

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

**QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO SOB
PLANTIO DIRETO SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO
DE SÍTIO ESPECÍFICO E O RENDIMENTO DA SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Vitor Cauduro Girardello

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO
SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO DE SÍTIO ESPECÍFICO E O
RENDIMENTO DA SOJA**

por

Vitor Cauduro Girardello

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de Concentração em Biodinâmica e manejo 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

2010

G515q Girardello, Vitor Cauduro, 1981-
Qualidade física de um latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja / Vitor Cauduro Girardello. – Santa Maria, 2010.
103 f.; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.
“Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado”

1. Ciência do solo 2. Atributos físicos do solo 3. Sistema de plantio direto 4. Escarificação 5. Agricultura de precisão I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Título

CDU: 631.58

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2010

Todos os direitos autorais reservados a Vitor Cauduro Girardello. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Tuiuti, n. 1321, Apto. 05 Bairro: Centro, Santa Maria, RS, 97015-663

Fone (0xx) 55 99515157; End. Eletr: vitorgirardello@gmail.com

**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

**QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO
SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO DE SÍTIO ESPECÍFICO E O
RENDIMENTO DA SOJA**

elaborada por
Vitor Cauduro Girardello

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Amauri Nelson Beutler, Dr. (UNIPAMPA)

Rodrigo da Silveira Nicoloso, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2010.

Agradeço a amizade que gentilmente você me permitiu desfrutar.

Agradeço sua energia que positivamente muitas batalhas me ajudou ganhar.

Agradeço sua força que bravamente você conseguiu me emprestar.

Agradeço a seu coração todo carinho que pôde me dar.

A Deus dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter nos dado o dom da vida e a inteligência para seguirmos em busca de um ideal.

A meus pais, José Carlos Girardello, o seu Zé, meu pai e Fátima Cauduro Girardello, minha mãe, a Fatinha, por sempre me incentivarem, apoiarem-me, mostrarem-me os caminhos e terem me ensinado os valores de honestidade, responsabilidade e perseverança. Enfim, por terem me educado para ser um melhor cidadão. Obrigado por me apoiarem em todos os momentos, por serem a palavra de carinho e de encorajamento nos momentos de dificuldade.

A meus irmãos Vanessa e Raul pela convivência durante toda a vida, que em algumas vezes foi de briga, mas no fundo revestida de um carinho muito grande. Ao meu irmão pela convivência durante todo o tempo de vida fora do ninho de nossos pais na Santa Maria da boca do monte.

À Aline minha noiva, pelo carinho, pelo apoio, por entender minha ausência nas horas dedicadas aos estudos, e viagens.

A todos meus familiares, que mesmo distante sempre estiveram comigo nesta longa caminhada, mesmo aqueles que estão somente na lembrança, como o Vovô Luiz, Vovó Eva, pelo exemplo de vida que sempre será lembrado e seguido por todos que tiver a possibilidade da convivência em vida, ao Tio Heleno pelo exemplo de profissional que foste para mim.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar um dos melhores cursos de agronomia do país.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, que me acolheu como aluno e ao CNPq, pela bolsa de mestrado.

Aos professores do setor de Manejo e Conservação do Solo e da Água, pelo companheirismo, amizade, ensinamentos didáticos e de vida, ao convívio durante todo com os professores Flávio Eltz e Thomé Lovato. Um carinho especial ao professor Telmo Amado pelo convívio, amizade, pela compreensão e pelo exemplo de paixão demonstrado as causas ligada ao manejo e conservação do solo.

Aos colegas do tempo de graduação e agora na pós-graduação Jardes Bragagnolo e Gustavo Teló pela amizade, carinho, incentivo para a realização dos trabalhos e estudos, companheiros inseparáveis por toda a vida.

Agradecimento especial ao Rodrigo Nicoloso e Mastrangêlo Lanza Nova, pelo exemplo de vida acadêmico e acima de tudo grande amigos na vida pessoal.

Aos colegas do programa de pós-graduação em Ciência do Solo da UFSM, em especial aos colegas e amigos do setor de Uso, Manejo e Conservação de Solo Marta Rocha, Rodrigo Pizzani, Luciano Pes, Diego Fatecha, Ramiro Samaniego, por todos os dias de árduo trabalho conversas e churrascos sem ter motivos.

Aos alunos de graduação em Agronomia da UFSM, que voluntariamente auxiliaram na execução deste trabalho: Diego Shosseler, Douglas Dalla’Nora, Fabiano Tabaldi, Fernando Hansel, Junior Kunz, Paulo Alba, Tiago Horber, Tiago Teixeira, Alvaro Menegon parceiros de Projeto Aquarius, agradeço ainda a todos os outros bolsistas voluntários do laboratório: Rodrigo, Paulo “Mixaria”, Henrique, Pedro, Rafaleu Goulart.

À todos os parceiros do projeto Aquarius (AGCO, Cotrijal, Yara, Stara) que nunca mediram esforços para que eu conseguisse realizar toda a minha investigação científica, agradeço ainda de forma especial a Agropecuária Koeche, na pessoa do Sr. Volnei Koeche, que durante este período me acompanhou sem medir esforços para que eu realizasse meu experimento de campo, emprestando equipamentos e funcionários para o bom desenvolvimento do projeto proposto, agradeço ainda ao Seu Valdir, O Romeu e o Yago Koeche. Agradecimento ainda ao Sr. João e Felipe Tagliari, por me disponibilizarem sua propriedade, equipamento e mão de obra para o desenvolvimento do projeto.

Um Agradecimento especial aos funcionários da Stara, S/A que me ofereceram condições para realização deste trabalho, pois através de seu árduo trabalho todas as condições me foram oportunizadas, muito obrigado Cristiano, Edson, Edinho.

A todos meus amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para eu alcançar o meu objetivo, vocês fazer parte desta minha conquista, muito obrigado.

Muito Obrigado

RESUMO

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

QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO DE SÍTIO ESPECÍFICO E O RENDIMENTO DA SOJA

AUTOR: VITOR CAUDURO GIRARDELLO

ORIENTADOR: PROF. TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Local e data da Defesa: Santa Maria, 26 de Fevereiro de 2010.

A compactação tem sido observada no sistema de plantio direto (SPD), principalmente em solos com textura argilosa. Uma característica importante da compactação é que a sua ocorrência é desuniforme dentro da área. Com técnicas de agricultura de precisão (AP) é possível identificar os locais onde ela ocorre, possibilitando a intervenção localizada, chamada de esscarificação de sitio específico (ESE). Este trabalho foi conduzido em uma área comercial, manejada sob o SPD utilizando técnicas de AP no município de Victor Graeff, RS. O solo do local é um Latossolo Vermelho com clima subtropical do tipo Cfa úmido segundo a classificação de Koppen. Os tratamentos foram: a) Escarificador Convencional (EC); b) esscarificador de atuação sitio específico com profundidade Fixa (ESE-Prof. Fixa); c) esscarificador sitio específico com variação de profundidade (ESE-Prof. Variada); e d) testemunha - Sem Escarificar (SE). As avaliações foram: infiltração de água, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade relativa do solo e agregação, avaliação de mapas de rendimento, determinação da cobertura vegetal, geração de mapas de resistência a penetração com penetrômetro (RP), consumo de combustível na operação de esscarificação. O mapa de RP indicou a ocorrência da compactação de forma localizada na área. A esscarificação apresentou melhoria nas propriedades físicas do solo, mas não incrementou o rendimento. Aumentou a taxa de infiltração de água no solo em cinco vezes em relação à testemunha, porém estes valores decresceram em até 70% após sete meses que ela foi realizada. O esscarificador sitio específico manteve cerca de 70% de cobertura vegetal, enquanto o esscarificador convencional 25%. Encontrou-se elevada correlação entre a RP ($R^2=0,87$) e o rendimento e RP e variabilidade temporal do rendimento e ($R^2=0,97$) respectivamente.

Palavras-chaves: Atributos Físicos do Solo, Escarificação Sitio Especifico Agricultura de Precisão, Sistema Plantio Direto

ABSTRACT

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

OXISOL'S PHYSIC QUALITY AFYER SITE SPECIFIC CHISEL TILLAGE AND SOYBEAN YIELD UNDER NO-TILL

AUTHOR: VITOR CAUDURO GIRARDELLO
ADVISER: PROF. TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Defense local and date: Santa Maria, Feb 26, 2010.

The soil compaction has been noted under no-till especially in clay soil texture. One important characteristic of soil compaction in cropland is non-uniform occurrence. With precision farming (PF) is possible determine spatially the soil compaction allowing the site specific management defined as site specific chisel (SSC). This work was carried out in a cropland managed with PF in Victor Graeff, RS. The soil is Red Latossol with Cfa climate following Koppen classification. The treatments were: a) conventional chisel tillage (CCT); b) site specific chisel with uniform depth (SSCU); c) site specific chisel with variable depth (SSCV) and d) check plot - non disturbed soil (NC). The main evaluations were: water infiltration and other soil physic characteristics: macroporosity, microporosity, total porosity, relative density and aggregate stability soil layers: 00-0.05, 0.05 – 0.1, 0,1 – 0.15 e 0.15 -0.20 m , yield map, soil cover, soil resistance assessed by penetrometer, fuel consumption. The soil resistance indicated the soil compaction occurrence in zones of the cropland. The chisel tillage improved the soil physic characteristics, but it didn't improve the soybean yield. Besides that, the infiltration rate was increased five times, but after seven months the infiltration rate decreased 70%. The site specific chisel maintains 70% of soil cover, while conventional chisel only 25%. It was found high relationship between soil resistance and soybean yield ($r^2=0.87$) and soil resistance and temporal yield variability ($r^2=0.97$).

Keywords: Physical Attributes Soil, site specific chisel Precision Agriculture, no-tillage system

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Parâmetros estatísticos dos rendimentos de quatro safras agrícolas, de Resistência a Penetração (RP) e da umidade do solo, em duas áreas compactadas dentro da mesma gleba. Victor Graeff-RS.....	31
Tabela 2 - Resultado da análise de fertilidade do solo, antes da implantação do experimento de um Latossolo Vermelho distrófico. LVd, Victor Greff – RS, 2008.....	51
Tabela 3 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em diferentes zonas de rendimento e camadas do solo na caracterização inicial do experimento.....	60
Tabela 4 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total na zona de baixo rendimento (ZB) e em camadas do solo após a escarificação mecânica do solo, no período do pleno florescimento da cultura da soja.....	62
Tabela 5 - Tratamentos realizados com suas respectivas localizações dentro de cada zona de manejo. Victor Graeff – RS.....	80

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Variabilidade horizontal da produtividade da cultura de soja nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/2007 em relação à média da lavoura, Victor Graeff – RS, 2009.....	28
Figura 2 - Variabilidade horizontal da produtividade das culturas de soja no ano agrícola 2007/2008 e do milho 2008/2009 em relação à média da lavoura, Victor Graeff – RS, 2009.....	29
Figura 3 - Umidade gravimétrica do solo no momento da realização do mapa de RP do ano de 2009. Victor Graeff- RS.....	32
Figura 4 - Descrição das precipitações ocorridas no município de Victor Graeff, durante o período em estudo (Fonte: Defesa Civil, RS).....	33
Figura 5 - Variabilidade temporal da produtividade de quatro safras (três de soja e uma de milho), nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009 em relação à média da lavoura, com detalhes nas áreas compactadas. Victor Graeff – RS, 2009.....	34
Figura 6 – Relação existente entre a RP e o CV realizado com os resultados da sobreposição de quatro mapas de rendimento (Figura18) com a RP presente na área no ano de 2009 (Figura 20). Victor Graeff – RS, 2009.....	35
Figura 7 - Mapa de Resistência à Penetração (RP) com profundidade de 00-0,40m (variabilidade horizontal) e Mapa de profundidade de ocorrência da máxima RP (variabilidade vertical) no ano de 2008. Victor Graeff - RS.....	36
Figura 8 - Mapa de Resistência a Penetração (RP) com profundidade de 00-0,40m (variabilidade horizontal) e Mapa de profundidade de ocorrência da máxima RP (variabilidade vertical) no ano de 2009. Victor Graeff - RS.....	37

Figura 9 - Rendimento da cultura da soja, em função da Resistência da Penetração (RP) em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) realizado logo após a colheita da soja no ano de 2009. Victor Graeff- RS, 2009.....	39
Figura 10 - Modelo básico de escarificação sítio específico resultante da interação entre um mapa de Resistência a Penetração (RP) e um mapa de profundidade da máxima RP tendo como ano base 2009. Victor Graeff- RS.....	40
Figura 11- Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) na época do florescimento da cultura da soja, na camada de 00 – 0,10 m. Com destaque para o valor crítico de Drs. Victor Graeff- RS.....	63
Figura 12- Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) na época do florescimento da cultura da soja, na camada de 0,10 – 0,20 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.....	64
Figura 13 - Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) após a colheita da cultura da soja, na camada de 00 – 0,10 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.....	65
Figura 14 - Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) após a colheita da cultura da soja, na camada de 0,10 – 0,20 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.....	66
Figura 15 – Taxa de infiltração acumulada de água no solo, obtida nos diferentes tratamentos na zona de baixo potencial produtivo, logo após a escarificação mecânica do solo, dezembro de 2008.....	67
Figura 16 - Taxa de infiltração acumulada de água no solo, obtida nos diferentes tratamentos na zona de baixo potencial produtivo, logo após a colheita da cultura da soja, maio de 2009.....	68
Figura 17 – Infiltração acumulada de água no solo, obtida em três diferentes épocas (caracterização inicial, após a escarificação mecânica e após a colheita). Victor Graeff, 2009.....	69
Figura 18 - Diâmetro Médio Geométrico (DMG), na média dos tratamentos de escarificação na ZB, em três profundidades do perfil do solo. Victor Graeff – RS. Maio de 2009. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).....	70

Figura 19 - Modelo esquemático do sensor óptico utilizado para o registro de rendimento da cultura da soja no ano de 2009. Victor Graeff - RS.....	82
Figura 20 - Rendimento da cultura da Soja, na zona de Baixo Rendimento (ZB), após a escarificação mecânica em área manejada com técnicas de AP.Victor Graeff – RS, 2009.....	84
Figura 21 - Rendimento da cultura da Soja, na zona de Médio Rendimento (ZM) após a escarificação mecânica em área manejada com técnicas de AP. Victor Graeff – RS, 2009.....	85
Figura 22 - Rendimento médio dos tratamentos na zona de Baixo Rendimento (ZB), Zona de Alto Rendimento, onde: * Tratamento Referência. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada zona de manejo não diferem entre si pelo teste de Lsmeans a 5% prob. ($p < 0.05$), Victor Graeff- RS, 2009.....	87
Figura 23 - Rendimento médio dos tratamentos na zona de Médio Rendimento (ZM), Zona de Alto Rendimento, onde: * Tratamento Referência. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada zona de manejo não diferem entre si pelo teste de Lsmaens a 5% prob. ($p < 0.05$), Victor Graeff- RS, 2009.....	88
Figura 24 - Cobertura vegetal após a escarificação mecânica na zona de Baixo Rendimento (ZB). Victor Graeff- RS, 2009.....	90

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO A - Escarificador Sítio Específico (Fox®).....	96
ANEXO B - Visão geral do sensor instalado no elevador de grãos limpos utilizados para a determinação do rendimento.....	98
ANEXO C - Interface do Sensor de Rendimento utilizada para operação de calibração.....	99
ANEXO D - Metodologia para verificação da cobertura vegetal, segundo Laflen (1981). Dezembro de 2008.....	100
ANEXO E - Aspecto da cobertura vegetação após a realização dos diferentes tratamentos de escarificação mecânica. Novembro de 2008.....	101
ANEXO F - Equipamento Fox, escarificador georeferenciado utilizado para a realização dos tratamentos. Novembro de 2008.....	102
ANEXO G - Vista da parte traseira do escarificador Fox, com destaque para a presença dos rolos destorreadores. Novembro de 2008.....	103

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	20
2.1 Hipóteses.....	20
2.2 Objetivo Geral.....	20
2.3 Objetivos Específicos.....	20
3 CAPITULO I. UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO MANEJO SÍTIO ESPECÍFICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	22
3.1 INTRODUÇÃO	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.2.1 Localização.....	24
3.2.3 Clima e Solo.....	25
3.2.3 Definição de Zona de Rendimento.....	25
3.2.4 Resistência do Solo à Penetração.....	26
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.3.1 Mapas de Rendimento.....	27
3.3.2 Sobreposição de Mapas de Rendimento.....	29
3.3.3 Mapas de Compactação.....	35
3.3.4 Resistência a Penetração e Rendimento.....	38
3.3.5 Modelo Básico de Escarificação (MBE).....	39
3.4 CONCLUSÕES	41
3.5 REFERÊNCIAS	42
4 CAPITULO II. ESCARIFICAÇÃO DE SÍTIO ESPECÍFICO DE UM LATOSSOLO VERMELHO MANEJADO SOB PLANTIO DIRETO E AGRICULTURA DE PRECISÃO	46
4.1 INTRODUÇÃO	47
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.2.1 Histórico da área.....	50
4.2.2 Instalação do Experimento.....	50
4.2.3 Clima e Solo.....	51
4.2.4 Definição de Zona de Rendimento.....	52
4.2.5 Delineamento Experimental.....	52
4.2.6 Equipamentos Utilizados para a Escarificação.....	53
4.2.7 Densidade do Solo.....	53
4.2.8 Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo...	54
4.2.9 Infiltração de Água no Solo.....	55
4.2.10 Estabilidade de Agregados.....	56
4.2.11 Ensaio de Proctor.....	57
4.2.12 Análise Estatística.....	58
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58

4.4.1	Caracterização Inicial da Área.....	58
4.4.2	Época do Florescimento.....	61
4.4.3	Densidade Relativa do Solo.....	62
4.4.4	Infiltração de Água no Solo.....	66
4.4.5	Estabilidade de Agregados.....	69
4.5	CONCLUSÕES.....	71
4.6	REFERÊNCIAS.....	72
5	CAPITULO III. RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA INFLUENCIADO PELA ESCARIFICAÇÃO DE SÍTIO ESPECÍFICO UTILIZANDO TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	77
5.1	INTRODUÇÃO.....	78
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	80
5.2.1	Localização.....	80
5.2.2	Delineamento Experimental.....	80
5.2.3	Sensor de Rendimento.....	80
5.2.4	Determinação da Cobertura Vegetal.....	82
5.2.5	Análise Estatística.....	83
5.3	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	83
5.3.1	Zona de Baixo Rendimento.....	83
5.3.2	Zona de Médio Rendimento.....	84
5.3.3	Rendimento Médio.....	85
5.3.4	Cobertura Vegetal.....	88
5.3.5	Escarificador Sítio Específico (Fox®).....	90
5.4	CONCLUSÕES.....	93
5.5	REFERÊNCIAS.....	94
6	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	97

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura vem passando por grandes transformações nas últimas décadas. Através do desenvolvimento de novas técnicas e incorporação de novos processos produtivos, é possível constatar a gradual melhoria na eficiência da produção, conseguindo maiores rendimentos com menor impacto ao meio ambiente.

No final dos anos 70, com o desenvolvimento do sistema de plantio direto (SPD), foi possível obter uma produção integrada com a qualidade de recursos hídricos e de solo em áreas anteriormente degradadas. Com uma nova filosofia de semeadura, que preconiza o não revolvimento do solo, o acúmulo da cobertura vegetal e a utilização de plantas que possuem capacidade de ciclagem de nutrientes (adubos verdes), o SPD se tornou o sistema que é utilizado na maioria absoluta dos produtores de grãos de sequeiro do Brasil, ocupando uma área de 32 milhões de hectares, representando 70% das lavouras de grãos (CONAB, 2009).

Alguns problemas vêm surgindo na condução do SPD, mais associados às pressões econômicas que afetam os produtores do que a falta de conhecimento técnico. Uma das principais falhas na execução correta deste sistema é a não utilização de plantas com potencial de ciclagem de nutrientes e de descompactação do solo, pois na sua maioria estas culturas não apresentam retorno financeiro direto e imediato ao produtor, que se vê obrigado a fazer o plantio de monoculturas comerciais como o trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycine max* (L.)) e o milho (*Zea mays*), que são as principais culturas utilizadas no Estado do Rio Grande do Sul.

As pressões por aumento da produtividade e por reduções de custos de produção têm ocasionado problemas de ordem física do solo, o que acaba por comprometer o funcionamento do SPD. Assim, a utilização de máquinas e equipamentos cada vez maiores e mais pesados, visando o aumento na eficiência das operações, o aumento do número de operações fitossanitárias, o descuido com a umidade do solo no momento das operações agrícolas, associados à falta de rotação de culturas, favorecem a ocorrência da compactação do solo. Embora ela não possa ser creditada exclusivamente ao não revolvimento do solo no SPD, pois sua ocorrência era comum no sistema de preparo convencional do solo (PC), que

era utilizado para o plantio até meados dos anos 80. Neste caso, as sucessivas operações realizadas no preparo do solo ocorriam sempre na mesma profundidade de trabalho, ocasionando um espelhamento no solo, que surge devido ao ângulo de contato do disco de arado ou grade com o solo, além do elevado peso de máquinas e equipamentos acabavam formando uma barreira mais compactada do solo, dificultando a passagem de água por esta camada mais adensada. Esta camada ficou conhecida pelo termo de “pé-de-grade” ou “pé-de-arado”, localizando-se em uma faixa que, na maioria dos casos ocorre entre 0,1 a 0,2 metros de profundidade.

Entre as soluções para o problema de compactação do solo, a mais tradicional é a escarificação mecânica, através de máquinas e equipamentos próprios para este fim; ou, então, alternativamente, fazer o uso de plantas com sistema radicular mais agressivo (escarificação biológica), sendo esta a maneira de fazer a descompactação sem ferir os preceitos do SPD. Porém, em alguns casos extremos, devido ao elevado grau de compactação, este método pode não ser eficiente.

Transformações tecnológicas vêm acontecendo de forma muito rápida na agricultura, especialmente nos últimos 10 anos. Atualmente, existe uma gama muito grande de informações que vem para auxiliar os produtores e técnicos na tomada de decisões, tornando assim a agricultura cada vez mais moderna, gerencial, otimizando assim a produtividade, com menor risco de contaminações ambientais.

O solo é formado pela interação de fatores, tais como: material de origem, relevo, clima, organismos vivos e o tempo de formação, possuindo assim intrínseca variabilidade espacial de atributos. Uma das maneiras de manejar esta variabilidade espacial como a dos nutrientes, por exemplo, é fazer o manejo deste solo de maneira regionalizada (sítio específico), dentro do mesmo talhão de cultivo, ou seja, aplicando técnicas e manejos diferenciados de acordo com as necessidades encontradas em cada local deste solo.

Este manejo localizado é a base conceitual da agricultura de precisão (AP), que vem apresentando um crescimento no número de usuários e de pesquisadores, interessados nesta nova ferramenta de gerenciamento agrícola, especialmente na região sul do Brasil.

Com o desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos, é possível realizar o manejo de sítio específico em praticamente todas as intervenções agrícolas. Assim, já é corriqueira a aplicação da taxa variada de corretivos e fertilizantes. Recentemente, a indústria de máquinas agrícolas disponibilizou

equipamentos capazes de fazer a escarificação sítio específico, atuando somente nas áreas com problemas de compactação do solo, evitando que seja feita uma escarificação mecânica em toda a área de maneira uniforme, ocasionando mobilização do solo desnecessária.

