho apresentou igualdade entre os CVs dos dois nutrientes analisados.

Para Schlindwein (2003), o maior coeficiente de variação apresentado pelo fósforo é decorrente de fatores naturais, como sua baixa concentração natural nos latossolos e conseqüente alto poder tampão que, aliados à sua dinâmica de baixa mobilidade, podem resultar em alta variabilidade. Igual importância pode ser atribuída à ação antrópica que contribui para aumentar a variabilidade, manejando a área sem considerar a variabilidade do teor de argila do solo e a variabilidade da produtividade. Juntos, esses dois fatores determinam a construção da variabilidade dos teores de fósforo do solo. Perante a variabilidade apresentada pelo fósforo, há indícios de que a deficiência desse nutriente possa ser uma das causas da variabilidade da produtividade encontrada na área, embora, pela média, tanto o P como o K estariam nas classes ideal ou superior.

Para se ter um diagnóstico mais aprofundado das reais condições de fertilidade nas áreas em estudo, é necessário considerar cada talhão de maneira isolada.

Considerando as classes de fertilidade definidas pela comissão técnica do Projeto Aquarius, o fósforo apresenta as seguintes: $< 8 \text{ mg dm}^3$ (Baixo), $8-15 \text{ mg dm}^3$ (Médio), $15-20 \text{ mg dm}^3$ (Ideal), $20-25 \text{ mg dm}^3$ (Alto), $25-50 \text{ mg dm}^3$ (Muito Alto) e $> 50 \text{ mg dm}^3$ (Extremamente Alto). Para o potássio as classes definidas são: $< 50 \text{ mg dm}^3$ (Baixo), $50-120 \text{ mg dm}^3$ (Médio), $120-150 \text{ mg dm}^3$ (Ideal), $150-200 \text{ mg dm}^3$ (Alto), $200-300 \text{ mg dm}^3$ (Muito Alto) e $> 300 \text{ mg dm}^3$ (Extremamente Alto). Cabe ressaltar que todas as áreas se encontravam com a CTC entre 5 a $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Como as áreas apresentaram pouquíssimos pontos com teores baixos, os mapas foram gerados a partir da segunda classe de interpretação nos dois nutrientes analisados.

Na figura 10, apresentam-se os mapas de variabilidade horizontal dos teores de fósforo e potássio na área pertencente ao Sr. Mario Elly, localizada no município de Carazinho-RS.

Observa-se que, para o fósforo, essa área apresentou um baixo nível de fertilidade, pois 40% da área apresentou valores abaixo de 15 mg dm^3 , demonstrando, com isso, a necessidade de construção da fertilidade nesses pontos. O valor mínimo de fósforo, na mesma área, foi $4,23 \text{ mg dm}^{-3}$ e o máximo, $70,12 \text{ mg}$

dm⁻³. A discrepância entre os valores foi determinada diretamente pelo manejo implantado na área.

Segundo o produtor Mario Elly¹, os valores máximos de fósforo encontrados na região, em verde no mapa, resultam da aplicação excessiva de fertilizantes orgânicos em anos anteriores ao projeto. Foram aplicadas, no inverno de 2002 e 2003, três toneladas por hectare/ano⁻¹ de esterco de galinha curtido.

Pesquisas têm indicado que o uso dos dejetos como fonte de nutrientes tem efeito significativo nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo alguns deles atribuídos ao aporte continuado de material orgânico (SOMMERFELDT; CHANG, 1985; KANCHIKERIMATH; SINGH, 2001), resultando no aumento da produtividade do solo (MUCHOVEJ; OBREZA, 1996) e das culturas (SCHERER et al., 1984; CHOUDHARY et al., 1996). Também pelo fato de serem fontes dos principais macronutrientes essenciais às plantas, como N, P, K, Ca, Mg e S, bem como de alguns micronutrientes.

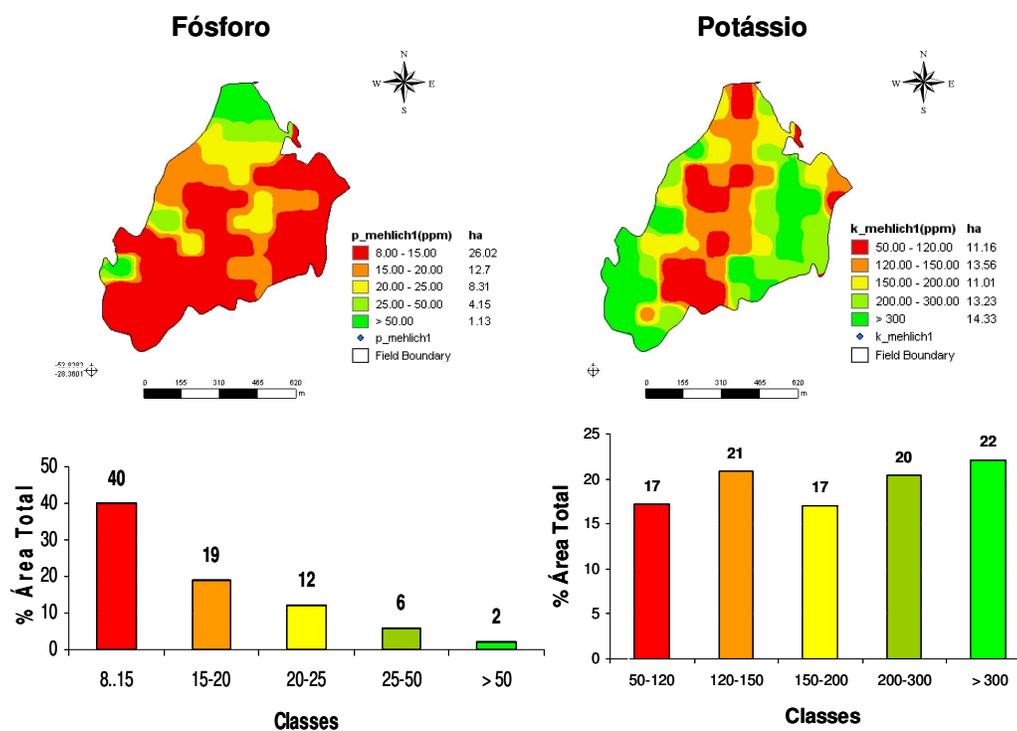


Figura 10: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 64,8 ha pertencente ao Sr. Mario Elly, Carazinho – RS.

¹ Comunicação Pessoal

Já para o potássio, a área apresentou uma menor variabilidade horizontal. O menor valor encontrado foi $104,91 \text{ mg dm}^{-3}$ e o maior $400,34 \text{ mg dm}^{-3}$. Observa-se, também, que 17 % da área apresenta teores abaixo do ideal; por outro lado, pode-se ver que mais de 40 % da área apresenta valores de muito altos a extremamente altos, o que pode ocasionar desequilíbrios nutricionais com reflexo negativo no rendimento das culturas.

Além do manejo adotado ao longo dos anos, outra característica que agravou a variabilidade existente nessa área é a ocorrência de uma topografia muito irregular. Também foram encontrados indícios de antigas erosões provocadas pelo histórico de manejos inadequados, como o uso do monocultivo e do sistema de plantio convencional, em anos anteriores à adoção do sistema plantio direto.

Segundo o engenheiro agrônomo Carlos Alberto Dal Castel ², a área foi bastante modificada antes da implantação do plantio direto. O mesmo relata que foram arrancadas árvores e arbustos de algumas regiões do talhão para possibilitar o plantio mecanizado, o que, com certeza, afetou diretamente o grau de variabilidade do talhão.

Para a área do Sr. Nei Mânica, localizada em Não -Me -Toque -RS, os atributos mostraram-se com menores variações horizontais (figura 11). Os níveis de fósforo e potássio apresentaram-se satisfatórios na maioria dos pontos analisados. Deve-se ter atenção maior para os teores muito altos e extremamente altos, que perfazem quase 100% dos pontos analisadas nos dois atributos. Exige-se, com isso, uma redução no uso de fertilizantes, com o intuito de economizar recursos, evitando possíveis desequilíbrios e riscos de contaminação ambiental.

² Comunicação Pessoal

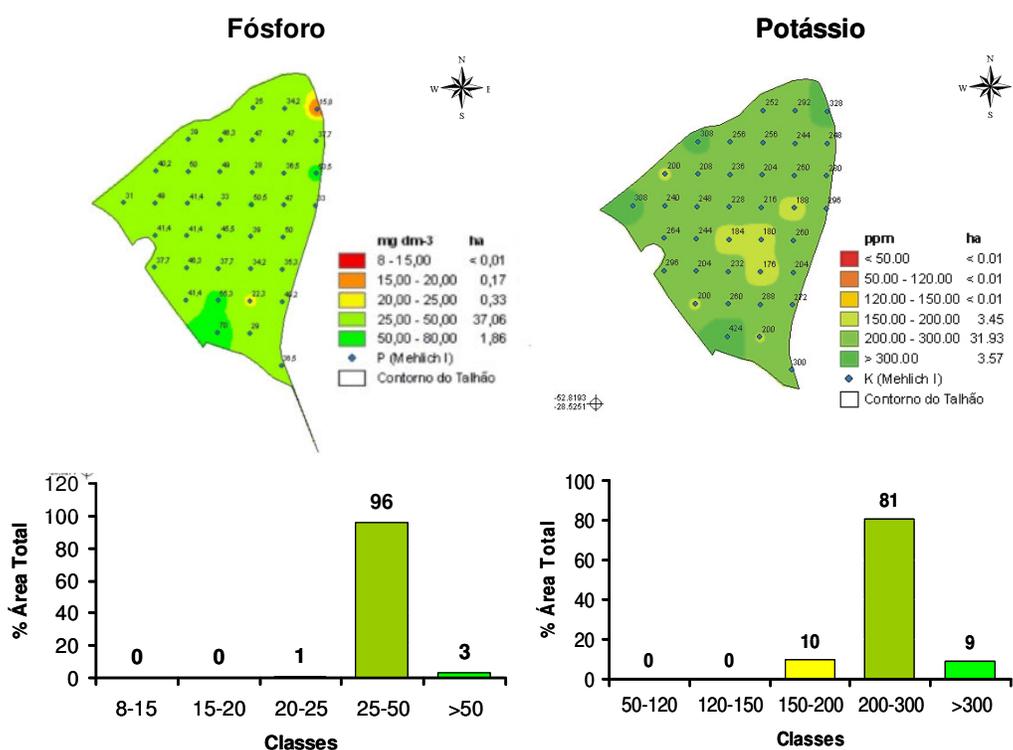


Figura 11: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 38,7 ha pertencente ao Sr. Nei Mânica, Não – Me Toque – RS.

Destaca-se que, nessa área, foram aplicadas várias toneladas de esterco de galinha sucessivamente ao longo dos últimos anos de manejo, o que certamente contribuiu para elevar os teores desses elementos no solo, principalmente na camada analisada.

Na área localizada no município de Santo Antônio do Planalto-RS, pertencente ao produtor Jairo Kohlrausch (figura 12), os teores médios de fósforo e potássio foram 24,17 e 214,86 mg dm⁻³, respectivamente. Os teores máximos encontrados foram de 60,50 mg dm⁻³ para o fósforo, sendo que 96% da área apresentou teores considerados muito altos e 3% apresentou valores extremamente altos. Quanto ao potássio, o valor mínimo foi 164,55 mg dm⁻³, demonstrando que 100% da área encontra-se em excelentes níveis de fertilidade.

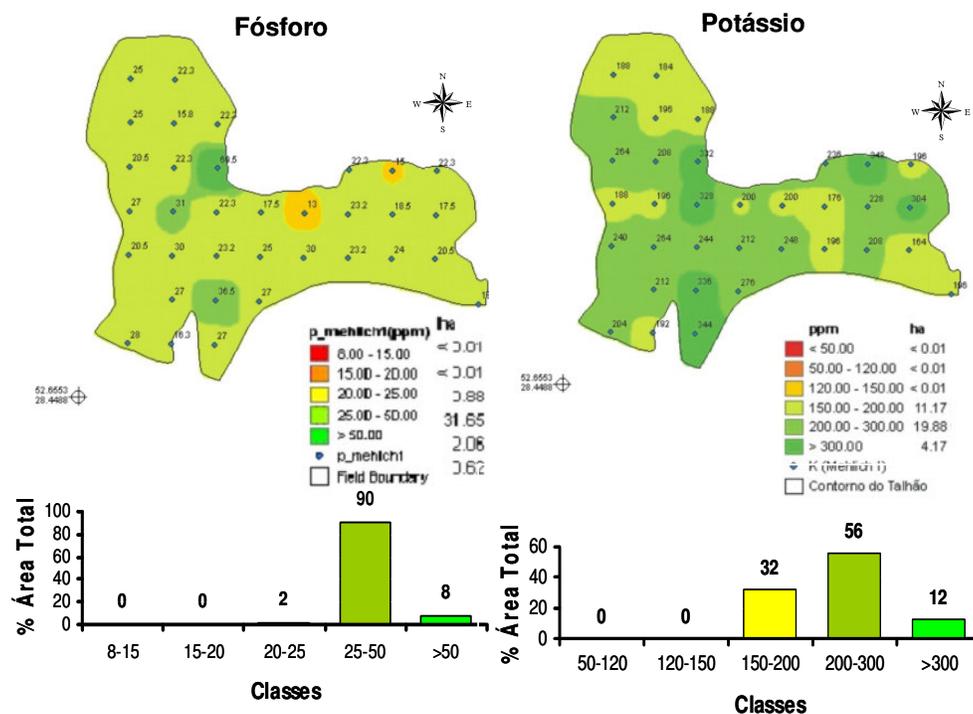


Figura 12: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 34,6 ha pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, Santo Antônio do Planalto – RS.

Os mapas de fósforo e de potássio, apresentados na Figura 13, demonstram a variabilidade desses nutrientes na área do Sr. Juliano Michelini, em Vista Alegre -RS. Observa-se que teores de fósforo no solo apresentam-se em 29% dos pontos amostrais, abaixo do nível considerado ideal (15 e 20 mg dm⁻³ de P); 21% estão no teor alto e 8% apresentam-se com teor muito alto. Dessa forma, 71% dos pontos amostrais se encontram com teores satisfatórios de fósforo.

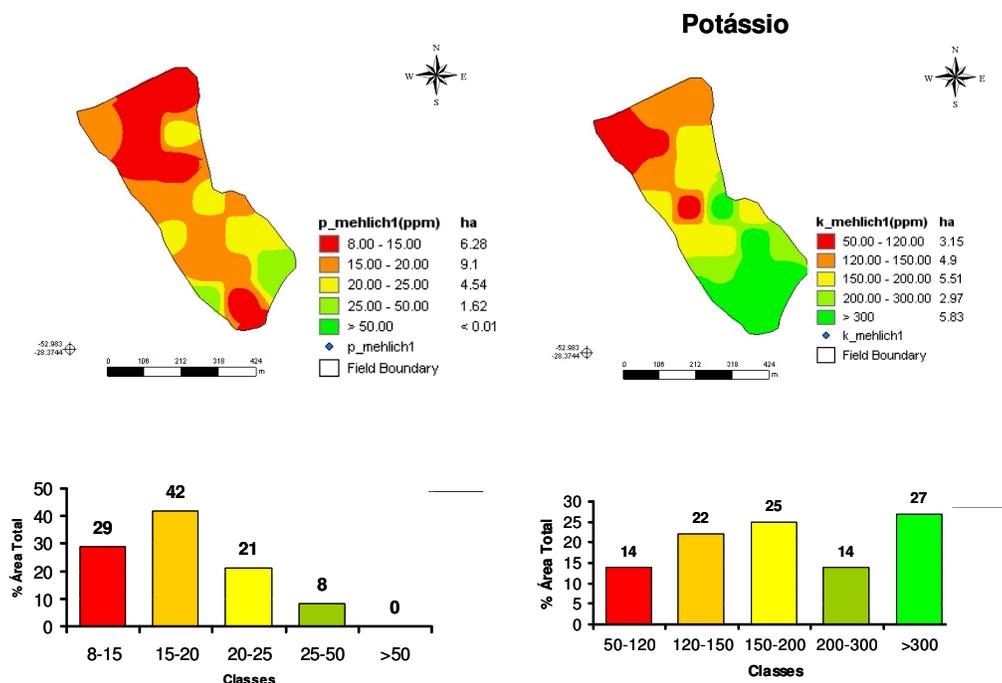


Figura 13: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 21,9 ha pertencente ao Sr. Juliano Michelini, Vista Alegre – RS.

