

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
CAMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

MATEUS DALLA VECCHIA

**PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA CULTIVADA EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO E SOLO ESCARIFICADO**

ERECHIM - RS

2017

MATEUS DALLA VECCHIA

**PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA CULTIVADA EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO E SOLO ESCARIFICADO**

**Trabalho de conclusão de curso,
apresentado à Disciplina Trabalho de
Graduação, como parte das exigências
para conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Agrícola e
obtenção do título de Engenheiro
Agrícola.**

Orientador: Dr. Jardes Bragagnolo

Erechim – RS

2017

MATEUS DALLA VECCHIA

**PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA CULTIVADA EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO E SOLO ESCARIFICADO**

**Trabalho de conclusão de curso,
apresentado à Disciplina Trabalho de
Graduação, como parte das exigências
para conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Agrícola e
obtenção do título de Engenheiro
Agrícola.**

_____, ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Sergio do Amaral
URI – Erechim

Prof.^a Dra. Raquel Paula Lorensi
URI - Erechim

Prof. Dr. Jardes Bragagnolo
URI - Erechim

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho foi possível pela soma de esforços despendidos no decorrer de aproximadamente cinco anos, onde professores, colegas, amigos e familiares contribuíram significativamente para a formação do conhecimento e o senso crítico, sendo imensurável a retribuição de tal feito.

Gostaria de agradecer em especial o auxílio no desenvolvimento das avaliações realizadas a campo, que possibilitaram a conclusão deste, ao acadêmico e amigo Willian Jair Kuhn, juntamente a orientação sempre pontual do Prof.º Dr. Jarden Bragagnolo, que desempenharam papel importante no desenvolvimento das etapas.

Para finalizar fica meu agradecimento a meus familiares e namorada por me acompanhar por mais essa etapa da vida, a todos o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

Com o advento do sistema de plantio direto (SPD), introduzido em território nacional na década de 70, como alternativa sustentável para a produção agrícola, foram deixadas de lado atividades de manejo do solo, com o intuito de conservar a matéria orgânica do solo (MOS) e os nutrientes existentes nas camadas superficiais evitando assim os processos de compactação e erosão do solo. Com o passar do tempo a competitividade internacional demandou a evolução do processo de produção agrícola, sendo a mecanização um dos degraus para a evolução, disponibilizando equipamentos que flexibilizaram o tempo de etapas como plantio, manejo fitossanitário e colheita, porém introduziu equipamentos pesados e com um fluxo que chega a transitar aproximadamente 80% da lavoura durante a safra. Esse trânsito, aliado a características do solo podem favorecer o processo de compactação. O objetivo desse trabalho foi propor um plano de manejo complementar ao SPD com o intuito de avaliar o rendimento da cultura da soja em áreas agrícolas manejadas sob SPD e solo escarificado (ESC). Para tanto foi necessário avaliar características do solo como a taxa de infiltração de água, densidade e a resistência a penetração, como parâmetros para o estabelecimento do possível nível de compactação, e a influência produtividade. O estudo foi desenvolvido no campo experimental da URI – Erechim, mais precisamente no Campus II, com coordenadas geográficas S 27°36'40,33" e W 52°13'54,53", com área pré-estabelecida de 0,16 ha apresentando Latossolo Vermelho Aluminoférrico e clima tipo Cfa subtropical. Após a primeira fase de avaliações, mantendo as condições de SPD em toda área foi verificado que a média para a taxa de infiltração de água encontrava-se em algumas parcelas abaixo dos padrões regionais, a densidade do solo encontrava-se em desconformidade e a resistência a penetração era superior ao nível crítico tolerado pela cultura da soja. A análise dos primeiros resultados possibilitou propor o manejo de solo complementar ao SPD, ou seja, escarificação à profundidade de 0,30 m de maneira aleatória, intercalando parcelas com o tratamento SPD e ESC. Em seguida ocorreu a implantação da cultura da soja e consequentemente a segunda avaliação de resistência a penetração, retratando a modificação das características físicas do solo. Com a realização da colheita da soja e consequentemente a segunda etapa das avaliações, os resultados encontrados apontaram uma melhora nas características do solo envolvendo a infiltração de água, que foi significativamente otimizada facilitando a percolação vertical da água no perfil do solo, a resistência a penetração foi reduzida a níveis ideais para o desenvolvimento do sistema radicular, porém não apresentou incremento a produtividade, que não diferiu significativamente entre os tratamentos SPD e ESC. Ao término do trabalho, fica evidente a necessidade de continuidade deste estudo, somada a rotação de cultura, prática preconizada pelo SPD, para verificar o comportamento do solo após a implantação de outras culturas, bem como a evolução de atributos do solo levantados.

Palavras-chave: Sistema de plantio direto. Escarificação. Taxa de infiltração de água no solo. Densidade do solo. Resistência à penetração.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Química e granulométrica do solo.....	15
Tabela 2 - Taxa de infiltração de água no solo antes da implantação do experimento	25
Tabela 3 - Valores médios de densidade do solo antes da instalação do experimento	26
Tabela 4 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência antes da implantação do experimento	26
Tabela 5 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência após a implantação da cultura	27
Tabela 6 - Taxa de infiltração de água no solo após a colheita da soja	28
Tabela 7 - Infiltração de água no solo: comparação das avaliações de infiltração de água no solo.....	29
Tabela 8 - Avaliação de densidade do solo após o cultivo da soja	29
Tabela 9 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência após o cultivo da soja.....	30
Tabela 10 - Comparação estatística das máximas resistências a penetração determinadas durante o período de avaliação (antes da implantação, após a semeadura e após a colheita)	33
Tabela 11 - Comparação estatística das profundidade de ocorrência das máximas resistências a penetração determinadas durante o período de avaliação (antes da implantação, após a semeadura e após a colheita)	33
Tabela 12 - Determinação da população de plantas	34
Tabela 13 - Determinação da altura de plantas (m)	35
Tabela 14 - Verificação da produtividade média	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área da URI – Erechim, Campus II, onde será realizado o experimento ..	14
Figura 2- Metodologia dos anéis concêntricos para avaliação da infiltração de água no solo.....	16
Figura 3 - Metodologia dos anéis volumétricos para avaliação da densidade do solo	18
Figura 4 - Penetrolog Falker utilizado na avaliação de resistência a penetração do solo.....	19
Figura 5– Escarificação do solo para estabelecimento do tratamento escarificado ..	20
Figura 6 – Superfície do solo após a escarificação	21
Figura 7 - Croqui de estabelecimento dos tratamentos	21
Figura 8 - Colheita das amostras de soja para determinação da produtividade.....	23
Figura 9 - Debulha das vagens de soja.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação diária e acumulada durante a safra de soja 2016/2017, em Erechim – RS.....	15
Gráfico 2 - Avaliação da resistência à penetração antes da implantação do experimento (parcela ESC4).....	31
Gráfico 3 - Avaliação da resistência à penetração após a implantação do experimento (parcela ESC4).....	32
Gráfico 4 - Avaliação da resistência à penetração após a cultura da soja (parcela ESC4).....	32
Gráfico 5 - Produtividade da cultura da soja sob diferentes sistemas de manejo do solo (kg ha^{-1}).....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 MARCO TEÓRICO DE REFERÊNCIA.....	11
4 METODOLOGIA	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Taxa de infiltração de água no solo após o cultivo da soja.....	27
5.2 Densidade do solo após o cultivo da soja.	29
5.3 Resistência a penetração após cultivo da soja	30
5.4 População de plantas.....	34
5.5 Altura de plantas	35
5.6 Produtividade	36
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Com o advento do sistema de plantio direto (SPD), introduzido em território nacional na década de 70, como alternativa sustentável para a produção agrícola, sua difusão aconteceu rapidamente de forma ampla tomando grandes proporções em um curto espaço de tempo, deixando para trás práticas comumente utilizadas do sistema de preparo convencional do solo (SPC).

Tendo em vista que uma das premissas do SPD é efetuar a semeadura sem a realização do preparo do solo, eliminando atividades como a aração e a gradagem, mantendo o mesmo sempre coberto por vegetação ou restos culturais para evitar o impacto das gotas da chuva, o escoamento superficial e as erosões hídricas e eólicas. O intuito dessa prática é conservar a matéria orgânica do solo (MOS) e os nutrientes existentes nas camadas superficiais evitando assim os processos de compactação e erosão do solo.

Com o passar do tempo, o cenário agrícola nacional demandou o incremento tecnológico no campo da mecanização, visando competitividade no mercado internacional, sendo esse setor o principal pilar da economia brasileira. Esse incremento tecnológico disponibilizou ao agricultor máquinas e implementos com maior eficiência, tamanho e peso, capazes de flexibilizar atividades nos diversos estádios das culturas, aumentando o grau de atuação do equipamento na lavoura e possivelmente promovendo a aceleração do processo de compactação do solo.