Assim, a proposta deste trabalho é investigar a eficiência do escarificador mecânico, de forma localizada, na descompactação do solo sob SPD, utilizando as técnicas de agricultura de precisão no diagnóstico da intervenção localizada nas propriedades físicas do solo, de maneira pontual, evitando, assim, um manejo uniforme.

No primeiro capítulo irá abordar as técnicas de agricultura de precisão voltadas ao manejo localizado de atributos físicos do solo, tais como mapas de rendimento, mapas de resistência à penetração (RP) e a geração de um modelo básico de escarificação (MBE).

No segundo capítulo, serão estudadas as propriedades físicas do solo, tais como densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, densidade relativa do solo, infiltração de água e agregação do solo, após as intervenções com equipamentos de escarificação mecânica.

No terceiro capítulo, será feita uma análise sobre o rendimento da cultura da soja após a escarificação, uma descrição sobre o novo equipamento de escarificação sítio específico (ESE) em fase de teste e que foi lançado comercialmente no ano de 2009.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipóteses

- Através de utilização de ferramentas da AP, é possível espacializar horizontal e verticalmente a ocorrência de zonas com grau de compactação que limitam o rendimento, de maneira que seja possível orientar a utilização de escarificadores mecânicos de forma localizada.
- O escarificador mecânico com atuação sítio específico é eficiente na descompactação do solo sob plantio direto, mobilizando o solo apenas onde é necessário, reduzindo o consumo de combustível, mantendo a cobertura vegetal do solo e incrementando o rendimento.

2.2 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar a eficiência do manejo sítio específico na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo e no incremento do rendimento da cultura da soja em uma área agrícola manejada sob sistema de plantio direto (SPD), bem como utilizar técnicas de Agricultura de Precisão (AP) para espacializar zonas de rendimento que vêm afetando de maneira negativa o rendimento total da área.

2.3 Objetivos Específicos

- Analisar a eficiência da escarificação mecânica de maneira sítio específico em áreas sob plantio direto e avançar na estratégia de manejo localizado de atributos físicos do solo.
- Comparar a eficiência do escarificador sítio específico Fox® com o escarificador convencional.

- Determinar a duração das modificações nos atributos físicos induzidos pelas escarificações.
- Através de técnicas de AP, espacializar vertical e horizontalmente a ocorrência da compactação existente na área. Após, gerar um modelo básico de escarificação sítio específico.
- Através da utilização do escarificador localizado, aumentar o rendimento das culturas, passando de uma área com baixo rendimento para uma área de médio ou alto rendimento.

3 CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO MANEJO SÍTIO ESPECÍFICO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

RESUMO

Os resultados obtidos por máquinas e sensores utilizados em Agricultura de Precisão (AP) geram informações que vão além de mapas de recomendação. Com o objetivo de avançar no manejo sítio específico de atributos físico e utilizar em áreas com AP, foi selecionada uma propriedade com 50,6ha, localizada no município de Victor Graeff – RS, com um Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Nesta propriedade, avaliou-se a distribuição espacial e temporal do rendimento através de quatro mapas. Foi realizado um mapa de Resistência à Penetração (RP), realizado com uma malha amostral de 0,25ha, com 10 repetições em torno do ponto georreferenciado. A máquina colhedora estava equipada com sensores de rendimento. Gerou-se um Modelo Básico de Escarificação (MBE), através de dois mapas-base (rendimento e RP). Determinou-se a correlação entre a RP e os coeficientes de variação (CV) do mapa de rendimentos acumulados. A partir deste MBE, foi estimada a economia de combustível na escarificação. Os resultados demonstram que houve um aumento da área com zonas de baixo rendimento (ZB), que aumentou 42% no ano de 2005/2006 para o ano de 2008/2009. Na sobreposição de quatro mapas, foi possível observar pontos com rendimento instável ($CV > 20\%$), nas duas zonas que apresentavam maior RP. Os rendimentos apresentaram uma moderada dependência espacial, enquanto que a RP apresentou forte dependência espacial. Verificou-se uma alta correlação ($R^2 = 0,89$) entre o rendimento e a RP e RP e CV do mapa de rendimento acumulado ($R^2 = 0,97$).

Palavra Chave: Mapas de Rendimento, Mapas de Resistência à Penetração, Modelo Básico de Escarificação.

3.1 INTRODUÇÃO

O termo agricultura de precisão (AP) engloba o uso de tecnologias para um manejo eficiente do solo, de insumos e das culturas, de modo que sejam observadas as variações espaciais e temporais que determinam a produtividade das culturas (EMBRAPA, 1997).

Para Blackmore *et al.* (1994), o termo agricultura de precisão descreve o aumento da eficiência de manejo de agricultura, sendo que esta técnica está em constante evolução, o que acaba por modificar técnicas já existentes e incorporar novas formas e ferramentas para que o agricultor possa usá-la.

Segundo Amado *et al.* (2007), o mapeamento da produtividade, proporcionado pelas ferramentas de AP, destaca-se como uma alternativa moderna de registrar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais. Entretanto, para uma análise temporal segura, deve-se utilizar, no mínimo, três anos de mapeamento.

Muitas pesquisas desenvolvidas com AP são realizadas em pequenas glebas, focando princípios de experimentação. Poucos são os trabalhos que contemplam os ganhos práticos e as melhorias no SPD a partir da adoção do manejo localizado, empregando ferramentas da AP (SANTI, 2007), havendo necessidade de mais pesquisas que levem em consideração o desenvolvimento de sistemas produtivos de maneira mais ampla possível.

No Brasil, a utilização da AP, até o presente momento, está mais voltada para o manejo das propriedades químicas do solo e o uso mais eficiente de insumos, sendo as propriedades físicas e biológicas negligenciadas. Para Siqueira *et al.* (2008), a compreensão da variabilidade espacial de atributos físicos do solo favorece o gerenciamento das informações coletadas no campo, sendo este um novo desafio da AP.

Atualmente, a ciência do solo tem se apoiado na geoestatística que, juntamente com a estatística descritiva, tem dado inúmeras respostas às mais variadas questões existentes que, até então, eram ignoradas, como a espacialização e a dependência espacial dos atributos físico-químicos e biológicos (CARVALHO *et al.*, 2003).

Para Reichert *et al.* (2007), ao conhecer os locais críticos de ocorrência de compactação em uma área, o manejo específico pode ser realizado de forma a atuar

somente nos locais onde o problema é mais severo, possibilitando, assim, a diminuição dos custos de operação e gasto de tempo e de mão-de-obra.

Vários autores, dentre os quais Gentil & Ferreira (1999), Batchelor *et al.* (1997) e Campo (2000), destacam que as vantagens da AP são a tomada de decisões rápidas e embasadas na geração de dados, redução dos riscos ambientais, redução na quantidade de insumo, redução de consumo de combustível e o maior controle gerencial de toda a atividade agrícola.

Os custos com combustível são um problema mundial na agricultura mecanizada, levando pesquisadores a desenvolver novos métodos e equipamentos que minimizem o uso de combustíveis (BURT *et al.*, 1983)

Para Mattos *et al.* (1981), o gasto com combustível representa cerca de 30% do custo hora de um trator agrícola, sendo que este constitui a maior parcela do custo total de uma hora de trabalho de máquina.

O objetivo deste trabalho consistiu em avançar no manejo sítio específico de atributos físicos do solo, através da relação de quatro mapas de rendimento gerados na área com o mapa de RP do solo, visando criar um modelo básico de escarificação, considerando a variabilidade horizontal e vertical da compactação e, a partir disto, avaliar a economia de combustível para a realização da escarificação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização

O presente trabalho de pesquisa foi realizado em uma área comercial, pertencente ao Sr. Volnei Koeche, no município gaúcho de Victor Graeff, na localidade rural de São José do Umbu, com coordenadas geográficas $S 28^{\circ}31'40''$ e $W 52^{\circ}40'18''$. A área está localizada a cerca de 7 km da BR 386, entre os municípios de Tio Hugo e Santo Antonio do Planalto. Esta área possui 50,6 hectares e está sendo manejada sob o sistema de plantio direto (SPD) há aproximadamente 15 anos.

3.2.2 Clima e Solo

O solo deste local é classificado, segundo a Embrapa (2006), como sendo Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com relevo suavemente ondulado. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (NIMER, 1989). 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). A média normal das máximas é de 30,4°C, em 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 são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação anual oscilando entre 1.500 a 1.750mm.

3.2.3 Definição de Zona de Rendimento

Primeiramente, procederam-se as definições das zonas de rendimento, sendo estas observadas durante os três anos anteriores a instalação do experimento. O critério utilizado para tal diferenciação baseou-se no rendimento relativo de cada safra agrícola monitorada, sendo que nos anos de 2005 e 2006 a cultura foi a soja e no ano de 2007 foi plantado o milho.

Para cada safra agrícola, foram utilizados mapas de rendimentos e determinado o rendimento médio desta área. Após esta definição, foi realizada a divisão entre as zonas, sendo considerada com zona de alto rendimento (ZA), que são as áreas que obtiveram um rendimento superior a 105% do rendimento médio. Nos locais onde o rendimento se encontra entre 95 e 105% do rendimento médio, estes foram considerados zonas de médio rendimento (ZM); para aquelas regiões em que a produção atingiu <95 % do rendimento médio, as mesmas foram classificadas como zona de baixo rendimento (ZB). Todos os dados irrealis foram subtraídos e, após esta filtragem, o coeficiente da variação foi inferior a 30%. Esta metodologia foi proposta por Molin (2002) para a delimitação de produtividade.

Em virtude de uma maior acurácia e para melhorar a precisão dos resultados obtidos, utilizou-se um coeficiente de variação de 20%. Para avaliar a variabilidade temporal do rendimento das culturas, os rendimentos foram normalizados em

relação à média da produção na área, na respectiva safra (MENEGATTI & MOLIN, 2004). Após isto, foi estabelecida uma quadrícula com 15 x 15 m, totalizando 2.247mil quadrículas e calculada a média de rendimento para cada quadrícula, que foram organizadas conforme a latitude e longitude. Os rendimentos das diferentes safras foram então colocados em colunas em uma planilha de Excel® e calculados os CV das quatro safras. As quadrículas com CV > 20% foram consideradas como de rendimento inconsistente e as com CV < 20% foram consideradas consistentes.

3.2.4 Resistência do Solo a Penetração

A resistência à penetração (RP) foi determinada através de uma malha amostral regular, com pontos a cada 50 m, formando uma malha de 0,25ha. Em cada ponto georreferenciado, foram realizadas 10 leituras dentro de um raio de no máximo 5 m em relação o ponto central da malha, compondo a média da quadrícula.

Concomitantemente à realização da penetrometria, foi realizada uma coleta de solo para a determinação da umidade gravimétrica, sendo as amostras coletadas a cada quatro pontos, ou seja, uma amostra de solo para determinação de umidade a cada hectare, nas profundidades de 0-0,20 m (Figura 15).

Para a avaliação da RP, foi utilizado um Penetrômetro Georreferenciado PNT-2000, com ponta cônica de 30° e com área do cone de 129mm², segundo normas ASAE S 313.3, com observações a cada 0,01 m de profundidade até no máximo de 0,40m e com velocidade de penetração de aproximadamente 2 m min⁻¹. O equipamento possui armazenamento de dados em formato digital que, logo após a conclusão do trabalho, foram agrupados para a determinação da média em cada ponto correspondente.

Além da informação de RP, é possível a obtenção de profundidade em que ocorre a máxima RP (variabilidade vertical da compactação). Com esta informação e a localização espacial (latitude e longitude), é possível a geração de mapas com a variabilidade horizontal e vertical da compactação, sendo utilizado pelo equipamento de escarificação sítio específico (ESE) para variar a profundidade de atuação das hastes ao longo da área.

Neste trabalho, a RP foi determinada em duas épocas. O primeiro mapa de RP foi realizado no mês de agosto de 2008, antes do plantio da soja, tendo por

finalidade a obtenção de valores para subsidiar a atuação do ESE. Um segundo mapa foi realizado no mês de maio do ano de 2009, para o acompanhamento das variações de RP que aconteceram após a cultura da soja.

Através do mapa de RP do ano de 2009, foi gerada uma vetorização de duas áreas com os maiores valores de RP encontrados dentro da área comercial.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Mapas de Rendimento

Pelo mapa, foi possível identificar três zonas de rendimento distintas, sendo que no ano de 2005/2006 a área com baixo rendimento (ZB) ocupou 8,72ha, o que corresponde 16,8% do total de área (Figura 1). A espacialização das ZB indica sua ocorrência nas regiões de cabeceiras, locais onde ocorrem a entrada e saída de máquinas e equipamentos, áreas de manobras ou de estacionamento de graneleiros, por ocasião das colheitas.

A área com rendimento médio (ZM) de soja ocupa cerca de duas vezes a área da ZB, totalizando aproximadamente 36% da área total. Estas ZM ocupam preferencialmente zonas de transição entre a ZB e a zona de alto rendimento (ZA), que ocupa 24 ha, num total de 46% da área.

Observa-se ainda uma evolução na ZB, com um aumento de 1,25 vezes na área ocupada por esta classe de rendimento, passando a possuir uma área de 10,52ha. A responsável por esta elevação no tamanho da ZB foi a ZM que, no ano de 2006/2007, perdeu cerca de 5 ha, que representam quase 10% do total da área, diminuindo de 36,65 para 26,95%. No sentido oposto, a ZA apresentou um incremento de 3 ha.

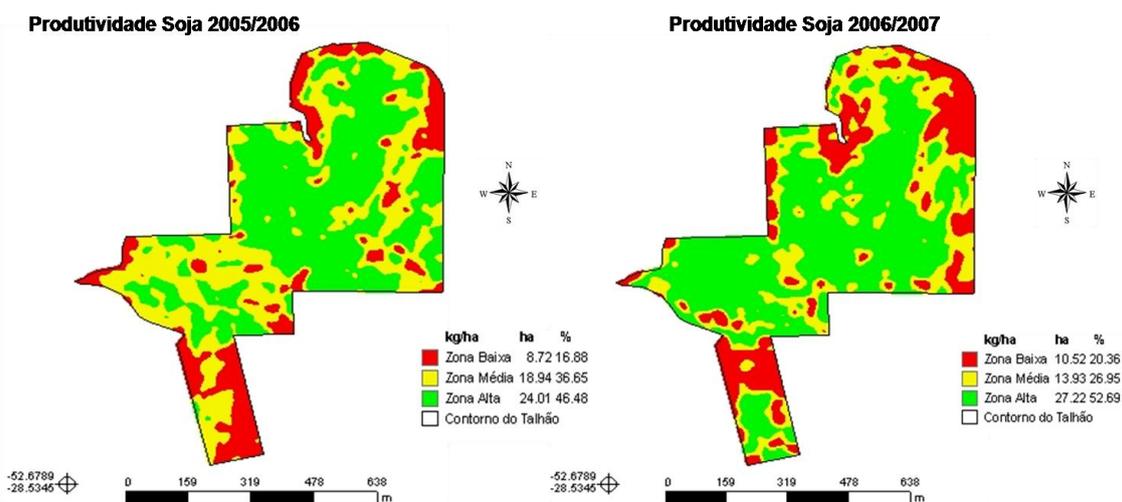


Figura 1 - Variabilidade horizontal da produtividade da cultura de soja nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/2007 em relação à média da lavoura, Victor Graeff – RS, 2009.

No ano de 2007/2008, quando a cultura utilizada foi o milho (Figura 2), o aumento da ZB, em função da diminuição da ZM, mais uma vez foi constatado, sendo que a ZM produziu 7671 kg ha^{-1} e, novamente, diminuiu de tamanho, passando de 26,95% da área total para apenas 8%, o que representou um aumento na ZB, que passou de 20,36% para um total de 32%.

No ano 2008/2009, é possível observar uma pequena diminuição da ZB em relação ao ano anterior, em cerca de 4% da área. Esta redução da ZB é explicada pelo grande aumento da ZM, cerca de três vezes maior que no ano de 2007/2008; ou seja, a ZB melhorou seu desempenho e passou a ser considerada como ZM. A redução da ZA também foi observada, o que também justifica o aumento muito elevado da ZM. Esta redução ocorreu pelo fato de o rendimento médio da área ter sido considerado elevado (3618 kg ha^{-1}), o que, em condições do Estado do Rio Grande do Sul, é considerado muito elevado. A produtividade média das áreas assistidas pela Cotrijal, no ano de 2008, foi de 2820 kg ha^{-1} e no Estado do Rio Grande do Sul a produtividade média da cultura da soja foi de 2220 kg ha^{-1} . Ou seja, mesmo tendo um aumento da área considerada ZM no ano de 2008/2009, a produtividade é superior em 28% a média regional e 57% maior do que a produtividade média do Estado do Rio Grande do Sul.

Resultados semelhantes foram obtidos anteriormente por Santi (2007), que, estudando duas áreas manejadas com AP, encontrou grande variabilidade de rendimento em um conjunto de seis mapas. Nestes, o autor observou a concentração de pontos com baixo rendimento em subáreas dentro da lavoura.

As variações de rendimento observadas demonstram a importância da análise temporal da geração de mapas de rendimento que, segundo Amado *et al.* (2007), possibilitam uma maior confiabilidade a partir da análise de um conjunto de três mapas.

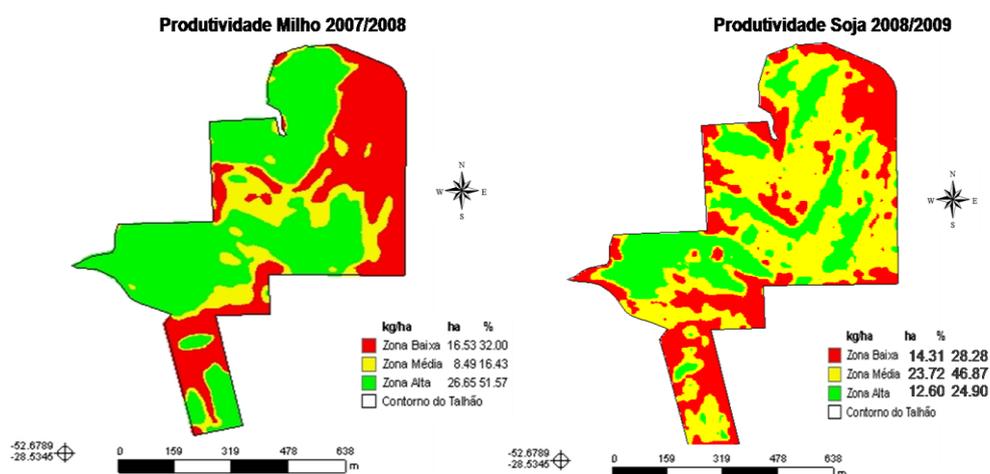


Figura 2 - Variabilidade horizontal da produtividade das culturas de soja no ano agrícola 2007/2008 e do milho 2008/2009 em relação à média da lavoura, Victor Graeff – RS, 2009.

3.3.2 Sobreposição de Mapas de Rendimento

Foi realizada a análise estatística descritiva (Tabela 1) de três safras de soja e uma de milho, nos dois locais onde foram constatados elevados graus de RP. A área 1 (Figura 5) é utilizada como sendo entrada de máquinas na lavoura, ponto de abastecimento de sementes e fertilizantes, estacionamento de graneleiros e caminhões para retirada de grãos da lavoura. Nela, é possível observar, na safra 2005/2006, uma variação de 55,4% entre o rendimento mínimo e o máximo da cultura da soja, com um C.V de 11,37%. Na safra seguinte, também com soja, a produtividade média decresceu 456 kg ha^{-1} já o CV foi um pouco superior 14,68%.

Na cultura do milho, no ano de 2007/2008, manteve-se praticamente a mesma amplitude entre o máximo e mínimo rendimento das culturas anteriores com valor de 55,3 %. Na safra de 2008/2009, novamente com a cultura da soja, o rendimento apresentou uma variação de 53,2%, tendo um CV de 9.66%. O rendimento mínimo foi de 2048 kg ha^{-1} e o máximo de 4378 kg ha^{-1} .

No mapa de RP, no ano de 2008, a máxima RP encontrada foi 2,70 MPa, ficando acima dos limites estabelecidos como crítico na literatura (2,0 MPa), porém com um CV elevado 51,52%. Como a RP, é muito influenciada pela umidade, uma das causas para esta variação é a menor umidade encontrada neste local, em média 18,32 g g⁻¹. No ano de 2009, o mapa de RP do solo encontrava-se mais úmido, com 21,78 g g⁻¹ e, mesmo assim, apresentou uma elevada RP, tendo como valor máximo 3,37 MPa. Este resultado não é similar ao obtido por Utset & Cid (2001), que encontraram comportamentos distintos da RP em condições de solo seco e úmido. Na condição de solo seco, os autores obtiveram coeficiente de variação de 25% e, quando úmido, o coeficiente de variação foi de 80%, mostrando o efeito da variabilidade da umidade do solo na variabilidade espacial da RP.

A segunda área vetorizada, denominada de área 2, está localizada na porção nordeste da lavoura. Neste ponto também se realiza a entrada de máquinas e equipamentos na lavoura e sua área é de 3,29 ha. No ano de 2008, a máxima RP foi de 5,06 MPa, com uma umidade do solo de 22,2g g⁻¹ e com CV de 26,34%. Já no ano de 2009, com menor umidade no momento da realização da penetrometria (19,53 g g⁻¹), a RP foi de 3,89 MPa, tendo um CV de 15,50. (Figura 3) Nos dois anos de realização dos mapas de RP, o CV foi semelhante ao encontrado por Abreu (2000), que encontrou em Latossolo Vermelho distrófico o CV variando entre 19% a 35% e, no Latossolo Vermelho distroférico típico, o CV variou entre 23% a 40%. Segundo Warrick & Nielsen (1980), esses valores de CV são considerados médios para variáveis de solo. Deve-se ressaltar que a média de RP foi elevada em ambos os anos, com 2,95 e 2,86 MPa nos anos de 2008 e 2009, respectivamente.

O rendimento das culturas apresentou um comportamento muito variado nas duas áreas consideradas pequenas (3,14 e 3,29ha), chegando a 72% de variação para a cultura do milho. A partir deste tipo de variação, justifica-se o uso de manejo específico da área.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos do rendimento de quatro safras agrícolas, de resistência a penetração (RP) e da umidade do solo, em duas áreas compactadas dentro da mesma gleba. Victor Graeff- RS.