Quanto aos teores de potássio, nenhum ponto amostral apresentou valores inferiores a $60,63 \text{ mg dm}^{-3}$. Aproximadamente 14% dos pontos amostrais encontram-se próximos ao teor crítico. Por outro lado, 27% da área está com teores extremamente altos. Atenção deve ser dada aos teores muito altos (14%) e extremamente altos (27%), alcançando, em alguns pontos, valores altíssimos de potássio, chegando a $348,25 \text{ mg dm}^{-3}$.

Um das constatações preliminares deste trabalho é que a forma tradicional de se fazer agricultura está agravando a variabilidade de atributos naturalmente existente nas áreas. Assim, na maioria das lavouras investigadas, coexistem subáreas com necessidade de incremento nos teores de nutrientes no solo e subáreas nas quais os teores já se encontram próximos ao do excesso (muito alto). Esse fato justifica a necessidade da aplicação de fertilizantes a taxa variável.

Essas amplitudes de valores revelam os possíveis problemas ao se fazer uso da média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisões quanto à fertilização e/ou à correção do solo. Ou seja, em alguns locais, a dose recomendada

estará subdimensionada, em outros, adequada, ou ainda poderá ocorrer aplicação excessiva de determinados fertilizantes e/ou corretivos, (LEMAINSKI, 2006).

Já para a área do Sr. Sergio Limberger, localizada no município de Saldanha Marinho –RS, a variabilidade horizontal dos atributos analisados não apresentou grandes oscilações. Verifica-se que, para o fósforo, os valores extremamente altos e baixos praticamente não existiram, fazendo com que 81% da área apresentasse condições satisfatória em relação esse nutriente (figura 14).

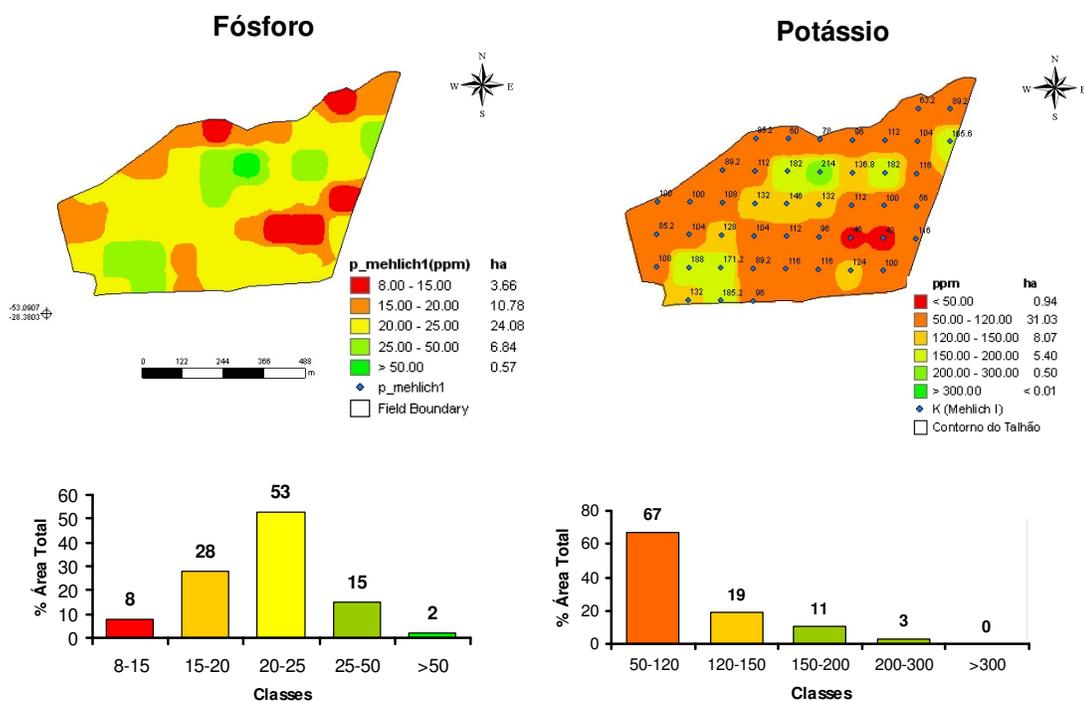


Figura 14: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 45,2 ha pertencente ao Sr. Sergio Limberger, Saldanha Marinho – RS.

Em relação ao potássio, não foram obtidos teores muito altos e extremamente altos; por outro lado, observa-se que 67% da área apresenta teores médios, o que determina um maior esforço para elevar a fertilidade da área até níveis considerados ideais para as culturas expressarem seus potenciais produtivos.

Cabe ressaltar que a área apresenta problemas na estrutura do solo. Em alguns locais do talhão é possível visualizar antigas erosões e escoamentos superficiais, o que é agravado pela sua grande variabilidade topográfica.

O relevo é muito irregular, o que, segundo o técnico da Cotrijal, engenheiro agrônomo Givago Souza Borgheti³, contribui para que se tenha a presença de variabilidade horizontal dos nutrientes nas áreas, resultado, pois, da topografia presente na região: “Em muitas áreas temos grandes declividades no terreno, o que contribui para a ocorrência de erosões localizadas. Esse fato acarretou perdas de nutrientes e desestruturação do solo”.

A presença de variabilidade espacial da lavoura, com particularidades diferenciadas e específicas, deve-se a processos pedogenéticos, à forma do relevo, ao padrão de drenagem e também a ações antrópicas, caracterizadas por processos contínuos de inter-relação entre o sistema solo e o ambiente ecológico (SÁ, 2001; COELHO, 2003). Para os autores, quanto maior for a ocorrência de variabilidade espacial na área, maior será a aplicabilidade da AP.

Na figura 15, observa-se que a área de Almirante Tamandaré do Sul, pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, apresenta 33 e 17% dos seus teores próximos aos níveis críticos para o fósforo e potássio, respectivamente.

Observa-se, também, que mais de 40% da área já está em níveis adequados tanto para o fósforo como para o potássio. Tal fato pode ser associado ao excelente manejo adotado na área, com mais de 15 anos de plantio direto.

Segundo o engenheiro agrônomo da Cotrijal, Sr. Ediomar Daudt⁴, responsável pela assistência técnica da propriedade, esse talhão segue um plano de rotação de culturas de dois anos soja e um ano milho, no verão, com o uso de plantas de cobertura durante o inverno, o que certamente influenciou diretamente nos níveis de fertilidade apresentados.

³ Comunicação Pessoal

⁴ Comunicação Pessoal

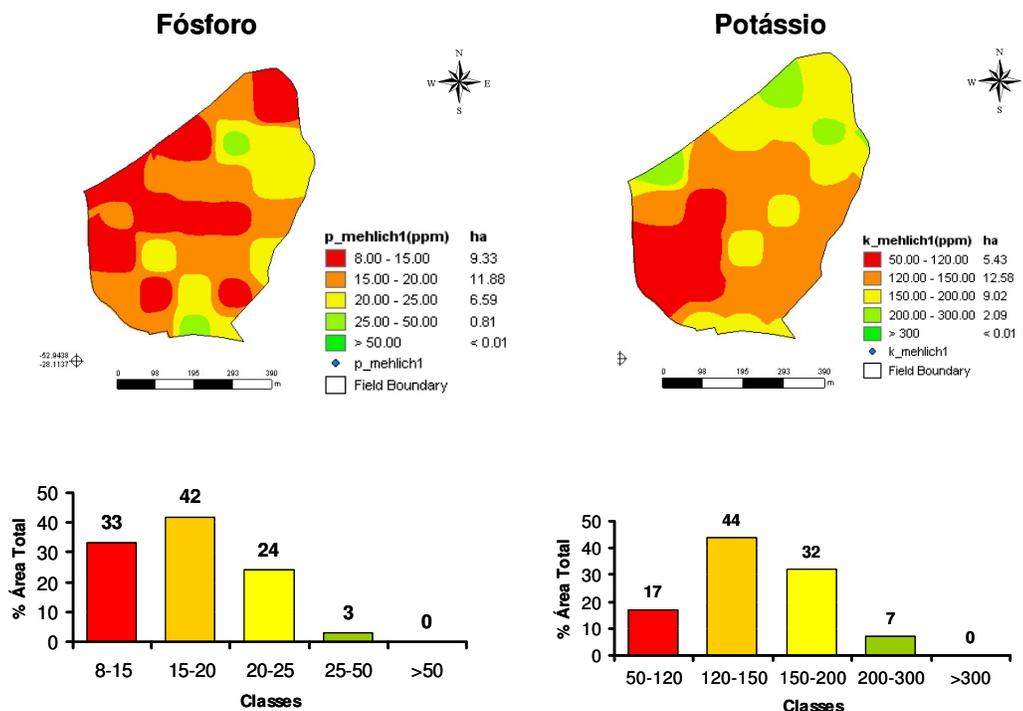


Figura 15: Variabilidade horizontal de fósforo e potássio na área de 28,7 ha pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, Almirante Tamandaré do Sul– RS.

Para o diagnóstico geral da variabilidade do fósforo e do potássio nas áreas da Cotrijal, uniram-se os resultados obtidos em cada área estudada. Com isso obteve-se uma maior representatividade das condições de fertilidade da região do Alto Jacuí. Nas figuras 16 e 17 são apresentados os principais resultados nos 234 ha analisados, em seis municípios da região de abrangência da Cotrijal.

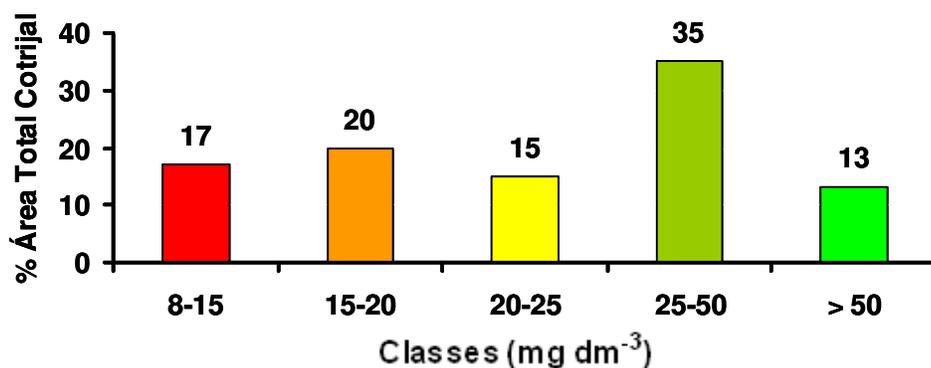


Figura 16: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal de fósforo nos 234 ha selecionados para este estudo.

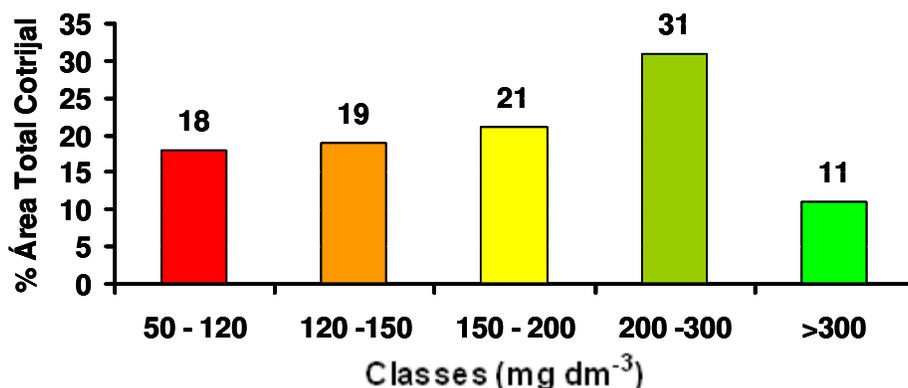


Figura 17: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal de potássio nos 234 ha selecionados para este estudo.

Pelo exposto neste diagnóstico, o nível de fertilidade nas áreas da Cotrijal foi elevado, fato coerente com o histórico de elevados rendimentos e de adubações utilizadas ao longo dos anos, além da elevada ciclagem pelas culturas de cobertura e das reduzidas perdas, após a adoção do sistema plantio direto.

Observa-se também que 17% das áreas estão com os teores de fósforo em níveis baixo a médio, 20% em níveis ideais, 15 e 35% da área com teores altos e

muito altos, respectivamente. Apenas 13% dos pontos amostrais apresentaram valores extremamente altos. Esse fato pode ser associado à adição de adubação orgânica em demasia em subáreas de alguns talhões analisados.

Quanto aos teores de potássio, nenhum ponto amostral apresentou valores inferiores a 60 mg dm^{-3} . Nas áreas analisadas, aproximadamente 18% dos pontos amostrais encontram-se próximos ao teor crítico, 19% encontram-se em níveis ideais e os demais 63% encontram-se com teores altos, muito altos e extremamente altos.

Ao considerar os níveis de fertilidade propostos pela Comissão (2004) tem-se, para o fósforo, os seguintes níveis de fertilidade para a classe 2 de argila: $< 6 \text{ mg dm}^{-3}$ (Baixo), $6-9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Médio), $9-18 \text{ mg dm}^{-3}$ (Alto), $18-24 \text{ mg dm}^{-3}$ (Muito Alto), $> 24 \text{ mg dm}^{-3}$ (Extremamente Alto). Para o potássio, as classes definidas são: $21-40 \text{ mg dm}^{-3}$ (Baixo), $41-60 \text{ mg dm}^{-3}$ (Médio), $60-120 \text{ mg dm}^{-3}$ (Alto), $120-150 \text{ mg dm}^{-3}$ (Muito Alto), $>150 \text{ mg dm}^{-3}$ (Extremamente Alto). Cabe ressaltar que todas as áreas se encontravam com a CTC entre $5 \text{ a } 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

As áreas apresentam poucos pontos com baixa fertilidade, concentrando os maiores percentuais nas classes altas, muito altas e extremamente altas (Figura 18 e 19).

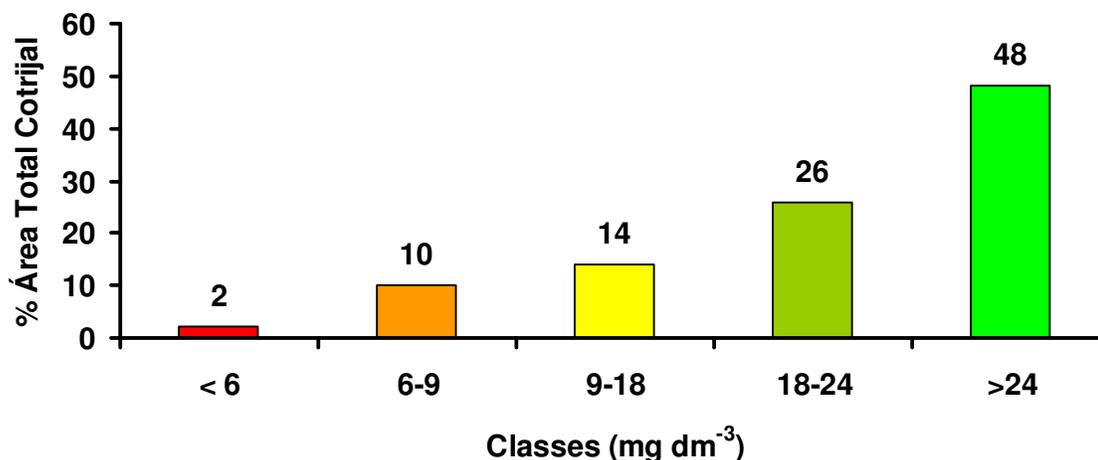


Figura 18: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal de fósforo nos 234 ha selecionados para este estudo, segundo Comissão (2004).