Analizando este contexto uma questão pertinente a ser estudada é o efeito da compactação do solo sobre a produtividade da cultura da soja cultivada em SPD consolidado na região do Alto Uruguai, levando em consideração a importância econômica desse grão na atualidade.

Este projeto buscou a obtenção de informações referentes à necessidade de realização de preparo do solo, em áreas de SPD consolidado, buscando criar melhores condições de velocidade de infiltração de água, densidade e resistência do solo, diminuindo o efeito da compactação para evitar o desenvolvimento do processo de erosão. Essas informações foram determinantes para estabelecer um plano adequado de manejo do solo, comparando a produtividade da soja cultivada em solo manejado em SPD e solo escarificado.

Os efeitos da compactação do solo presentes no SPD são silenciosos e percebidos somente em situações consideradas críticas, como por exemplo em

épocas de estresse hídrico, onde a planta necessita desenvolver seu sistema radicular em busca de água e encontra impeditivos físicos causados pela descaracterização de fatores como a densidade do solo, que aumenta a resistência a penetração, limitando o acesso da planta ao recurso hídrico.

Da mesma maneira que o sistema radicular encontra restrições para o seu desenvolvimento, a capacidade que o solo tem de disponibilizar o recurso hídrico para planta diminui, pois, zonas de compactação impedem a ascensão capilar do recurso hídrico, criando uma barreira que impede o fluxo natural da água.

Após a introdução do SPD, as atividades envolvendo o manejo mecânico do solo acabaram sendo reprimidas, pois da maneira que eram realizadas, de forma empírica, acabavam por trazer prejuízo para a conservação do solo, porém sendo conduzidas com o auxílio da gestão de informações pertinentes como a profundidade necessária a ser manejada, o implemento adequado para a realização do revolvimento e as condições climáticas previstas é possível favorecer as condições do solo para a introdução da agricultura e prezar pela conservação do mesmo.

Esse projeto se insere na linha de pesquisa de Engenharia de Água, Solo e Meio Ambiente, ligado ao grupo de pesquisa do curso de Engenharia Agrícola da URI - Campus Erechim e tem previsão de ser executado durante quatro safras agrícolas para melhor avaliação do impacto do manejo de rotação de culturas e a necessidade de descompactação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o rendimento da cultura da soja em áreas agrícolas manejadas sob SPD e solo escarificado.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a taxa de infiltração de água no solo na área onde o SPD está consolidado e em área escarificada;
- Estabelecer a densidade do solo nas camadas de 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m em ambos os manejos do solo;
- Estabelecer a resistência a penetração apresentada pelo solo em ambos os manejos do solo;
- Comparar a produtividade e parâmetros de desenvolvimento da cultura da soja obtida nos diferentes manejos de solo.

3 MARCO TEÓRICO DE REFERÊNCIA

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de 33,17 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95,63 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2017).

A cultura da soja apresentou crescimento acentuado no cenário agrícola brasileiro nos últimos 30 anos que corresponde a 49% da área cultivada com grãos do país (MAPA, 2016), sendo o grão componente essencial na fabricação de rações animais e alternativa crescente para a alimentação humana. O avanço tecnológico, o manejo adequado, em grande parte pela introdução do SPD, e a busca por aperfeiçoamento por parte dos produtores são os principais fatores que alavancaram esse aumento.

No Rio Grande do Sul na safra 2014/2015 a estimativa foi de 5,22 milhões de hectares cultivados com soja, atingindo 15,19 milhões de toneladas de grãos produzidas (EMATER - RS, 2015). Para a safra 2016/2017, conforme levantamento (CONAB, 2016), o estado do Rio Grande do Sul contará com uma área de 5,45 milhões de hectares cultivados e uma produção de 16,201 milhões de toneladas de grãos produzidas.

Confirmando as expectativas (CONAB, 2017), o Rio Grande do Sul cultivou aproximadamente 5,4 milhões de hectares com a cultura da soja, traduzidos em 16,3 milhões de toneladas do grão, na safra 2015/2016. Já a safra 2016/2017 foi cultivado aproximadamente 5,569 milhões de hectares, com produção de 18,7139 toneladas (CONAB, 2017).

Historicamente no Brasil, a agricultura era realizada no SPC, inclusive a cultura da soja, esse sistema tem como premissa o preparo inicial do solo com o objetivo básico de fornecer condições ótimas para a germinação, a emergência, o estabelecimento das plântulas e a redução da população inicial de plantas invasoras.

Esse preparo inicial do solo deveria permitir o aumento da infiltração de água, diminuindo perdas de água e sedimentos por erosão a um valor aceitável. O preparo convencional é realizado em duas etapas, a primeira, consiste na operação mais grosseira, realizada com arados ou grades pesadas, e a segunda, consiste na operação de destorroamento e nivelamento da camada de solo arada, realizada com a utilização de grades niveladoras (AGEITEC, 2016).

Em se tratando de produção de soja no cenário nacional, a taxa de crescimento médio de produtividade da soja entre a safra 2002/2003 e 2012/2013 é de 8% (Revista SAFRA, 2016), muito disso foi possível pela utilização de técnicas provenientes do SPD.

O SPD consiste em um complexo de processos tecnológicos destinados à exploração de sistemas agrícolas produtivos, abdicando de atividades de preparo do solo, etapa necessária no SPC, enfatizando somente a mobilização do solo na linha ou cova de semeadura, garantindo a manutenção permanente da cobertura do solo, diversificação de espécies e minimização ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura (FEBRAPDP, 2016).

Assim o SPD propõe a conservação do solo e da água, maximizando a conservação da matéria orgânica, a utilização de controles fitossanitários e a eficiência da adubação, contribuindo para o controle e diminuição do processo de erosão e aumentando a capacidade de resiliência do solo, sem contar com o significativo incremento na capacidade produtiva das culturas implantadas.

A cultura da soja possui particularidades referentes à necessidade hídrica, a mesma demanda de 450 a 800 mm de água distribuídos durante o ciclo da cultura, sendo a germinação/emergência e floração/enchimento dos grãos os dois períodos de desenvolvimento com maior exigência hídrica da planta. A semente necessita absorver 50% do seu peso de água para o processo de germinação eficiente, nesse período a disponibilidade não pode baixar de 50% e nem exceder 85% desse recurso. Durante a floração e enchimento dos grãos a soja demanda de 7 a 8 mm dia⁻¹ de água, sendo o período com maior exigência hídrica (EMBRAPA, 2017).

Com relação a disponibilidade de água para a cultura da soja, uma característica importante que o solo necessita apresentar é a velocidade de infiltração de água, e quando se trata desse assunto, termos como velocidade de infiltração (VI), velocidade de infiltração aproximada (VIa) e velocidade básica de infiltração (VIB) são comumente mencionados.

Mantovani et al. (2012) afirma que a velocidade de infiltração (VI) é o parâmetro que vai indicar qual o comportamento de uma lâmina de água sobre o solo em relação ao tempo para nele infiltrar e pode ser expressa em mmh⁻¹. Conforme Mantovani et al. (2012) a velocidade de infiltração básica (VIB) determina se o solo suporta a intensidade da lâmina de água que é submetido, sendo obtida quando a infiltração aumenta com o tempo e a VI diminui até chegar à estabilidade.

Outra particularidade da cultura da soja é a característica referente à resistência a penetração do solo por parte das raízes, estudos realizados apontam que o nível crítico para a produção de grãos de soja é superior à 2 MPa para Latossolos, conforme Beutler et al. (2013). Segundo Petter (1990), em estudo de campo em um Latossolo, o menor crescimento radicular de soja se dá a partir de 2,8 MPa.

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas Letey (1985) e modificada pelos sistemas de preparo do solo, juntamente com a densidade, são atributos físicos que influenciam diretamente o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas.

Os níveis críticos de resistência à penetração para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e a espécies cultivadas, estudos realizados apontam que o nível crítico para a produção de grãos de soja é superior à 2 MPa para Latossolos, conforme Beutler e Centurion (2003). Segundo Petter (1990), em estudo de campo em um Latossolo, o menor crescimento radicular de soja se dá a partir de 2,8 MPa, em estudos realizados Girardello (2010) apresenta o valor de 2 MPa como crítico para o crescimento radicular da cultura da soja.