Local	Safras Agrícolas		Parâmetro estatístico				CV %
			Mínimo	Máximo	Média	DP	
Área Total (50.6ha)	Soja 2005/2006	Kg ha ⁻¹	1849,72	4473,72	3570,17	374,23	10,48
	Soja 2006/2007		1004,51	3927,38	3086,66	413,87	13,51
	Milho 2007/2008		3074,51	12113,79	7644,55	1520,16	19,89
	Soja 2008/2009	MPa	1182,24	5172,40	3607,12	493,68	13,69
	RP 2008		0,20	5,0	1,24	0,933	35,05
	RP 2009	0,40	3,9	2,06	0,658	31,05	
	Umidade 2008	g g ⁻¹	14,17	38,95	20,94	5,26	17,03
	Umidade 2009		15,90	26,8	20,3	2,702	13,30
Área 1 (3,14 ha)	Soja 2005/2006	Kg ha ⁻¹	1896,35	4252,11	3491,00	498,63	14,28
	Soja 2006/2007		1641,69	3860,06	3035,00	445,60	14,68
	Milho 2007/2008		4348,84	9743,70	5813,40	1647,20	15,02
	Soja 2008/2009	MPa	2048,45	4378,28	3642,26	351,83	9,66
	RP 2008		0,20	2,70	0,77	0,40	51,52
	RP 2009	1,83	3,37	2,57	0,27	10,52	
	Umidade 2008	g g ⁻¹	16,40	21,20	18,34	1,37	7,46
	Umidade 2009		17,73	32,74	21,78	3,61	16,58
Área 2 (3,29 ha)	Soja 2005/2006	Kg ha ⁻¹	1743,67	4252,11	3491,00	498,63	14,28
	Soja 2006/2007		1070,83	3693,63	2749,88	465,91	16,95
	Milho 2007/2008		3023,09	9743,79	5813,40	1647,20	28,33
	Soja 2008/2009	MPa	1196,34	4325,33	3169,75	625,44	19,67
	RP 2008		0,96	5,06	2,95	0,78	26,34
	RP 2009	1,52	3,89	2,86	0,44	15,50	
	Umidade 2008	g g ⁻¹	18,43	27,22	22,20	1,93	8,70
	Umidade 2009		16,09	23,08	19,53	1,34	10,72

Onde: RP= Resistência a Penetração

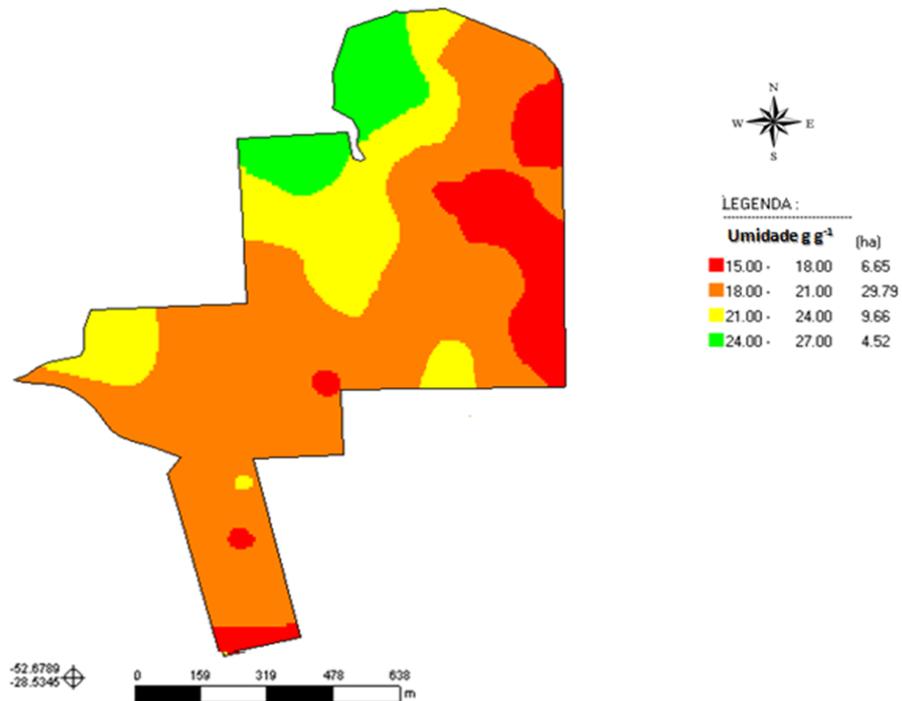


Figura 3 - Umidade gravimétrica do solo no momento da realização do mapa de RP do ano de 2009. Victor Graeff- RS.

Uma das características mais marcantes da compactação é o baixo rendimento em anos com déficit hídrico acentuado como o que atingiu a região no ano de 2006 ocasionando a menor rendimento médio nos quatro anos analisado (Figura 4). No ano de 2006 a precipitação total foi 27% menor que no ano de 2008, sendo que as baixas precipitações ocorrem na fase final do ciclo das culturas.

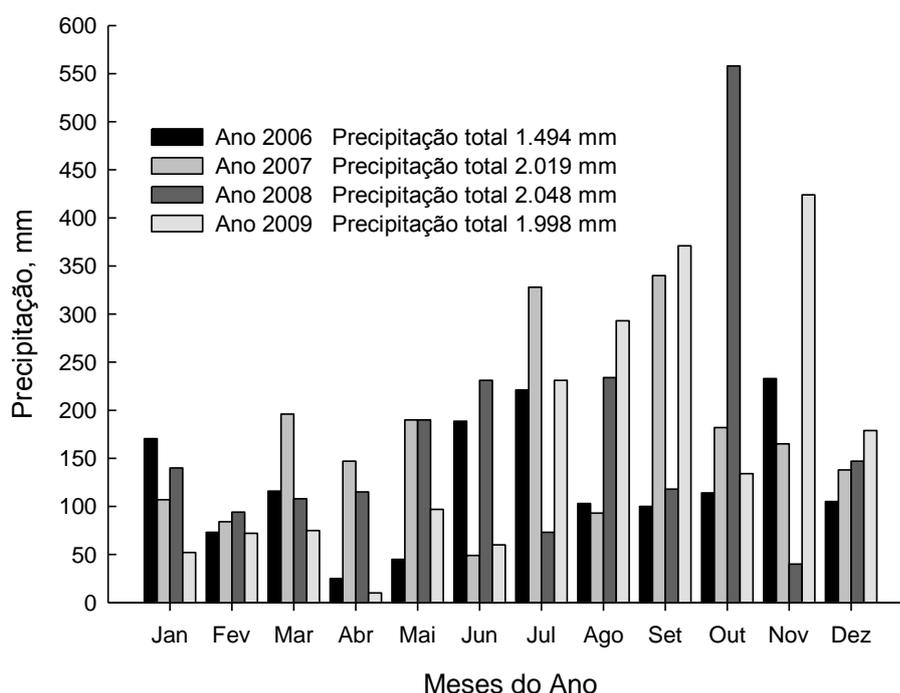


Figura 4 – Descrição das precipitações ocorridas no município de Victor Graeff, durante o período em estudo (Fonte: Defesa Civil, RS).

Através da sobreposição dos quatro mapas de rendimento, sendo três da cultura de soja e um da cultura do milho (Figura 5), é evidente o agrupamento das quadrículas com rendimento instável, ou seja, aquelas quadrículas que apresentam um $CV > 20\%$ estão localizadas na periferia da lavoura, justamente onde ocorre o maior tráfego de máquinas e equipamentos, principalmente na área 2.

Na área total (50,6 ha) os pontos com instabilidade estão ocupando 6,21ha que representa 12 % das 2.065 quadrículas gerada pela sobreposição dos mapas. Os locais que apresentam rendimento estável durante os quatro anos, independente do seu rendimento ocupam 44,4 há representando 87,7% das quadrículas. Destaca-se que, para existir esta elevada correlação, é preciso avaliar a sobreposição de pelo menos quatro mapas de rendimento.

Outras observações possíveis de serem feitas é que praticamente todos os pontos com instabilidade durante os anos analisado encontram-se nas áreas de cabeceiras da lavoura, nestes locais é onde acontecem as manobras de máquinas e equipamentos dentro de área. A exceção deve ser feita na porção localizada ao sul da gleba onde os pontos de instabilidade são explicados pela topografia do terreno,

pois neste lugar a declividade acentuada dificulta a semeadura e o controle fitossanitário.

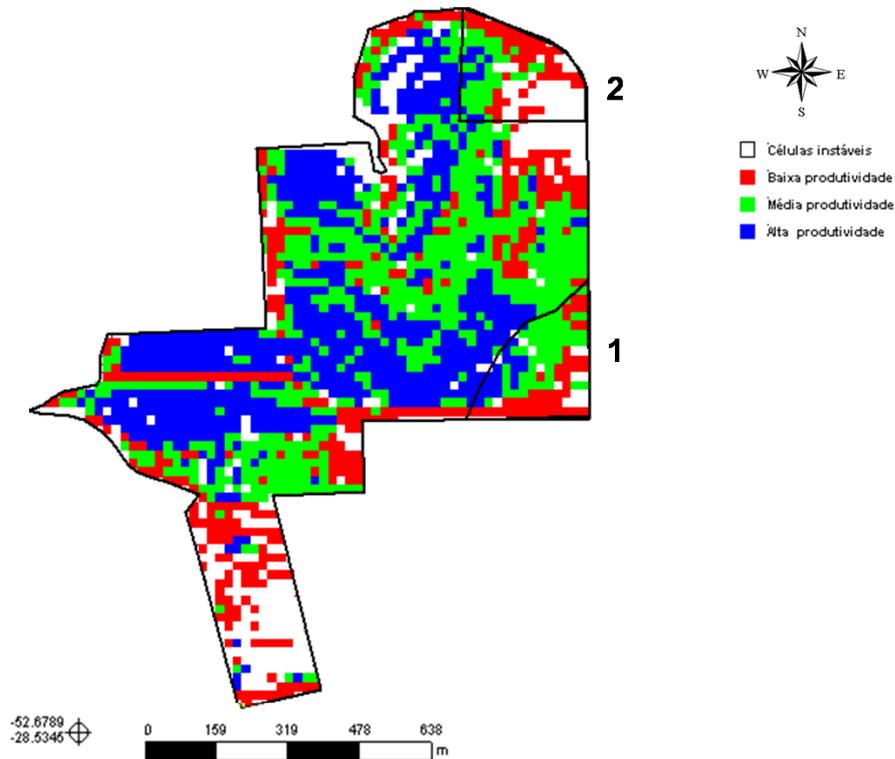


Figura 5 - Variabilidade temporal da produtividade de quatro safras (três de soja e uma de milho), nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009 em relação à média da lavoura, com detalhes nas áreas compactadas. Victor Graeff – RS, 2009.

Para que se possa confirmar que a elevada RP vem afetando de forma negativa o rendimento das culturas durante os quatro anos avaliados, foi realizada uma relação entre o CV do rendimento durante os quatro anos e a RP existente na área no ano de 2009. Para isso gerou-se quadriculas de 50 X 50 m com as coordenadas utilizadas para a realização do mapa de RP de 2009, gerando assim 201 pontos conhecidos de CV

Observa-se que as altas variações de rendimento (células que possuem elevado CV) estão correlacionadas com a maior RP existente na área, ainda é possível de ressaltar que o CV apresentou um aumento de 18% a partir da RP que é considerada crítica pela literatura (2MPa). Destaca-se que para existir esta elevada correlação é preciso avaliar a sobreposição de pelo menos quatro mapas de rendimento (Figura 6).

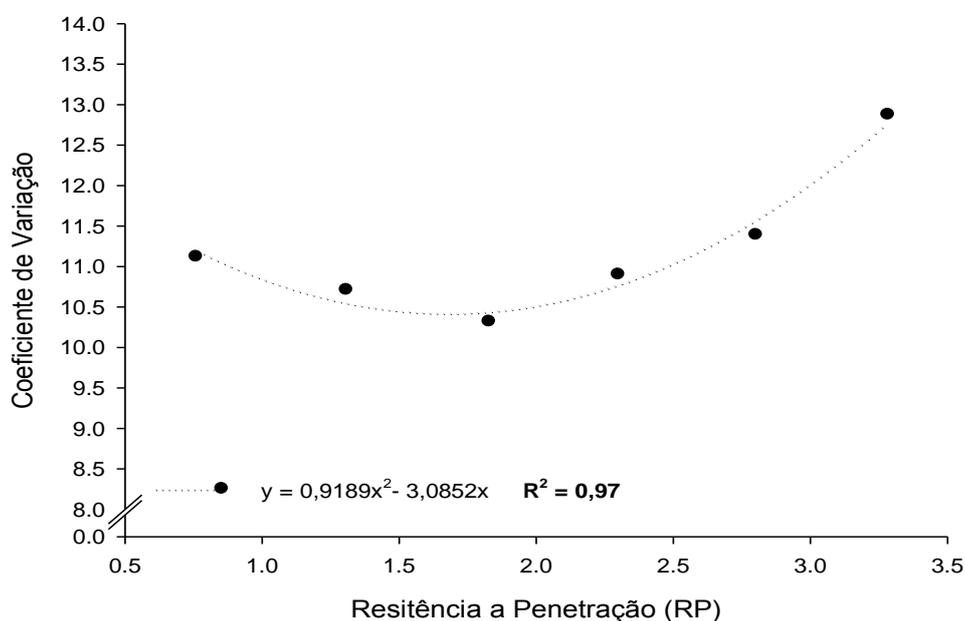


Figura 6 – Relação existente entre a RP e o CV realizado com os resultados da sobreposição de quatro mapas de rendimento (Figura18) com a RP presente na área no ano de 2009 (Figura 20). Victor Graeff – RS, 2009.

3.3.3 Mapas de Compactação

No mês de Agosto de 2008, foi realizado o mapa de resistência à penetração (RP) (Figura 7). Para fins desta pesquisa, foram definidas apenas três classes de RP, utilizando os valores críticos proposto por Reichert *et al.* (2003), que utilizam o valor de 2 MPa como sendo restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular. É possível observar que 15,5% da área apresentam RP maior que este limite, perfazendo aproximadamente 8 ha da área. Outra ressalva importante com este mapa é a presença de um agrupamento desta RP restritiva assim como observado por Silva (2004) que, estudando lavoura em plantio direto, observou que o tráfego de máquinas induz distintos estados de compactação do solo. Letey (1985) sustentou que a mecanização realizada em condições impróprias de umidade e cobertura vegetal é a principal causa da compactação em sistema de grãos ou sistemas florestais.

Nesta figura, é possível observar que a localização espacial dos valores de RP acima do considerado restritivo acontece justamente onde é realizado o

descarregamento da máquina colhedora de grãos. Por consequência, é o local onde existe o maior movimento de máquinas e caminhões reboques graneleiros, utilizados para a retirada da safra da lavoura. Também é neste local que ocorre a entrada e saída de máquinas e equipamentos, segundo informações do produtor.

No mesmo mapa, é possível observar a profundidade em que acontece a máxima RP, independente de a mesma estar ou não acima do limite crítico. É possível verificar que em 77,5% da área a máxima RP foi observada na camada entre 0 – 0,25 m de profundidade, ocupando 39,25 ha. Na profundidade entre 0,25 – 0,30 m, a RP máxima está presente em 19% da área e o restante 3,5% está localizado na profundidade que vai de 0,30 a 0,40 m. A umidade gravimétrica média do solo, no momento da realização deste mapa, foi de $0,24\text{g g}^{-1}$. Os valores obtidos apresentam um desvio padrão de 0,93%, com valores de 1.24, 0.20 e 5.00 MPa, para valores de média, mínima e máxima RP, respectivamente. Para o mapa de profundidade, onde ocorre a máxima RP, o desvio-padrão foi de 6.48 com 0.21, 0.06, 0.38m, respectivamente, de média mínima e máxima profundidade de ocorrência da máxima RP.

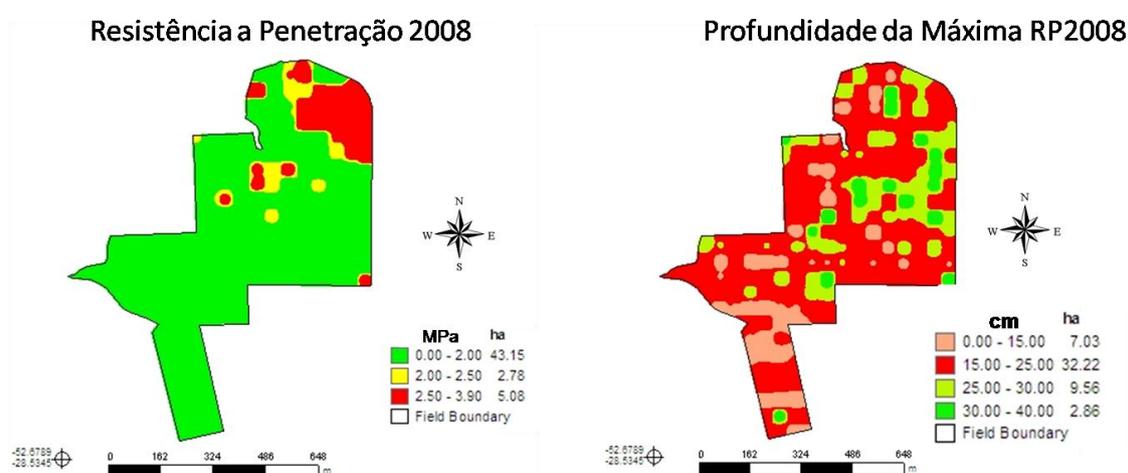


Figura 7 - Mapa de Resistência à Penetração (RP) com profundidade de 00-0,40m (variabilidade horizontal) e Mapa de profundidade de ocorrência da máxima RP (variabilidade vertical) no ano de 2008. Victor Graeff - RS.

No mapa de RP realizado após a colheita da cultura da soja, no mês de maio de 2009, (Figura 8) foi possível observar que de 54% da área apresenta valores de RP que apresentavam restrição ao desenvolvimento vegetal, sendo notado um incremento da área com valores de RP na classe entre 2,00 a 2,50 MPa, sugerindo

um aumento de susceptibilidade à compactação desta área. Outra constatação foi o aumento, de 2,5 vezes, do tamanho da área no ano de 2009, que apresenta valores acima de 2,5 MPa em relação à verificação feita no ano de 2008. Pode-se verificar, ainda, que este aumento de RP acontece de forma localizada, partindo das cabeceiras para o centro da área. Este comportamento é semelhante aos dois anos analisados, pois é nestes locais que ocorre a maioria do tráfego de máquinas e equipamentos que entram na lavoura.

Deve-se destacar uma pequena redução da umidade do solo, no momento da verificação da RP. No ano de 2009, a umidade gravimétrica foi de 0.21 g g^{-1} , 12,5% a menos que no ano anterior. Embora exista uma relação entre RP e umidade do solo, esta diferença deve ser considerada mais um elemento para o aumento da RP, uma vez que quanto mais seco o solo está, maiores são os valores de RP.

No mapa realizado para verificar a profundidade, onde acontece a máxima RP, observa-se que ela acontece em cerca de apenas 17.39%, na profundidade de até 25 cm, sendo que a maior parte da máxima RP acontece na camada mais profunda, com até 39 cm. Neste ano de 2009, foram obtidos valores com desvio-padrão de 0.65 tendo 2.06, 0.40, 3.90 MPa para valores médios, mínimos e máximos RP. Na questão da profundidade, onde ocorre a máxima RP, os valores encontrados são de 27, 12.50, 38.20, respectivamente, para média, mínima e máxima profundidade de ocorrência da RP, tendo 4.63 de desvio-padrão.

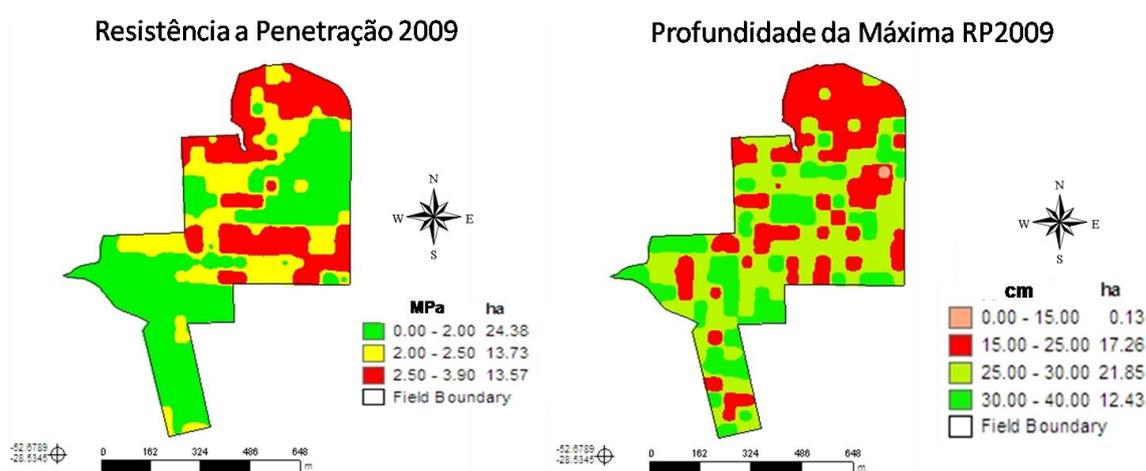


Figura 8 - Mapa de Resistência a Penetração (RP) com profundidade de 00-0,40m (variabilidade horizontal) e Mapa de profundidade de ocorrência da máxima RP (variabilidade vertical) no ano de 2009. Victor Graeff - RS.

3.3.4 Resistência a Penetração e Rendimento

Na relação existente entre o rendimento da cultura da soja, no ano de 2009, e a RP (Figura 9), encontrou-se coeficiente de correlação ($R^2 = 0.89$). A partir da RP, com valor de 2 MPa que é aceito como impeditivo ao crescimento radical (TORMENA *et al.*, 1998). Considerada como sendo restritiva ao desenvolvimento das culturas e, por consequência, apresentando diminuição de rendimento, provou ser verdadeira para este caso, uma vez que, a partir de RP de 2 MPa, os rendimentos sofrem uma redução de 24 %, tendo como maior rendimento 3673 Kg ha⁻¹ com RP de 2,3 MPa, quando este valor de RP aumentou para 5,0 MPa, o rendimento foi reduzido em 25% e passou para aproximadamente 2800 Kg ha⁻¹.

Esta redução foi encontrada por Secco (2003) que, estudando o efeito de estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos manejados sob sistema de plantio direto, verificou que o estado de compactação mais intenso de resistência à penetração, de 2,65 e 3,26 MPa, proporcionou decréscimos na produtividade do trigo, milho e soja de 18,35 e 34,05, 24,3%, respectivamente.

Este resultado de redução de rendimento ocasionado pelo aumento da RP acima de 2 MPa é semelhante à encontrada por Beutler *et al.* (2006), que observaram, em um Latossolo com 330 g kg⁻¹, que o decréscimo da produtividade da cultura de soja iniciou-se a partir de uma RP de 2,24 MPa.

As reduções acontecem pela resposta das plantas a solos com elevada resistência à penetração, modificada entre culturas e cultivares. As raízes das plantas que crescem em solos com alta resistência à penetração apresentam modificações morfológicas (MIELNICZUK *et al.*, 1985), principalmente no decréscimo na divisão celular no aumento no diâmetro da raiz, reduzindo a área de solo explorada pelas raízes e a absorção de água e nutrientes (TAYLOR e BRAR, 1991). Além destes problemas citados pelos autores em solos compactados, as raízes apresentam-se com elevada massa de matéria seca e com parede celular grossa, sugerindo menor maleabilidade para desviar daqueles pontos com maior resistência do solo. Neste sentido, Fernandes *et al.* (1999) advertem que a penetração das raízes vai ocorrer através da continuidade e tortuosidade dos vazios do solo.