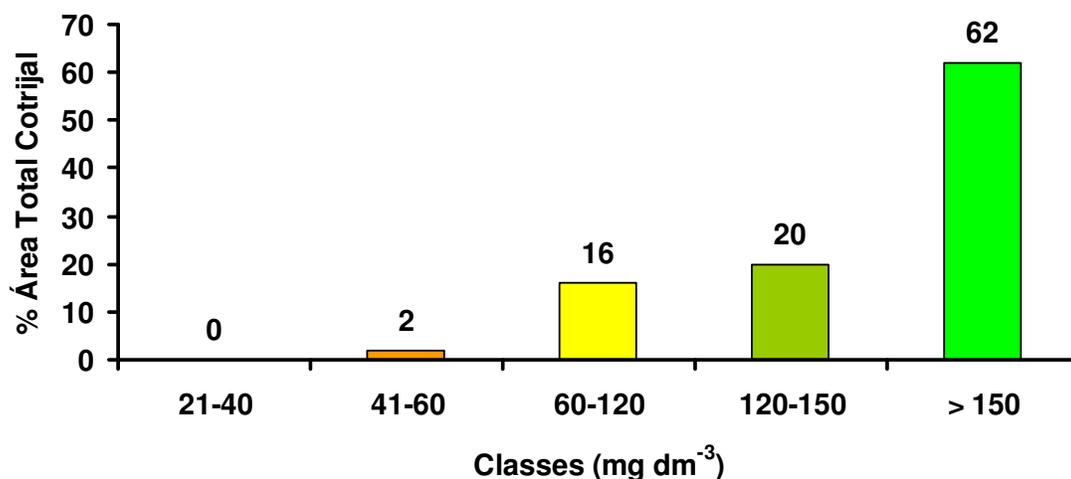


Figura 19: Diagnóstico geral da variabilidade horizontal de potássio nos 234 ha selecionados para este estudo, segundo Comissão (2004).

Conforme os padrões da Comissão (2004), observa-se que, para o fósforo, 26 e 48% dos pontos apresentam-se nas classes muito alto e extremamente alto, respectivamente. E apenas 12% dos pontos estão próximos aos níveis críticos.

Para o potássio, as condições de fertilidade apresentam-se ainda mais satisfatórias, com 20 e 62% dos pontos nas classes muito alto e extremamente alto, respectivamente. Praticamente inexistiram pontos com teores baixos, o que justifica a adoção de sistemas de manejo que considerem esse banco de fertilidade presente nos solos e proporcionem maiores economias no uso de fertilizantes. Para Coelho (2003), o uso de aplicações a taxa variável em talhões com níveis de fertilidade satisfatórios, pode proporcionar grandes economias de insumos e menores riscos de contaminação ambiental.

Pode-se verificar que os resultados obtidos neste diagnóstico reforçam a necessidade de considerar a variabilidade existente nas áreas. Percebe-se que a forma tradicional de se fazer agricultura está inclusive agravando a variabilidade de atributos naturalmente existentes nas áreas. Assim, na maioria das lavouras investigadas, coexistem subáreas com necessidade de incremento nos teores de nutrientes no solo e subáreas nas quais os teores já se encontram próximos ao do excesso (muito alto). Esse fato justifica a necessidade da aplicação de fertilizantes a taxa variada.

3.5.2 Aplicação a taxa variável nas áreas selecionadas para este estudo

Apresenta-se, nas tabelas 4 e 5, a recomendação de fósforo e potássio para as diferentes classes de fertilidade do solo. Objetivou-se elevar os teores de fósforo e potássio para a classe considerada ideal, segundo a Comissão técnica do Projeto Aquarius (15 - 24 mg dm⁻³ e 120 - 150 mg dm⁻³), respectivamente.

Tabela 4: Recomendação de P₂O₅ com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes do solo nos talhões com AP.

Níveis de Fertilidade	Classes	P ₂ O ₅	SFT 46 %
		mg dm ⁻³	Kg ha ⁻¹
Baixo	< 8	150	326
Médio	8 - 15	100	217
IDEAL	15 - 20	70	152
Alto	20 - 25	50	109
Muito Alto	25 - 50	30	65
Extr. Alto	> 50	15	33

Tabela 5: Recomendação de K₂O com as diferentes taxas de aplicação conforme as classes de fertilidade do solo nos talhões com AP.

Níveis de Fertilidade	Classes	K ₂ O	KCL 60 %
		mg dm ⁻³	Kg ha ⁻¹
Baixo	< 50	140	233
Médio	50 - 120	120	200
IDEAL	120 - 150	90	150
Alto	150 - 200	70	117
Alto	200 - 300	50	83
Extr. Alto	> 300	30	50

As doses apresentadas nas tabelas acima nortearam as aplicações a taxa variável dos dois fertilizantes utilizados, mas em algumas áreas ocorreram pequenas alterações conforme as expectativas de rendimentos das diferentes culturas. Para as áreas cultivadas com soja, projetou-se uma expectativa de rendimento de 3.600 kg ha⁻¹ e para aquelas com milho, uma expectativa de produção de 12.000 kg ha⁻¹.

Para que se possam verificar, em cada talhão, as subáreas onde foi possível racionalizar o uso de fertilizantes ou onde foram gastos mais insumos, apresentam-se, neste item, os mapas de aplicação a taxa variável na safra de 2006/07 para as culturas analisadas.

A adubação em taxa variada visou à aplicação localizada da dose certa de nutriente no solo para garantir a quantidade e qualidade da produtividade das culturas implantadas. Com isso, nas regiões onde existia deficiência de nutriente, foram aplicadas doses maiores e nos locais de altos teores foram aplicadas quantidades menores, visando, assim, homogeneizar a sua quantidade no solo.

Na figura 20, apresentam-se os mapas de aplicação de SFT (46%) e KCL (60%) na área de 64,8 ha, pertencente ao Sr. Mario Elly, localizada no município de Carazinho -RS. As doses mínimas encontradas foram 33 e 50 kg ha⁻¹ e as máximas ficaram em 326 e 200 kg ha⁻¹ para os fertilizantes fosfatados e potássicos, respectivamente. As doses mínimas apresentadas representaram basicamente as quantidades exportadas pela cultura da soja para cada nutriente.

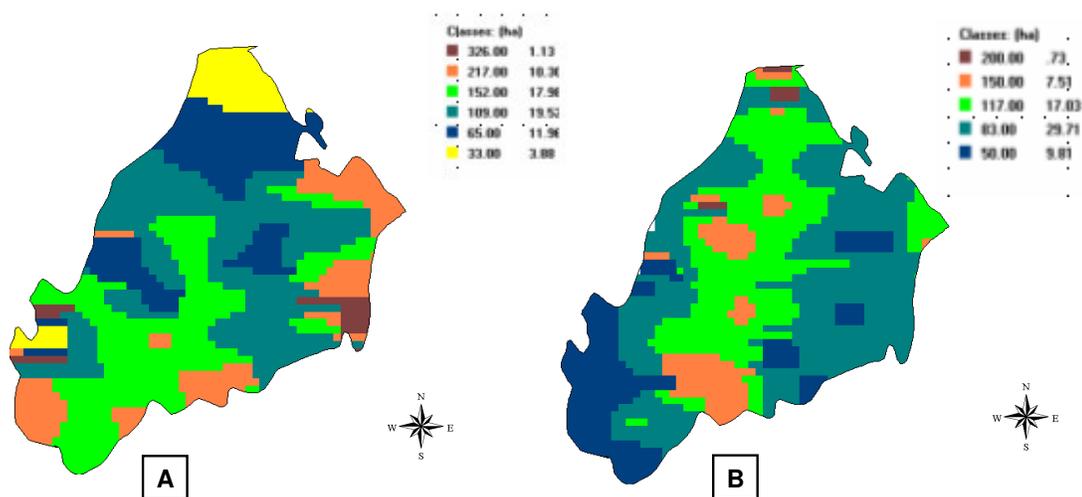


Figura 20: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Mario Elly, Carazinho –RS.

A área apresentou a maior diferença entre as doses extremas para a adubação fosfatada, chegando a mais de 900%. Isso se deve à elevada variabilidade espacial apresentada pelo nutriente na área.

As taxas médias ficaram em 135 e 100 kg ha⁻¹ para o SFT e KCL, respectivamente. Com isso, foram aplicados 14.900 kg de fertilizantes nos 64,8 ha, sendo 8.600 para de SFT e 6.300 kg de KCL.

Na área localizada no município de Não-Me-Toque, pertencente ao Sr. Nei Mânica (figura 21), a dose mínima aplicada foi de 62 kg ha⁻¹ para o fertilizante fosfatado e a máxima atingiu os 136 kg ha⁻¹, representando uma taxa média de 110 kg ha⁻¹, atingindo 4.000 kg de SFT na área total.

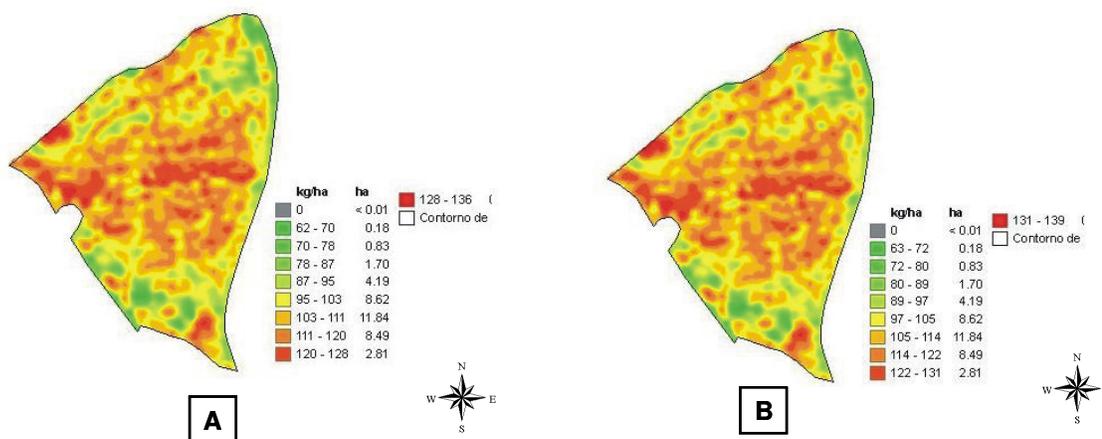


Figura 21: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07 na área pertencente ao Sr. Nei Mânica, Não –Me-Toque –RS.

Para a adubação potássica, as doses mínimas foram 63 kg ha⁻¹ e a máxima 139 kg ha⁻¹, sendo a dose média de 115 kg ha⁻¹ de KCL. Foi aplicado um montante de 4.200 kg do fertilizante.

Visualizam-se, na figura 22, os mapas de aplicação, a taxa variável, de fósforo e potássio para a área do Sr. Jairo Kohlrausch, localizada no município de Santo Antônio do Planalto. As doses mínimas foram 43 e 83 kg ha⁻¹ e as máximas, 152 e 133 de SFT e KCL, respectivamente. Para a adubação fosfatada, foram aplicados 3.700 kg, sendo a média 100 kg ha⁻¹. Já para a adubação potássica foram aplicados, em média, 115 kg ha⁻¹ representando um total de 4.300 kg.

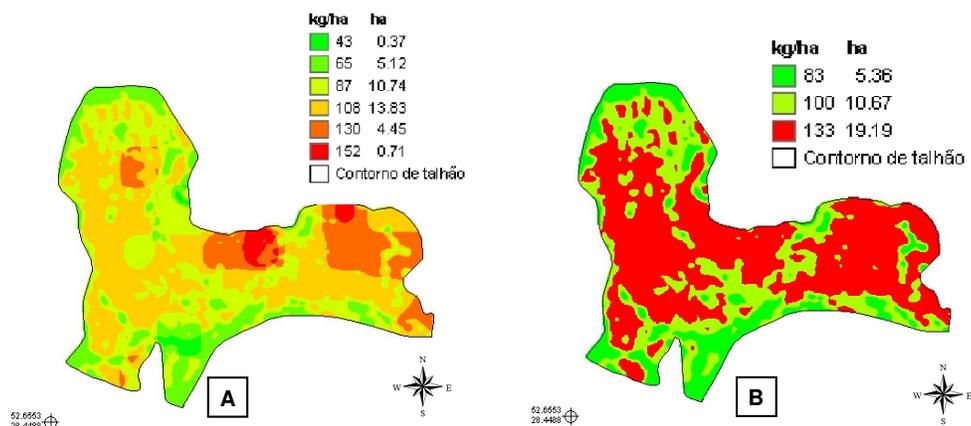


Figura 22: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura da soja na safra 2006/07, na área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, Santo Antônio do Planalto –RS.

Observa-se, na figura 23, que as taxas mínimas aplicadas na área do Sr. Juliano Michelini, localizada em Vista Alegre, foram 152 e 33 kg ha⁻¹ e as máximas atingiram 391 e 133 kg ha⁻¹, para o SFT e KCL, respectivamente. Essas diferenças representaram uma amplitude de 255% para o mapa de aplicação de fósforo e 430% para o de potássio.

Foram aplicados 6.100 kg de fertilizantes nos 21,6 ha manejados com AP, sendo 4.800 kg de SFT e 1.300 kg de KCL.

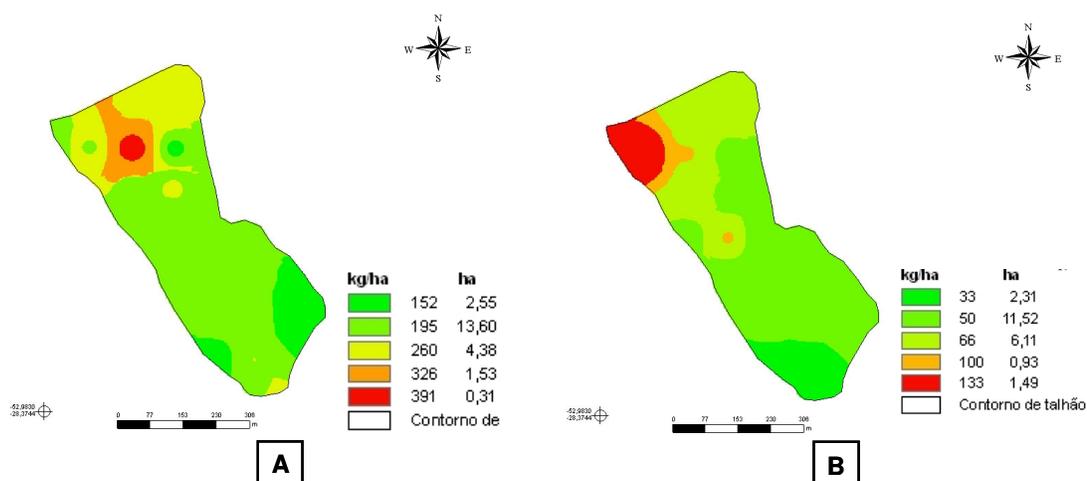


Figura 23: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07, na área pertencente ao Sr. Juliano Michelini, Vista Alegre-RS.

Os mapas de distribuição espacial das doses de fertilizantes fosfatados e potássicos, aplicados na área de Saldanha Marinho, pertencente ao Sr. Sergio Limberger, são apresentados na figura 24.

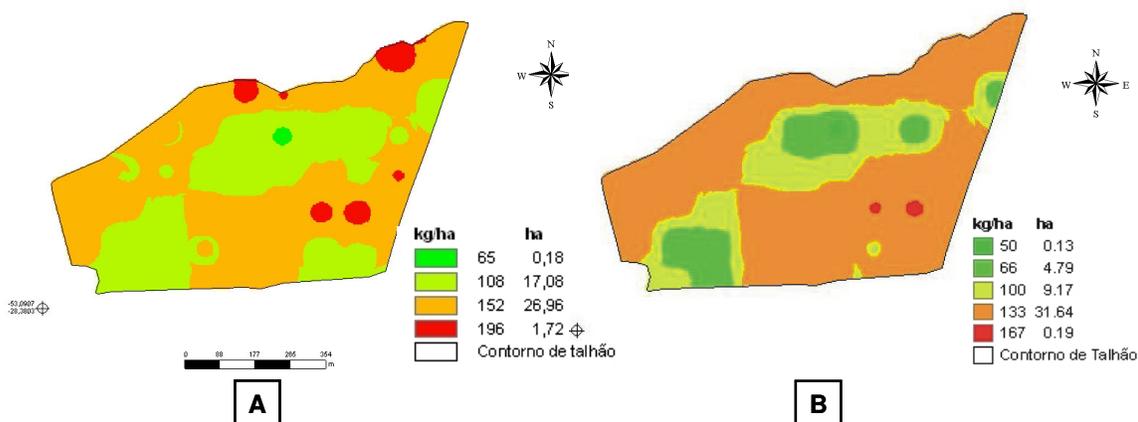


Figura 24: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07, na área pertencente ao Sr. Sergio Limberger, Saldanha Marinho – RS.