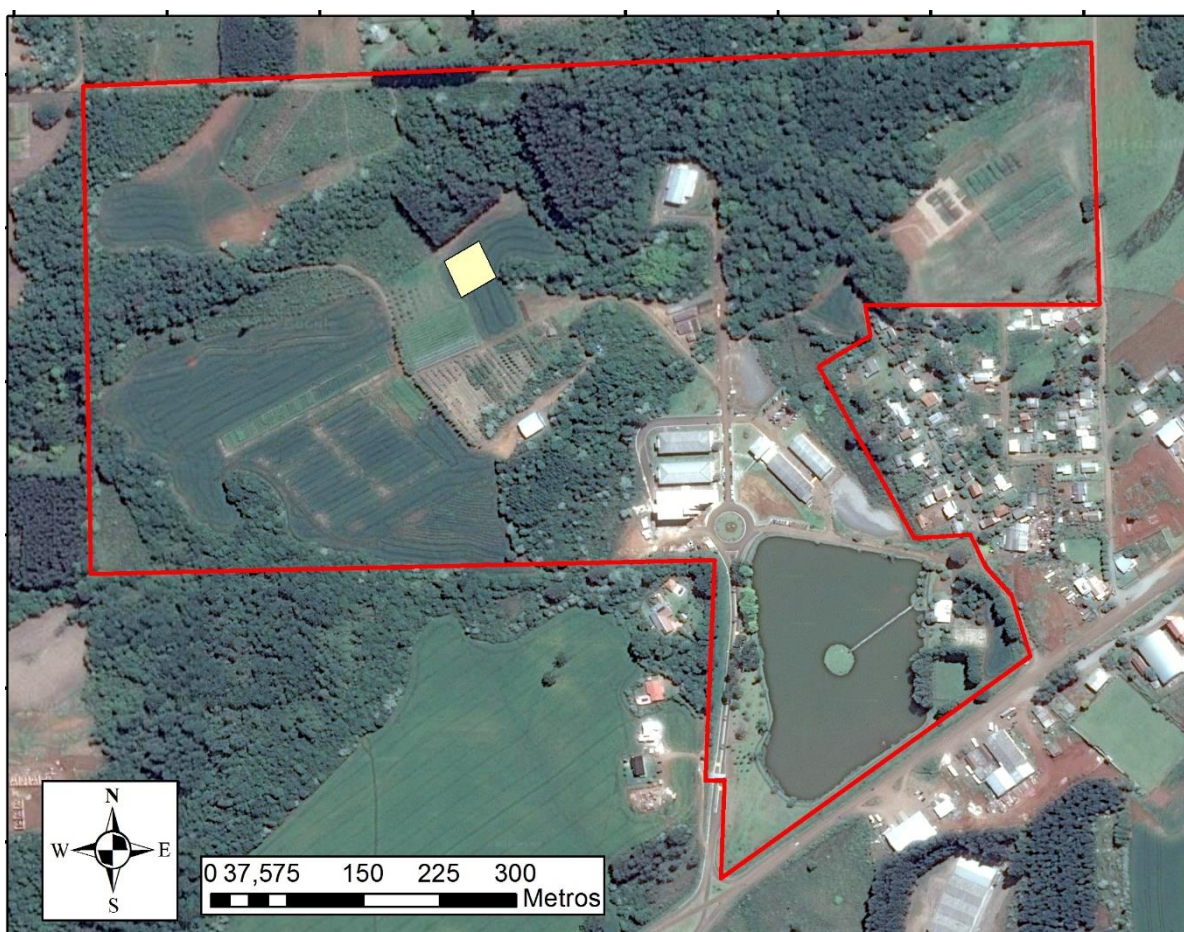
Uma característica importante do solo, que se faz relevante para o cultivo de cereais como a soja é a densidade, que segundo Klein (2012), pode ser definida como sendo o quociente de sua massa de sólidos secos por seu volume total, sendo uma característica importante, que afeta diretamente propriedades como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo a penetração.

Desta forma, torna-se necessário avaliar se em áreas de produção de grãos do Alto Uruguai manejadas sobre SPD consolidado a compactação do solo afeta negativamente as culturas quando comparado com solo escarificado.

4 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no campo experimental da URI – Erechim, mais precisamente no Campus II, com coordenadas geográficas S 27°36'40,33" e W 52°13'54,53", com área pré-estabelecida de 0,16 ha. A figura 1 apresenta o local onde o estudo foi realizado em área pertencente ao Campus II da URI – Erechim, representada de amarelo.

Figura 1 - Área da URI – Erechim, Campus II, onde será realizado o experimento



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

O solo deste local é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico húmico conforme Streck et al. (2008), tendo como características principais ser muito profundo, homogêneo e intemperizado. Na tabela 1 estão descritas as características físicas e químicas do solo da área experimental.

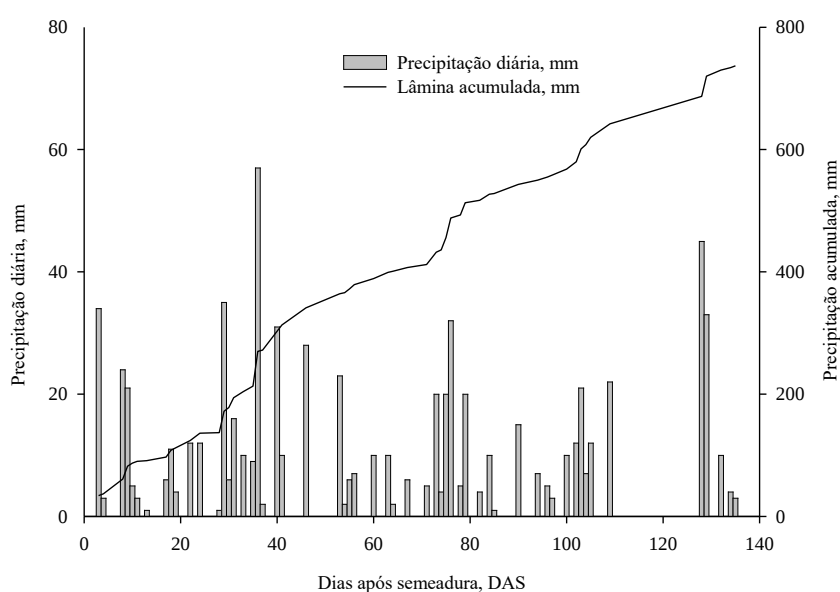
Tabela 1 – Química e granulométrica do solo.

Argila	pH ¹	SMP ²	MOS ³	P ⁴	K ⁴	Ca ⁵	Mg ⁵	Al ⁵	H+Al
%	1:1		m/v %	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----			
47,0	6,0	6,1	4,2	19,0	219	8,0	3,5	0,0	3,9

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

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (NIMER, 1989), tendo um clima quente e temperado. A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro (22,1°C) e a do mês mais frio em junho (13,5°C). A média normal das máximas é de 27,6°C, em janeiro, e de 18,7°C, em junho. A média das temperaturas mínimas do mês mais quente é de 16,7°C, em dezembro, e de 8,4°C a do mês mais frio, em junho. As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação anual média de 1872 mm, conforme informações do Climate-Data.ORG (2016), tendo durante o desenvolvimento da cultura da soja precipitado 737mm (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Precipitação diária e acumulada durante a safra de soja 2016/2017, em Erechim – RS



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

O projeto propôs desenvolver um plano de manejo complementar ao SPD, que consiste na aplicação de um implemento escarificador em uma área onde o SPD já esteja consolidado, para possibilitar a comparação do rendimento da cultura da soja em glebas com diferentes manejos de solo.

Porém, para o desenvolvimento racional do manejo complementar foi necessário o estabelecimento de parâmetros referentes ao solo onde o SPD já está consolidado, para verificar a taxa de infiltração de água, a densidade, a resistência à penetração encontrada e quais camadas estavam compactadas, possibilitando o estabelecimento da profundidade adequada a ser trabalhada com o escarificador.

Para o estabelecimento da taxa de infiltração de água no solo foi adotado o método dos anéis concêntricos sugerido por Bernardo et al. (2009), por ser um método prático, de baixo custo e fornecer resultados condizentes com a realidade existente. O mesmo foi realizado em oito pontos diferentes da área, um em cada parcela, com duração mínima de 2 horas por ponto e em duas épocas diferentes, antes da escarificação e após a colheita da cultura.

Esse método é proposto por Bernardo et al. (2009) e utiliza um equipamento composto por dois anéis (0,50 e 0,25 m de diâmetro e 0,30 m de altura), instalados de forma concêntrica e enterrados 0,15 m. Coloca-se uma régua graduada na parede do anel interior e acrescenta-se água até uma altura de 0,05 m, como pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2- Metodologia dos anéis concêntricos para avaliação da infiltração de água no solo



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Com o início da infiltração, a água deve ser repostada, permitindo a variação máxima de 0,02 m, realizando a anotação do tempo e diminuição do nível da água. O teste foi finalizado após duas horas decorridas.