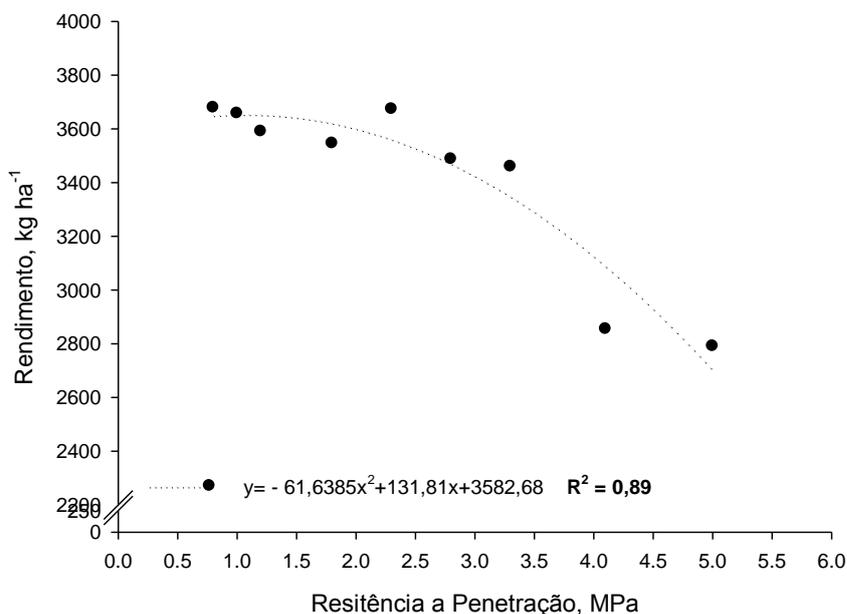


Figura 9 - Rendimento da cultura da soja, em função da Resistência da Penetração (RP) em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) realizado logo após a colheita da soja no ano de 2009. Victor Graeff- RS, 2009.

3.3.5 Modelo Básico de Escarificação (MBE)

Para a geração do modelo básico de escarificação (Figura 10), foram consideradas como fator de tomada de decisão aquelas áreas que apresentam uma RP maior a 2 MPa, no ano base de 2009. Além deste mapa de RP, foi integrado na geração deste modelo o mapa de profundidade de ocorrência da máxima RP.

Num segundo momento, foi dividida a atuação do ESE, em classes que possuem uma variação de 0,05 em 0,05m. Como o critério para que a escarificação fosse realizada era que a RP estivesse maior ou igual a 2 MPa e a profundidade fosse maior ou igual a 10 cm, em vários pontos da área esta condição não foi aceita, o software (Giotto, 2007) automaticamente elimina estes valores do seu banco de dados e novamente faz a integração de mapas, resultando no modelo básico de escarificação.

A partir da geração deste modelo, pôde ser calculado o consumo de combustível e o tempo de execução da operação. Nas áreas em que o modelo de escarificação não indica a atuação do ESE, o operador poderá retirar o equipamento de dentro da área, voltando apenas nos locais indicados pelo mapa, evitando assim transitar por dentro da área.

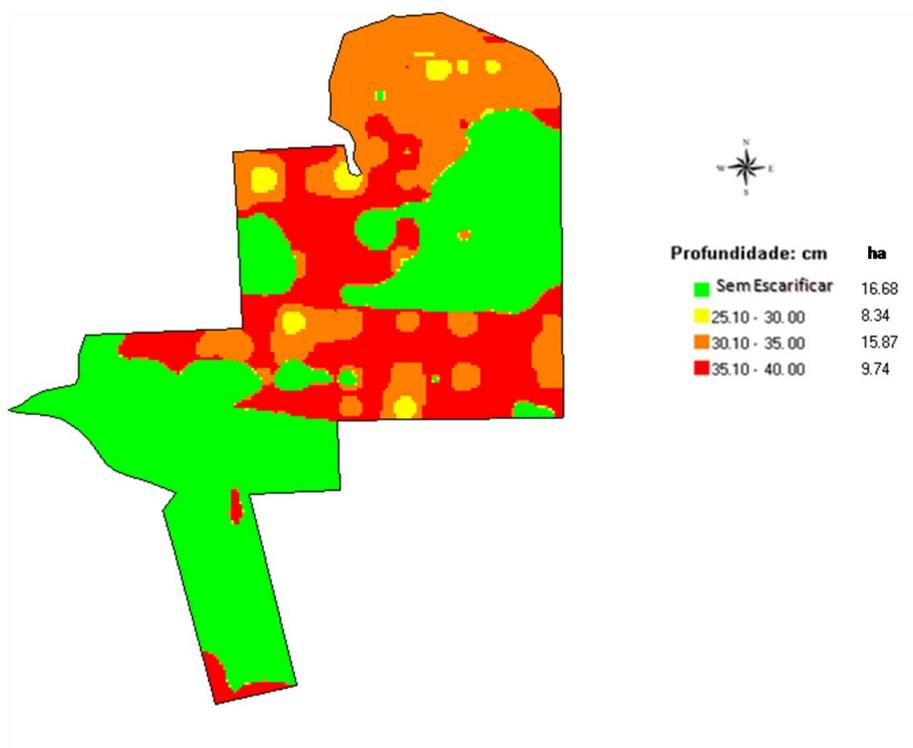


Figura 10 - Modelo básico de escarificação sítio específico resultante da interação entre um mapa de Resistência à Penetração (RP) e um mapa de profundidade da máxima RP tendo como ano base 2009. Victor Graeff-RS.

3.4 CONCLUSÕES

Os mapas de Resistência a Penetração demonstraram a ocorrência de áreas compactadas especialmente nas regiões de cabeceiras e de manobras.

Através do mapa de RP foi possível determinar uma correlação alta ($R^2=0,89$) com a produtividade da soja.

Foi possível determinar que a ocorrência de pontos de rendimentos instáveis estava associada aos locais com maior RP com elevada correlação ($R^2=0,97$).

3.5 REFERÊNCIAS

ABREU, L.S. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. 2000. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

ABBASPOUR-GILANDEH, Y. et al., Energy savings with variable-depth tillage. In Proc. 2005 Southern Conservation Tillage Systems Conference.

AMADO, T.J.C. et al., Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, Agosto, 2007.

BATCHELOR, B. et al., **Precision agriculture: introduction to precision agriculture**. Iowa Cooperative Extension, 1997. 4p. Disponível em <http://www.extension.astate.edu/pages/precisionag/> em 18 Ago.2008.

BEUTLER A. N. et al., Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639–645, 2006.

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>. Disponível em 22 Jul. 2009.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional, **Secretária Nacional da Defesa Civil**, acesso em 12 de fev 2010.

BURT, E. C. et al., Ballast and inflation effects on tire tractive. **Transactions ASAE**, Saint Joseph, v. 26, n. 5, p. 1352-1354, 1983.

CAMPO, P. Agricultura de precisão. **Inovações do campo**. Piracicaba. 2000. Disponível em www.portaldocampo.com.br/innovacoes/agric_precisao em 06 Mai. 2008

CARVALHO, M. P. et al., Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 695-703, 2003.

EMBRAPA **Tecnologia em mecanização no Brasil**: equipamentos e sistemas para o futuro In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas-MG. Disponível na Internet. <http://www.bases.cnptia.embrapa.br> em 15 Out. 2009

Sistema brasileiro de classificação do solo. 2a ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

FERNANDES, S.V. et al., Distribuição do sistema radicular em milho na depressão central do Rio Grande do Sul In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASO, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros, p 203-216. 1999.

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

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/ Centro de Ciências Rurais/Laboratório de Geomática/ Departamento de Engenharia Rural, 2007. 319 p.

KICHLER, C.M. et al., Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection Written for presentation at the 2007 ASABE **Annual International Meeting Sponsored** by ASABE Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota 17 - 20 June 2000 www.ddr.nal.usda.gov/dspace (acesso em Dec 2009).

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop productions**. Adv. Soil Sci. 1:277-294, 1985.

MATTOS, P. C. et al., Estudo comparativo de desempenho do trator agrícola empregando óleo diesel e mistura de etanol/óleo de mamona como combustíveis. In: CONBEA, 11, 1981, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF, p. 1083-1085. 1981.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, Abril, 2004.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 38, p. 42-43, 1985.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 442 p.

RAPER, R. L. et al., *Site-specific subsoiling benefits for cotton production*. St. Joseph: ASABE, 2005. ASAE Paper 051025 Written for presentation at the 2005 ASAE **Annual International Meeting Sponsored** by ASAE Tampa Convention Center Tampa, Florida 17 - 20 July 2005 (acesso em Dez). 2009 www.ldr.nal.usda.gov/bitstream.

REICHERT, J. M. et al., Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestas: Identificação, Efeitos, Limites críticos e Mitigação **In: TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO**. Volume V, p. 50-106. 2007.

REICHERT, J.M.; et al., Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas, **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27 p. 29-48, 2003.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois latossolos e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. (Tese de Doutorado) Santa Maria, 110p. Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

SILVA, V. R. da; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, 2004.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, 2008. <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em 09 Fev. 2010.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferrosol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 193-202, 2001.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York Academic, 1980. p.319-376.

4 CAPÍTULO II

ESCARIFICAÇÃO SÍTIO ESPECÍFICO DE UM LATOSSOLO VERMELHO MANEJADO SOB PLANTIO DIRETO E QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

RESUMO

Um dos maiores problemas do sistema de plantio direto (SPD) em áreas com textura argilosa de longo prazo é a compactação do solo. Uma alternativa para solucionar este problema são os escarificadores mecânicos. Com o objetivo de investigar as modificações físicas impostas pela escarificação mecânica, foi realizado um experimento no planalto médio do Estado do RS, em uma área manejada com agricultura de precisão (AP), sob um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com relevo suavemente ondulado e clima tipo Cfa subtropical, no ano agrícola de 2008/2009, com a cultura da soja em plantio direto. O delineamento experimental utilizado foram faixas paralelas de 100 X 20 m. Os tratamentos foram: a) escarificador convencional (EC); b) escarificador de atuação sítio específico com profundidade fixa (ESE-Prof. Fixa); c) escarificador sítio específico com variação de profundidade (ESE-Prof. Variada); d) Testemunha - Sem escarificar (SE). As principais avaliações foram: Densidade do solo (Ds), macroporosidade (ma), microporosidade (mi) porosidade total (pt), densidade relativa do solo (Drs), nas camadas 00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m e agregação do solo nas camadas 00-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e infiltração de água no solo. Os resultados obtidos na caracterização inicial evidenciaram problemas de ordem física na zona de baixo rendimento (ZB), sendo que a mesma apresentou uma densidade do solo 13% maior que a zona de alto rendimento (ZA). A Densidade relativa do solo (Drs) atingiu limite crítico na camada de 0,10 – 0,20 m no momento do florescimento. Após a escarificação, a taxa de infiltração de água no solo foi aumentada em cinco vezes. O efeito da escarificação foi efêmero e em sete meses ocorreu uma redução de 70% do volume infiltrado. A ZA apresentou DMG 44.9% maior que a ZB.

Palavra Chave: Densidade Relativa do Solo, Propriedades Físicas do Solo, Infiltração de Água no Solo.

4.1 INTRODUÇÃO

No início dos anos 70, começa a ser desenvolvido o sistema de plantio direto (SPD) no Brasil, sendo o mais eficiente para o controle das perdas de solo e água. Inicialmente, a expressão “Plantio Direto”, ou “Semeadura Direta na Palha” foi concebida de maneira simples, voltada para o controle da erosão. Todavia, esta prática foi evoluindo e passou a ser considerada um sistema complexo de manejo (CASSOL *et al.*, 2004).

Um dos preceitos básicos do SPD são o não revolvimento do solo e a rotação de culturas. Porém, quando não realizado de maneira correta, o sistema acaba por apresentar alguns problemas, dentre os quais a compactação é um deles.

Curi (1993) define compactação como sendo a diminuição do volume de solo ocasionado pela sua compressão, acarretando um rearranjo mais denso das partículas, tendo por frequência um aumento da densidade do solo de uma camada ou um horizonte.

Tormena & Roloff (1996) e Goededt *et al.* (2002) relataram que o solo no SPD apresenta maior densidade, ocasionada pelo restrito revolvimento do solo, à linha de semeadura e a frequência de tráfego na área, sendo este um dos principais problemas do sistema. Em pesquisas realizadas na região do planalto do Rio Grande do Sul (RS), Amado *et al.* (2005) concluíram que a compactação é um dos fatores mais limitantes nas lavouras conduzidas no SPD nesta região.

Em condições de lavouras onde o tráfego não é controlado, ocorrem distintos estados de compactação, sendo que o maior ocorre na região dita “cabeceira”, nas extremidades da lavoura, onde as máquinas realizam as manobras, pois a compactação vai reduzindo para o centro da lavoura (SILVA, 2004).

Suzuki (2005); Genro Junior *et al.* (2004) verificaram que no SPD a camada compactada está localizada a uma profundidade que varia de 0,08 – 0,15 m. É importante lembrar que esta camada mais adensada é, em alguns casos, vestígios do sistema de preparo convencional, no qual as operações de aração e gradagem ocorriam sempre na mesma profundidade, formando uma camada denominada popularmente de “pé-de-grade”.

Uma das alternativas é a escarificação mecânica do solo. Segundo Kochhann e Denardin (2000), a descompactação facilita o desenvolvimento radicular das plantas, eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água,

aumentando a permeabilidade do solo. Tem como objetivo, segundo Inoe *et al.* (2002), a redução da resistência mecânica do solo à penetração de raízes, oferecendo assim um ambiente menos restritivo ao desenvolvimento das culturas.

Ralisch *et al.* (2002) concluíram, em um estudo feito em Latossolo Vermelho, que a operação de escarificação resultou em efeitos imediatos na redução da resistência à penetração do solo.

Camara e Klein (2005) concluíram, em um trabalho realizado em um Latossolo Vermelho distrófico típico (610 g kg^{-1} de argila), que a escarificação de forma esporádica em solos conduzidos sob plantio direto proporciona condições físico-hídrico-mecânicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas; porém, o rendimento não foi aumentado em função da precipitação pluvial favorável durante todo o ciclo da cultura.

Normalmente, as determinações de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo (ABREU *et al.*, 2004).

Beutler *et al.* (2006) em um Latossolo Vermelho distrófico típico (330 g kg^{-1} de argila), encontraram uma redução de macroporosidade na camada de 0,0 -0,18 m de $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em solos não compactados para $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em solos compactados; para os microporos ocorreu o inverso, tendo um pequeno incremento nos valores de iniciais $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ passando para $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no tratamento com maior grau de compactação, utilizando para isso seis passadas com trator de 11 mg.

Em muitos casos, a compactação não é suficientemente elevada para reduzir as produtividades. Secco *et al.* (2004) não encontraram efeito significativo no rendimento de um Latossolo Vermelho distrófico com 427 g kg^{-1} de argila, devido à compactação do solo ocasionada pelo rolo compactador ter sido de baixa intensidade e ter ocorrido na superfície do solo, na camada até 0,10 m, em que o mecanismo do sulcador da semeadora pode ter ocasionado o alívio desta compactação.

Um parâmetro que pode ainda ser utilizado como um indicador de compactação é a densidade relativa do solo (Drs), obtida através da relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo obtida em laboratório (KLEIN, 2002).

Carter (1990) sustentou que, quando a Drs supera 0,86 a 0,90 (dependendo da textura do solo), ocorre uma grande redução nos macroporos, afetando o movimento

dos fluídos, pois estes estariam relacionados com um menor crescimento e rendimento das culturas. Ferreras *et al.* (2001) observaram, em plantio direto uma Drs de 0,87 e no plantio direto escarificado de 0,85, refletindo no rendimento da cultura de soja.

Um dos principais fatores que afeta o rendimento é a quantidade de água disponível para as plantas. Neste sentido, Alves & Cabeda (1999) defendem que a infiltração de água é um dos fenômenos que melhor refletem as condições físicas do solo, pois a qualidade estrutural só é possível com uma boa distribuição de tamanho e de distribuição de poros, fornecendo condições para o desenvolvimento do sistema radicular, melhorando assim a capacidade de infiltração de água no solo.

Hillel (1970) definiu a infiltração de água como a representação do volume de água que passa por uma unidade de área perpendicular ao movimento, em uma unidade de tempo.

Para Bertol *et al.* (2000), quando a taxa de infiltração é reduzida a níveis muito baixos, aumenta o risco de escoamento superficial, ocasionando erosão do solo e déficit hídrico das plantas.

Reichert *et al.* (2005) indicam que uma tentativa de se obterem limites críticos para a taxa de infiltração é de grande valia. Porém, devido às grandes amplitudes dos resultados encontrados, os mesmo ainda são insuficientes para estabelecer valores e estimativas adequadas de infiltração de água no solo.

O objetivo deste experimento foi avaliar o comportamento das propriedades físicas (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade relativa, infiltração de água e agregação do solo) de um Latossolo Vermelho, após a escarificação mecânica de sítio específico, bem como determinar o tempo residual da escarificação.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Histórico da Área

Para a realização deste experimento foi escolhida uma área pertencente a um associado da Cooperativa Agropecuária e Industrial (Cotrijal), com sede em Não Me Toque. Nesta área, o produtor e o seu assistente técnico acreditavam que a mesma possuía problemas de rendimento relacionados com a compactação do solo.

A área localiza-se no município de Victor Graeff, na comunidade rural de São José do Umbu, com coordenadas geográficas $S 28^{\circ}31'40''$ e $W 52^{\circ}40'18''$. Esta área possui 50,6 hectares e está sendo manejada sob o sistema de plantio direto (SPD) há aproximadamente 15 anos, tendo como principais culturas comerciais, nos meses de verão, as culturas da soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e do milho (*Zea mays* L.); nos cultivos de inverno, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é a principal cultura comercial, sendo que a aveia preta (*Avena stringosa*) é utilizada na rotação de cultura da área.

Desde o ano de 2005, esta área passou a ser integrante do Projeto Aquarius de Agricultura de Precisão (AP). A mesma passou a ser manejada com técnicas de AP, sendo que os principais manejos realizados são a adubação a lanço na superfície e em taxa variada.

4.2.2 Instalação do Experimento

O experimento foi realizado no ano agrícola 2008/09 com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), cultivar BMX APOLO RR, de ciclo superprecoce, que foi semeada no dia 22 de novembro de 2008 sob SPD, com espaçamento de 0,45 m entre linhas com média de doze sementes por metro linear. A escarificação foi realizada no dia 22 de novembro de 2008, quando o solo encontrava-se em condições de friabilidade.

A adubação foi realizada em duas etapas: numa primeira fase na data de 10 e 11 de novembro foi realizada adubação a lanço em superfície com 112 e 120 kg ha⁻¹ de KCl e P₂O₅, respectivamente, e num segundo momento durante a semeadura, foi utilizado um produto formulado, cuja fórmula é 2-23-23 com 175 kg ha⁻¹ na linha de semeadura. A semente utilizada foi inoculada e tratada para o controle de pragas.

No desenvolvimento da cultura, as práticas de manejo e os tratos culturais seguiram as Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja Região Centro-Sul, com duas aplicações dos princípios ativos: Azoxistrobina+Ciproconazol (Prior Xtra®), Bifenthrin (Talstar®) e Diflubenzuron (Dimilin®), com doses de 300, 150 e 50 ml ha⁻¹, respectivamente. Uma segunda aplicação foi realizada no início do florescimento com as doses de 300, 1000, 50 ml ha⁻¹, respectivamente, com os mesmos produtos anteriormente utilizados.

4.2.3 Clima e Solo

O solo deste local é classificado, segundo a Embrapa (2006), como sendo Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com relevo suavemente ondulado a ondulado. Na Tabela 2, são apresentados os teores iniciais de nutrientes no solo. O teor médio de argila é de 450 g kg⁻¹. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (NIMER, 1989). 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). As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com a precipitação anual de 1.500 a 1.750 mm.

Tabela 2- Resultado da análise de fertilidade do solo, antes da implantação do experimento de um Latossolo Vermelho distrófico. LVd, Victor Greff – RS, 2008.

Zona de Rendimento	Ph ¹	SMP ₂	MOS ³	P ⁴	K ⁴	Ca ⁵	mg ⁵	Al ⁵	H+Al	V ⁶	m ⁷
	1:1		m/v %	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%	
ZB	5,9	6,7	2,2	26,8	0,624	5,0	1,8	0,0	2,0	79	0
ZM	5,7	6,2	2,4	26,8	0,540	5,5	3,21	0,0	1,9	79	0
ZA	5,4	6,1	2,7	33,8	0,733	5,5	3,76	0,0	1,9	80	0

¹Ph em Água, ²Índice SMP, ³Matéria Orgânica do Solo, ⁴Fósforo e Potássio (Mehlich-I), ⁵Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis (KCl 1M), ⁶Saturação por bases, ⁷Saturação por Alumínio.

4.2.4 Definição de Zona de Rendimento

Primeiramente, procederam-se as definições de zonas de rendimento, sendo esta observada durante os três anos anteriores à instalação do experimento. O critério utilizado para tal diferenciação baseou-se no rendimento relativo de cada safra agrícola monitorada, sendo que nos anos de 2005/06 e 2006/07 a cultura foi a soja e no ano de 2007/08, nesta área, foi plantado o milho.

Para cada safra agrícola, foram utilizados mapas de rendimentos e determinado o rendimento médio desta área. Após esta definição, foi realizada a divisão entre zonas com rendimento estáveis, seguindo a metodologia proposta por Molin (2002), que considera: Zona de Baixo rendimento (ZB), Zona de Médio rendimento (ZM) e zona de Alto rendimento (ZA) aquelas áreas que possuem <95 %, 95 – 105 %, >105 % do rendimento médio da área, respectivamente. Todos os dados irreais (produtividade nula ou ausente, valores discrepantes de rendimento entre outros) foram eliminados e após esta filtragem o coeficiente da variação foi inferior a 30%.

4.2.5 Delineamento Experimental

Os tratamentos foram realizados na zona de baixo rendimento (ZB) em formas de faixas paralelas de 100 X 20 m de largura. As coletas de solo para a determinação de suas propriedades físicas foram realizadas a cada 15 m de distância entre si. Os tratamentos foram: a) Sem Escarificar (SE); b) Escarificação Convencional com profundidade fixa de 0,3 m em toda a área da parcela (EC); c) Escarificação sítio específico com equipamento Fox®, com profundidade fixa de 0,3 m (ESE-Prof. Fixa); d) Escarificação sítio específico conforme mapas de Resistência à Penetração (RP) denominado (ESE-Prof. Variada), com profundidade variando de 0,2 a 0,3 m. Na ZA, foi mantida uma faixa com o mesmo tamanho para ser utilizado tratamento de referência, sendo realizadas as mesmas avaliações que os demais tratamentos.

Utilizou-se um trator da marca Valtra BM 120, com potência aproximada de 120 cv para o arraste dos equipamentos. O escarificador convencional possuía sete

hastes com espaçamento de 0,40 m entre si. Já o escarificador Fox® utilizou nove hastes desencontradas, com espaçamento de 0,30m entre si. No tratamento EC, foi realizado um preparo secundário, através da utilização de uma grade leve para melhorar a superfície do solo, permitindo, assim, uma semeadura com melhores condições para o contato solo-semente.