As doses médias aplicadas nessa área foram 135 e 124 kg ha⁻¹ para SFT e KCL, representando um montante de 6.300 e 5.500 kg, respectivamente.

As taxas variaram de 65 a 198 kg ha⁻¹ para a adubação fosfatada e de 50 a 167 para a potássica, representando uma amplitude de 300 e 326%, respectivamente.

Na área pertencente ao produtor Luciano de Mattos, no município de Almirante Tamandaré do Sul (figura 25), foram aplicados, nos 28,7 há, 4.500 kg de SFT divididos em 4 taxas, as quais variaram de 109 a 261 kg ha⁻¹, sendo a taxa média 150 kg ha⁻¹.

A recomendação, a taxa variável de potássio, foi de 50 a 100 kg ha⁻¹, sendo que a média ficou em 70 kg ha⁻¹ de KCL, representando um gasto de 2.150 kg do fertilizante.

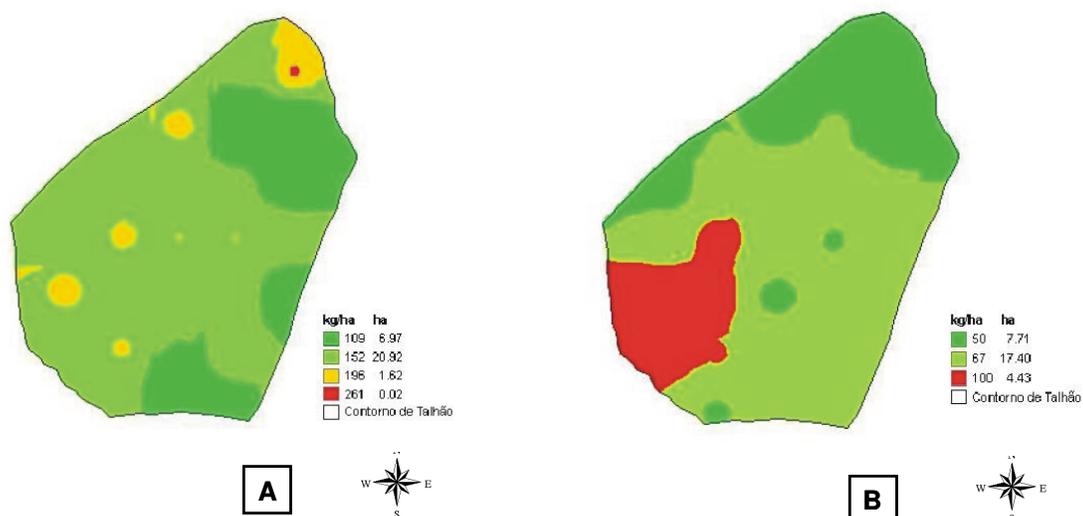


Figura 25: (A) Mapas de aplicação de SFT (46%) e (B) KCL (60%) para a cultura do milho na safra 2006/07, na área pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, Almirante Tamandaré – RS.

Na tabela 6, são apresentadas as quantidades totais de fertilizantes aplicados à taxa variável nas áreas estudadas, assim como a estimativa das quantidades de fertilizantes aplicados a taxa fixa nas áreas correspondentes, considerando a mesma dimensão de área.

Tabela 6: Quantidade total de fertilizantes utilizados nos talhões com AP e nas áreas com AC correspondentes (Soja/ Milho - safra 2006/07).

Município	Produtor	Área	AC*	AP**	Diferença
		ha	Kg	Kg	%
Carazinho	Mario Elly	64,8	19.440	14.900	- 30,5
Não Me Toque	Nei César Mânica	38,6	11.580	8.200	- 41,2
Santo Antônio	Jairo M. Kohlrausch	34,6	10.380	8.000	- 29,7
Total Soja		138	41.400	31.100	- 33,1

Município	Produtor	Área	AC*	AP**	Diferença
Vista Alegre	Juliano Michelini	21,94	7.679	6.100	- 25,8
Saldanha	Sergio	45,21	15.823	11.800	-34,1
Marinho	Limberger				
Almirante Tamandaré	Luciano de Mattos	28,71	10.048	6.650	- 51,1
Total Milho		96	33.600	24.550	- 36,8

* AC = Agricultura Convencional ** AP = AP

Pode-se perceber, na tabela 6, que em 100% das áreas cultivadas com soja e milho, ocorreu uma redução significativa nas quantidades totais de fertilizantes. Tais reduções variaram de 29,7% até 41,2%. Assim, a média ficou em torno de 33,1% entre as áreas analisadas com a cultura da soja. Já nas áreas cultivadas com milho, obteve-se uma redução mais significativa, onde se atingiu uma média de economia de 36,8% do volume total aplicado. A área localizada em Almirante Tamandaré apresentou a economia record, com uma redução de produtos aplicados na ordem de 51%. Resultados semelhantes foram encontrados por Menegatti et al (2006) para a cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, onde foi possível atingir uma economia de até 36,5% nas quantidades de fertilizantes aplicadas com técnicas de manejo localizado.

Já Molin (2003) encontrou uma redução de até 20% na quantidade total dos fertilizantes aplicada nas áreas piloto do projeto AP de AP conduzida pela Escola Superior de Agronomia Luis de Queiros (ESALQ). Amado et al (2006), analisando uma das áreas do projeto Aquarius de AP, encontrou uma redução na ordem de 53% na quantidade aplicada em relação àquela que o produtor tradicionalmente aplicava.

Para Borges et al (1998), a economia de fertilizantes é um dos benefícios que o manejo localizado pode proporcionar, mas o mais importante é aplicar a dose adequada no local correto, permitindo, assim, a racionalização do uso dos fertilizantes.

É importante elucidar esses resultados, pois isso envolve diretamente os custos das propriedades. Segundo Knob (2006), um dos grandes gastos dentro da rotina de trabalho de uma fazenda, são os fretes para o transporte de cereais e fertilizantes. Esses valores atingem, em muitos casos, até 17% do custo de produção

da lavoura. Por isso, quando se tem uma redução significativa no volume dos produtos a serem adicionados ao solo, gasta-se menos com combustível, desgaste dos veículos e mão-de-obra. Com tal redução, há aumento na eficiência do uso dos equipamentos, à medida que estarão transportando somente as reais necessidades de fertilizantes para cada talhão.

Quando foram considerados os investimentos em reais (R\$) disponibilizados para efetuar as adubações nas diferentes áreas e culturas, (tabela 7), observaram-se os benefícios econômicos que a AP pode proporcionar.

Tabela 7: Total de recursos (R\$) disponibilizados para cada fertilizante nas diferentes áreas e culturas manejadas na safra 2006/07.

Produtor	Área ha	Fósforo		Potássio	
		AC*	AP**	AC	AP
	 R\$			
Mario Elly	64,8	5.344	6.450	5.344	3.654
Nei Mânica	38,6	3.188	3.000	3.188	2.436
Jairo M. Kohlrausch	34,6	2.854	2.775	2.854	2.494
Total Soja	138	11.386	12.225	11.386	8.584
Juliano Michelini	21,94	2.752	3.600	2.752	750
Sergio Limberger	45,21	5.672	4.725	5.672	3.025
Luciano de Mattos	28,71	3.602	3.375	3.602	1.247
Total Milho	96	12.026	11.700	12.026	5.022

* AC = Agricultura Convencional ** AP = AP

De acordo com a tabela acima, na maioria das áreas houve uma redução nos gastos com fertilizantes nas duas culturas analisadas. Para as áreas com a cultura da soja, teve-se um acréscimo de R\$ 839,00 na adubação fosfatada, representando um gasto de 7,3% superior ao manejo convencional, significando um acréscimo de R\$ 6,10 ha⁻¹. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o SFT 46%, utilizado nas áreas com manejo localizado, apresentava um valor de mercado 33% superior à fórmula utilizada na agricultura convencional. Por isso, mesmo

apresentando economia nas quantidades totais de fertilizantes, obteve-se um maior investimento de capital.

Já para a adubação potássica obteve-se uma economia de R\$ 2.800,00 nos 138 ha, ou 24,6%. Isto representou uma redução de R\$ 20,30 ha⁻¹ com o uso da taxa variável.

A redução total dos investimentos em fertilizantes para a cultura da soja ficou em 17% com o uso das práticas de AP, totalizando R\$ 1960,00 ou R\$ 14,20 ha⁻¹.

Segundo Castro et al (2006), o custo com fertilizantes representa aproximadamente 23% do custo de produção para a cultura da soja. Portanto, uma redução considerável no investimento em fertilizantes pode contribuir, em muito, para a redução nos custos totais durante a safra.

A cultura do milho apresentou melhores resultados, pois encontrou-se uma redução mais significativa em ambas as fertilizações. Com a adubação fosfatada obteve-se uma economia total de R\$ 326,00 e com a potássica, de R\$ 7.000,00 nos 96ha. As reduções representaram 30% dos recursos totais destinados para a fertilização dessa cultura, ou seja, R\$ 76,35 ha⁻¹.

Como se pode perceber, do ponto de vista econômico a aplicação localizada permite a priorização do investimento em insumos (fertilizantes, sementes etc.) nas áreas em que o potencial de rendimento de grãos mostra-se mais efetivo. Isso garante a possibilidade de maior retorno econômico com menor investimento (PIRES, 2004).

Na figura 26 são apresentados os reais valores de P₂O₅ e K₂O compreendidos nos diferentes fertilizantes utilizados nas culturas implantadas nas áreas com AC e AP.

Nas áreas com manejo da adubação de forma convencional, aplicou-se 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-20-20, nos 138 ha cultivados com soja, o que significou um montante de 8.280 kg de P₂O₅ e de K₂O. Já para os 96 ha cultivados com milho, foram utilizados 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 9-23-28, representando 7.728 kg de P₂O₅ e 9.400 kg de K₂O.

Nas áreas manejadas com AP, foram aplicados 7.335 kg de P₂O₅ e 8.880 kg de K₂O nos 138 ha cultivados com soja. Já nos 96 ha de milho foram aplicados 7.176 kg de P₂O₅ e 5.370 kg de K₂O, considerando as somas das quantidades aplicadas em cada área manejada.

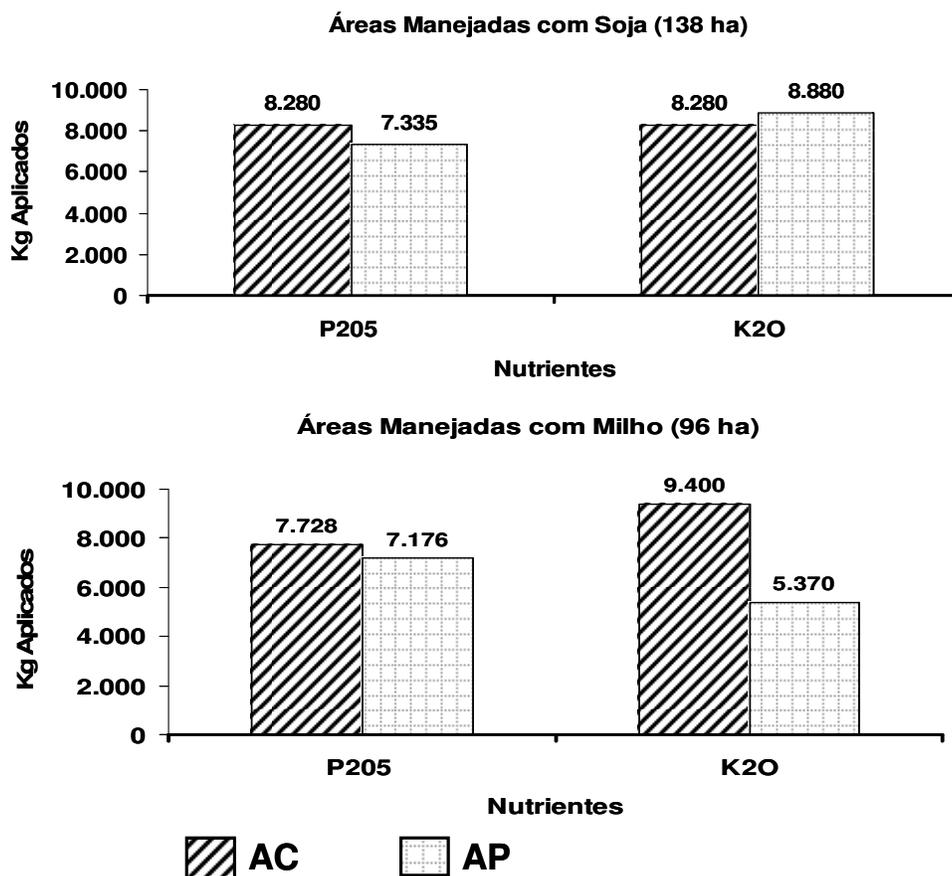


Figura 26: Balanço da quantidade total de P_2O_5 e K_2O utilizada nos 138 ha cultivadas com soja e nos 96 ha de milho, safra 2006/07, em Agricultura Convencional (AC) e Agricultura de Precisão (AP).

Observa-se que, para a soja, as quantidades foram semelhantes entre a AP e AC. Por isso os incrementos na produtividade das culturas podem ser atribuídos à melhor alocação do fertilizante nas áreas. Porém, verifica-se que, com o uso da AP, foram economizados 965 kg de P_2O_5 , nas áreas com soja, o que representou uma redução de 11,4% na utilização da adubação fosfatada.

Além da economia, houve a racionalização do uso de fósforo nas áreas, evitando carências e excessos do nutriente. De acordo com Mohamed et al. (1996), o excesso de fertilizantes pode gerar impactos negativos na qualidade das águas subterrâneas e reduzir as margens de lucro, enquanto que a sua falta pode restringir a produtividade e a qualidade da cultura.

Já para a adubação potássica, as aplicações em taxa variável representaram um incremento na quantidade aplicada de 9,6%, o que representou um aumento 680 kg de K₂O nos 138 ha com soja.

Essas diferenças se devem às maiores necessidades de correção potássica nas áreas, o que demanda maiores quantidades de fertilizantes.

Ao analisar a cultura do milho, é possível verificar que houve redução na quantidade de nutrientes adicionadas ao solo, chegando a 7,6% para o fósforo e 42,8% para o potássio. Esses resultados evidenciam que, se fossem utilizadas taxas uniformes de fertilizantes, em área total, provavelmente ocorreriam subáreas com fertilizações excessivas e deficiências em outras (WIBAWA et al., 1993; MOHAMEDE et al., 1996; DURIGON, 2007).

Para que os dados coletados no campo possam ser validados, é importante considerar a qualidade de distribuição do equipamento utilizado para as adubações a taxa variável.

Uma das maneiras de avaliar o desempenho do distribuidor a taxa variável é a comparação entre as quantidades planejadas de fertilizantes na confecção dos mapas de aplicação com as reais quantidades distribuídas no campo em cada talhão com AP (Tabela 8).

Observa-se, na tabela 8, que o distribuidor a taxa variável apresentou um bom desempenho, apresentando uma diferença entre o planejado e o aplicado abaixo de 5% na média entre as aplicações a taxa variável para as duas culturas. Tais dados demonstram que o equipamento bem calibrado pode realizar um trabalho com satisfatória precisão, como se deseja na prática da AP.

O levantamento das reais quantidades de fertilizantes aplicadas foi registrado por uma pessoa ligada à UFSM que acompanhava o andamento das operações.

Tabela 8: Adubação total (SFT 46%, KCL 60%), planejada x adubação aplicada e respectivas diferenças nas áreas com a cultura da soja, safra 2006/07.