Após a coleta de dados, foram realizados os cálculos para estimar a infiltração acumulada (I_a) e a velocidade de infiltração aproximada (V_{Ia}), apresentados pelas equações 1 e 2.

$$I_a = \text{Diferença (mm)}_1 + \text{Diferença (mm)}_2 + \dots \text{Diferença (mm)}_n \quad (1)$$

$$V_{Ia} = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{\text{Intervalo de tempo}} * 60 \quad (2)$$

Onde:

I_a : Infiltração de água.

V_I : Velocidade de infiltração.

60: Transformação para horas.

Foram verificados outros dois parâmetros de solo, a densidade e a resistência à penetração, que possibilitaram o desenvolvimento de um plano de manejo racional.

Para o estabelecimento da densidade do solo foi utilizado o método do cilindro volumétrico, como mostra a figura 3, realizando a coleta em oito parcelas diferentes da área com duas amostras por trincheira nas profundidades de 0 - 0,10 m, duas amostras de 0,10 - 0,20 m e duas amostras de 0,20 - 0,30 m de profundidade, totalizando seis amostras de cada ponto (trincheira).

Figura 3 - Metodologia dos anéis volumétricos para avaliação da densidade do solo



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Ainda em relação a avaliação da densidade do solo, o ensaio foi realizado em duas épocas distintas, a primeira antes de realizar a escarificação e a segunda após a colheita da cultura da soja. Utilizou-se o método do cilindro volumétrico, que consiste em utilizar cilindro de aço ou aço inoxidável com volume conhecido, com borda inferior cortante, cravado diretamente no solo. Sobre o cilindro foi acoplado um dispositivo denominado “extrator”, que recebe as pancadas do martelo, conforme metodologia proposta por Klein (2012).

Como anel totalmente introduzido no solo, utilizou-se uma espátula para auxiliar a retirada do mesmo, contendo a amostra de solo indeformada no seu interior, para posteriormente envolver o cilindro em um invólucro fibroso e papel alumínio com o intuito de preservar a umidade existente na amostra.

Após a coleta, as amostras foram retiradas do papel alumínio e pesadas em uma balança de precisão, e levadas a uma estufa para serem secas a uma temperatura de 105° C durante 24 horas. Com essa etapa concluída, as mesmas

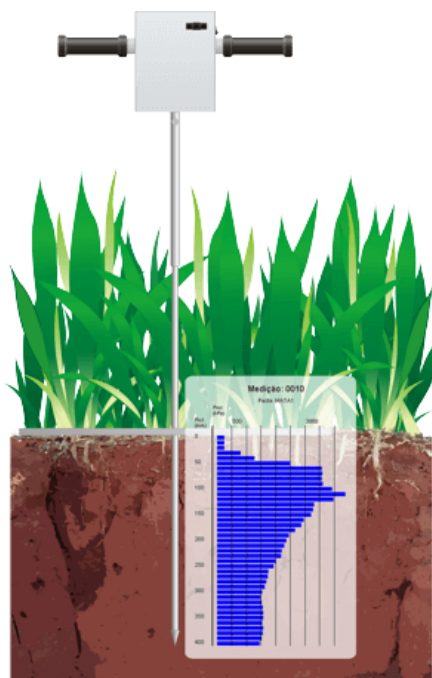
foram retiradas da estufa e novamente pesadas, em seguida retiradas do cilindro, sendo que este também teve seu peso registrado, após limpo e seco.

Conforme Klein (2012) a densidade da amostra será obtida pela divisão da massa seca pelo seu volume, sendo expressa em g cm^{-3} , e pode ser entendida pela equação 3.

$$\text{Densidade de solo} = \frac{\text{Massa seca de solo (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}} \quad (3)$$

Para a avaliação da resistência a penetração foi utilizado o penetrômetro manual Penetrolog® - Falker (Figura 5), sendo verificada a resistência à penetração do solo em 10 pontos diferentes das parcelas até uma profundidade de 0,40 m, realizando o cadastro dos dados. A avaliação de resistência a penetração do solo foi realizada em três épocas, sendo a primeira antes da escarificação das glebas, a segunda logo após a semeadura da cultura e a terceira após a colheita.

Figura 4 - Penetrolog Falker utilizado na avaliação de resistência a penetração do solo



Fonte: Falker

A utilização do penetrômetro seguindo metodologia proposta por Girardello (2010) consistiu em introduzir o cone metálico do aparelho até a profundidade

pretendida. O equipamento permitiu estabelecer o grau de resistência a penetração expressão em MPa até a profundidade de 40 cm, gerando o perfil de resistência a penetração do solo.

Para a escarificação do solo (Figuras 5 e 6), utilizou-se um escarificador modelo Jumbo Matic 7 Hastes[®] JAN tracionado pelo trator TL 100[®], New Holland, com profundidade uniforme de 0,30 m e distanciamento entre hastes de 0,45 m, estabelecendo os tratamentos SPD e ESC, ou seja, escarificado, com quatro repetições por tratamento (Figura 7).

Figura 5– Escarificação do solo para estabelecimento do tratamento escarificado



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Figura 6 – Superfície do solo após a escarificação



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Figura 7 - Croqui de estabelecimento dos tratamentos

		20,00	
40,00	SPD 2	ESC 4	10,00
	ESC 2	SPD 4	
	SPD 1	ESC 3	
	ESC 1	SPD 3	
		40,00	

Fonte: Mateus Dalla Vecchia

A semeadura da soja se deu no mês de novembro de 2016, da cultivar 5958 DM, com densidade populacional de 14 sementes por metro linear. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m e adubação de 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 2-18-28 (N,P₂O₅K₂O).

Os demais tratos culturais foram executados conforme a necessidade, de forma semelhante as áreas utilizadas para a produção de grãos, seguindo as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Para estabelecer a produtividade foi necessário analisar algumas características específicas da área estudada, sendo essas características intrínsecas da cultura e relativas ao seu desenvolvimento, como a quantidade e altura das plantas, para posteriormente determinar a produtividade propriamente dita.

Com relação a quantidade de plantas, foi verificado o número existentes por metro linear, sendo amostradas três repetições de 4 m lineares por parcela, totalizando 24 amostras, como forma de verificar a eficiência da semeadura e da uniformidade da área estudada.

A metodologia utilizada para determinar a altura das plantas existentes em cada parcela visou retirar seis amostras de plantas aleatoriamente, totalizando 48 plantas verificadas, estabelecendo assim a altura média por parcela e comparar o desenvolvimento da cultura nos tratamentos propostos.

O rendimento de soja foi determinado através da coleta das plantas em 4 metros lineares, três linhas por amostra, totalizando 3 repetições por parcela e 24 amostras no total. Os resultados expressos com base na umidade de 13 % dos grãos.

As figuras 8 e 9 ilustram a realização da retirada das amostras e a debulha da cultura para o estabelecimento da produtividade.

Figura 8 - Colheita das amostras de soja para determinação da produtividade



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Figura 9 - Debulha das vagens de soja



Fonte: Mateus Dalla Vecchia

Para a avaliação estatística, as informações foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5 %, análise de regressão para a taxa de infiltração de água no solo e relação entre os parâmetros avaliados nos dois tipos de manejo do solo, SPD e ESC, conforme metodologia proposta por Nicoloso et al. (2008). Para a realização das análises foi utilizado o software SigmaPlot 11.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o projeto de longa duração proposto para avaliação da evolução das características do solo manejado sobre SPD, foi desenvolvida a primeira sequência de avaliações, com o propósito de estabelecer as características quanto ao perfil de solo que seria escarificado para validar o estudo, e propor o plano de manejo complementar ao SPD consolidado.

O primeiro teste a ser realizado foi a avaliação da taxa de infiltração de água no solo, conforme metodologia citada anteriormente, proposta por Salassier et al. (2009), que pode ter os resultados observados na tabela 2, avaliando-se o estado original do solo manejado sobre SPD e não obteve-se diferença estatística para a taxa de infiltração de água no solo entre os tratamentos posteriormente instalados.

Tabela 2 - Taxa de infiltração de água no solo antes da implantação do experimento

Parcela	mm h ⁻¹	Média	DP	CV(%)
SPD1	11	8,13 ^{ns}	4,40	54
SPD2	6			
SPD3	12,5			
SPD4	3			
ESC1	5	11,50	11,50	100
ESC2	5			
ESC3	26,5			
ESC4	9,5			

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. DP – Desvio padrão CV – coeficiente de variação

Foi possível verificar que com exceção das parcelas SPD1, SPD3, ESC3 e ESC4, que apresentaram taxa de infiltração de 11, 12,5, 26,5 e 9,5 mm h⁻¹, respectivamente, as demais apresentaram taxa inferior ao encontrado como média para os solos na região de Getúlio Vargas, que é de 6,2 mm h⁻¹, conforme estudos realizados por Moraes (2016), no Alto Uruguai.