4.2.6 Equipamentos Utilizados para a Escarificação

A escarificação mecânica foi realizada no dia 22 de novembro de 2008. Nesta data, o solo encontrava-se em condições de friabilidade. Foi utilizado o subsolador, fabricado pela empresa Implementos Agrícolas Jan S/A (www.jan.com.br) denominado de Jumbo. O aparelho é um dos mais tradicionais equipamentos utilizados no preparo do solo, quando o sistema de plantio era o de preparo convencional. Este equipamento possui sete hastes de trabalho desencontradas com espaçamento entre elas de 0,4 m sendo a profundidade regulada pelo controle hidráulico acionado pelo trator. Para a realização dos tratamentos, embora o equipamento seja um subsolador, ficou definido que a sua profundidade de trabalho fosse de 0,3 m para que seu comportamento fosse idêntico ou o mais parecido possível com um escarificador.

O outro equipamento utilizado, objeto de estudo, foi um protótipo que se encontrava em fase de teste de campo, fabricado pela empresa Stara S/A (www.stara.com.br). Este equipamento atuou com nove hastes de trabalho de forma desencontrada, com um espaçamento entre elas de 0,3 m. A variação de profundidade de atuação das hastes é realizada de maneira automática e de forma georreferenciada, conforme a indicação de profundidade de ocorrência da máxima compactação do solo, determinada através dos mapas de resistência à penetração (RP) gerada antes da realização da escarificação.

4.2.7 Densidade do Solo

A densidade do solo foi determinada usando amostras de solo indeformadas, coletadas com auxílio de anéis de aço com volume conhecido, seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (1979). Foram realizadas nove repetições

espaçadas a cada 10 m entre si. Abriram-se pequenas trincheiras para que os anéis de aço com volume conhecido (0,03 m de altura X 0,055 m de diâmetro). As camadas de solo amostradas foram: 00-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,15, 0,15-0,2 m. Aproveitaram-se os mesmos anéis para a determinação da umidade volumétrica existente no solo no momento da amostragem.

O cálculo da densidade foi realizado segundo a fórmula abaixo:

$$D_s = M_{ss}/V,$$

onde:

D_s = Densidade do solo (mg/m^3)

M_{ss} = Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas)

V = volume do cilindro (cm^3)

4.2.8 Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo

A microporosidade foi obtida segundo a metodologia da mesa de tensão descrita pela Embrapa (1979), na qual se considera que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros que retém água, quando se aplica uma coluna de água de 0.60 m.

A fórmula utilizada foi:

$$M_i = (M_{s60\text{cm}} - M_{ss}) / V * 100$$

onde:

M_i = microporosidade (%);

$M_{s60\text{ cm}}$ = Massa de solos após 72 horas na mesa de tensão a 0.60 m de sucção de coluna de água (gramas);

M_{ss} = Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas);

V = Volume do cilindro (cm^3).

Para calcular a macroporosidade, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Ma = (M_{ssat} - M_{s60cm}) / V * 100$$

onde:

Ma = Macroporosidade (%);

M_{ssat} = Massa de solo saturado por 48 horas (gramas);

M_{s60 cm} = Massa de solos após 72 horas na mesa de tensão a 0.60 m de sucção de coluna de água (gramas);

V = Volume do cilindro (cm³).

Para calcular a porosidade total do solo, foi utilizada a fórmula:

$$Pt (\%) = Ma (\%) + Mi (\%)$$

4.2.9 Infiltração de Água no Solo

Para a determinação da infiltração de água no solo, foi utilizado o método dos duplos cilindros concêntricos, seguindo a metodologia da Embrapa (1979), sendo que o cilindro interno possuía 0,2 m de diâmetro por 0,15 m de altura e o cilindro externo 0,40 m por 0,1 m de altura. Ambos os cilindros possuíam bordas afiadas para facilitar a sua introdução no solo, evitando assim a sua desestruturação. Na outra extremidade, a borda possui um reforço para que o mesmo suporte os golpes necessários para a sua introdução no solo.

A instalação seguiu o mesmo padrão para todos os conjuntos de infiltrômetros, sendo que primeiramente era introduzido o cilindro externo, até aproximadamente 0,05 m de profundidade e, logo após, era feita a introdução do cilindro interno, até a profundidade de 0,10 m, ficando assim os dois cilindros com a mesma altura da borda superior com o solo. Depois de instalados os cilindros, para a medição do volume de água infiltrado, canos de PVC de 150 mm de diâmetro, fechado, numa ponta e com um registro de esfera de ½ polegada na outra, contendo água em quantidade conhecida por meio de uma mangueira e uma escala graduada

em intervalos de 10 ml, suspensos por meio de um tripé de ferro, foram alocados sobre o cilindro menor, a fim de manter uma lâmina de água constante de 0,05 m de altura. O medidor confeccionado é semelhante ao descrito por Siqueira & Denardin (1985) e foi adaptado por Lanzanova (2005).

No cilindro externo, a lâmina de água foi mantida manualmente, com 0,05 m de altura, com auxílio de galões de 20 litros. As leituras foram tomadas em intervalos de tempo regulares, sendo: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos após o início do teste, sendo realizadas 10 repetições por tratamento, distribuídas de forma circular, com um raio de aproximadamente 5 metros. Ajustou-se o modelo de Kostiakov para a lâmina infiltrada e para a taxa de infiltração inicial conforme a equação abaixo

$$LI = a * t^b \text{ onde:}$$

LI = lâmina infiltrada;

t = tempo, e

“a” e “b” são parâmetros do modelo.

4.2.10 Estabilidade de Agregados

Para a distribuição de agregados estáveis em água, foi utilizado o método descrito por Kemper & Chepil (1965). Foram realizadas as coletas de amostras indeformadas de solo nas camadas de 00 a 0,1, 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m. No campo, foram coletadas duas amostras de solo por tratamento. Chegando ao laboratório, foram realizadas quatro replicações em cada tratamento.

As amostras foram desagregadas manualmente, para se evitar a compressão dos mesmos. A desagregação era realizada até que os agregados passassem por uma peneira de 8 mm e ficassem retidos na peneira de 4.76 mm.

Depois de secas ao ar forma retiradas 25 gramas de agregados de cada amostra e colocadas para o umedecimento por capilaridade, durante 10 minutos. Estes agregados ficavam sobre um jogo de peneiras com malhas de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,21 mm. Após, as peneiras eram agitadas durante 10 minutos, com 30 oscilações

verticais por minuto, com um deslocamento de 3,8 cm de amplitude no aparelho de agitação.

Após este período, o material retido em cada peneira era acondicionado em latas de alumínio, numeradas e pesadas, colocadas em estufa a 105°C onde permaneciam por 24 horas. Após a pesagem, esse material era imerso em uma solução dispersante composta de NaOH 6% para a separação de material inerte, tais como: pedras, vegetais e da fração areia do solo. O material que ficava novamente retido na sua respectiva peneira era levado até a estufa para novo período de secagem por 24 horas, com temperatura de 105°C e pesado.

Através da subtração, era determinada a massa de agregados sem a fração areia. Simultaneamente ao processo de agito e secagem, uma amostra de aproximadamente 25 gramas de agregados era colocada na estufa para a determinação da umidade gravimétrica residual, utilizada no cálculo.

A porcentagem de agregados por classe de tamanho, o diâmetro médio de agregados (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP) foram calculados usando uma planilha eletrônica de dados simples, utilizando as seguintes equações:

$$AGRi (\%) = mAGRi / \sum_{i=1}^n AGRi * 100 \text{ onde:}$$

$mAGRi$ = massa de agregados da classe i

$$\sum_{i=1}^n AGRi = \text{massa total de agregados}$$

$$DMG = \text{EXP} \left[\frac{\sum_{i=1}^n AGRi \cdot \text{LN}(ci)}{\sum_{i=1}^n (AGRi * \text{LN}(ci))} \right] \text{ onde:}$$

$$\sum_{i=1}^n AGRi = \text{massa total de agregados}$$

ci = valor médio de classe de agregados i .

4.2.11 Ensaio de Proctor

Para a determinação da densidade máxima do solo, foi utilizado o ensaio de proctor, uma vez que a metodologia é simples e rápida. Neste ensaio, é possível se obter uma relação entre a densidade e a umidade do solo. Como resultado obtém-se a densidade máxima que o solo em estudo pode atingir. Feita a relação entre D_s e a umidade, pode-se determinar em qual grau de umidade o solo vai atingir a densidade máxima.

Para a realização deste teste, foi utilizada a metodologia proposta por Nogueira (1989) e descrita por Klein (2008). A primeira operação para a realização do ensaio de proctor foi a coleta de solo na camada de 00 a 0,2 m sendo realizadas três repetições em toda a área. Aproximadamente 20 kg foram coletados e, após 20 dias, este material foi moído até passar pela peneira de 4,80 mm e determinada a umidade deste solo.

Após, este material foi dividido em frações de 2 kg de solo e em cada fração foi adicionado diferentes volume de água, que permaneciam por 30 minutos para o umedecimento uniforme da amostra. Para acelerar este processo de umedecimento, o solo era constantemente mexido com auxílio de espátulas plásticas. A variação de umidade entre as amostras foi de 2%.

No passo seguinte, a amostra era colocada dentro do cilindro metálico com uma espessura de camada de 0,04m e 25 golpes do soquete, repetindo esta operação por mais duas vezes, pois o cilindro apresenta altura de 0,10 m. Após a compactação das três camadas, era retirado o excesso de solo na parte superior do cilindro.

4.2.12 Análise Estatística

Os dados foram analisados utilizando o delineamento inteiramente casualizado em faixas paralelas de 100 X 20 m de largura na zona de baixo rendimento (ZB). Os tratamentos forma realizados com dois tipos de escarificadores (Convencional e Sítio Específico). As médias foram submetidas ao teste Lsmeans a 5% de significância, através do pacote estatístico SAS 9.1.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Caracterização Inicial da Área

Na fase de caracterização inicial realizada no dia 10 de novembro de 2008, (Tabela 3). Na camada que grande parte dos autores sustentam que se encontra a camada compactada no SPD (0,17 m), observou-se diferença estatística entre as zonas de rendimento, sendo que a ZB apresentou um solo 13% mais denso que a ZA. Os valores críticos de D_s , segundo Reinert *et al.* (2001), Secco (2003) e Silva (2003), para solos com teores de argila entre 20 e 55%, é de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$, que neste trabalho foi 6% superior ao valor crítico. Através destes valores, foi possível constatar que a ZB apresentou na camada 0,15 a 0,2 m uma D_s , que pode estar afetando negativamente o rendimento da cultura. Já este resultado, quando comparado com os resultados encontrados por Suzuki *et al.* (2005), utilizando os teores de argila para a determinação da D_s é de 11% superior ao limite crítico para áreas com teores de 450 g kg^{-1} sendo para estes solos a D_s de $1,46 \text{ g cm}^{-3}$.

Os resultados para a macroporosidade apresentam, com comportamento muito semelhante entre as ZB e a ZM, com os valores ligeiramente abaixo dos valores críticos citados por Suzuki (2005) e Collares (2005), que consideram como valor crítico para a infiltração de água no solo e o suprimento de oxigênio para as raízes $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Para os valores de microporosidade, foi possível observar que em todas as camadas de solo estudadas (00 - 0,20m), os valores encontrados na ZB foram sempre inferiores aos valores obtidos na ZM e na ZA. O mesmo comportamento aconteceu para a variável porosidade total, sendo que sempre a ZB apresentou valores menores que a ZM e ZA. De maneira geral, a ZA apresenta valores que não atingem os considerados críticos pela literatura, com exceção da macroporosidade.

De acordo com os resultados obtidos na caracterização inicial, foi possível detectar qualidade física inferior na ZB, indicando que a compactação pode estar afetando o rendimento. Este resultado confirma a concepção do agricultor e de seu consultor técnico de que neste local a área apresenta histórico de baixo rendimento devido à compactação do solo.

Tabela 3- Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em diferentes zonas de rendimento e camadas do solo na caracterização inicial do experimento.

Camada (m)	Zonas de Rendimentos			CV (%)
	ZB	ZM	ZA	
	Densidade do Solo (mg m^{-3})			
0,00 - 0,05	1,23 ns	1,43	1,36	12,07
0,05 - 0,10	1,51 ns	1,39	1,46	13,43
0,10 - 0,15	1,48 ns	1,52	1,44	12,84
0,15 - 0,20	1,64 ns	1,48	1,46	5,96
	Macroporosidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$			
0,00 - 0,05	0,15 a	0,09 b	0,11 b	29,10
0,05 - 0,10	0,05 ns	0,08 a	0,07 a	47,95
0,10 - 0,15	0,05 ns	0,06 a	0,07 a	26,21
0,15 - 0,20	0,05 b	0,08 ab	0,10 a	35,51
	Microporosidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$			
0,00 - 0,05	0,30 ns	0,33	0,36	18,19
0,05 - 0,10	0,28 b	0,30 b	0,36 a	9,59
0,10 - 0,15	0,25 b	0,32 a	0,31 ab	15,65
0,15 - 0,20	0,28 ns	0,37	0,38	19,04
	Porosidade total $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$			
0,00 - 0,05	0,45 ns	0,42	0,47	20,66
0,05 - 0,10	0,33 b	0,38 ab	0,43 a	11,64
0,10 - 0,15	0,30 b	0,38 a	0,38 a	10,05
0,15 - 0,20	0,33 b	0,44 b	0,48 a	22,48

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Lsmeans a 5%. Onde: ZB = Zona de Baixo rendimento, ZM= Zona de Médio rendimento e ZA= Zona de Alto rendimento, CV= Coeficiente de Variação.

Os resultados obtidos nesta caracterização inicial são similares aos encontrados por Amado *et al.* (2009) em áreas de Latossolo do planalto do Estado do Rio Grande do Sul. Os autores encontraram variações semelhantes entre zonas de rendimento em áreas conduzidas sob SPD, em dois experimentos conduzidos com técnicas de AP. Naquele trabalho, os valores encontrados de Ds foram maiores na ZB que na ZM e na ZA e com a mesma tendência de aumento da Ds à medida que a profundidade aumentava.

4.4.2 Época do Florescimento

No florescimento da soja, é possível verificar que em todos os tratamentos com escarificação ocorreu uma menor Ds, quando comparada com o tratamento SE, com a maior redução de Ds acontecendo na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4). A redução da Ds em relação à testemunha SE foi de 14%, 11% e 7% para os tratamentos ESE-Prof. Variada, ESE-Prof. Fixa e EC, respectivamente, na camada de 0,05 -0,10 m.

Neste sentido, as modificações mecânicas e estruturais do escarificador Fox® foram eficientes em descompactar o solo sem causar grande desorganização da estrutura do mesmo.

De maneira geral, analisando a camada de 0,0 – 0,2 m, a Ds foi reduzida a níveis abaixo dos valores restritivos. Os tratamentos investigados mantiveram o mesmo comportamento, sem diferença estatística, porém com um ligeiro aumento de Ds à medida que se aumenta a profundidade do solo.

Na macroporosidade (Ma), verificaram-se, na camada superficial do solo 0,0 – 0,05m, aumentos de 34 e 31%, respectivamente, nos tratamentos ESE-Prof. Variada e EC, quando comparados com o tratamento SE. Resultado contrário obteve o tratamento ESE-Prof. Fixa, que teve uma diminuição nestes valores de Ma.

Na camada mais ampla de avaliação (0-0,20 m), o aumento da Ma foi de 30%, quando comparado o tratamento SE com o ESE-Prof. Variada. Deve-se ressaltar que mesmo o tratamento testemunha SE apresentou uma melhoria na Ma, devido ao aumento da atividade biológica existente no local com o desenvolvimento da cultura.

Tabela 4- Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total na zona de baixo rendimento (ZB) e em camadas do solo após a escarificação mecânica do solo, no período do pleno florescimento da cultura.

Zona de Baixo Rendimento (ZB)					
Camada (m)	Tratamentos				CV (%)
	ESE – Prof. Fixa	EC	ESE – Prof. Variada	SE	
Densidade do Solo (mg m^{-3})					
0,00 - 0,05	1.30 b	1.17 b	1.14 c	1.31 a	12.08
0,05 - 0,10	1.33 b	1.40 ab	1.29 b	1.50 a	9.57
0,10 - 0,15	1.45 ns	1.46	1.41	1.49	10.25
0,15 - 0,20	1.46 ns	1.42	1.42	1.47	9.45
Macroporosidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
0,00 - 0,05	0,17 b	0,26 a	0,27 a	0,18 b	35.27
0,05 - 0,10	0,20 ab	0,15 c	0,22 a	0,15 bc	29.56
0,10 - 0,15	0,17 ns	0,14	0,17	0,13	36.39
0,15 - 0,20	0,11 ns	0,14	0,15	0,13	38.93
Microporosidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
0,00 - 0,05	0,34 a	0,28 b	0,29 b	0,37 a	22.02
0,05 - 0,10	0,30 a	0,29 a	0,24 b	0,31 a	12.35
0,10 - 0,15	0,29 a	0,30 a	0,26 b	0,29 a	9.06
0,15 - 0,20	0,31 ns	0,29	0,28	0,28	9.75
Porosidade total $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
0,00 - 0,05	0,52 ns	0,54	0,56	0,56	13.52
0,05 - 0,10	0,50 ns	0,44	0,47	0,46	13.12
0,10 - 0,15	0,46 ns	0,44	0,43	0,42	10.43
0,15 - 0,20	0,43 ns	0,43	0,43	0,42	11.63

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Lsmeans a 5%. Onde: Prof.=Profundidade, CV= coeficiente de variação

4.4.3 Densidade Relativa do Solo

Quando se observa (Figura 11) valores de Densidade Relativa do Solo (Drs), nota-se que apenas o tratamento SE apresentou valores 5% acima do considerado como limitante para solos do Rio Grande do Sul, que é 0,86 (MARCOLIN, 2006). Os demais tratamentos não atingiram a Drs limitante, evidenciando que nesta camada (00-0,10m) a escarificação foi eficiente para acabar com a camada mais adensada.

O tratamento EC sofreu uma redução de aproximadamente 20% na sua Drs, na camada 00-0,05m.

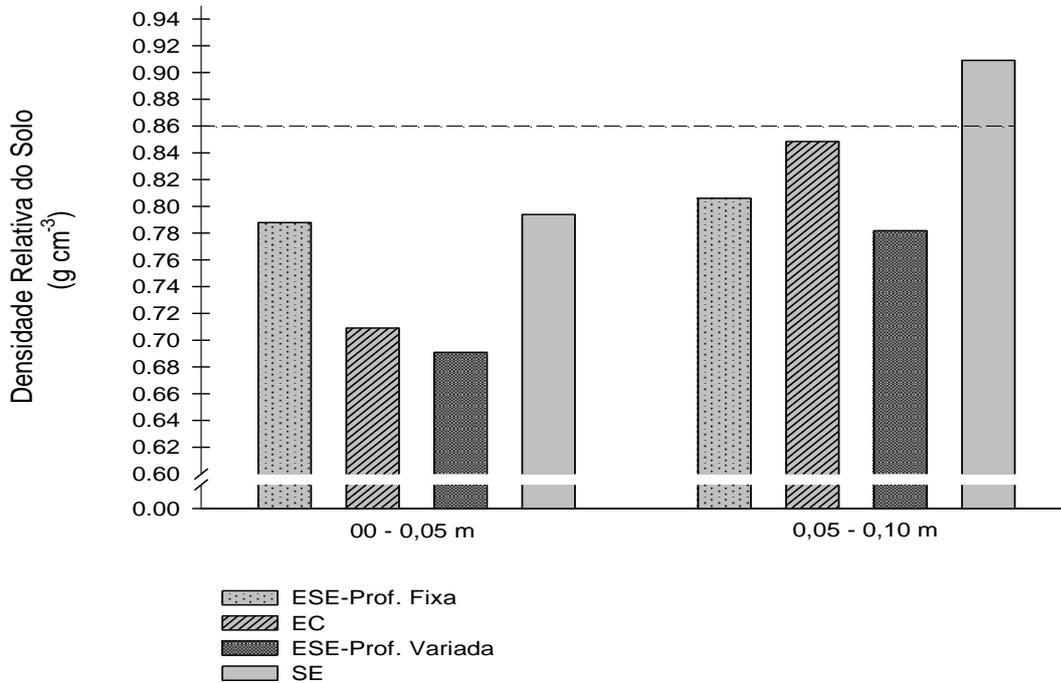


Figura 11- Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) na época do florescimento da cultura da soja, na camada de 00 – 0,10 m. Com destaque para o valor crítico de Drs. Victor Graeff- RS.

Após a escarificação todos os tratamentos, com exceção do tratamento ESE-Prof. Variada, apresentaram a Dsr maior que o limite sugerido pela literatura, sendo este tratamento o mais eficiente para manter os valores de Dsr abaixo do limite crítico (Figura 12).

Na camada 0,15 – 0,20m, praticamente todos os tratamentos atingiram o limite crítico de Drs. Novamente, a exceção foi o ESE-Prof. Variada. Na camada de 0,10 - 0,20m, os valores verificados foram superiores a Drs e o valor máximo encontrado foi 5% superior no tratamento SE que o valor limitante para solos do Estado.

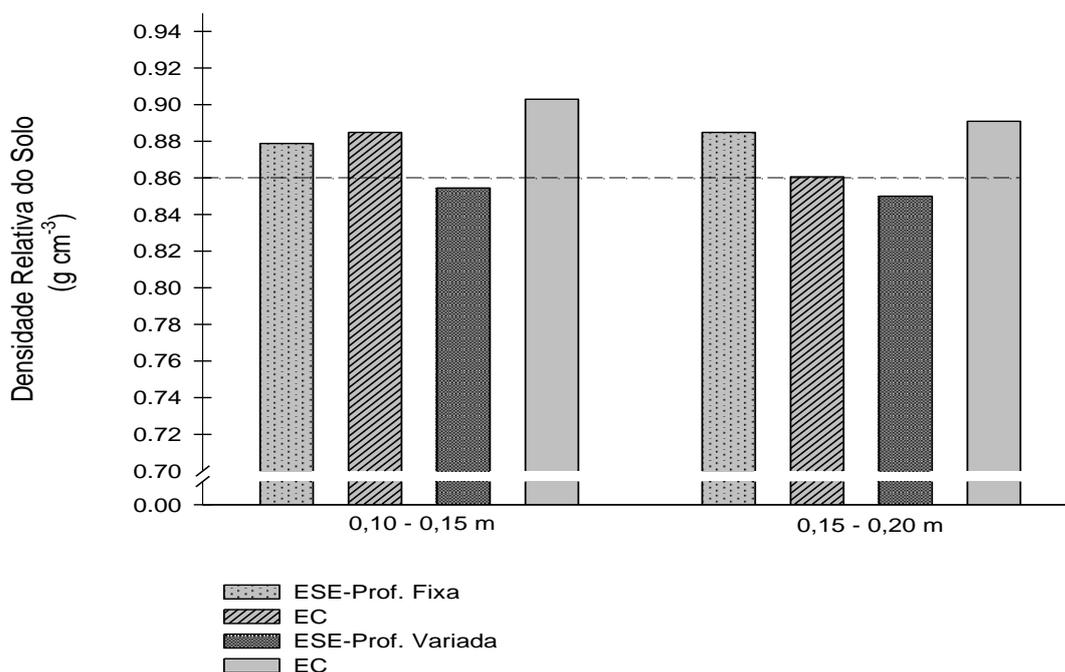


Figura 12- Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) na época do florescimento da cultura da soja, na camada de 0,10 – 0,20 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.