Município	Produtor	Cultura	Adubação	Adubação	Diferença
			Planejada	Aplicada	
			Kg	Kg	%
Carazinho	Mario Elly	Soja	13.857	14.900	+ 7
Não-Me-Toque	Nei César Mânica	Soja	8.036	8.200	+ 2
Santo Antônio	Jairo M. Kohlrausch	Soja	7.680	8.000	+ 5
Média Soja					+ 4,6
Vista Alegre	Juliano Michelini	Milho	5.795	6.100	+ 5
Saldanha Marinho	Sérgio Limberger	Milho	11.446	11.800	+ 3
Alm.Tamandaré	Luciano de Mattos	Milho	6.118	6.650	+ 8
Média Milho					+ 5,3

3.5.3 Produtividade das culturas

Os dados apresentados na tabela 9 e espacializados nas figuras 27 e 28 evidenciam a presença de variabilidade nas áreas estudadas. Para a cultura da soja, as diferenças entre as máximas e mínimas produtividades foram superiores a 160% na área localizada em Carazinho. Já nas áreas de Não-Me-Toque e Santo Antônio do Planalto, as diferenças foram 210 e 135%, respectivamente. Nas áreas cultivadas com milho, essas diferenças foram de 147, 190 e 137% para os talhões localizados em Vista Alegre, Saldanha Marinho e Almirante Tamandaré, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Pontelli (2006), em área de sequeiro manejada com AP no estado do RS.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de replanejamento das estratégias de manejo uniformes baseadas na AC, a qual se baseia em valores uniformes de produtividade e de intervenções de manejo.

Tabela 9: Produtividades mínimas, máximas e médias das culturas e parâmetros estatísticos analisados nas áreas pertencentes a este estudo, safra 2006/07.

Municípios	Produtividades das culturas			Estatística	
	Mínima	Máxima	Média	DP*	CV**
		Kg ha ⁻¹			%
Carazinho	1.551	4.133	3.160	347	11,20
Não-Me-Toque	1.383	4.372	3.240	310	9,32
Sto Antônio do Planalto	1.833	4.323	3.840	269	7,17
Média Geral Soja			3.420		
Vista Alegre	4.455	11.022	8.820	1.130	12,76
Saldanha Marinho	5.552	12.182	9.900	845	8,23
Almirante Tamandaré	5.852	13.901	11.100	565	5,12
Média Geral Milho			9.960		

* DP= Desvio Padrão; ** CV= Coeficiente de Variação

Cabe ressaltar que, apesar da elevada amplitude entre os extremos de produtividade, as áreas não apresentaram CVs elevados, demonstrando que as mesmas não apresentam grandes manchas com elevadas produtividades ou com produtividades muito baixas. A variabilidade dos atributos foi classificada, segundo proposto por Warrick & Nielsen (1980) em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

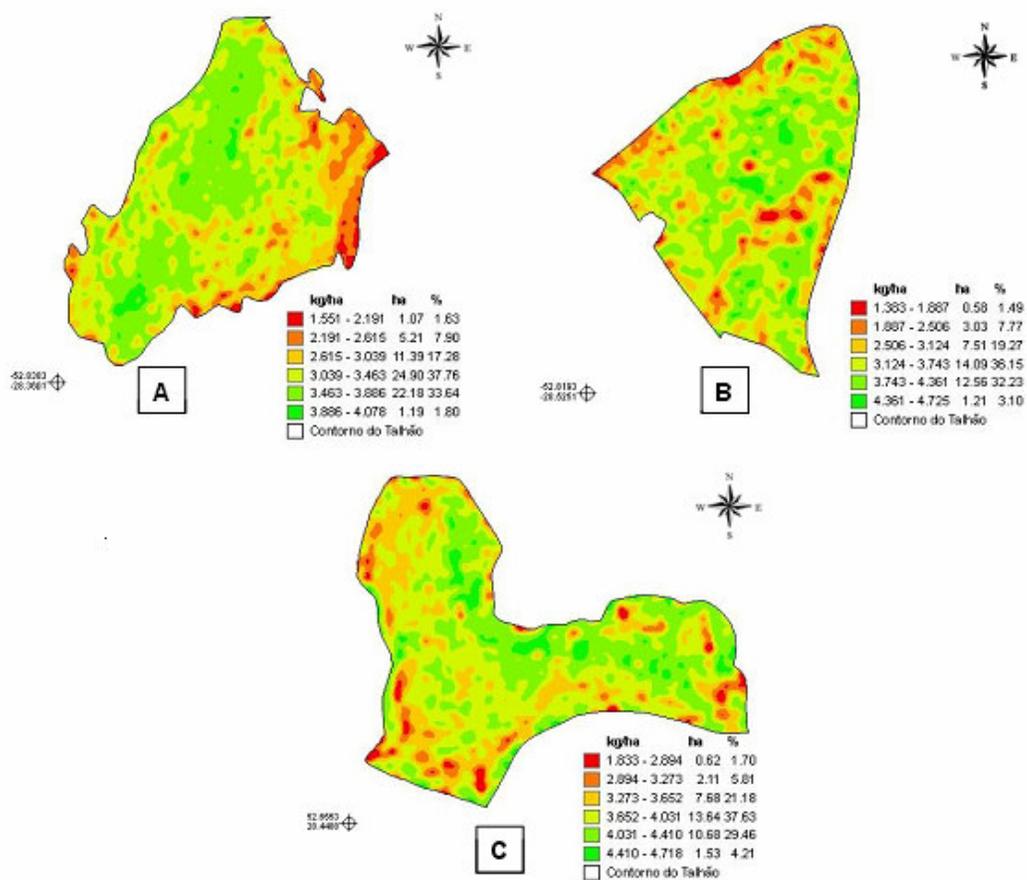


Figura 27: Espacialização da produtividade da cultura da soja na safra 2006/07, nos municípios de (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque e (C) Santo Antônio do Planalto – RS.

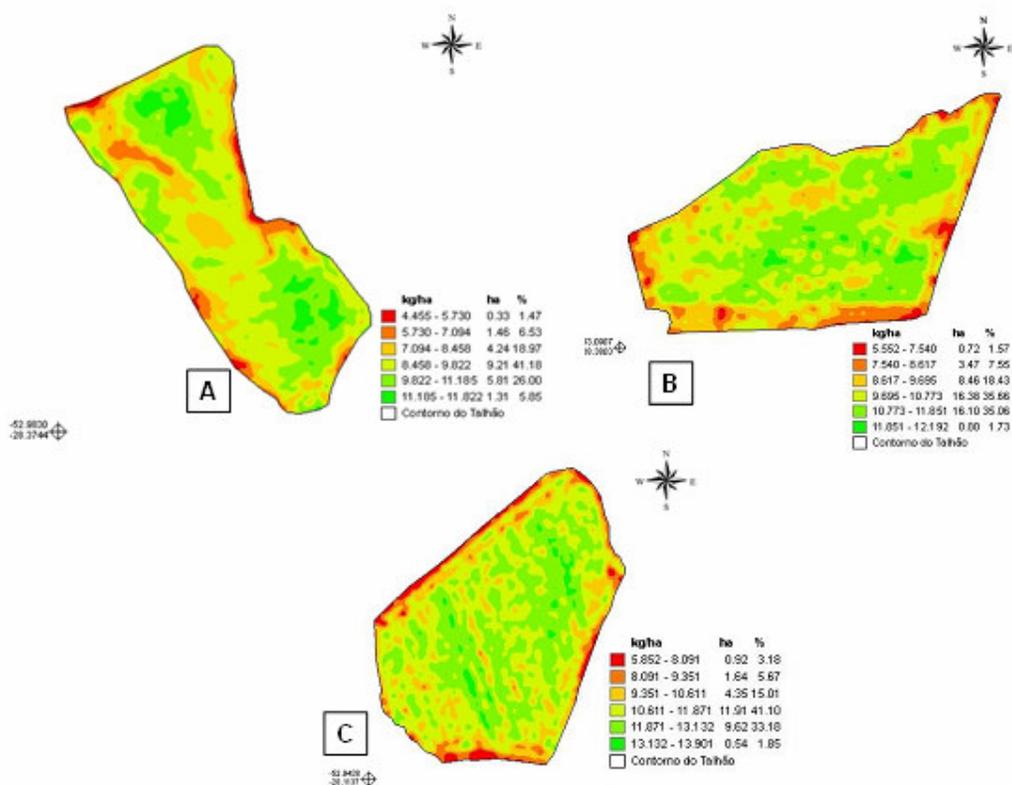


Figura 28: Espacialização da produtividade da cultura do milho na safra 2006/07, nos municípios de (A) Vista Alegre, (B) Saldanha Marinho e (C) Almirante Tamandaré - RS.

Visualizam-se, nos mapas apresentados, que as menores produtividades foram obtidas nas extremidades das áreas, onde geralmente são efetuadas as manobras dos maquinários agrícolas, o que provavelmente afeta a disponibilidade de água para as culturas, devido ao maior adensamento do solo (AMADO et al., 2005). Outros fatores podem ser considerados, como o maior sombreamento provocado pela vegetação ao redor dos talhões e o ataque de animais silvestres como capivaras e quatis, comuns na região.

Por outro lado, as subáreas que apresentaram os maiores rendimentos foram aquelas localizadas na parte de maior altitude dentro do talhão, as quais apresentavam maiores níveis de fertilidade e provavelmente melhores condições físicas para o desenvolvimento das culturas. Resultados semelhantes foram encontrados por Pes et al. (2006) e Lemainski (2007).

Um dos principais fatores que determinou as diferentes produtividades de soja e milho entre as áreas estudadas foi o fator climático. Durante a safra de 2006/07, ocorreram precipitações abaixo da média história em alguns municípios, já em outros as chuvas foram melhores distribuídas, o que, certamente, propiciou melhores condições para o desenvolvimento das culturas (figura 29 e 30).

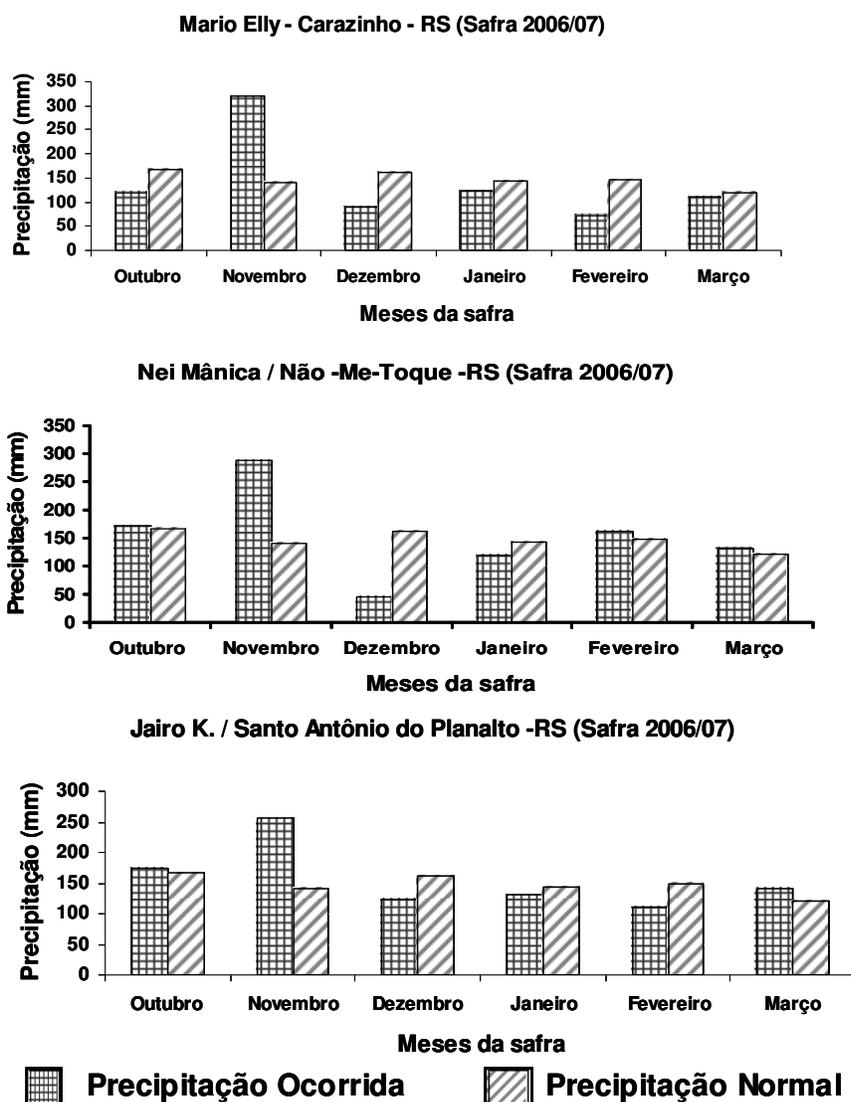


Figura 29: Índices pluviométricos ocorridos durante a safra de soja 2006/07, nas áreas correspondentes aos municípios pertencentes ao projeto Aquarius.

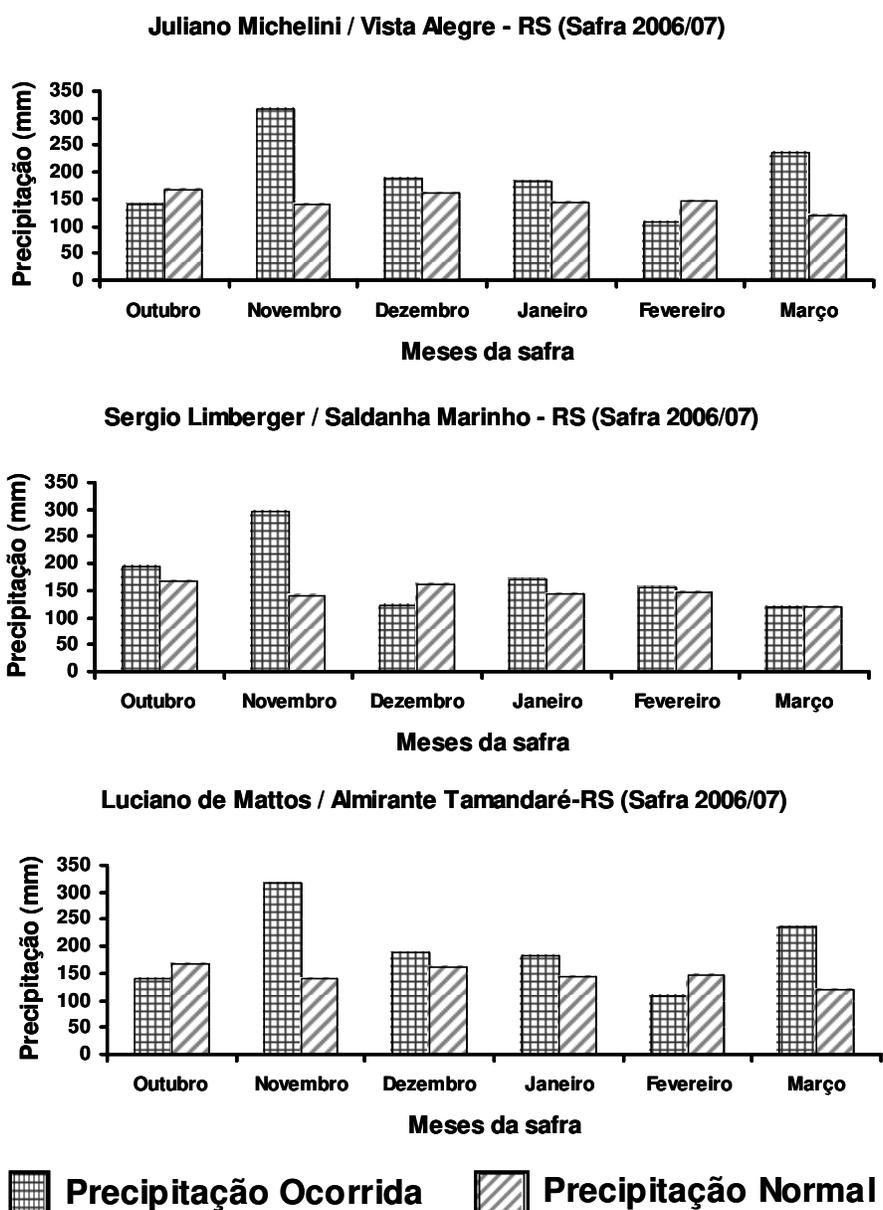


Figura 30: Índices pluviométricos ocorridos durante a safrá de milho 2006/07, nas áreas correspondentes aos municípios pertencentes ao projeto Aquarius.