Os valores de densidade do solo obtidos antes da escarificação e implantação da cultura demonstram um valor médio de 1,456 g cm⁻³ para as parcelas em SPD, e 1,457 g cm⁻³ para as parcelas em ESC não diferindo estatisticamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios de densidade do solo antes da instalação do experimento

Parcela	Perfil (m)	Média (g cm ⁻³)	DP	CV (%)
SPD	0 - 0,10	1,46 ^{ns}	0,04	3
	0,10 - 0,20			
	0,20 - 0,30			
ESC	0 - 0,10	1,46	0,06	4
	0,10 - 0,20			
	0,20 - 0,30			

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. DP. – desvio padrão CV. – coeficiente de variação

Todos os valores encontrados para densidade do solo, durante a totalidade do perfil analisado, apresentaram valores médios de densidade de 1,46 g cm⁻³, conforme verificado na tabela 2, colaborando para a baixa taxa de infiltração de água no solo.

Após a determinação do teste de resistência a penetração do solo, conforme a (Tabela 4), foi verificado que as restrições para o desenvolvimento radicular da soja, que se dá a uma pressão superior a 2,0 MPa, conforme Beutler et al. (2003), se encontravam no perfil de 10 a 11 cm de profundidade, compatível com a formação do pé de grade e o não revolvimento desta camada de solo pela semeadura em plantio direto. Não ocorreu diferença estatística das informações obtidas sobre resistência a penetração e profundidade de ocorrência antes da implantação do experimento.

Tabela 4 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência antes da implantação do experimento

Tratamento	Pressão máxima (MPa)	Profundidade (cm)
SPD	2,064 ^{ns}	10 ^{ns}
ESC	2,409	11

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

Pode-se analisar que nos três testes realizados os valores encontrados apresentam interferências significativas aos parâmetros estabelecidos como normais ou ideais para as características do solo e necessidade da cultura. A baixa taxa de infiltração de água no solo, somada a alta densidade do solo e resistência de penetração superior ao limite de interferência as culturas agrícolas, gabaritam a necessidade de romper as camadas compactadas via escarificação visando uma alternativa para o favorecimento do desenvolvimento radicular e da taxa de infiltração de água no solo.

Duas semanas após a semeadura realizou-se a avaliação de resistência a penetração para avaliar o efeito da escarificação do solo sobre o SPD, verificando-se que a máxima resistência a penetração no SPD foi cerca de 12% superior ao ESC (Tabela 5). Da mesma forma foi possível verificar que a profundidade onde ocorreu a máxima resistência passou para 24 cm, quando comparada com o SPD, de 8 cm, indicando que a operação de escarificação foi eficiente em romper a camada compactada na profundidade do principal volume de solo explorando pelo sistema radicular da soja, que conforme Gregory (1992) aproximadamente 70 a 80% da massa das raízes de soja distribuem-se nos primeiros 15 cm do solo.

Tabela 5 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência após a implantação da cultura

Tratamento	Pressão máxima (MPa)	Profundidade (cm)
SPD	1,9432 ^{ns}	8 ^{ns}
ESC	1,7057	24

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

5.1 Taxa de infiltração de água no solo após o cultivo da soja

As avaliações de infiltração de água no solo aconteceram em duas épocas distintas. A primeira antecedeu antes da implantação da cultura e a segunda sucedeu após a colheita da mesma, com o intuito de comparar as condições

encontradas no solo antes e após a realização do manejo complementar ao sistema de plantio direto proposto.

Verificou-se que após a escarificação a taxa de infiltração de água no solo aumentou significativamente em relação ao SPD. Os valores encontrados na primeira avaliação (Tabela 1), são consideravelmente menores que os encontrados na segunda avaliação após a cultura da soja (Tabela 6), possibilitando então a melhor percolação vertical da água no perfil do solo, colaborando com os estudos de Secco & Reinert (1997), que ressaltam que a escarificação do perfil do solo maximiza a infiltração de água, bem como fornecem condições favoráveis para o crescimento do sistema radicular, entre outros benefícios. Porém, não apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados posteriormente ao cultivo da soja. Estudos realizados em Latossolos Vermelhos por Girardello (2011), evidenciam valores de infiltração acumulada em diferentes tratamentos no intervalo de 35 a 268 mm h⁻¹.

Tabela 6 - Taxa de infiltração de água no solo após a colheita da soja

Parcela	mm h ⁻¹	Média	DP	CV (%)
SPD1	32	80,00 ^{ns}	83,38	104
SPD2	12			
SPD3	198			
SPD4	78			
ESC1	382,5	197,75	197,75	100
ESC2	188,5			
ESC3	141,5			
ESC4	78,5			

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. DP – Desvio padrão CV – coeficiente de variação

Avaliando o comportamento temporalmente da taxa de infiltração de água no solo, verificou-se diferença significativa quanto a taxa de infiltração do solo antes da implantação do experimento e após a safra de soja, havendo acréscimo nas condições físicas do solo que permitem a infiltração de água no mesmo. Porém o tratamento diferenciado das glebas escarificadas não surtiu o mesmo efeito, esse fato pode ser verificado na tabela 7.

Tabela 7 - Infiltração de água no solo: comparação das avaliações de infiltração de água no solo

Variável	Diferença	q	P	P<0.050
Época	129,063	4,67	0,006	Sim
Tratamento	61,00	2,00	0,146 ^{ns}	Não

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. P – Nível de acerto

5.2 Densidade do solo após o cultivo da soja.

Conforme já comentado, as avaliações de densidade do solo aconteceram em duas épocas distintas, a primeira antes da realização do manejo do solo, e a segunda após a colheita da cultura. A densidade do solo segundo Klein (2012) é um dos fatores que limita a disponibilidade de água, oxigênio e condições físicas para o desenvolvimento radicular.

Os valores obtidos da avaliação de densidade após o cultivo da soja podem ser analisados na Tabela 8.

Tabela 8 - Avaliação de densidade do solo após o cultivo da soja

Tratamento	Perfil (m)	Média (g cm ⁻³)	Desvio padrão	CV(%)
SPD	0 - 0,10	1,32 ^{ns}	0,06	5
	0,10 - 0,20			
	0,20 - 0,30			
ESC	0 - 0,10	1,32	0,08	6
	0,10 - 0,20			
	0,20 - 0,30			

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. DP. – desvio padrão CV. – coeficiente de variação

Os valores médios encontrados para densidade do solo, durante a totalidade do perfil analisado, levando em consideração os tratamentos SPD e ESC, apresentaram valores de densidade de 1,32 g cm⁻³, melhorando consideravelmente essa característica física do solo, que conforme a tabela 2, era de 1,46 g cm⁻³ antes da implantação do estudo, proporcionando aproximadamente a redução de 10%.

Levando em consideração que as parcelas sob o tratamento SPD, apresentaram valores semelhantes as parcelas ESC, gerando médias idênticas, não verificou-se diferença estatística.

5.3 Resistência a penetração após cultivo da soja

Analizando os dados da Tabela 9, notou-se que o manejo com escarificação surtiu efeito com relação as pressões máximas encontradas e consequentemente à profundidade em que as mesmas aconteceram. Todas as parcelas antes de serem manejadas apresentaram valores acima de 2,0 MPa (Tabela 5), variando entre 8 e 12 cm de profundidade. Após o manejo e colheita todas as parcelas apresentaram valores entre 1230,7 e 1465,3 MPa, sendo às profundidades de 17 a 36 cm, respectivamente para SPD e solo escarificado, ou seja, encontro-se significativa melhora nas condições com relação a resistência a penetração e a profundidade que ocorreram.