Na Figura 13, encontram-se os resultados obtidos após a colheita na camada mais superficial do solo (0 - 0,05 m). Nenhum dos tratamentos apresentou valores de Dsr acima do considerado crítico na literatura para solos do RS. Na camada que varia de 0,05 a 0,10 m, o único resultado que ultrapassou o limite crítico foi o tratamento SE, pois como sua estrutura não foi afetada pelo escarificador, sua Drs manteve-se acima da considerada restritiva para o bom desenvolvimento das plantas.

Os resultados verificados no tratamento EC apresentaram uma elevação de aproximadamente 9,8% na primeira camada para a camada até 0,10 m de profundidade. Nos tratamentos realizados pelo ESE, o aumento foi de 11,10 e 3,57% respectivamente para os tratamentos ESE-Prof. Fixa e ESE-Prof. Variada, em relação à camada mais superficial 0-0,05 m.

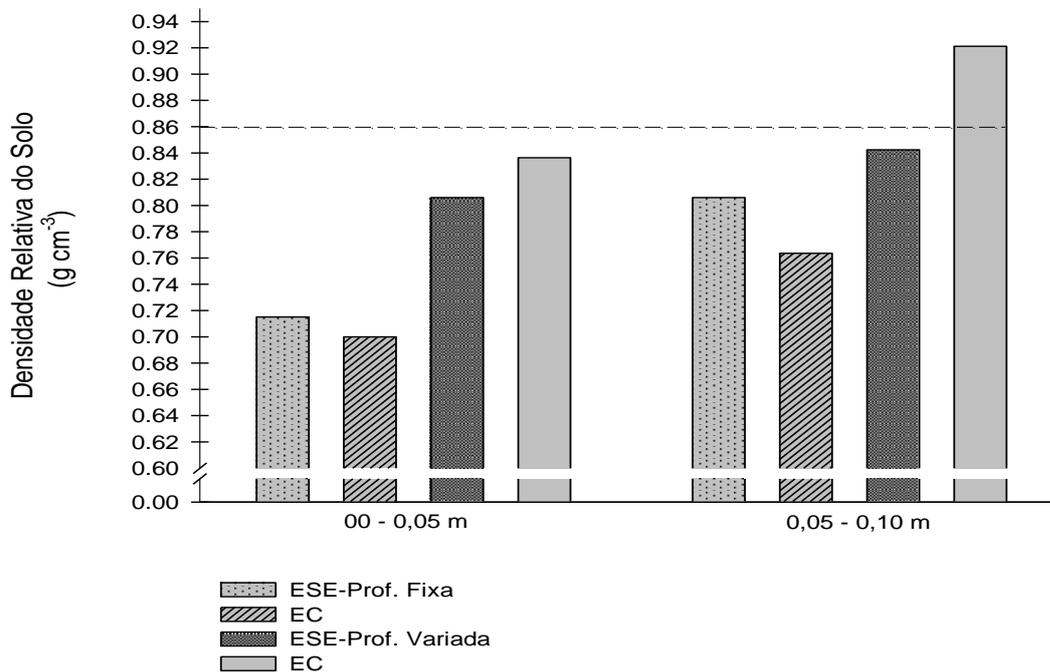


Figura 13 - Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) após a colheita da cultura da soja, na camada de 00 – 0,10 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.

Estes valores de Dsr encontrados no experimento estão acima do valor encontrado por Beutler *et al.* (2005), que em um Latossolo Vermelho distrófico, encontraram com 0,80 a Dsr ótima para a cultura da soja. Um valor semelhante foi encontrado por Torres & Saraiva (1999), que em um Latossolo verificaram que o rendimento da soja decresceu a partir de uma Dsr de 0,84.

Na camada mais profunda analisada (Figura 14), é perceptível um aumento de valores em todos os tratamentos, resultado do adensamento natural que o solo sofre. A exceção foi o EC, que apresentou um aumento pequeno de 2,5%, pelo fato que o EC causou uma maior perturbação no solo e, com isso, o processo natural de adensamento é favorecido.

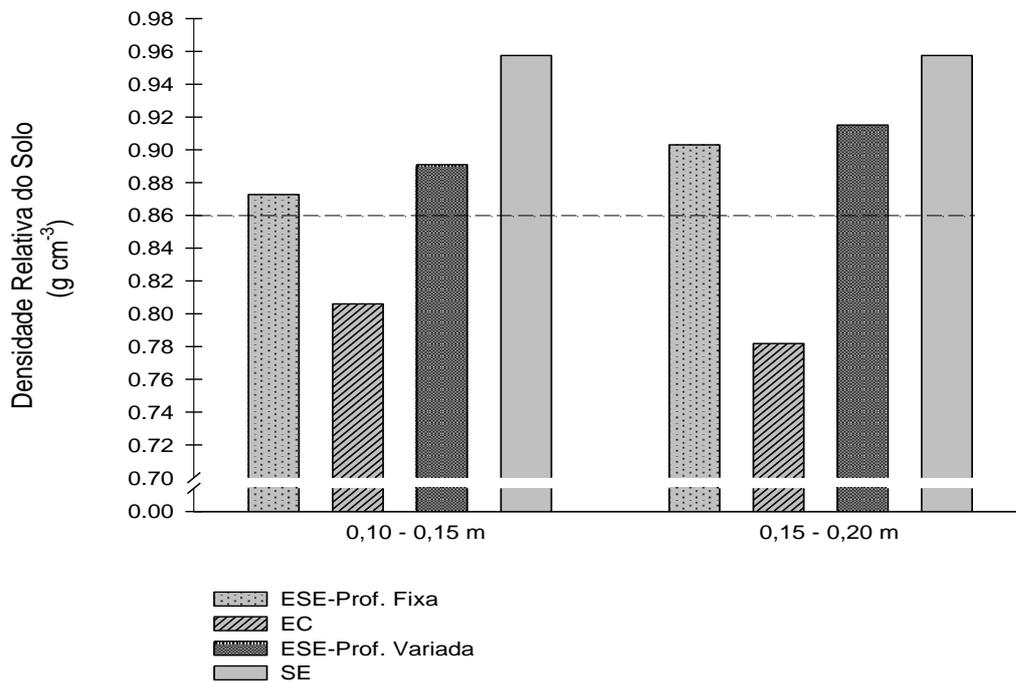


Figura 14 - Distribuição da Densidade relativa do solo (Drs) após a colheita da cultura da soja, na camada de 0,10 – 0,20 m. Com destaque para o valor crítico de Dsr. Victor Graeff- RS.

4.4.4 Infiltração de Água no Solo

Após a escarificação do solo quando foi realizada a infiltração de água no solo a umidade volumétrica era de 24,86; 23,71 e 20,49 % na ZA, ZM e ZB respectivamente. Para alguns autores a determinação da taxa de infiltração de água pelo método dos anéis concêntricos pode superestimar os valores em até cinco vezes (Forsythe, 1975), porém para fins comparativos entre diferentes tratamentos este método é de boa eficiência.

Santi (2007) verificou que este método proporcionou a maior amplitude nas taxas de infiltração instantânea entre as zonas de rendimento em duas áreas comerciais do planalto do Estado.

A infiltração de água acumulada no solo (Figura 15) ao final dos 120 minutos de verificação foi igual entre o tratamento EC e o ESE-Prof. Variada. Quando comparada a infiltração acumulada nos tratamentos com os escarificadores ocorreu um incremento de aproximadamente cinco vezes, partindo de 69 mm após 120 minutos para valores 262 e 266 mm para os tratamentos com o ESE-Prof. Variada e o EC, respectivamente.

Este resultado é semelhante ao encontrado por Eltz et al. (1989) que encontrou uma variação na taxa de infiltração de água cinco vezes maior no plantio convencional que no tratamento de plantio direto.

Com os resultados obtidos foi possível constatar que ambos escarificadores foram eficientes para aumentar a taxa de infiltração de água no solo, provando que as modificações estruturais realizadas no Fox® foram tão eficientes quando ao escarificador convencional.

Outro resultado semelhante foi encontrado por Nicoloso et al. (2008) em áreas da região do noroeste do estado com elevado teores de argila, em que obteve um aumento na taxa de infiltração de água quando utilizado o escarificador mecânico, porém seu efeito residual foi pequeno.

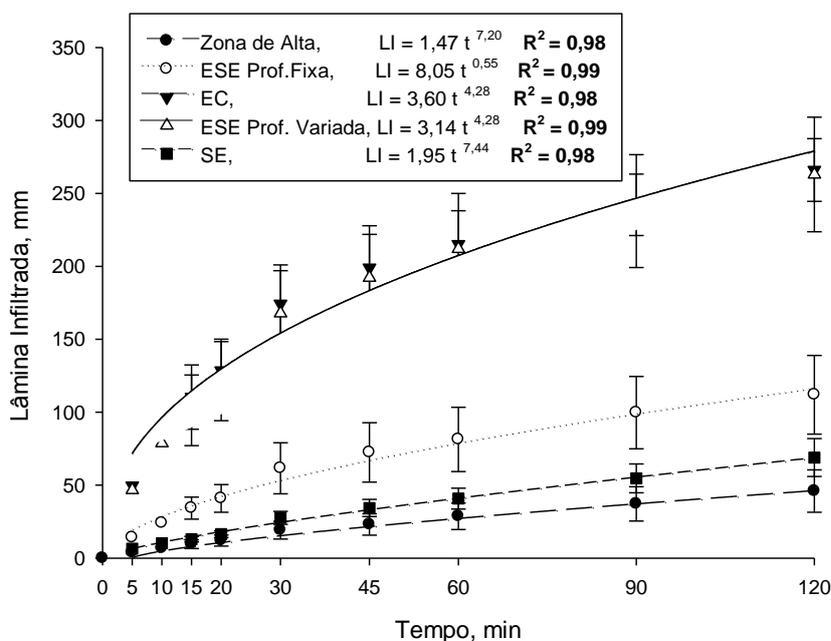


Figura 15 – Taxa de infiltração acumulada de água no solo, obtida nos diferentes tratamentos na zona de baixo potencial produtivo, logo após a escarificação mecânica do solo, dezembro de 2008.

Logo após a colheita da cultura da soja, foram realizados, no mês de maio de 2009, novamente os testes de infiltração (Figura 16). É possível verificar que no tratamento EC ocorreu uma redução de aproximadamente 100 mm. Isso representa, no decorrer de sete meses, que a redução foi de 38%, devido ao reagrupamento das partículas de solo após a escarificação mecânica.

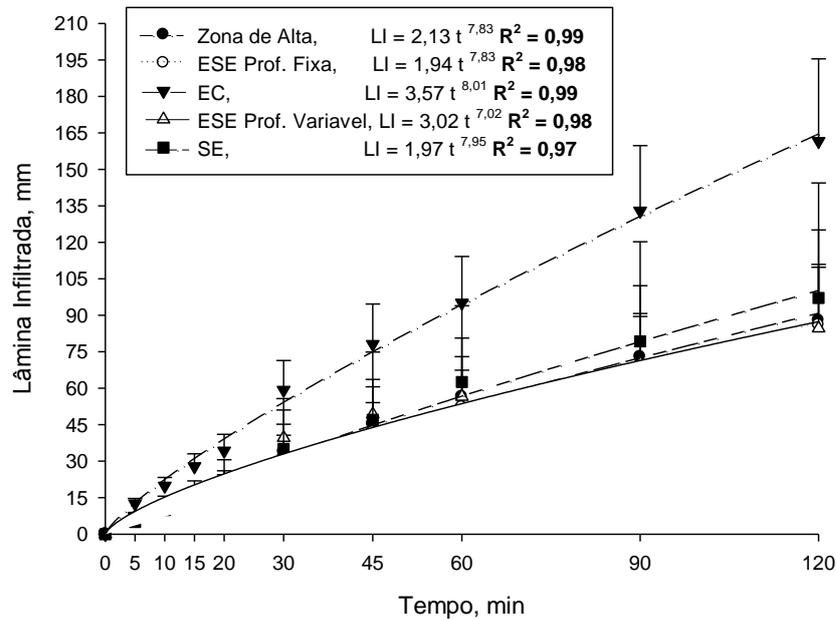


Figura 16 - Taxa de infiltração acumulada de água no solo, obtida nos diferentes tratamentos na zona de baixo potencial produtivo, logo após a colheita da cultura da soja, maio de 2009.

O tratamento com maior redução foi o tratamento ESE-Prof. Variável, que passou de 260 mm de infiltração no mês de outubro para pouco mais de 80 mm no início do mês de maio. Esta redução de cerca de 70% (Figura 17) ocorreu pelo fato deste novo escarificador apresentar uma desestruturação menor do solo, quando comparada com o escarificador convencional, facilitando assim que as partículas se agrupassem novamente no solo.

Através deste resultado, fica demonstrado que o efeito da escarificação foi efêmero, cerca de sete meses, uma vez que o escarificador Fox® apresentou valores inferiores à parcela que foi mantida SE. Estes resultados são semelhantes ao encontrado por Secco & Reinert (1997), que observaram que o efeito da escarificação mecânica não persistiu além de dez meses em um solo com textura argilosa.

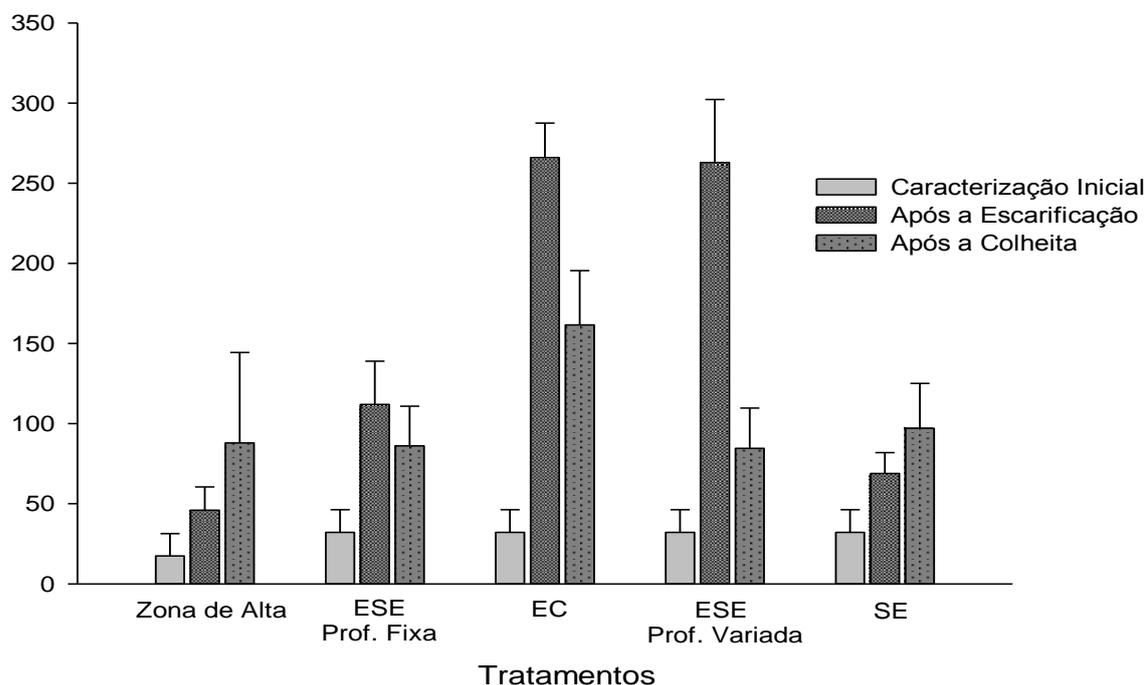


Figura 17 – Infiltração acumulada de água no solo, obtida em três diferentes épocas (caracterização inicial, após a escarificação mecânica e após a colheita). Victor Graeff, 2009.

4.4.5 Estabilidade de Agregados

Para esta análise, o solo foi coletado logo após a colheita da soja. Utilizou-se a zona de alto rendimento (ZA) como sendo o tratamento de referência, uma vez que não foi possível fazer o estudo temporal. Com os valores obtidos para o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), após a escarificação (Figura 18), é possível observar que a ZA apresenta diferença de 44,9% para o tratamento SE na camada 0 - 0,1 m. Os tratamentos que sofreram a ação do escarificador não apresentaram diferença estatística.

Na camada que vai de 0,1 - 0,2m, ocorre um resultado semelhante na camada superior (00-0,1m). A ZA apresentou um resultado superior ao tratamento SE, também superior em 44,7, 43,5 e 51,7 %, respectivamente para os tratamentos ESE-Prof. Fixa, EC e ESE-Prof. Variada, que não apresentaram diferença estatística entre si.

Na camada mais profunda (0,2 - 0,3 m) a diferença no DMG foi estatisticamente significativa. A ZA apresentou valores maiores que os demais tratamentos, devido ao fato de que a ZA apresenta uma melhor estruturação que a

ZB. Outro fator observado é que no tratamento com o EC os valores de DMG foram sempre menores que nos demais tratamentos, mostrando a grande perturbação estrutural causada por este equipamento.

De maneira geral (0 -0,30 m), é possível verificar que a ZA apresentou valores 36.25, 49.01, 41.83% maiores que ESE-Prof. Fixa, EC, ESSE-Prof. Variada. Estas diferenças podem ser explicadas pela ausência de revolvimento na ZA.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Silva *et al.* (2000), que em um Latossolo Roxo no Estado do Paraná observaram que o SPD obteve maiores valores para DMG que em solos que sofreram a ação de escarificadores. Campos *et al.* (1995) verificaram um aumento da estabilidade de agregados em Latossolos do sul do Brasil, evidenciando o efeito positivo do SPD na estabilidade de agregados. Santi & Amado (2007), em uma área no município de Não Me Toque, encontraram um aumento de cerca de 10% classe de agregados maior que 4.75 mm, quando comparada a ZA com a ZB.

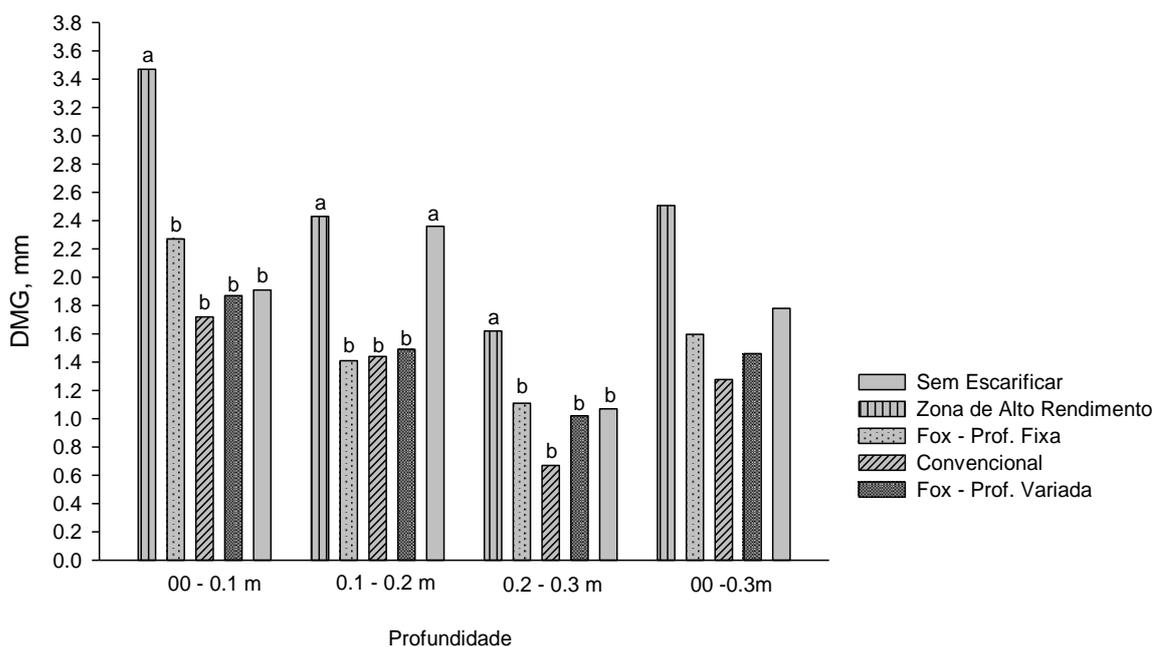


Figura 18 - Diâmetro Médio Geométrico (DMG), na média dos tratamentos de escarificação na ZB, em três profundidades do perfil do solo. Victor Graeff – RS. Maio de 2009. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.5 CONCLUSÕES

A qualidade física do solo na zona de baixo rendimento foi inferior a qualidade física do solo na zona com alto rendimento quando analisado pela Densidade do Solo.

A ZA apresentou maior DMG que os demais tratamentos, sugerindo uma melhor agregação que os tratamentos realizados com o escarificador.

A escarificação mecânica foi eficiente para reduzir de maneira temporária as causas da compactação do solo e aumentou cerca de cinco vezes a infiltração de água no solo; todavia, seu efeito residual foi pequeno.

4.6 REFERÊNCIAS

ABREU, S. L. et al., Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.

ALVES, M. C. & CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23: p. 753-761, 1999.

AMADO, T. J. C. et al., A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n. 89: p. 34-42, 2005.

AMADO, T. J. C. et al., Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, Aug. 2009

BEUTLER, A. N. et al., Densidade Relativa Ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29 p. 843-849, 2005.

BEUTLER, A. N. et al., Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30 p. 787-794, 2006.

BERTOL, I.; et al., Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv. mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, mai. 2000.

BRASIL, Companhia Nacional de Abastecimento, disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 de jan 2010.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.

CAMPOS, B. C. et al., Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, 1995.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine loamy sands. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 70, p. 425-433, 1990.

CASSOL, E. A. et al., Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco argiloarenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39 p. 685-690, 2004.

COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas**. 2005. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

CURI, N. et al., **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

ELTZ, F. M. L. et al., Efeito de sistema de preparo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13 p. 259-267, 1989.

EMBRAPA **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

_____. **Sistema brasileiro de classificação do solo**, 2a ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

FORSYTHE, W. **Física de Suelos**, Manual de Laboratório. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 212p. 1975.

FERRERAS, L. A. et al., Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.

GOEDERT, W. SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. J. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de PD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GENRO JUNIOR, S. A. et al., Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 477-484, 2004.

Hillel, D. **Solo e água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Editora EMMA, 1970. 231p.

IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS JAN S/A, disponível em:<<http://www.jan.com.br>>. (Acesso em 23/set/2009.)

INOUE, T. et al., Influência da escarificação em propriedades físicas de um Latossolo vermelho distroférico após 13 anos de PD. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.

KLEIN, V. A. Densidade relativa um indicador de qualidade física do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA 2002. Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212p.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo, EMBRAPA CNPT, 2000.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison. p. 499-509. 1965

MARCOLIN, C. D. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos sob plantio direto, na região de Passo Fundo-RS**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

NICOLOSO, R. S. et al., Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442 p.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação: uma preocupação pertinente. **A Granja**, v.646, p.55-57, 2002.

REICHERT, J. M. et al., A infiltração da água no solo sob manejo conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005 **Anais...** Recife, SBCS. 2005. 12p. CD-ROM.