Para as áreas manejadas com soja, segundo os gráficos, as precipitações foram bastante irregulares ao longo do período de desenvolvimento da cultura. A área do Sr. Nei Mânica, localizada no município de Não-Me-Toque/RS, apresentou os menores índices pluviométricos durante o desenvolvimento vegetativo da soja, sendo que, no mês de dezembro, houve uma precipitação três vezes inferior à

normal, o que certamente prejudicou os resultados finais de produtividade. De acordo com Doss (1974), a falta de água no desenvolvimento vegetativo afeta diretamente a produtividade da cultura da soja, pois induz a redução do crescimento da cultura, e seu metabolismo.

Já o município de Carazinho, onde está localizada a área do Sr. Mario Elly, apresentou uma carência de chuvas no período de enchimento de grão. No mês de fevereiro, as precipitações foram 50% inferiores ao previsto, proporcionando a menor produtividade média entre as áreas estudadas (3.180 kg ha^{-1}). Em algumas subáreas do talhão, a produtividade foi mais afetada pela deficiência hídrica do que outras, o que evidencia que a área apresenta diferentes níveis de qualidade de solo, com diferentes capacidades de armazenamento de água, conforme encontrado por Lemainski (2007).

Para que os impactos da deficiência de água nas culturas sejam minimizados, necessita-se de estratégias de manejo que possibilitem uma maior infiltração e armazenamento de água no solo, garantindo, assim, que as plantas suportem períodos de estiagem sem que o potencial de produtividade seja afetado gravemente. Segundo Mielniczuk et al (1996), uma das alternativas para a resolução desse problema seria o uso da rotação de culturas com espécies que apresentem diferentes sistemas radiculares e um bom aporte de resíduos ao sistema, o que proporcionaria uma melhor qualidade do solo.

Na área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, localizada em Santo Antônio do Planalto, a distribuição das chuvas foi mais uniforme durante os meses da safra analisada, o que fez com que a área apresentasse as maiores produtividades de soja entre as áreas analisadas.

Ao observar os dados pluviométricos ocorridos nas áreas cultivadas com milho, percebe-se que sua distribuição foi mais uniforme ao longo da safra, determinando, com isso, uma menor variabilidade na produção e a ocorrência de produtividades elevadas (recordes).

Para Santi (2007), a obtenção de rendimentos recordes depende da disponibilidade de água para a cultura, que deve estar sempre muito próxima da ideal, fato que a campo será concretizado se o regime de precipitações (quantidade e distribuição) durante o ciclo da cultura for favorável e o manejo da lavoura for orientado para aumentar a infiltração e o armazenamento de água no solo.

Percebe-se que em nenhuma das áreas ocorreu baixas precipitações por um período longo, o que, provavelmente favoreceu a obtenção do excelente resultado de produtividade da cultura do milho. É importante ressaltar que, em anos de boa disponibilidade hídrica, as demais condições de manejo também são beneficiadas, favorecendo a expressão do potencial produtivo das culturas em geral.

Nas figuras 31 e 32 é possível identificar as zonas de manejo nas áreas com soja e milho, definidas conforme Molin (2002) como baixa < 95%, média 95 – 105% e alta > 105%.

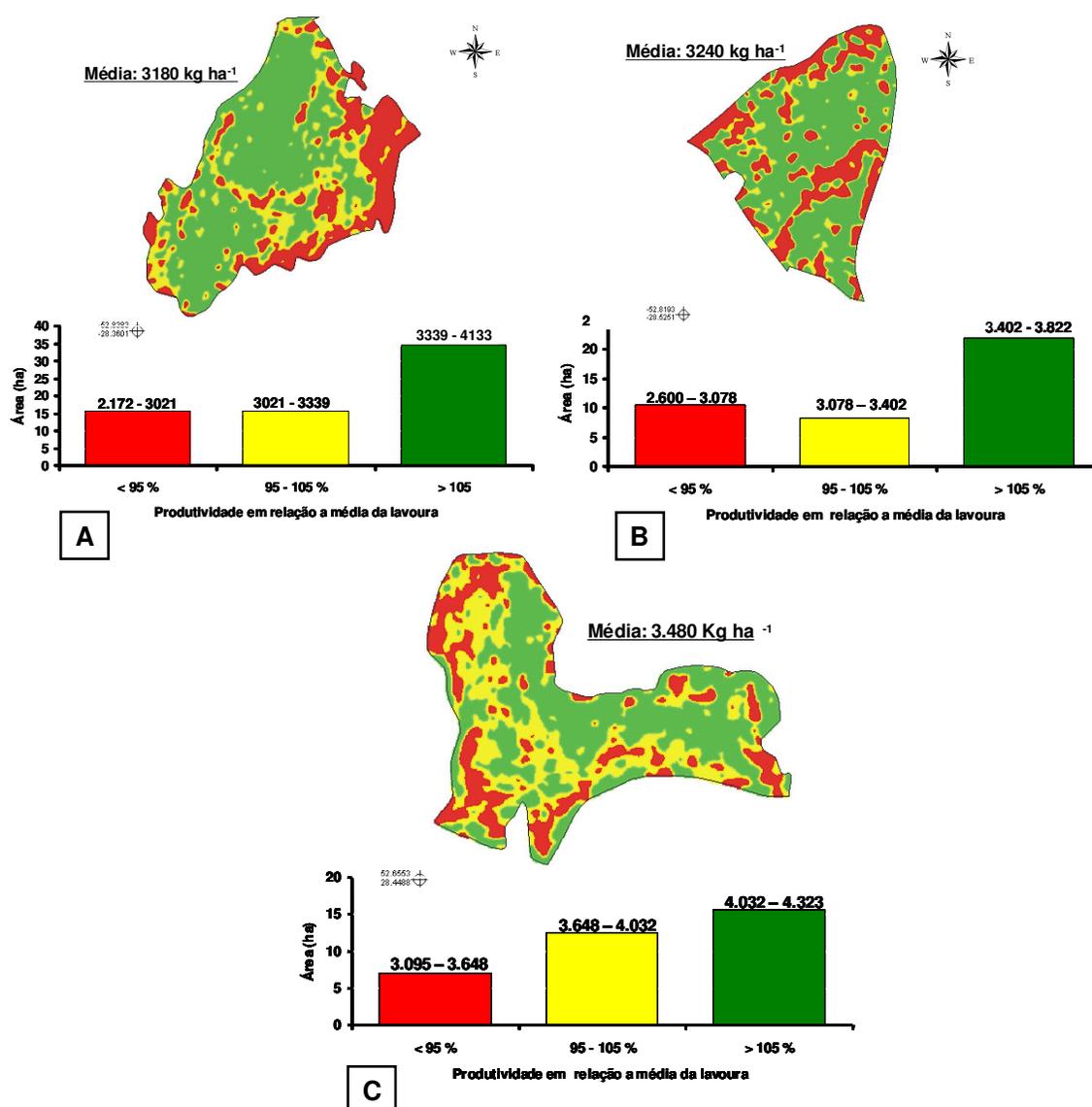


Figura 31: Espacialização horizontal e verticalização da produtividade da soja em relação à média da lavoura na safra 2006/07, nos municípios de (A) Carazinho, (B) Não-Me-Toque e (C) Santo Antônio do Planalto - RS.

Percebe-se que, nos 138 ha manejados com soja, 24% das áreas foram classificadas como sendo zona de baixa produtividade. Já a zona de média representou 28% e a zona de alta produtividade, 48%. O resultado evidencia o bom manejo realizado nas áreas.

Pode-se perceber que, nos 96 ha manejados com milho, as zonas de baixa produtividade representaram 27% da área e as zonas de média e alta, representaram 33 e 40%, respectivamente.

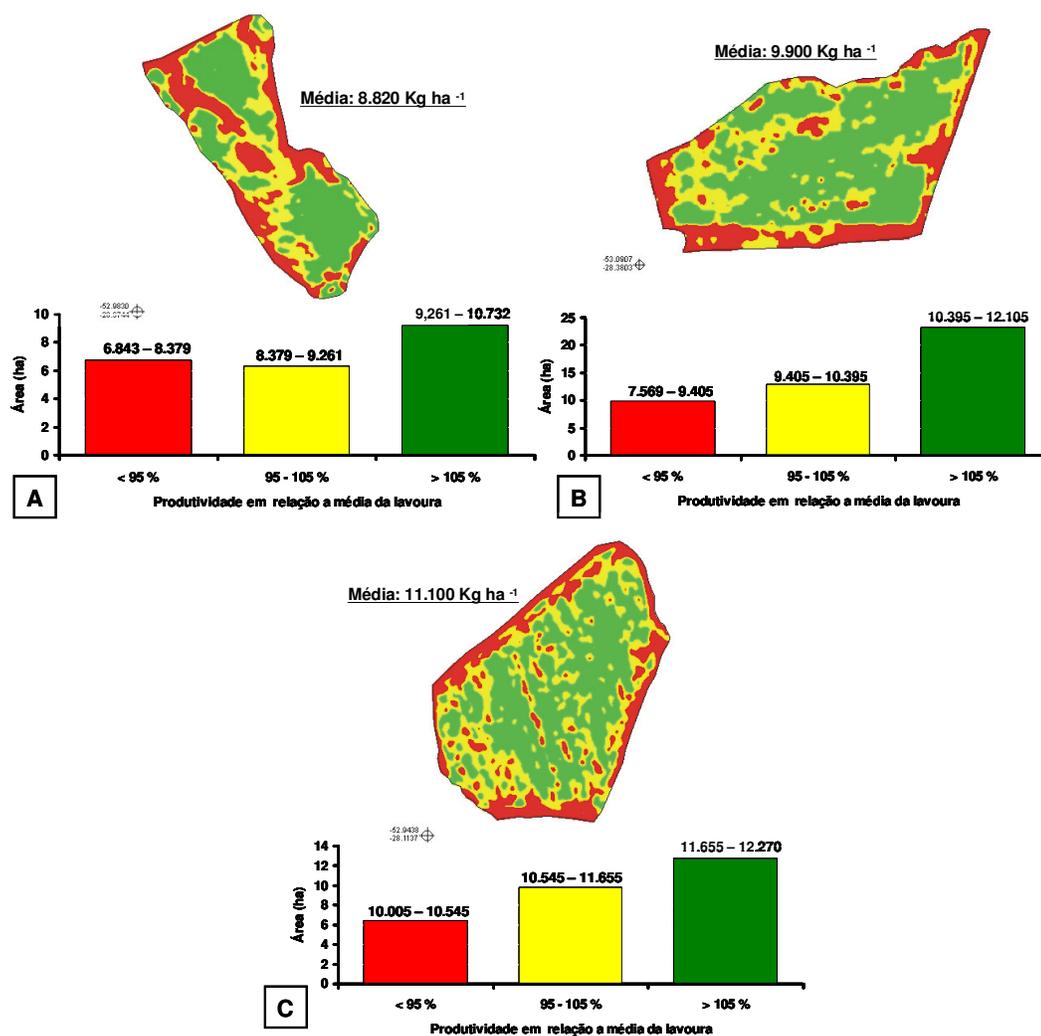


Figura 32: Espacialização horizontal e verticalização da produtividade do milho em relação à média da lavoura na safra 2006/07, nos municípios de (A) Vista Alegre, (B) Saldanha Marinho e (C) Almirante Tamandaré - RS.

Observa-se que a maioria das áreas classificadas como zona de baixa produtividade localiza-se nas bordas dos talhões, o que reforça a hipótese da presença de limitadores de rendimento das culturas, como os indicadores físicos. Isso sugere a necessidade de maiores estudos envolvendo o mapeamento dos atributos físicos do solo que possam estar limitando o rendimento das culturas.

A análise do mapa de zonas de manejo (produtividade) nas culturas de soja e milho em apenas uma safra não permitiu obter informações seguras a respeito da distribuição espacial das zonas de baixa, média e alta produtividade dentro do talhão. Segundo Molin (2002), a quantidade de safras monitoradas (mapas individuais) vai definir a qualidade da informação, pois quanto maior esse número, maior será a população de dados, melhor o ajuste da medição da variabilidade temporal e maior será a segurança na delimitação das zonas de manejo. Já Santi (2007), encontrou que a sobreposição de mais de três safras na mesma área, em conjunto com a integração de mais de uma cultura, proporcionou a distinção de zonas com potenciais de rendimento estáveis.

Comparando as médias de produtividades de soja e milho obtidas em cada talhão com AP com as médias das produtividades obtidas em cada propriedade correspondente, percebem-se os benefícios que o uso da tecnologia pode proporcionar (tabela 10). Para tal análise, considerou-se para a AC a mesma dimensão de área dos talhões com AP dentro das propriedades correspondentes.

Averigua-se, na tabela 10, que o uso da AP na cultura da soja proporcionou um incremento médio de 10% ou 360 kg ha⁻¹, sendo que o menor incremento foi de 6% obtido na área localizada em Carazinho e o máximo foi 31%, na área de Santo Antônio do Planalto -RS.

Na área de Não-Me-Toque não houve incremento na produtividade com o uso da AP. Nessa área observaram-se problemas na estrutura do solo e a presença de subáreas com afloramento de rochas. Será necessário um investimento maior de tempo e dinheiro para que os benefícios esperados, com a adoção do manejo localizado, apareçam.

Tabela 10: Produtividades médias das culturas nas áreas em estudo, considerando os dois sistemas de manejo na safra 2006/07.

Município	Produtor	Área	Média AC*	Média AP**	Diferença AP - AC
		ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹
Carazinho	Mario Elly	64,8	3.000	3.180	+ 180
Não Me Toque	Nei César Mânica	38,6	3.240	3.240	0
Santo Antônio	Jairo M. Kohlrausch	34,6	2.940	3.840	+ 900
Média Soja		138	3060	3420	+ 360
Vista Alegre	Juliano Michelini	21,94	7.740	8.820	+1.080
Saldanha Marinho	Sergio Limberger	45,21	9.000	9.900	+ 900
Almirante Tamandaré	Luciano de Mattos	28,71	9.420	11.100	+1.680
Média Milho		96	8.700	9.960	+ 1.200

* AC = Agricultura Convencional ** AP = AP

Com a cultura do milho os resultados foram mais satisfatórios, pois em todas as áreas ocorreram incrementos expressivos. Verificou-se um incremento médio de 14% ou 1.200 kg ha⁻¹ e o recorde de rendimento foi encontrado na área de Almirante Tamandaré, onde houve um incremento de 18% ou 1.680 kg ha⁻¹. Essa área encontra-se com plantio direto consolidado há mais de 15 anos, o que provavelmente proporciona boas condições para o desenvolvimento das culturas. Também não se encontram grandes problemas físicos e químicos que possam prejudicar a expressão do potencial produtivo das culturas implantadas na área.

Um dos fatores a ser considerado para a adoção de qualquer tecnologia é seu retorno financeiro. Na tabela 11 destaca-se a produção em reais (R\$) da cultura da soja e milho nas diferentes áreas e sistemas de manejo.

Pode-se visualizar que as receitas foram variadas entre as áreas cultivadas com soja. Os piores resultados foram observados na área de Não-Me-Toque, pertencente ao Sr. Nei Mânica, onde não houve diferença de produção. Em contrapartida, a área localizada em Carazinho e pertencente ao Sr. Mario Elly apresentou um aumento de

R\$ 83,90 ha⁻¹ e a área pertencente ao Sr. Jairo Kohlrausch, localizada em Santo Antônio do Planalto, apresentou um retorno financeiro de R\$ 143,34 ha⁻¹, representando um montante de R\$ 19.781,00 nos 138 ha manejados com soja. Tal resultado pode ser atribuído às aplicações a taxa variável realizadas nas áreas com o intuito de suprir as necessidades pontuais de nutrientes. Segundo Wang et al. (2003), a tecnologia de taxa variável tem potencial para aumentar o rendimento de culturas e melhorar a rentabilidade das propriedades, se comparada à tecnologia de taxa uniforme.

Tabela 11: Produtividades médias (R\$) das culturas nas áreas em estudo, considerando os dois sistemas de manejo na safra 2006/07.