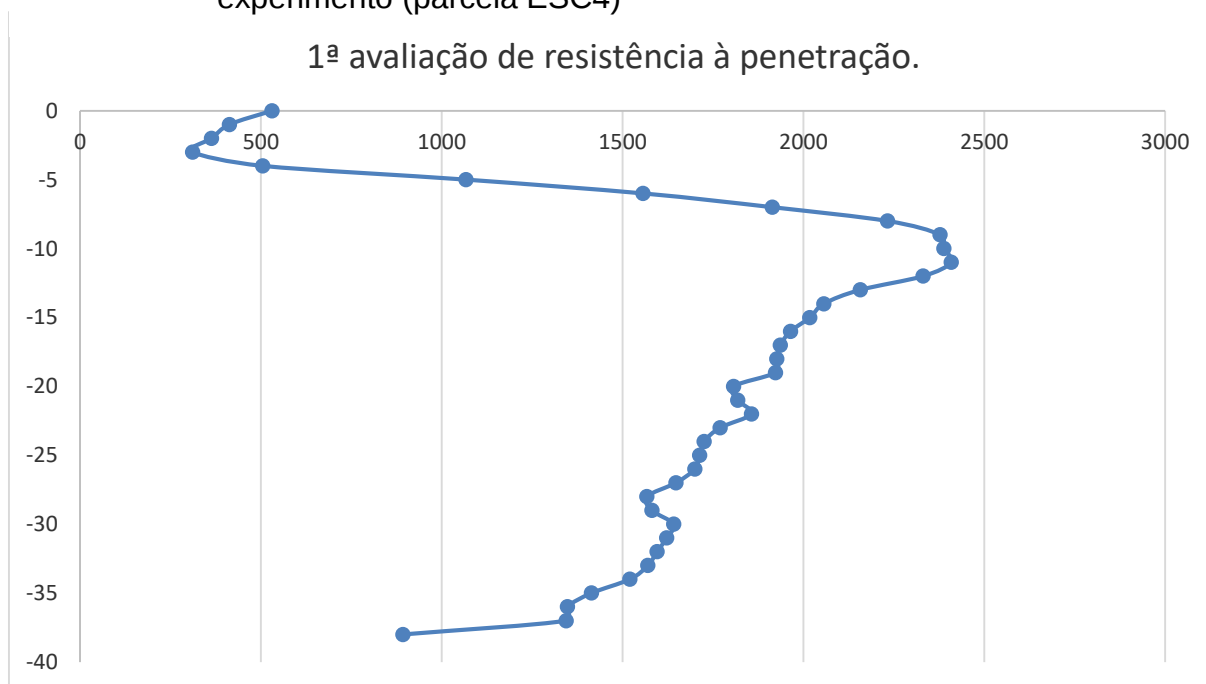
Tabela 9 - Valores médios da máxima resistência a penetração do solo e profundidade média de ocorrência após o cultivo da soja

Tratamento	Pressão máxima (MPa)	Profundidade (cm)
SPD	1,8711 ^{ns}	13 ^{ns}
ESC	1,4653	32

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

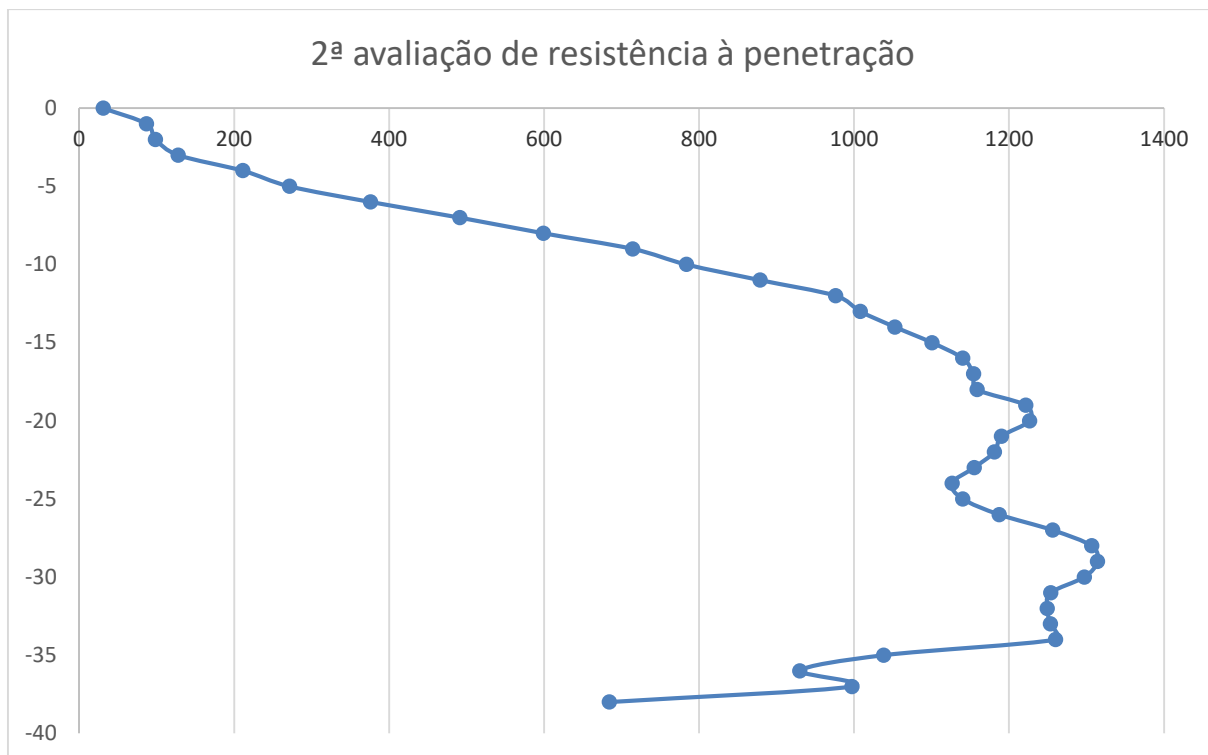
Para tornar mais clara a visualização da resistência a penetração do solo, é interessante apresentar a real variação encontrada pelo penetrômetro manual (Penetrolog®- Falker), ao decorrer do perfil do solo. A seguir estão expostos os três gráficos (2, 3, 4) referentes as avaliações realizadas na parcela ESC4.

Gráfico 2 - Avaliação da resistência à penetração antes da implantação do experimento (parcela ESC4)



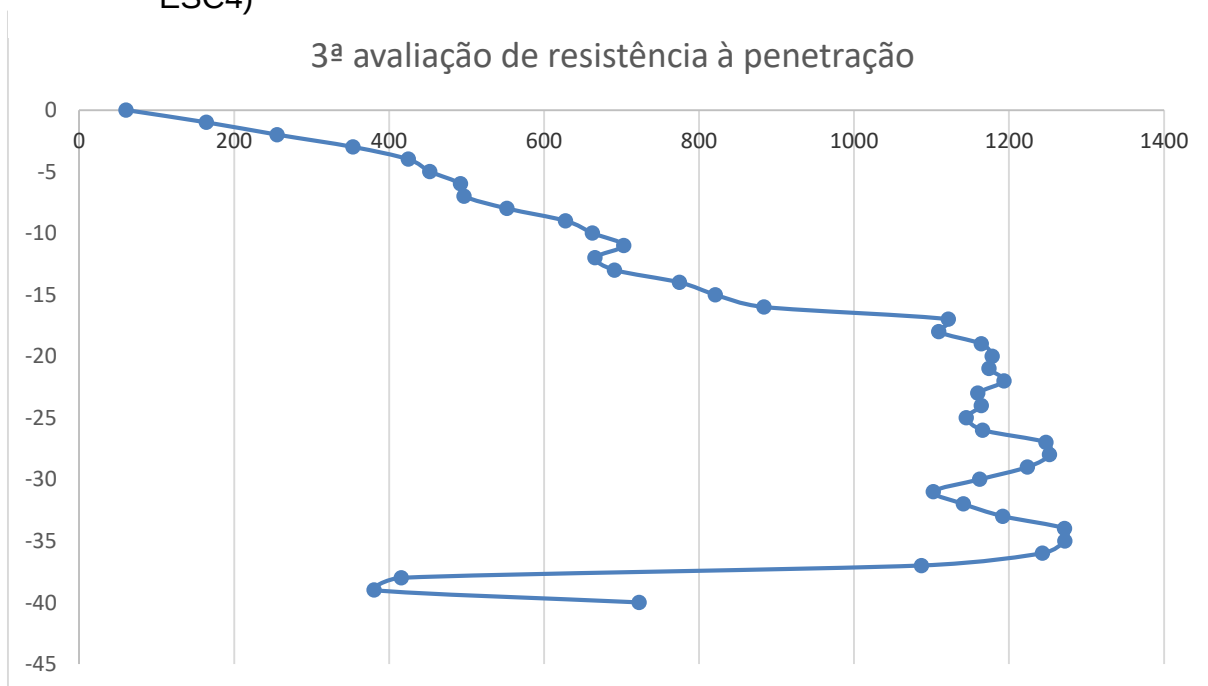
Eixo x – resistência em MPa. Eixo y – profundidade em cm

Gráfico 3 - Avaliação da resistência à penetração após a implantação do experimento (parcela ESC4)



Eixo x – resistência em MPa. Eixo y – profundidade em cm.