REINERT, D. J., REICHERT, J. M., SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; et al. eds. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001, 165p.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L & AMADO, T. J. C. Maximização da produtividade em áreas sob plantio direto. In: **Revista Plantio Direto** - maio/junho de 2007.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2005.

SIQUEIRA, O. J. F. & DENARDIN, J. E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 73-75, 1985.

SILVA, V. R. da; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30 p. 795-801, 2000.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, V. Ruada; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, 2004.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob PD. **Engenharia Agrícola** v. 16, p. 52-61, 1997.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 f Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

STARA S.A. Indústria de Implementos Agrícolas, disponível em < <http://www.stara.com.br>>. Acesso em: 23 dez. 2008.

LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, O. F. Dinâmica da resistência a penetração de um solo sob PD. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996.

TORRES, E. & SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, Embrapa Soja, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23)

5 CAPÍTULO III

RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA INFLUENCIADO PELA ESCARIFICAÇÃO SÍTIO ESPECÍFICO UTILIZANDO TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

RESUMO

O desenvolvimento da agricultura de precisão (AP) é constante. Além de novas técnicas e manejos, novos equipamentos estão sendo desenvolvidos para ampliar as possibilidades de atuação. Neste sentido, vem sendo desenvolvido um escarificador de sítio específico (ESE). O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da escarificação mecânica no aumento do rendimento da soja e a manutenção da cobertura do solo após a operação de escarificação, o solo é um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e clima Cfa úmido, segundo a classificação de Koppen. Os tratamentos foram realizados em faixas paralelas de 100 X 20 m de largura, nas zonas de Baixo e Médio rendimento, sendo: a) Escarificador Convencional com profundidade de atuação de 0,30m (EC); b) Escarificador de atuação sítio específico com profundidade fixa em 0,30m (ESE-Prof. Fixa); c) Escarificador sítio específico com variação de profundidade (ESE-Prof. Variada); d) Testemunha Sem Escarificar (SE). Os resultados obtidos foram submetidos ao teste Lsmeans, com 5% de probabilidade. Além do rendimento, foi observada a manutenção da cobertura vegetal. Na zona de baixo rendimento, o tratamento ESE-Prof. Variada apresentou um aumento de rendimento 6,4% em relação ao tratamento SE, mas não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Na zona de médio rendimento o tratamento EC foi superior ao tratamento referência de 4.65%, tendo um CV de 8.10%. Ambos os tratamentos não diferiram estatisticamente entre os demais, dentro da mesma zona de rendimento. Os tratamentos ESSE-Prof. Fixa, ESSE-Prof. Variada e EC mantiveram 59, 57 e 20% de cobertura vegetal respectivamente. As melhorias estruturais e mecânicas realizadas no ESE foram eficientes para a manutenção da cobertura vegetal.

Palavra Chave: Agricultura de Precisão, Escarificação em Latossolo, Cobertura Vegetal

5.1 INTRODUÇÃO

Uma demanda cada vez mais crescente de técnicos e agricultores vem sendo a identificação das limitações físicas imposta pelo solo ao desenvolvimento das culturas, visto que, mesmo em áreas quimicamente corrigidas, as produtividades encontradas estão abaixo do potencial produtivo das culturas ou com variabilidade temporal (SANTI *et al.*, 2009).

Para a operação de descompactação do solo, escarificadores e subsoladores são os implementos mais usados, devido à maior capacidade de penetração e menor desagregação do solo, em relação aos arados e grades de discos (ARAÚJO, 1999).

Uma consequência deste preparo é o revolvimento do solo, produzindo superfícies mais rugosas, através de implementos de hastes e de discos, tendo como objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as crostas superficiais e camadas subsuperficiais compactadas (KOCHHANN & DENARDIN, 2000).

Para Reichert *et al.* (2007), conhecer os locais críticos de compactação em uma área auxilia o manejo específico, que pode ser realizado de forma a atuar somente nos locais afetados pelo problema, possibilitando assim a diminuição dos custos de operação e gasto de tempo com mão-de-obra.

A partir disso a Stara S/A(www.stara.com.br), desenvolveu um equipamento que possibilita a descompactação com profundidade variável, através de sensores georreferenciados, permitindo, assim, que a escarificação seja realizada somente nos locais onde existe esta limitação. Nos locais onde o desenvolvimento da cultura é satisfatório, não ocorre a ação das hastes escarificadoras, gerando, assim, uma escarificação conceitualmente definida como escarificação sítio específico (ESE).

A operação de escarificação facilita o desenvolvimento radicular das plantas, eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água, aumenta a

permeabilidade do solo (KOCHHANN & DENARDIN, 2000) e reduz a resistência mecânica do solo à penetração das raízes (INOUE *et al.*, 2002).

A cobertura vegetal tem papel fundamental para o solo. Segundo Prado *et al.* (2002), a presença de resíduos culturais na superfície do solo apresenta benefícios de ordem físico-química e biológica, proteção contra a erosão, melhoria da reciclagem de nutrientes e efeitos alelopáticos sobre pragas e inibição da emergência de plantas daninhas.

Alvarenga *et al.* (2001) sustentaram que a quantidade de 6 mg ha⁻¹ de resíduos pode ser considerada adequada ao sistema de plantio direto. Outros autores, como Camara *et al.* (2002), constataram que a operação de escarificação em área de plantio direto provocou uma incorporação superficial dos resíduos, reduzindo em 30% o percentual de solo coberto por resíduos culturais.

Klein *et al.* (2003), estudando um Latossolo Vermelho distrófico típico, conduzido há quatro anos em SPD, avaliaram o efeito da escarificação a 0,25m de profundidade, após o cultivo da aveia preta e concluíram que a escarificação esporádica neste sistema melhora a qualidade física do solo e não reduz o teor de matéria orgânica.

Para Cardoso *et al.* (2006), a presença de camadas compactadas no perfil do solo não afeta a produtividade de grão quando não há restrição hídrica. No mesmo sentido, Carvalho *et al.* (2004) avaliando a produtividade da soja em plantio direto e convencional num Latossolo Vermelho distrófico, observou que o sistema convencional proporcionou maior produtividade em ano com precipitação normal.

Nicoloso *et al.* (2008), em pesquisa realizada em um Latossolo com textura argilosa (641 g kg⁻¹), concluíram que o rendimento da cultura da soja não diferiu estatisticamente entre os tratamentos com escarificação e sem escarificação mecânica em áreas tendo a aveia preta como cultura antecessora em ano de alta precipitação

Já Carvalho Filho (2004), estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo de solo num Latossolo Vermelho distrófico, no Estado de São Paulo, cultivado com soja, concluiu que a produtividade de grãos não sofreu influência dos diferentes manejos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento da cultura da soja e a quantidade de cobertura vegetal que fica na superfície do solo, após a escarificação

mecânica, realizada com equipamento convencional e com escarificador sítio específico (ESE).

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2008/2009, em uma área no município de Victor Graeff – RS, com coordenadas geográficas *S 28°31'40"* e *W 52°40'18"*. As características de clima e de solo, o histórico da área e a descrição dos tratamentos estão compondo o Capítulo 1.

5.2.2 Delineamento experimental

Os tratamentos foram realizados em duas zonas de rendimento sendo Zona de Baixo rendimento (ZB) e Zona de Médio rendimento (ZM), em quatro faixas paralelas de 100 X 20 m de largura, totalizando uma área experimental de 8000m². Antes da realização dos tratamentos, os mesmos foram sorteados dentro de cada zona de rendimento (Tabela 5). Os tratamentos estão descritos de forma detalhada no capítulo 2.

Tabela 5 - Tratamentos realizados com suas respectivas localizações dentro de cada zona de manejo. Victor Graeff – RS.

Zona de Médio Rendimento (ZM)	Zona de Baixo Rendimento (ZB)
T 1: EC	T 1: ESE-Prof. Fixa
T 2: ESE-Prof. Variada	T 2: EC
T 3: ESE-Prof. Fixa	T 3: ESE-Prof. Variada
T 4: SE	T4: SE

5.2.3 Sensor de Rendimento

A colheita mecânica teve início no dia 7 de abril de 2009 e foi realizada com uma colhedora mecânica da marca New Holland modelo 5050, sendo esta equipada com sensor de rendimento óptico (protótipo em fase de teste), que consiste, de maneira simplificada, da instalação no elevador de grãos limpos, na qual, de um lado é colocado um sistema emissor de luz e do outro lado é instalado o receptor deste feixe de luz emitido (Figura 19). Através de cálculos e algoritmos, os *softwares* calculam a quantidade de luz que não é recebida (interceptada pelos grãos) no sensor receptor. Através deste sistema, calcula-se o rendimento instantaneamente.

Uma vez que o sensor está instalado no elevador de grãos limpos, (ANEXO A), podem ocorrer variações ocasionadas pela topografia da área, principalmente se a posição geográfica da colhedora estiver em locais com relevo mais ondulado (menor fluxo de grãos ao subir e maior fluxo ao descer). Para corrigir esta fonte de erro, foi instalado no chassi da máquina um sensor, que determina a inclinação do terreno. Outro cuidado observado, antes do início da colheita, foi a calibração dos sensores de rendimento, de inclinação e de área total da plataforma.

Para tanto, uma área adjacente foi colhida, sendo os primeiros graneleiros colhidos, pesados em uma balança próxima e, com este valor, feita a calibração do sistema, através da geração de um fator de correção. Este processo de calibração é todo realizado na interface do equipamento (ANEXO B). Para fins de pesquisa, no final de cada dia de colheita os sensores eram limpos e uma nova calibração era feita no início de cada jornada de trabalho. Uma conferência desta calibração era realizada em pelo menos cinco vezes, durante cada dia de trabalho, diminuindo a ocorrência de valores irreais. Após a colheita, os dados foram tabulados, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007® e o *software* CR-Campeiro7, desenvolvido pelo setor de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-Geomática), procurando eliminar, através de filtragens, os valores de produtividade discrepantes como os erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e a presença de valores de produtividade improvável, devido ao seu alto valor, quando comparados com os pontos sequenciais (MENEGATI & MOLIN, 2004).

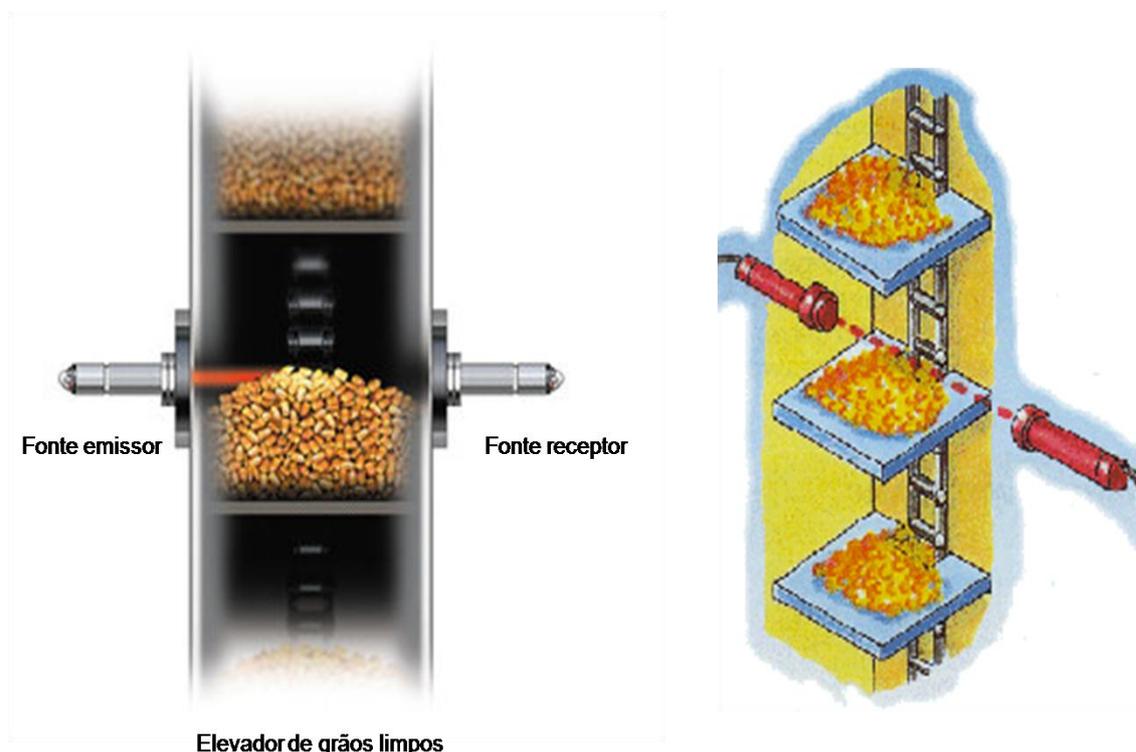


Figura 19 - Modelo esquemático do sensor óptico utilizado para o registro de rendimento da cultura da soja no ano de 2009. Victor Graeff - RS.

5.2.4 Determinação da Cobertura Vegetal

Para a determinação da cobertura vegetal, foi utilizado o método proposto por Laflen *et al.* (1981). Este método consiste na utilização de uma trena com 10m de comprimento, em intervalo regular de 0.10m. Em cada intervalo, foi colocado um pequeno prego, de forma que se simula uma gota de chuva (ANEXO C). No campo esta trena foi estendida dentro de cada tratamento, sempre no sentido transversal a linha de plantio. Para a determinação da cobertura, foi procedida a contagem dos pregos que tocavam de forma superficial o solo ou a cobertura vegetal (palha ou planta de soja), determinando assim a quantidade de cobertura existente no local. Esta verificação foi realizada no estágio vegetativo V_1 da escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977), com cinco repetições em cada tratamento, 27 dias após a operação de escarificação.

5.2.5 Análise Estatística

Os dados foram analisados utilizando o delineamento inteiramente casual com parcelas subdivididas, apresentando nas parcelas principais as zonas de rendimento (ZB, ZM) e nas subparcelas os escarificadores (Convencional e Sítio Específico). As médias foram submetidas ao teste de Lsmeans a 5% de significância com software estatístico SAS 9.1.

5.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.3.1 Zona de Baixo Rendimento

Nos resultados da zona de baixo rendimento (ZB) (Figura 20) observa-se uma variação muito grande nos 100 metros que constituem a parcela experimental. No tratamento SE foi encontrada uma variação de 63% no rendimento (maior rendimento = 4159 kg ha⁻¹ e o de menor rendimento = 2635 kg ha⁻¹), apresentando um coeficiente da variação (CV) de 12.20%. Valor semelhante foi encontrado por Amado *et al.*(2007) que, avaliando seis safras agrícolas, observaram um CV de 12% para a cultura da soja na safra 2000/2001. Esta variabilidade existente no tratamento SE demonstra que a oscilação de rendimentos é muito elevada. Mesmo em um local sem perturbações provocadas pela escarificação, existe uma diferença de 1524 kg ha⁻¹, justificando o uso de técnicas de agricultura de precisão (AP). Na mesma figura, é possível verificar que, por cerca de 30 metros (45 a 75m), o tratamento SE apresentou uma elevada perda de rendimento, que foi praticamente eliminada com a escarificação, extinguindo, assim, uma diferença de aproximadamente 1200 kg ha⁻¹ de soja, que estava sendo deixada de produzir, devido às limitações impostas pela menor qualidade física do solo.

Ainda, é possível constatar que o tratamento com melhor rendimento ESE-Prof. Variada apresenta, por cerca de 70 metros, um rendimento maior ou igual ao tratamento SE; o CV para este tratamento foi extremamente baixo 4.16%.

Os tratamentos EC e ESE-Prof. Fixa apresentaram um comportamento muito semelhante neste faixa, com exceção do início das parcelas por 25 metros, em que

a diferença entre os tratamentos foi 23% superior no EC. Na análise do CV, foram obtidos valores de 5.09 e 7.82%, respectivamente, o que, segundo a classificação de Gomes (2000), é baixa ($CV < 10\%$).

O tratamento com maior rendimento médio foi o ESE-Prof. Variada. O mesmo apresentou, ainda, a maior uniformidade de rendimento ao longo do percurso avaliado. Isso mostra que as limitações presentes no ZB foram solucionadas através do uso do equipamento, gerando assim uma maior uniformidade de rendimento e o maior rendimento médio, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

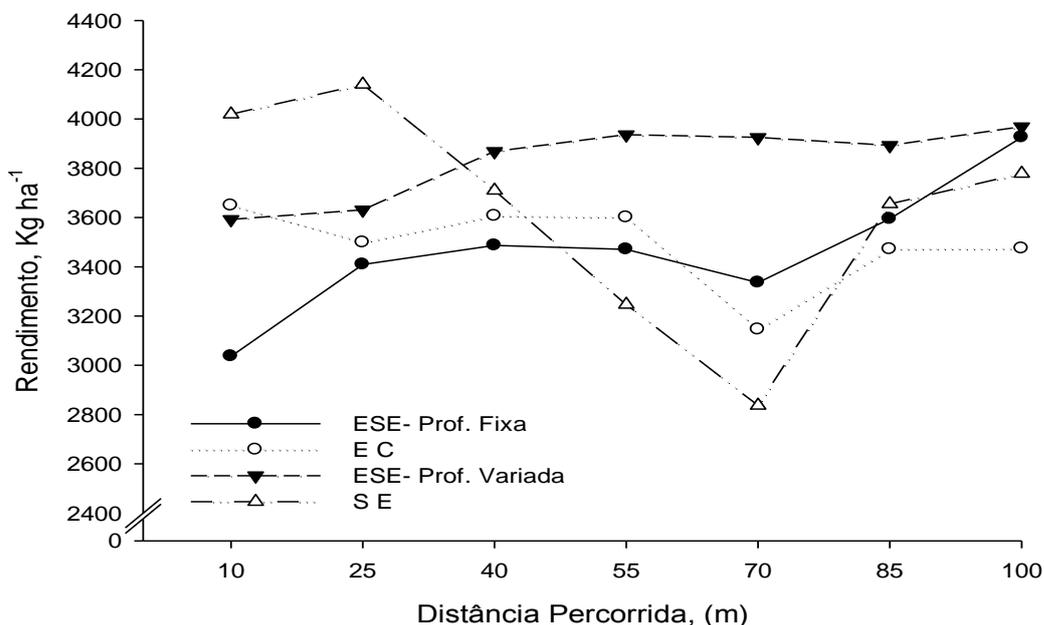


Figura 20 - Rendimento da cultura da Soja, na zona de Baixo Rendimento (ZB), após a escarificação mecânica em área manejada com técnicas de AP. Victor Graeff – RS, 2009.

5.3.2 Zona de Médio Rendimento

Na Figura 21 observa-se que o rendimento foi relativamente mais homogêneo que a ZB ao longo da faixa investigada, sendo que nos últimos 50 metros, os rendimentos entre os tratamentos foram semelhantes. Este fato pode estar associado a que a ZM aparentemente não apresenta grandes limitações na sua qualidade física do solo ou ainda se a mesma apresenta algum tipo de limitação esta é muito menos severa que a encontrada na ZB. Assim, o tratamento SE apresentou um rendimento superior aos tratamentos onde foi feito a escarificação com equipamento ESE.

De maneira geral, onde foi feita a escarificação na ZM, os resultados foram opostos aos verificado na ZB, portanto a escarificação não incrementou o rendimento, a exceção foi o tratamento EC que apresentou alguns pontos com maior rendimento. A maior amplitude foi notada entre os pontos de 20 a 50 metros e foi de 18, 31 e 44 % para os tratamentos SE, ESE-Prof. Fixa e ESE-Prof. Variada respectivamente, analisado o coeficiente de variação (C.V) é possível observar valores relativamente baixos 8,10, 13,50; 11,14 e 9,46% para os tratamentos EC, ESE-Prof. Variada, ESE-Prof. Fixa e SE respectivamente. Com isso os tratamentos EC e SE se enquadram pela classificação proposta por Gomes (2000) como baixo (C.V <10%), já os outros dois tratamentos se enquadram como média variabilidade ($10\% \leq CV \leq 30\%$).

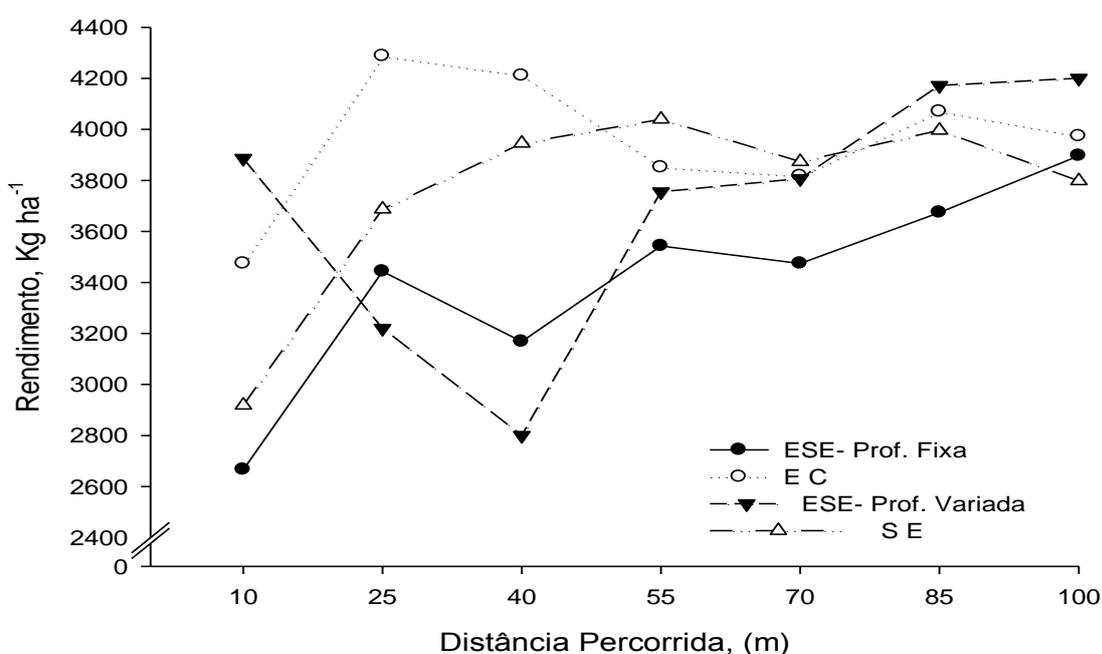


Figura 21 - Rendimento da cultura da Soja, na zona de Médio Rendimento (ZM) após a escarificação mecânica em área manejada com técnicas de AP. Victor Graeff – RS, 2009.

5.3.3 Rendimento Médio

O rendimento médio dos tratamentos (Figura 22) demonstra na ZB que o tratamento ESE-Prof. Variada apresentou a maior média, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, tendo a média de 3833 kg ha^{-1} e sendo 3% superior ao

tratamento referência (ZA) e 6,4% maior que o tratamento SE. Este resultado evidencia um aumento de rendimento ocasionado pela escarificação de 245 kg ha⁻¹. Os tratamentos ESE-Prof. Variada e o EC não diferiram do tratamento SE.

Secco *et al.* (2005) também não encontraram diferença significativa entre a produtividade de soja para diferentes formas de manejo do solo, incluindo a escarificação. Por outro lado, Bertol e Fischer (1997) relataram que o preparo do solo por meio de revolvimento proporcionou maior rendimento de soja, em relação ao plantio direto sem perturbação. Silva *et al.* (2009), utilizando o sistema de preparo convencional como alternativa de mobilização do solo, concluíram que o preparo do solo foi decisivo para o aumento da produtividade da soja, em relação ao plantio direto.