Município	Produtor	Área Há	Prod. AC*	Prod. AP**	Diferença AP - AC
			R\$		
Carazinho	Mario Elly	64,8	90.692	96.133	+ 5.441
Não Me Toque	Nei César Mânica	38,6	58.423	58.423	0
Santo Antônio	Jairo M. Kohlrausch	34,6	46.900	61.240	+ 14.340
Média Soja		138			
Vista Alegre	Juliano Michelini	21,94	45.284	51.602	+ 6.318
Saldanha Marinho	Sergio Limberger	45,21	108.540	119.354	+ 10.814
Almirante Tamandaré	Luciano de Mattos	28,71	72.119	84.981	+12.862
Média Milho		96			

* AC = Agricultura Convencional ** AP = AP

Para a cultura do milho, pode-se verificar que o retorno financeiro foi mais significativo. O incremento médio encontrado nas áreas de milho foi de 14%, o que representa um retorno R\$ de 312,00 ha⁻¹ ou R\$ 29.994,00 nos 96 ha, sendo que área de Almirante Tamandaré apresentou o melhor resultado financeiro, com um retorno de R\$ 447,90 ha⁻¹.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lobo (2007) em seus estudos com AP na cultura do milho, conseguindo um aumento na rentabilidade por hectare em torno de 25%, ao comparar com a média nacional e um aumento de 15%, ao comparar com outras áreas de milho na mesma propriedade.

Considerando as exportações de P_2O_5 e K_2O nas diferentes áreas e culturas manejadas com AC e AP na safra de 2006/07 (tabela 12), percebe-se que a AP proporcionou um incremento nas exportações dos nutrientes devido ao aumento na produtividade, determinando, com isso, um aumento nas adubações futuras para garantir que essas áreas não estejam se exaurindo e perdendo seu potencial de produção.

Os valores utilizados para os cálculos foram determinados segundo Comissão... (2004). Com isso, para cada tonelada de soja produzida estimou-se a exportação em torno de 14 e 20 kg de P_2O_5 e K_2O Mg^{-1} , respectivamente. Já no tonelada de milho produzida, foram exportados 8 e 6 kg de P_2O_5 e K_2O , Mg^{-1} respectivamente.

Tabela 12: Exportação de P_2O_5 e K_2O nas diferentes áreas e culturas manejadas com AC e AP na safra 2006/07.

Município	Área ha	Prod. AC*	Exportação		Prod. AP**	Exportação		
			P_2O_5	K_2O		P_2O_5	K_2O	
		Kg.....					
Carazinho	64,8	194.340	2.720	3.886	205.999	2.883	4.119	
Nao-Me-Toque	38,6	125.192	1.752	2.503	125.192	1.752	2.503	
Sto Antônio do Planalto	34,6	100.500	1.407	2.010	131.228	1.837	2.624	
Total Soja	138	420.032	5.879	8.399	426.419	6.472	9.246	
Vista Alegre	21,94	169.815	1.358	1.018	193.505	1.548	1.161	
Saldanha Marinho	45,21	407.025	3.256	2.442	447.577	3.580	2.685	
Almirante Tamandaré	28,71	270.446	2.163	1.623	318.678	2.549	1.912	
Total Milho	96	847.286	6.777	5.083	959.760	7.677	5.758	

* AC = Agricultura Convencional ** AP = AP

3.5.4 Análise da eficiência do uso de fertilizantes para a cultura da soja e milho na safra 2006/07

Nesse item, buscou-se reunir todos os resultados já apresentados anteriormente para cada área e culturas estudadas. Foram computadas todos as quantidades de fertilizantes utilizadas para cada área, assim como os recursos financeiros disponibilizados para tal fim. Também foram computadas as produções totais e as exportações das culturas e seus retornos financeiros. A análise visou quantificar a eficiência do uso dos fertilizantes proporcionado pela adoção da taxa variável nas áreas estudadas.

Na tabela 13, são apresentados os dados de eficiência do uso de fertilizantes na área localizada em Carazinho e pertencente ao Sr. Mario Elly. Pode-se verificar que nos 64,8 ha foram economizados mais de 30% do total de fertilizantes, o que representou uma economia de 23,4% nos recursos disponibilizados. Somado-se a economia ao aumento de 6% na produtividade da soja, proporcionado pela AP, a área apresentou um incremento de 39,2% na eficiência do uso de fertilizantes, quando consideradas as quantidades totais de fertilizantes e um incremento de 31,9% na eficiência dos recursos utilizados. Tais resultados proporcionaram um retorno de R\$ 120,00 ha⁻¹ perfazendo um montante de R\$ 7.811,00 em área total.

Tabela 13: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 64,8 ha cultivados com soja no município de Carazinho- RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	14.900	10.104	205.999	96.133	13,8	9,5
AC	19.440	12.474	194.340	90.692	9,9	7,2
AP- AC %***	- 30,5	- 23,4	+ 6,0	+ 6,0	+ 39,3	+ 31,9

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Pode-se observar, na tabela 14, que, na área de Não-Me-Toque, pertencente ao Sr. Nei Mânica, cada quilo de fertilizante aplicado na agricultura convencional

correspondeu a 10,8 quilos de soja. Já na AP, essa relação teve um incremento de 41,6%, passando para 15,3 kg de soja por quilo de fertilizante aplicado.

Tabela 14: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 38,6 ha cultivados com soja no município de Não-Me-Toque – RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	8.200	5.436	125.192	58.423	15,3	10,7
AC	11.580	6.376	125.192	58.423	10,8	9,2
AP- AC %***	- 41,2	- 17,3	0	0	+ 41,6	+ 16,3

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Ao considerar os recursos investidos em cada sistema de manejo, averigua-se que a cada R\$ 1,00 investido na adubação convencional houve um retorno de R\$ 9,20. Já na adubação a taxa variável, o retorno foi de R\$ 10,71, o que representa um incremento de 16,3%. Essa área apresentou resultados menos expressivos porque não houve incremento na produtividade, porém foi possível economizar 17,3% dos recursos financeiros destinados à fertilização, sem que houvesse um decréscimo no rendimento. Tal economia em fertilizantes proporcionou um retorno de R\$ 24,35 ha⁻¹ ou um montante de R\$ 940,00 nos 38,6 ha manejados.

Cabe ressaltar que não houve resposta à taxa variada porque a área vem sendo adubada com doses elevadas de esterco de aves curtido, apresentando inicialmente teores elevados e pequena probabilidade de resposta.

A área localizada em Santo Antônio do Planalto e pertencente ao produtor Jairo Kohlrausch (34,6 ha) apresentou os melhores resultados de eficiência com o uso do manejo localizado nas áreas manejadas com soja na safra 2006/07 (tabela 15). Foram economizados 29,7% das quantidades totais de fertilizantes, representando 8,3% a menos dos recursos investidos na fertilização. Verifica-se também que a área obteve um incremento de mais de 30% na produtividade, o que proporcionou um aumento na eficiência em 69,1% e 41,7%, quando consideradas as quantidades totais e os recursos financeiros, respectivamente.

Considerando a economia de fertilizantes e o incremento na produtividade, essa área obteve um retorno de R\$ 427,00 ha⁻¹ ou um montante de R\$ 14.779,00, em área total.

Um das razões para os excelentes resultados apresentados pela área são os níveis iniciais de fertilidade do solo, que, na sua maioria, estavam acima do ideal. Também se pode destacar que nessas áreas os fatores climáticos contribuíram para a expressão do potencial produtivo da cultura, pois praticamente inexistiu longos períodos de déficit hídrico.

Tabela 15: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 34,6 ha cultivados com soja no município de Santo Antônio do Planalto - RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AC	10.380	5.708	100.500	46.900	9,7	8,2
AP	8.000	5.269	131.228	61.240	16,4	11,6
AP- AC %***	- 29,7	- 8,3	+ 31,2	+ 31,2	+ 69,1	+ 41,7

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Com os dados apresentados até o momento pode-se constatar que o uso de novas tecnologias, como as aplicações em taxa variável, podem proporcionar reduções nos recursos necessários para a implantação das culturas e ainda determinar maiores rendimentos. Para Dellamea et al. (2007) e Kindler (1988), o objetivo da implantação de novas tecnologias no agronegócio é exatamente esse, ou seja, minimizar os custos de produção e a maximização dos retornos econômicos líquidos, através do tempo.

A área localizada em Vista Alegre e pertencente ao Sr. Juliano Michelini, cultivada com milho na safra 2006/07, apresentou um incremento de 43,5 e 44,6% na eficiência do uso dos fertilizantes, quando consideradas as quantidades totais e os recursos financeiros, respectivamente (tabela 16). A adoção da AP resultou em uma economia de fertilizantes de mais de 20% e um incremento na produtividade de 14%, justificando os excelentes resultados.

Tabela 16: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 21,9 ha cultivados com milho no município de Vista Alegre - RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	6.100	4.350	193.507	51.602	31,7	11,8
AC	7.679	5.504	169.815	45.284	22.1	8,2
AP- AC %***	- 20,6	- 26,5	+ 14,0	+ 14,0	+ 43,5	+ 44, 6

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Ao considerar os R\$ 1.154,00 economizados na fertilização da área e os R\$ 6.318,00 acrescidos na produção final, a AP proporcionou um retorno de R\$ 341,18 ha⁻¹.

Na tabela 17, observa-se que, na área localizada em Saldanha Marinho e pertencente ao produtor Sergio Limberger, foram colhidos 25,7 kg de milho para cada Kg de fertilizantes aplicados na AC. Já com a AP, a relação passou para 37,9, representando um incremento de 47,6%. Ao considerar os recursos financeiros colhidos e os investidos nos fertilizantes, obteve-se um aumento de 60,2% na eficiência. Quando na AC a relação R\$ Colhidos/ R\$ investidos foi de 9,6 na AP ela passou para 15,4, representando um retorno total de R\$ 14.408,00 ou R\$ 318,76 ha⁻¹.

Tabela 17: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 45,2 ha cultivados com milho no município de Saldanha Marinho - RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	11.800	7.750	447.577	119.354	37,9	15,4
AC	15.823	11.344	407.025	108.540	25.7	9,6
AP- AC %***	- 34,1	- 46,3	+ 9,9	+ 9,9	+ 47,6	+ 60,2

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Na terceira área manejada com milho, os resultados foram semelhantes às demais, porém essa apresentou resultados ainda melhores devido ao recorde de incremento da produtividade, que chegou a 18% (tabela 18), apesar da redução de

mais de 50% nas quantidades totais de fertilizantes e nos recursos necessários para adquiri-los. Na área de 28,7 há, localizada em Almirante Tamandaré do Sul e pertencente ao Sr. Luciano de Mattos, as relações de eficiência mostraram-se extremamente positivas, atingindo um incremento 78 e 82% nas quantidades totais e recursos financeiros, fazendo dela a mais eficiente entre as áreas estudadas.

O balanço econômico também se revelou muito positivo, uma vez que foram economizados R\$ 2.582,00 em fertilizantes e acrescidos R\$ 12.862,00 em aumento na produtividade. Isso representou uma economia total de R\$ 15.444,00 ou R\$ 538,12 ha⁻¹.

Cabe ressaltar que a área não apresentou grandes irregularidades de chuvas durante a safra analisada e que seus níveis de fertilidade estavam próximos ao ideal, o que ajuda a entender tais resultados. Outro fator a considerar é que a área apresentou o menor CV na produtividade da soja, o que, possivelmente, é proporcionado pelo bom manejo praticado durante os 15 anos de implantação do plantio direto.

Tabela 18: Eficiência do uso dos fertilizantes nos 28,7 ha cultivados com milho no município de Almirante Tamandaré do Sul - RS, durante a safra 2006/07.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	6.650	4.622	318.678	84.981	47,9	18.4
AC	10.048	7.204	270.446	72.119	26,9	10,1
AP- AC %***	- 51,1	- 55,8	+ 18,0	+ 18,0	+ 78	+ 82,1

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Ao considerar os 138 ha manejados com soja e os 96 ha com milho, observa-se que as áreas manejadas com milho apresentaram melhores resultados (tabelas 19 e 20), devido principalmente aos maiores incrementos na produtividade. Segundo Molin (2002) e Santi (2007), a cultura do milho tem um maior potencial para expressar sua produtividade em resposta às melhorias proporcionadas na fertilidade do solo com o uso das aplicações a taxa variável.

Tabela 19: Eficiência do uso dos fertilizantes nas áreas cultivadas com soja, durante a safra 2006/07 – 138 ha.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	31.100	20.809	462.419	215.796	14,8	10,4
AC	41.400	24.558	420.032	196.015	10,1	7,9
AP- AC %***	- 33,1	- 18,1	+ 10,0	+ 10,0	+ 47,2	+ 31,3

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Tabela 20: Eficiência do uso dos fertilizantes nas áreas cultivadas com milho, durante a safra 2006/07 – 96 ha.

Sistemas	Fertilização		Produção		Relações	
	Kg	R\$	Kg	R\$	Kg C/A*	R\$ C/I**
AP	24.550	16.722	959.763	255.937	39,1	15,3
AC	33.600	24.052	847.286	225.943	25,2	9,4
AP- AC %***	- 36,8	- 43,8	+ 14,0	+ 14,0	+ 55,1	+ 62,8

* Relação Kg Colhidos/Kg Aplicados ** Relação R\$ Colhidos/ R\$ Investidos. *** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Para as áreas de soja, a relação Kg colhidos / Kg aplicados ficou em 10,1 para a AC, passando para 18,8 com a AP, representando um incremento de 47,2%. Para as áreas com milho, a relação foi 25,2 na AC, passando para 39,1 na AP, representando um incremento de 55,1%.

A relação R\$ colhidos / R\$ investidos obteve um incremento de 31,3% nas áreas com soja e de 62,8% para o milho. Isso foi possível pelo fato de que nos 138 ha com soja foram economizados 18% dos recursos destinados aos fertilizantes, enquanto nos 96 ha de milho a economia passou para 43,8%. Além disso, a AP proporcionou um incremento na produtividade de 10% para as áreas com soja e 14% para as de milho. Somados os valores economizados na adubação e os valores acrescidos na produção, obteve-se um retorno total de R\$ 19.781,00 e R\$ 29.994,00, representando R\$ 143,34 ha⁻¹ e R\$ 312,44 ha⁻¹ para soja e milho, respectivamente.

Esses resultados concordam com as avaliações econômicas realizadas por Amado et al (2006) em uma área de 45,2 ha da região de Não-Me-Toque-RS, em que foram realizadas aplicações em taxa variável na cultura da soja na safra 2005/06. A tecnologia proporcionou uma redução de R\$ 7.979,00 nos recursos necessários para a fertilização em relação à fertilização convencional, representando uma economia de R\$ 176,52 ha⁻¹.

A eficiência do uso de fertilizantes, quando consideradas as reais quantidades de nutrientes contidos nos fertilizantes, determinou resultados ainda mais expressivos para a cultura do milho (tabelas 21 e 22).

Tabela 21: Eficiência do uso de P₂O₅ e K₂O nas áreas com a cultura da soja na safra 2006/07 - 96 ha.

Sistemas	Fertilização		Produção Soja	Relação C/A*	
	P ₂ O ₅	K ₂ O		P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----	Kg	-----		
AP	7.335	8.888	426.419	58,1	47,9
AC	8.280	8.280	420.032	50,7	50,7
AP- AC %**	- 11,4	+ 9,6	+ 10,0	+ 14,5	- 5,8

* Relação Kg Colhidos / Kg Aplicados ** Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Tabela 22: Eficiência do uso de P₂O₅ e K₂O nas áreas com a cultura do milho na safra 2006/07 - 96 ha.

Sistemas	Fertilização		Produção Soja	Relação C/A*	
	P ₂ O ₅	K ₂ O		P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----	Kg	-----		
AP	7.176	5.370	959.763	133,7	178,7
AC	7.728	9.400	847.286	109,6	90,1
AP- AC %**	- 7,6	- 42,8	+ 14,0	+ 21,9	+ 98,3

* Relação Kg Colhidos / Kg Aplicados **Nos valores negativos utilizou-se a fórmula: AP-AC/APX100. Para os positivos (incrementos) utilizou-se a fórmula: AP-AC/ACX100.