Gráfico 4 - Avaliação da resistência à penetração após a cultura da soja (parcela ESC4)



Eixo x – resistência em MPa. Eixo y – profundidade em cm

Essa representação gráfica torna mais visível o comportamento do perfil do solo com relação a resistência a penetração. Representa a evolução das características do solo após a realização do plano de manejo complementar do SPD, redefinindo a máxima taxa de resistência de 2,41 MPa aos 11 cm de profundidade para 1,27 MPa aos 35 cm de profundidade, mostrando assim que a escarificação foi eficiente durante este período de avaliação.

Colaborando com a análise realizada anteriormente, após submeter as informações de resistência a penetração do solo das três avaliações realizadas ao software SigmaPlot, foi possível verificar que a realização do manejo complementar do SPD surtiu efeito, ocasionando diferença estatística na comparação das parcelas. Essa diferença estatística pode ser visualizada nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Comparação estatística das máximas resistências a penetração determinadas durante o período de avaliação (antes da implantação, após a semeadura e após a colheita)

Tratamento	Avaliações	Diferença	q	P	P<0.05
SPD	1 ^a x 3 ^a	95,300	1,256	0,655 ^{ns}	Não
	1 ^a x 2 ^a	91,450	1,205	0,676 ^{ns}	Não
	2 ^a x 3 ^a	3,850	0,0507	0,999 ^{ns}	Não
Escarificado	1 ^a x 3 ^a	925,725	12,201	<0,001	Sim
	1 ^a x 2 ^a	814,200	10,731	<0,001	Sim
	2 ^a x 3 ^a	111,525	1,470	0,563 ^{ns}	Não

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro.
SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. P – Nível de acerto

Tabela 11 - Comparação estatística das profundidade de ocorrência das máximas resistências a penetração determinadas durante o período de avaliação (antes da implantação, após a semeadura e após a colheita)

Tratamento	Avaliações	Diferença	q	P	P<0.05
SPD	1 ^a x 3 ^a	8,500	3,120	0,097 ^{ns}	Não
	1 ^a x 2 ^a	3,250	1,193	0,682 ^{ns}	Não
	2 ^a x 3 ^a	5,250	1,927	0,381 ^{ns}	Não
ESC	1 ^a x 3 ^a	20,250	7,432	<0,001	Sim
	1 ^a x 2 ^a	19,250	7,065	<0,001	Sim
	2 ^a x 3 ^a	1,000	0,367	0,964 ^{ns}	Não

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro.
SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado. P – Nível de acerto

Como afirmado anteriormente, agora analisando as informações estatísticas, foi possível verificar que as parcelas que foram mantidas com o tratamento de SPD, não apresentaram diferença estatística com relação a resistência a penetração, nem quanto a profundidade em que a maior resistência foi verificada, mantendo características similares no decorrer do tempo.

Entretanto, analisando as informações referentes ao tratamento escarificado, a comparação da primeira com a segunda e a terceira avaliações, isoladamente, apresentou diferença estatística para a resistência a penetração e a profundidade que a mesma foi determinada, promovendo melhores condições ao solo para o desenvolvimento da cultura da soja, facilitando o fluxo de absorção da água e dando condições para o crescimento radicular.

5.4 População de plantas

A população de plantas é fator determinante e influencia diretamente na produtividade de qualquer lavoura. A tabela 12 apresenta os resultados obtidos do estabelecimento da quantidade de plantas existentes por parcela.

Tabela 12 - Determinação da população de plantas

Parcela	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média	Média Tratamento
SPD 1	44	41	40	42	51 ^{ns}
SPD 2	65	60	48	58	
SPD 3	58	57	53	56	
SPD 4	43	48	50	47	
ESC 1	44	51	63	53	51
ESC 2	49	46	53	49	
ESC 3	41	49	48	46	
ESC 4	64	58	49	57	

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

Verificou-se que a média de plantas existentes nas quatro parcelas cultivadas no SPD possuem um horizonte de 16 plantas de diferença, pois apresenta valores médios de 42 a 58 plantas, fornecendo uma média geral para o tratamento de 51 plantas a cada 4 metros lineares, totalizando 283.333 plantas ha⁻¹.

Essa análise possibilitou verificar que a variação da quantidade de plantas por parcela é insignificante, apresentando uniformidade quando comparou-se os tratamentos separados, favorecendo a metodologia escolhida para a determinação da produtividade.

5.5 Altura de plantas

A tabela 13 apresenta os valores encontrados para altura das plantas de cada parcela, nas seis amostragens realizadas, bem como a média da altura por parcela e a média geral por tratamento.

Tabela 13 - Determinação da altura de plantas (m)

Tratamento	Altura (m)	Altura média (m)
SPD 1	0,85	0,87 ^{ns}
SPD 2	0,85	
SPD 3	0,92	
SPD 4	0,87	
ESC 1	0,92	0,92
ESC 2	0,89	
ESC 3	0,93	
ESC 4	0,93	

ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

Através das informações apresentadas na tabela 12 foi possível verificar que a média da altura das plantas existentes nas quatro parcelas cultivadas no SPD possui um horizonte de 0,07 m de diferença, pois apresenta valores médios de 0,85 a 0,97 m, fornecendo uma média geral para o tratamento de 0,87 m.

O horizonte da amostragem referente ao tratamento escarificado foi menor, apresentando 0,04 m de diferença, tendo variação de 0,89 até 0,93 m, apresentando uma média geral, de 0,92 m de altura para as plantas.

Levando em consideração os valores médios encontrados para os tratamentos SPD, 0,87 m e escarificado, 0,92 m, foi possível afirmar que o

crescimento das plantas de forma generalizada, teve um desenvolvimento uniforme, favorecendo a metodologia escolhida para a determinação da produtividade.

5.6 Produtividade

Após a verificação das duas características da cultura verificadas, foi possível iniciar o processo de estabelecimento da produtividade da cultura da soja introduzida na área do estudo em questão.

A tabela 14 possibilita visualizar a produtividade média por tratamento, sendo possível verificar que o horizonte de variação é 475,53 kg ha⁻¹, pois o tratamento SPD apresentou uma média de 3.383,53 kg ha⁻¹, e o tratamento escarificado apresentou uma média de 3.859,06 kg ha⁻¹, não diferindo estatisticamente entre si, mas sendo semelhante à produtividade média nacional estabelecida pela CONAB (2017), 3.362kg ha⁻¹.

Tabela 14 - Verificação da produtividade média

Amostra	Produtividade média por parcela (kg ha ⁻¹)	Produtividade média por tratamento (kg ha ⁻¹)
SPD1	4.273,47	3.383,53 ^{ns}
SPD2	3.945,24	
SPD3	3.300,92	
SPD4	2.014,51	
ESC1	5.249,35	3.859,06
ESC2	2.091,19	
ESC3	4.274,27	
ESC4	3.821,42	

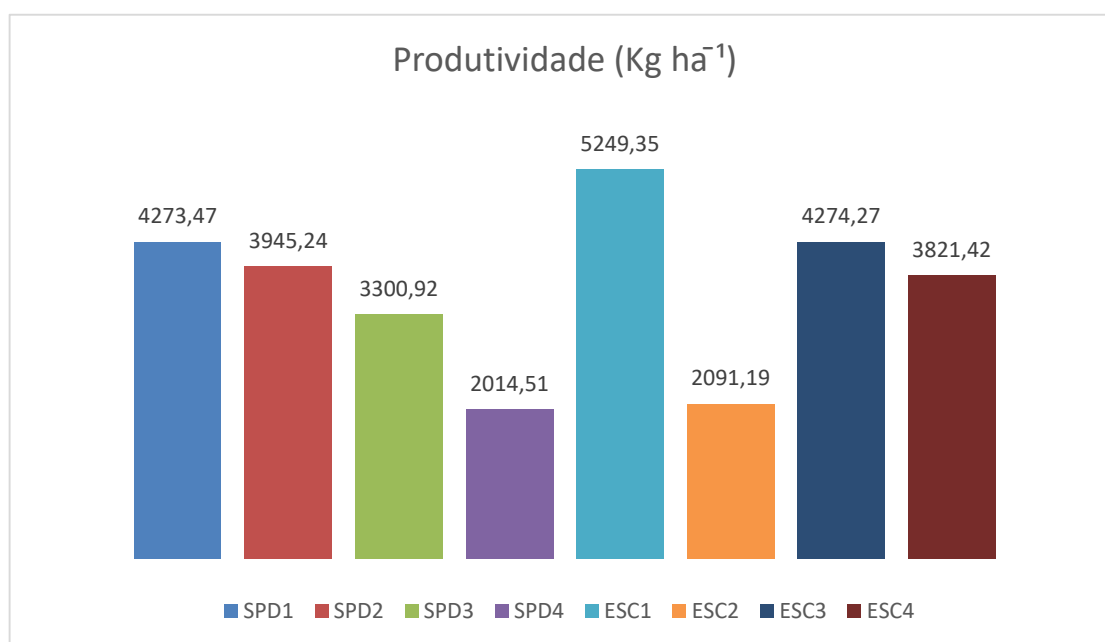
ns – não significativo para o teste de Turkey com 5% de probabilidade de erro. SPD – Sistema de plantio direto. ESC – solo escarificado

O horizonte de variação realiza incremento na produtividade das parcelas manejadas de 475,53 kg ha⁻¹, ou seja, aproximadamente 12,5% de incremento. Fato que ocorreu pelo alto rendimento encontrado na parcela ESC1, 5.249,35 kg ha⁻¹, o que fez com que a média geral das parcelas escarificadas fosse maior que as do SPD.