O tratamento ESE-Prof. Fixa apresentou menor rendimento de soja em relação ao ESE-Prof. Variada e SE, embora o rendimento deste tratamento, com pouco mais de 3400 kg ha⁻¹.

Através destes resultados, pôde-se constatar que a restrição imposta pela compactação não foi suficiente para diminuir os rendimentos, uma vez que a produtividade das culturas é determinada por muitos fatores, que interferem para que ocorram os baixos rendimentos, não sendo apenas um fator que atua de forma isolada. Embora possa existir a limitação física, as condições químicas e biológicas, bem como as condições ambientais de radiação e precipitação podem ter atuado de forma a minimizar as consequências negativas.

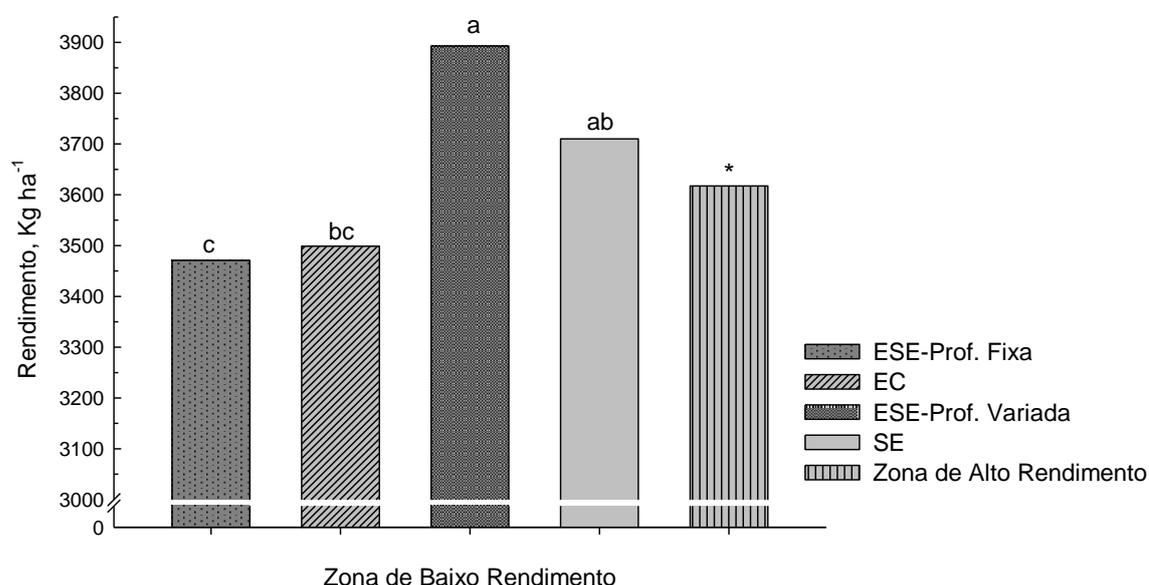


Figura 22 - Rendimento médio dos tratamentos na zona de Baixo Rendimento (ZB), Zona de Alto Rendimento, onde: * Tratamento Referência. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada zona de manejo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% prob. ($p < 0.05$), Victor Graeff- RS, 2009.

No rendimento médio da ZM (Figura 23), destaca-se o elevado rendimento do tratamento EC, que foi superior em 499 kg ha^{-1} ao tratamento ESE-Prof. Variada, sendo este o de menor rendimento nesta zona de manejo. Os tratamentos SE e ESE-Prof. Fixa não diferem estatisticamente entre si e nem com o tratamento EC. Com relação ao rendimento do tratamento referência (ZA), o EC obteve um incremento de cerca de 6%. Já nos demais tratamentos, ocorreram pequenas reduções (0,5 e 2,45% no SE e ESE-Prof. Variada), respectivamente e uma redução um pouco maior de 9.03% no tratamento ESSE-Prof. Variada.

Este comportamento contraria o observado na ZB e é explicado em parte, pois na ZM os problemas de ordem física, como a compactação, não afetam o rendimento, anos com o índice de chuva acima do normal como foi o caso da safra de 2008/2009 (índice pluviométrico do município no capítulo 3, Figura 18). A compactação é restritiva para as culturas em anos com déficit hídrico elevado, sendo que em anos com chuvas normais, a planta consegue aproveitar melhor a umidade que está no solo.

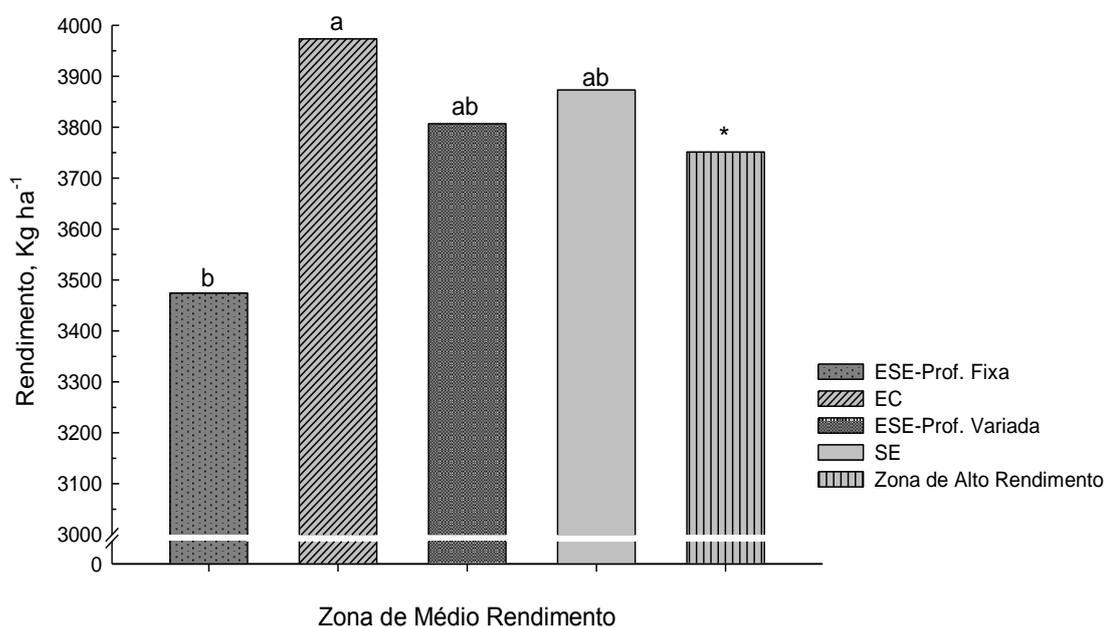


Figura 23 - Rendimento médio dos tratamentos na zona de Médio Rendimento (ZM), Zona de Alto Rendimento, onde: * Tratamento Referência. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada zona de manejo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% prob. ($p < 0.05$), Victor Graeff- RS, 2009.

5.3.4 Cobertura Vegetal

Os resultados apresentados (Figura 24) demonstram a eficiência do escarificador sítio específicos em manter a cobertura vegetal. Nos tratamentos em que ele foi utilizado, a cobertura do solo foi de 59 e 57 e 20% para os tratamentos ESE-Prof. Fixa ESE-Prof. Variada e EC, respectivamente. Com os resultados relativos, considerando o tratamento SE como tendo 100% de cobertura vegetal, foi possível comprovar a eficiência do novo escarificador, na comparação com o convencional. Assim, a cobertura relativa foi 72, 70 e 25 % para o ESE-Prof. Fixa ESSE-Prof. Variada e EC, respectivamente. A diferença entre o novo escarificador e o convencional foi de 35%.

De acordo com Buhler (1995), nos preparos conservacionistas deve-se manter, no mínimo, 30% da superfície do solo coberta com palha, entre o período compreendido da colheita da cultura anterior até a implantação da cultura seguinte. Assim, o escarificador convencional apresentaria uma cobertura inferior a este valor referência. Acrescenta a isto o fato de que, no SPD, quanto maior a cobertura do solo mais eficiente é o sistema, reforçando a eficiência do novo escarificador neste

questo. Este resultado se deve às modificações mecânicas e estruturais realizadas no ESE, com destaque para a diminuição da largura das hastes, o que possibilita a escarificação mais estreita, ao invés de uma escarificação com maior largura de trabalho, como acontece com o escarificador convencional, ocasionando, assim, uma maior mobilização do solo, o que acaba gerando maior incorporação dos resíduos vegetais.

Outra modificação que possibilitou esta manutenção de cobertura é a presença de discos de corte na frente das hastes escarificadoras. Estes discos têm como função o corte dos resíduos, gerando uma menor incorporação, pois a ação das hastes fica restrita ao solo e não arrasta a cobertura vegetal, evitando assim a sua incorporação.

No momento da escarificação, foi possível observar a grande perturbação do solo ocasionada pelo escarificador convencional. Esta perturbação é possível de ser verificada pela grande presença de torrões no solo, gerados após a operação do equipamento. Por outro lado, nos tratamentos com o escarificador ESE, praticamente não foi perceptível a presença de torrões, sendo inclusive desnecessárias outras operações complementares de preparo, como a passagem de grade leve para a semeadura (ANEXO D).

Com estes resultados, é possível inferir que o ESE manteve uma cobertura vegetal suficiente para controlar consideravelmente a erosão do solo. Segundo Bertol *et al.* (1997) 60% de cobertura do solo promove uma redução de 80% nas perdas de solo em relação ao manejo com ausência de cobertura.

Furian *et al.* (2004) trabalhando com solos de textura muito argilosa, obteve uma cobertura vegetal de cerca de 76% no SPD e cerca de 34% no sistema de preparo convencional para a cultura de feijão no Estado de São Paulo. São valores muito similares com os apresentados neste trabalho, o que evidencia que o novo escarificador tem potencial para a manutenção da cobertura vegetal do solo, nas operações de escarificações mecânicas.

Toledo *et al.* (2008), estudando a distribuição de resíduos vegetais após a colheita mecanizada da cultura da soja no Estado de São Paulo, obteve valores de cerca de 80% de cobertura vegetal logo após a colheita. Neste trabalho também foi obtido 81% de cobertura vegetal no SE. Com estes resultados, é possível verificar uma similaridade entre os tratamentos onde foi utilizado o escarificador sítio específico e o tratamento SE, onde apenas a operação de semeadura foi realizada.

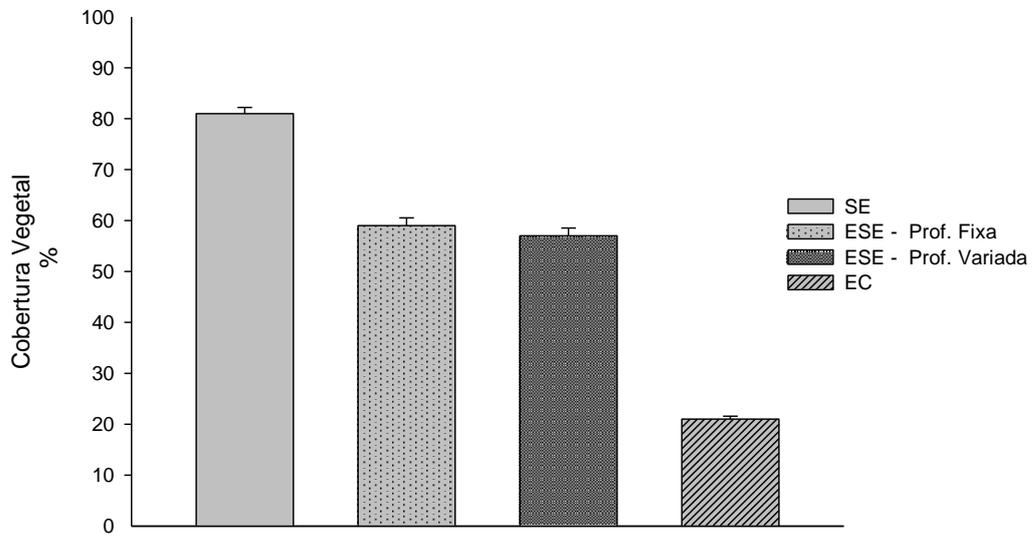


Figura 24 - Cobertura vegetal após a escarificação mecânica na zona de Baixo Rendimento (ZB). Victor Graeff- RS, 2009.

5.4 CONCLUSÕES

A escarificação mecânica não apresentou um incremento no rendimento da cultura da soja em um ano com alta precipitação.

O tratamento ESE-Prof. Variada foi eficiente em solucionar problemas pontuais de compactação do solo, aumentando o rendimento da soja na ZB, sendo que em áreas não compactadas não reduziu o rendimento.

O ESE foi eficiente na manutenção da cobertura vegetal, apresentando, após a sua operação, 70% de cobertura, enquanto o escarificador convencional apresentou apenas 21% de cobertura.

5.5 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C. et al., Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ARAUJO, A. G. Máquinas para descompactação de solos. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (Org.). **Uso e manejo de solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina: Iapar, p. 168-178.1999.

AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, ago. 2007.

BERTOL, O. J.; FISCHER, I. I. Semeadura direta versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, p. 87-96, 1997.

BERTOL, O. J. et al., Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 257-262, 1997.

BUHLER, D. D. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 5, p. 1247-58, 1995.

CARDOSO, E. G.; et al., Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CARVALHO FILHO, A. **Alterações em Latossolo Vermelho e na Cultura da Soja em Função de Sistemas de Preparo**. 2004. 77f. (Tese de Doutorado) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal. 2004.

CARVALHO, et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CAMARA, R.K. et al., Dinâmica de restos culturais na superfície do solo em plantio direto escarificado. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4a

edição, 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 1 CD-ROM.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages on soybean development**. Ames: Iowa State University/Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FURLANI, C. E. A. et al. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 2, ago. 2004.

GOMES, P. F. *Curso de estatística experimental*. 14. ed. Piracicaba: Degaspari 477 p. 2000.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA CNPT, 2000.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, v. 36, p. 341-3, 1981.

INOUE, T. et al. Influência da escarificação em propriedades físicas de um Latossolo vermelho distroférrico após 13 anos de PD. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14. 2002, Cuiabá. **Resumos ...** Cuiabá: SBCS, 2002. 1 CD-ROM.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, Apr. 2004.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

PRADO, R. P. et al. **Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.

REICHERT, J. M. et al. A infiltração da água no solo sob manejo conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 12 p. 1 CD-ROM.

SANTI, L. A. et al. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, edição 109, janeiro/fevereiro. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte, 2009.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de Culturas em um latossolo vermelho Argiloso sob diferentes Sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29 p. 407- 414, 2005.

SILVA, J. M. et al. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no cerrado. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 397-409, maio /ago. 2009.

Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas, disponível em < www.stara.com.br> Acesso em: 26 mai. 2008.

TOLEDO, A. de et al. Characterization of losses and crop residue cover distribution in soybean mechanized harvest. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, dec. 2008.

6. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Aumentar a investigação dos rendimentos em áreas com compactação, utilizando compactação adicional.

Utilizar maiores variações de profundidade para o Escarificador Sítio Específico.

Investigar aspectos como capacidade de água disponível (CAD), Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), em diferentes zonas de rendimento.

Avançar no estudo sobre propriedades físicas do solo, para que se possam caracterizar diferentes zonas de rendimentos em função de características físicas.

Determinar o consumo de combustível, a força de tração e patinamento exigidos para diferentes profundidades de escarificação.

Determinar o espaçamento entre pontos para a realização do grid de RP.

Determinar de maneira prática o número de repetições de penetrometria em cada ponto a ser amostrado.

7. ANEXO

ANEXO A - Escarificador Sítio Específico (Fox®)

Para a realização do trabalho de escarificação, foi utilizado um equipamento em fase de teste a campo denominado de Fox®. Este equipamento é composto de um conjunto de seis partes sendo: Cabeçalho, Chassis, Discos de Corte, Hastes Escarificadoras, Rolo Destorroador, Sistema Hidráulico (ANEXO E).

O cabeçalho tem por função servir de união no engate do equipamento na tomada de força do trator. O chassi é o responsável pela ancoragem dos discos, das hastes e do rolo destorroados. Além disto, é nele que está localizado o sensor hidráulico-mecânico, responsável por receber e transferir comandos, através de um sistema hidráulico para o sensor responsável pelo acionamento do controle de profundidade, que tem como função atuar na variação da profundidade das hastes de trabalho. O tempo de resposta entre o *software* emitir a ordem de variação da profundidade varia conforme a vazão do sistema hidráulico presente no trator responsável pelo arraste do equipamento (ANEXO E).

Na parte frontal, a existência de disco de corte de diâmetros de 400 mm tem como função o corte da cobertura vegetal existente no solo, bem como cortar a camada superficial do solo, evitando, assim, que as hastes arrastem a cobertura vegetal e rasguem o solo. O fato de estes discos executarem esta função de corte contribui de maneira muito efetiva para melhorar a escarificação, causando menos incorporação de palha e revolvimento superficial do solo. Os discos estão situados na frente das hastes escarificadores e possuem um espaçamento de 30 cm entre si; porém os mesmos se localizam de forma desencontrada no chassi, formando assim duas fileiras de discos. Em cada fileira, o espaçamento passa a ser de 60 cm entre discos, o que favorece para que não ocorra o arraste da cobertura do solo, evitando assim o chamado *embuchamento*.

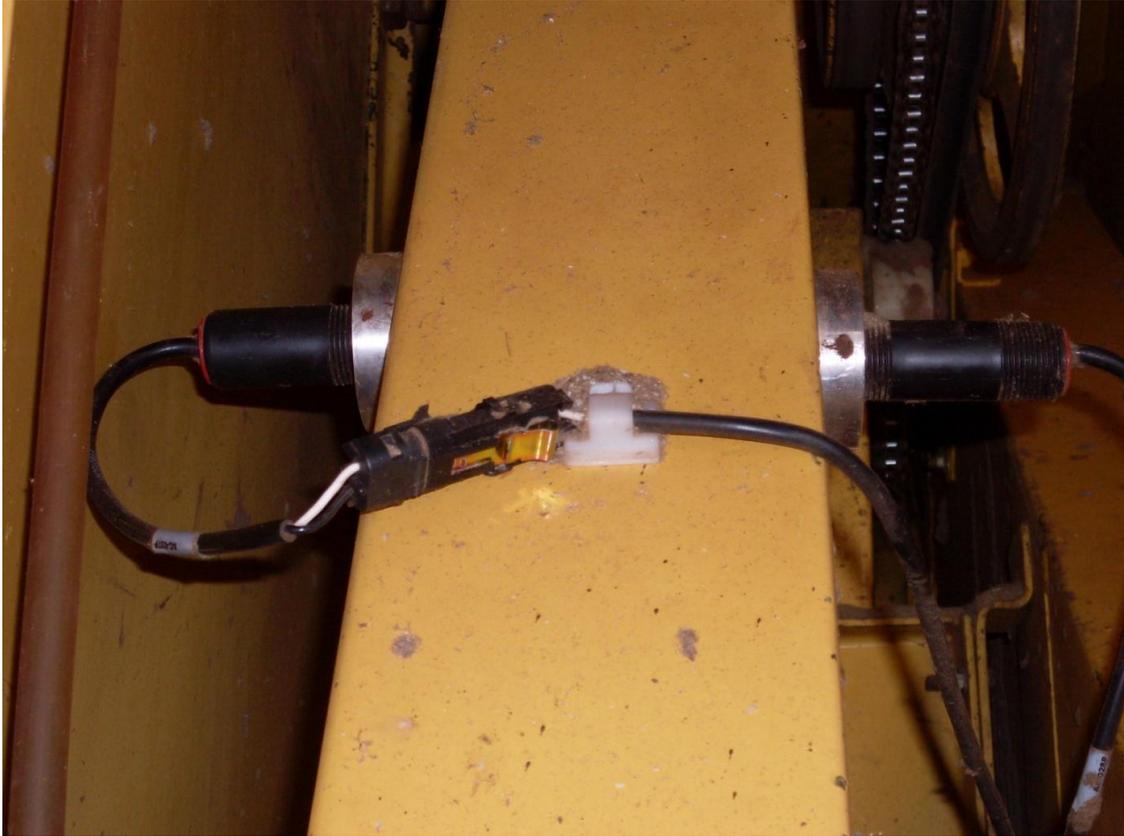
As hastes escarificadoras apresentam modificações estruturais importantes, sendo as mais destacadas a diminuição de largura das hastes, quando comparadas com equipamentos convencionais. Neste novo escarificador, as hastes possuem 0,30 m de largura e um ângulo em relação ao solo de 30°, formando o modelo de haste reta. Além disto, os componentes das hastes, chamados de “botinha”, são consideravelmente menores que os escarificadores convencionais e, com isso,

possibilitam que elas trabalhem todo o tempo enterradas no solo, o que gera um menor revolvimento da camada mais superficial. Apresenta espaçamento entre hastes de 0,30 m e de forma desencontrada, gerando, assim, duas fileiras de hastes e um espaçamento entre as hastes da mesma fileira de 0,60m, apresentando outra grande contribuição para a manutenção da cobertura do solo.

Na parte de trás do escarificador, existe a presença de um rolo destorroador com um diâmetro de 0.40m (ANEXO F). Este rolo tem por função destruir possíveis massas de solo geradas pelas hastes e reduzir a rugosidade gerada pelas hastes. Este rolo, situado na parte final do chassi, permite que seja mantida uma superfície do solo mais uniforme, evitando inclusive que sejam realizadas outras operações de preparo, como a passagem de grades leves. Por ocasião da semeadura, não foi necessária a realização do preparo secundário do solo com grades leves. Apenas foi feita a semeadura da cultura diretamente após a escarificação. No tratamento onde foi utilizado o escarificador convencional, foi ainda necessário o preparo secundário, através de utilização de grades leves.

Através de softwares específicos, a programação de profundidade de atuação é definida em função dos mapas de compactação realizados anteriormente. A sensibilidade do sistema de profundidade varia com precisão de até 1 cm, tendo apenas como pré-requisito para atuação a calibragem do sistema antes do início da escarificação. Inicialmente, colocam-se as hastes do escarificador em contato com o solo e na interface o usuário determina a profundidade como sendo a de referência; ou seja, determina a profundidade “zero” do sistema. Após este procedimento, o sistema está apto para a realização do trabalho nas diferentes profundidades pré-estabelecidas.

ANEXO B - Visão geral do sensor instalado no elevador de grãos limpos utilizados para a determinação do rendimento.



ANEXO C - Interface do Sensor de Rendimento utilizada para operação de calibração.



ANEXO D - Metodologia para verificação da cobertura vegetal, segundo Laflen (1981). Dezembro de 2008.



ANEXO E - Aspecto da cobertura vegetação após a realização dos diferentes tratamentos de escarificação mecânica. Novembro de 2008.

Escarificador Convencional Escarificador AP



ANEXO F - Equipamento Fox, escarificador georreferenciado utilizado para a realização dos tratamentos. Novembro de 2008.



Num primeiro plano, a presença dos discos de corte, logo após as hastas escarificadoras e ao fundo o rolo destorroador. Na parte superior do chassi, encontra-se o conjunto sistema responsável pela movimentação georreferenciada do equipamento.

ANEXO G - Vista da parte traseira do escarificador Fox, com destaque para a presença dos rolos destorreadores. Novembro de 2008.