Percebe-se que, na cultura do milho, a grande economia de adubação potássica proporcionou um incremento de 98,3% na eficiência do uso desse

fertilizante. Já para o fósforo observou-se um incremento de 21,9% com o uso da AP.

A redução no uso de agroquímicos, aliada à maior eficiência do uso dos nutrientes, é freqüentemente citada como benefício potencial da AP para reduzir o impacto da agricultura no meio ambiente, (ENGEL; GAULTNEY, 1990; LARSON et al., 1997).

Na cultura da soja os valores foram menos expressivos. Na adubação fosfatada obteve-se uma economia de 11,4% na fertilização e um acréscimo de 10% na produção, o que determinou um incremento de 14,5% na relação Kg de soja colhido / Kg de P_2O_5 aplicado.

Já para o K_2O , houve um decréscimo de 5,8% na eficiência do uso desse nutriente. Na agricultura convencional, para cada quilo de potássio aplicado foram colhidos 50,7 kg de soja; já na AP, o valor caiu para 47,9 kg. O fato desse nutriente apresentar uma menor eficiência em relação ao fósforo, deve-se à aplicação de uma quantidade de K_2O 9,6% superior nas áreas com manejo convencional, a fim de corrigir as subáreas com deficiência de potássio.

Cabe ressaltar que os níveis de fertilidade, adotados pela comissão técnica do Projeto Aquarius, foram superiores aos da Comissão ...(2004). Se fosse reduzida a classe considerada ideal, ocorreriam maiores economias de potássio nas áreas, o que resultaria, possivelmente, em maiores níveis de eficiência.

Outra justificativa para o uso de maiores doses de potássio nas áreas manejadas com AP, para a cultura da soja, é a análise dos nutrientes exportados na safra 2006/07. Como exemplo, utilizou-se a área de Santo Antônio do Planalto/RS – 34,6 ha. Pode-se observar, na figura 33, a exportação pontual de potássio da soja na safra 2006/07 e as quantidades de K_2O aplicados tradicionalmente pelo produtor (300 kg ha^{-1} de 0-20-20).

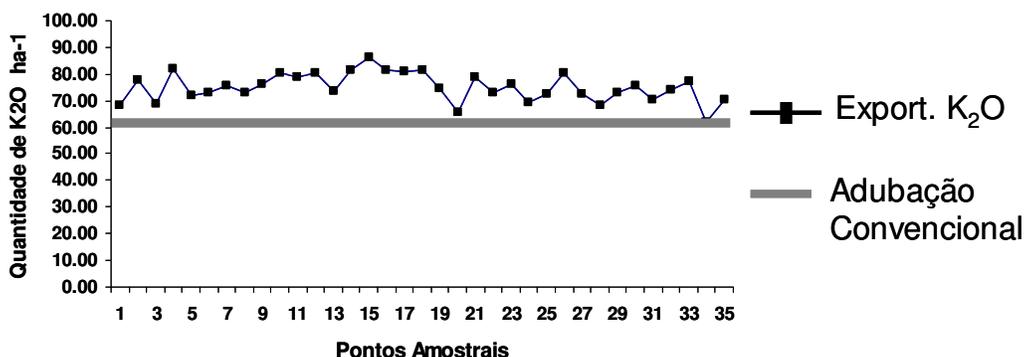


Figura 33: Exportação de potássio na cultura da soja na área de Santo Antônio do Planalto/RS – 34,6 ha na safra 2006/07 e a adubação da fórmula NPK 0-20-20 de forma convencional.

Percebe-se que a utilização da adubação convencional contemplaria somente a exportação de 5% da área, ficando aquém da exportação de potássio em 95% da área, sem considerar as doses de manutenção e expectativa de rendimento da cultura. Como, para a determinação das doses de fertilizantes a taxa variável, consideraram-se as doses necessárias para suprir a correção, exportação, manutenção e expectativa de rendimento, em casos onde as áreas apresentavam um bom potencial de rendimento, o manejo localizado apresentou maiores doses de nutrientes aplicados.

Portanto, na AC, quando os teores estão muito altos, pode-se adubar abaixo da exportação sem prejuízo ao rendimento. No caso da AP, com teores muito altos e adubando pela exportação, perdeu-se eficiência, pois não foram usadas somente as reservas do solo.

É importante ressaltar que, na maioria dos talhões estudados, não houve grandes subáreas com deficiência de nutrientes. Isso pode ser explicado pelo fato de a região ter uma tradição de utilização de doses satisfatórias de fertilização que, associadas ao plantio direto consolidado, possibilitou reduzidas perdas e beneficiou a construção da fertilidade do solo.

Em síntese, os conhecimentos da variabilidade dos atributos químicos do solo e a aplicação de fertilizantes a taxa variável resultaram na maximização da eficiência no uso de fertilizantes com a manutenção de rendimentos competitivos.

Segundo Malavolta (2007), é fundamental o uso de tecnologias, como a AP, a fim de proporcionar um aumento na eficiência do uso dos fertilizantes, pois alguns

deles estão com suas reservas em nível de esgotamento. É o caso do fósforo, um mineral “finito e insubstituível”, cujas reservas conhecidas e de exploração economicamente viável podem se esgotar num prazo de 60 a 100 anos, se for mantido o ritmo atual de crescimento do consumo mundial.

Resultados como esses são fundamentais para que se possa balizar o uso das técnicas de AP, mas torna-se necessário mais tempo de estudo, com diferentes condições de clima e de solos, para que sejam revelados os reais potenciais dessa tecnologia.

Cabe salientar que, devido às limitações de tempo e recursos, foram analisadas, neste trabalho, seis propriedades que tiveram sucesso com a AP. No entanto, em outras propriedades pertencentes ao Projeto Aquarius, não houve resultados tão expressivos quanto nessas, recomendando-se que sejam estudadas as causas.

3.6 CONCLUSÕES

As áreas estudadas apresentaram grande variabilidade na fertilidade do solo e na produtividade das culturas na safra analisada.

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.

No uso da AP, quando considerados os reais valores dos nutrientes compreendidos nos diferentes fertilizantes, foi possível reduzir em 11,4% e 7,6% a adubação fosfatada para as culturas da soja e milho, respectivamente. Já para a adubação potássica, obteve-se um incremento em 9,6% na cultura da soja e uma redução de 42,8% para o milho.

A eficiência no uso de fertilizantes, avaliada pela relação kg grão produzido kg fertilizante aplicado, demonstrou um aumento de 47,2% para a cultura da soja e 55,1% para a cultura do milho, com o uso da AP em relação ao manejo tradicionalmente utilizado pelos produtores.

Quando considerados os dados econômicos, obteve-se com a AP um incremento médio de 31,3 e 62,8%, representando um retorno de R\$ 143,34 ha⁻¹ para a cultura da soja e R\$ 312,44 ha⁻¹ para a cultura do milho.

Ao considerar os reais valores dos nutrientes nos fertilizantes, a AP proporcionou um aumento na eficiência de 14 e 21,9% para a adubação fosfatada nas culturas da soja e milho, respectivamente. Para a adubação potássica houve uma redução de 5,8% para a cultura da soja e um aumento de 98,3% para a cultura do milho.

As propriedades que se mostraram mais eficientes com o uso das aplicações a taxa variável foram as localizadas em Santo Antônio do Planalto, para a cultura da soja, e Almirante Tamandaré do Sul, para a cultura de milho. Nessas áreas obteve-se um incremento na eficiência de 69,1% e 78%, respectivamente.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T..J. C.; ELTZ, F..L. F. Plantio Direto Em direção a sustentabilidade agrícola. **A Granja**, Porto Alegre, v. 60, n. 672, p. 59-62, dez. 2004.

AMADO, T. J. C. et al. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 89, p.15-23, set./out. 2005.

AMADO, T. J. C. et al. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, n. 1, p. 39- 47, jan./fev. de 2006.

AMADO, T. J. C. et al. A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**, n. 101, p. , set./out. 2007.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. AP aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta; Fundacep, Cruz Alta 2007.

BALASTREIRE, L. A. **O estado da arte da AP no Brasil**. Piracicaba, Departamento de Engenharia Rural ESALQ/USP, 2000.

BLACKMORE, B. S. et al. Understanding Variability in Four Fields in the United Kingdom. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Minnesota. University of Minnesota. **Proceedings** ... Mennesota: ASA, CSSA, SSSA, SEAFBS & ASPRS. 1998.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability, In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., 1997, Warwick,. **Proceedings**... London: BIOS Scientific, 1997. p.851-859.

BORGES, R.; MALLARINO, A. P. Significance of spatially variable soil phosphorus and potassium for early growth and nutrient content of no-till corn and soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, n. 3, p. 2589-2605, apr. 1998.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro, DNPV, 1983. 764 p. v.31.
CAHN, M. D.; HUMMEL, J. W.; BROUER, B. H. Spatial analysis of soil fertility for soilspecific crop management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 1240-1248, apr, 1994.

CASTRO, R. Custo de produção da soja cultivada sob sistema plantio direto. **Ciência Agrária, Agrotec**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1146-1153. jun. 2006.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, oct. 1994.

CHOUDHARY, L. D.; BAILEY, L. D.; GRANT, C. A. Review of the use of swine manure in crop production: Effects on yield and composition and on soil and water quality. **Waste Manag. Res.** Bradon -Canada, v. 14, n.6, p. 581-595, fev 1996.

COELHO, A. M., Agricultura de Precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, n.3, p.249-290, mar. 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400 p

COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. Potencial de rendimento da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 82, p. 28-32, jul./ago. 2004.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.661-73.

DELLAMEA, R. B. C. et al. **AP voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto.** Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado (2007) ,CD ROM.

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

DOSS, B. D., THURLOW, D. L. Irrigation, row width and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 620-623, nov. 1974.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oryza sativa L.).** 2007. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Manual de Métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999.

ENGEL, B. A.; GAULTNEY, L. D. **Environmentally sound agriculture production systems through site-specific farming.** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1990. p.1-7 (ASAE Paper, 90-2566).

FIEZ, T. E.; MILLER, B. C.; PAN, W. L. Assessment of spatially variable nitrogen fertilizer management in winter wheat. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, n.1, p. 86-93, may, 1994.

GUPTA, R. K. et al. Spatial variability and sampling strategies for NO₃ -N, P and K determinations for site-specific farming. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 40, n.2, p.337-343, jul, 1997.

KINDLER, J. Modeling derived demand for irrigation water. **Agricultural Water Management**, London, v. 13, n.1, p. 403-410, oct. 1988.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agric. Ecosyst. Environ.** New Delhi , v. 86, n.5 , p. 155–156, aug. 2001.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de AP em pequenas propriedades.** 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LARSON, W. E. et al. Potential of site-specific management for nonpoint environmental protection. In PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (eds.). **The State of Site-Specific Management for Agriculture.** Madison: ASA Misc. Publ.. 1997. p. 369-396.

LEMAINSKI, C. L. **AP em áreas irrigadas com pivô central no Rio Grande do Sul.** 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LOBO, M.I.J. **AP.** São Paulo, Novembro de 2007. Disponível no site. www.pulverizar.com.br , Acesso dia 7 de fevereiro de 2008.

LOWENBERG-DEBOER, J.; SWINTON, S. M. **Economics of site-specific management in agronomic crops.** W. Lafayette: Purdue University, 1995, 25 p. (Staff Paper 95-14).

MALLARINO, A. P. Spatial variability patterns of phosphorus and potassium in notilled soils for two sampling scales. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n.8, p. 1473-1481, jan. 1996.

MALAVOLTA, T. E. A agricultura diante da escassez do fosfato. **Revista Fórum**, São Paulo, n. 56, nov. 2007. Disponível em <http://www.revistaforum.com.br>. Acesso dia 23 de abril de 2008.

MENEGATTI, L. A. A. – **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. 2002. 84 f. (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MIELNICZUK J. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. In: **Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, 1996. p. 09-14.

MOHAMED, S. B.; EVANS, E. J.; SHIEL, R. S. **Mapping techniques and intensity of soil sampling for precision farming**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.217-226.

MOLIN, J. P. **AP : o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: José Paulo Molin, 2001. 83 p.

_____. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, v.1, p. 83-92, Aug. 2002.

_____, **Esalq avança em pesquisas e no desenvolvimento de técnicas de AP**. 2003 (Boletim n. 1340), acessado dia 14 de agosto de 2008. www.usp.br/agencia.usp.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. London: Silsoe College, 1998. p. 379.

MUCHOVEJ, R. M. C.; OBREZA, T. A. Application of organic wastes in agriculture. In: ALVAREZ V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/ UFV/ DPS, 1996. p.901-914.

PES, L. Z. et al. Projeto AQUARIUS/COTRIJAL– Pólo de AP na região do Alto Jacuí - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AP, 20., São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP : ESALQ/USP, 2006. 1CD Room.

PENNEY, D. C. et al. Yield and nutrient mapping for site specific fertilizer management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Local, v. 27, n., p. 1265-1279, mês 1996.

PIRES, J. L. F. et al. **Avaliação de cultivares de trigo em sistema de manejo tradicional e otimizado**. Passo Fundo, 2004. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 19 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 54). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do54.htm. Acessado em 28 de agosto de 2008.

PIZZUTI, L.; SCHENATO, R. B.; LEMAINSKI, C. L. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, n. , p. 39- 47, mês 2006.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da AP**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. AP na produção de grãos. In: BORÉM, A. et al. **AP**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 2-42.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu

SÁ, M. F. M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. 2001. 117 f. Tese (Doutorado em.....) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da AP**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169 f. Tese (Doutorado em.....) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHERER, E. E. et al. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho.** Florianópolis, EMPASC, 1984. 26 p.

SCHIEBELBEIN, L. M.; FOCHT, D.; ROLOFF, G. **Aumento de produtividade com o uso da AP ao longo do tempo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AP, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 1 CD-ROM.

SCHNITKEY, G. D.; HOPKINS, J. W.; TWEETEN, L. G. An economic evaluation of precision fertilizer applications on corn-soybean fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Madison. **Proceedings...**, Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1996. 1 CD-ROM.

SCHUNG, E. et al. Yield mapping and application of yield maps to computer-aided local resource management. In: SOIL SPECIFIC CROP MANAGE, 1., 1993, Madison. **Proceedings...** Madison: Am. Society of Agronomy, 1993.

SENAY, G. B. et al. Manipulation high spatial resolution aircraft remote sensing data for use in site-specific farming. **Transactions of the ASAE.** Madison, v. 41, n.7, p. 489-495, Jul. 1998.

SIQUEIRA, J. O. A agricultura diante da escassez do fosfato. **Revista Fórum,** São Paulo, n. 56, nov. 2007. Disponível em <http://www.revistaforum.com.br>. Acesso dia 12 de julho de 2008.

SOMMERFELDT, T. G.; CHANG, C. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, New York, v. 49, n. 2, p. 983-987, may, 1985.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, jun. 2004c.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 126 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

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

WANG, D. et al. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields. **Precision Agriculture**, v. 4, n. 9, p. 35-52, oct. 2003.

WIBAWA, W. D. et al. Variable fertilizer application base don yield goal, soil fertility and soil map unit. **J. Prod.Agric**. v. 6, n. 6 , p. 255 -261, marc. 1993.

3.8 ANEXOS

Anexo A: Diagnóstico da fertilidade das áreas que serviram de testemunhas (AC) nas seis areas selecionadas para este estudo dentro do Projeto Aquarius.

Carazinho -RS									
Ponto	Arg	pH	SMP	P	K	MO	Ca	Mg	CTC
	%	Água		mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	Cmol dm ⁻³	Cmol dm ⁻³	Efet
1	57	5,7	5,8	13,5	147,3	2,4	5,9	3,4	9,2
Não –Me- Toque -RS									
1	37	5,9	6,1	17,4	167,7	2,9	6,5	3,8	8,9
Santo Antônio do Planalto –RS									
1	37	6,0	6,1	21,4	112,2	2,1	6,2	2,8	9,6
Vista Alegre –RS									
1	37	5,5	5,7	12,8	98,3	2,7	6,4	2,7	9,3
Saldanha Marinho –RS									
1	37	5,4	6,1	14,2	122,6	2,1	6,1	2,6	9,8
Almirante Tamandaré –RS									
1	37	5,5	6,2	19,7	155,3	2,0	6,3	3,7	9,1