Analisando separadamente foi possível verificar que com exceção da parcela ESC1, com produtividade média de 5.249,35 kg ha⁻¹, todas as demais apresentaram comportamentos semelhantes, não dentro do tratamento em específico, pois, a produtividade não foi linear, mais sim em comparação com os tratamentos, apresentando produtividades baixas, entre 2.014,51 e 2.091,19 kg ha⁻¹, nas parcelas SPD4 e ESC2, produtividades médias entre 3.821,42 e 3.945,24 kg ha⁻¹, nas parcelas ESC4 e SPD2, e produtividades altas 4.273,47 e 4.273,47 kg ha⁻¹, nas parcelas SPD1 e ESC3, acontecendo uma variação abrupta na parcela SPD3 3.300,92 kg ha⁻¹, e ESC1.

Através da imagem fornecida pelo gráfico 5, fica claro o entendimento das informações referentes a produtividade, facilitando a colocação que os 12,5% de incremento na produtividade do tratamento escarificado acaba apresentando pouca representatividade no desenvolvimento do estudo. Esse fato pode ser associado às características da soja, que é considerada uma cultura rústica que sob condições climáticas favoráveis apresenta limitada resposta a intervenções no solo Pivetta et al. (2011).

Gráfico 5 – Produtividade da cultura da soja sob diferentes sistemas de manejo do solo (kg ha⁻¹)



Eixo x – SPD (Sistema de plantio direto), ESC (solo escarificado). Eixo y – produtividade em Kg ha⁻¹

Desta forma, após ao término da safra de verão, a análise dos resultados obtidos pelas avaliações propostas possibilitou verificar que a escarificação controlada é uma ferramenta que permite a significativa melhora de atributos físico do solo, como a resistência a penetração, densidade e capacidade de infiltração de água, fornecendo condições favoráveis para o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e a percolação vertical da água.

Porém, em relação a produtividade, os resultados obtidos demonstram que o manejo proposto não surtiu efeito, retratando resultados similares para as parcelas com tratamentos distintos, SPD e ESC, totalizando produtividades médias onde as diferenças não são estatisticamente consideráveis.

A continuidade deste estudo se torna interessante, somada a rotação de culturas, prática preconizada pelo SPD, para verificar o comportamento do solo após a implantação de outras culturas, bem como a evolução de atributos do solo levantados nesse trabalho, buscando alternativas para incrementar os métodos de utilização do solo de maneira racional, visando promover desenvolvimento socioeconômico sustentável.

6 CONCLUSÃO

Ao término do estudo foi possível verificar que o manejo complementar do plantio direto proposto, possibilitou acréscimo de qualidade no quesito capacidade de infiltração de água no solo, sendo a escarificação racional, uma alternativa eficaz para maximizar a infiltração de água no solo e consequentemente disponibilizar o recurso hídrico com maior facilidade ao sistema radicular da cultura, porém não estatisticamente, onde a média para o tratamento SPD foi de 80 mm h^{-1} e no tratamento ESC foi $197,75 \text{ mm h}^{-1}$.

As características relacionadas a densidade do solo foram alteradas nos tratamentos SPD e ESC, apresentando melhoria de aproximadamente 10%, com valores médios de $1,32 \text{ g cm}^{-3}$, quando comparados aos $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ apresentados antes da introdução do estudo, porém, sem significância estatística.

Com relação as avaliações de resistência a penetração ficou evidente que as características físicas do perfil do solo, levando em consideração os primeiros 0,30 m, foram sensivelmente alteradas, disponibilizando ao sistema radicular da cultura do soja um ambiente sem restrições para seu desenvolvimento vertical, o que facilita o alongamento radicular em busca de recurso hídrico em condições de estresse, sem contar que o alongamento radicular proporciona o desenvolvimento de bioporos, possibilitando a melhoria continua das características físicas do solo

E por fim, os pontos relacionados a produtividade, a realização do manejo de solo complementar ao SPD, não surtiu efeito esperado, não apresentando variação significativa e nenhum dos fatores analisados, pois a quantidade de plantas apresentada em média é exatamente igual para os dois tratamentos, 51 plantas a cada 4 metros lineares, a variação da média da altura das plantas ficou em 0,83 m para o tratamento SPD e 0,92 m para o tratamento ESC, e os resultados envolvendo a produtividade propriamente dita não apresentaram variação estatística.

Portanto a realização do manejo de solo complementar ao SPD, proporcionou melhorias as características físicas do solo, mas não a produtividade, sendo de grande importância a continuidade desse estudo, para avaliar a evolução das características do solo e da produtividade com o incremento de rotação de culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEITEC – Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em 30 de agosto de 2016.

AGEITEC – Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_32_59200523355.html>. Acesso em 06 de setembro de 2016.

BERNARDO, S., SOARES, AA., MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa, Editora UFV, 8ª, p. 39-41, 2009.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. **Resistência a penetração em Latossolos: limitante a produção de grãos de soja no: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 32, Goiânia, 2003. Resumo expandido. Goiânia: CONBEA, 2003. CDROM.

CLIMATE-DATA. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/43631/>>. Acesso em 17 de outubro de 2016.

COAMO – Agroindustrial cooperativa. Disponível em: <<http://www.coamo.com.br/jornalcoamo/ago04/plantio.html>>. Acesso em 30 de agosto de 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_06_08_09_02_48_boletim_graos_junho_2017.pdf>. Acesso 26 de junho de 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1011192/1/IndicacoesTecnicasEmbrapa003.pdf>>. Acesso 23 de junho de 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1>>. Acesso 29 de junho de 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1011192/indicacoes-tecnicas-para-a-cultura-da-soja-no-rio-grande-do-sul-e-em-santa-catarina-safras-20142015-e-20152016>>. Acesso em 4 de setembro de 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 04 de setembro de 2016.

FALKER. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-penetrolog-medidor-compactacao.php>>. Acesso em 13 de setembro de 2016

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio direto e Irrigação. <http://febrapdp.org.br/plantio-direto-o-que-e>>. Acesso em 06 de setembro de 2016.

FENASOJA. Disponível em: <<http://www.fenasoja.com.br/resultados-positivos-da-safra-20152016-de-soja-sao-anunciados-na-21a-fenasoja/>>. Acesso em 05 de outubro de 2016.

G1 – Portal de notícias brasileiro da empresa GLOBO. Disponível em <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/campo-e-lavoura/noticia/2015/04/rio-grande-do-sul-confirma-novo-recorde-na-safra-de-soja-diz-emater.html>>. Acesso em 04 de setembro de 2016.

GIRARDELLO, V. C. **Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja**. Santa Maria, 2011. 8 p. Resumo de Dissertação de (Mestrado) – UFSM, 2011.

GIRARDELLO, V. C. **Qualidade física de um latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja**. Santa Maria, 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado) – UFSM, 2010.

GREGORY, P.J. **Crecimiento y funcionamiento de las raíces**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo, UPF Editora, 2ª edição, p. 38-44, 2012.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production**. *Advances in Soil Science*, v.1, p.277-294. 1985.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, Editora UFV, 3ª edição, p. 66-71, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em 04 de setembro de 2016.

MORAES, R. **Resultados do Programa Solo e Produtividade (Palestra)**. Emater, Getúlio Vargas. 2016.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja**. Santa Maria, 2008. Resumo expandido de dissertação (Doutorado) – UFSM, 2008.

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

PETTER, R. L. **Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade**. Santa Maria, 1990. 144 p. Dissertação (Mestrado) – UFSM, 1990.

PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G.; SANTOS, G.C. & ROSOLEM, C.A. **Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção**. Pesq. Agropec. Bras., 46:1547-1554, 2011.

REVISTA SAFRA. Disponível em: <<http://revistasafra.com.br/producao-de-soja-no-brasil-aumenta-62-em-dez-anos/>>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

SECCO, D. & REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. Eng. Agric., 16:52-61, 1997.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, E. S. D.; KLAMT, E.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, EMATER/RS, 2ª, p. 73-81, 2008.