



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS

CAMPUS CERRO LARGO

CURSO DE AGRONOMIA

RAQUEL LUANA HECK

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA CANOLA EXPOSTA A DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO**

CERRO LARGO – RS

2015

RAQUEL LUANA HECK

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA CANOLA EXPOSTA A DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de
grau de Bacharel em Agronomia com ênfase
em Agroecologia da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientador: Prof.ºDrº Douglas Rodrigo Kaiser
Co – orientador: Renan Costa Beber Vieira

CERRO LARGO

2015

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Heck, Raquel Luana
AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO E
DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA CANOLA EXPOSTA A
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO/ Raquel Luana
Heck. -- 2015.
58 f.:il.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.
Co-orientador: Renan Costa Beber Vieira.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2015.

1. Avaliação de atributos físicos do solo e
desenvolvimento da canola. I. Kaiser, Douglas Rodrigo,
orient. II. Vieira, Renan Costa Beber, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

RAQUEL LUANA HECK

RAQUEL LUANA HECK

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA CANOLA EXPOSTA A DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO**

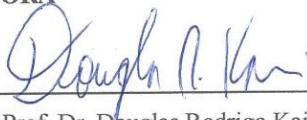
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia com ênfase em agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o Dr^o Douglas Rodrigo Kaiser

Co – orientador: Renan Costa Beber Vieira

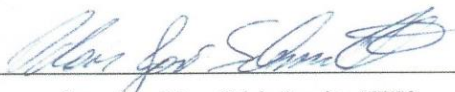
Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 23 /11 / 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser - UFFS

Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira- UFFS



Eng. Agr. Msc. Odair Scmitt- UFFS

Dedico esse trabalho ao professor Dr. Douglas que graças a excelente orientação, incentivo e ajuda tornou possível a conclusão deste. Aos colegas que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela saúde, pelas oportunidades e força concedida para superar os obstáculos e não desistir dos meus sonhos.

Aos meus pais, Wilson e Márcia pela excelente educação que me foi passada, pelo carinho, pela confiança, pelos ótimos conselhos, pela luta diária na propriedade rural, trabalho árduo e insistência em proporcionar-me uma formação profissional.

A você minha amada mãe, pela força de vontade, pelo apoio e companhia nas horas que eu mais precisei, pela ajuda em trabalhos de campo, pelas noites mal dormidas, pelo amor incondicional, dedico a você meu maior e eterno agradecimento.

A todos os professores da instituição em especial meu orientador ProfºDrº Douglas Rodrigo Kaiser, pela confiança, pela dedicação, pelo auxílio na execução deste trabalho.

Aos amigos e colegas que disponibilizaram de tempo para supervisionar o experimento no período em que estive ausente e durante os trabalhos a campo, Anderson Machado, Christian Machado, Daiana Johanns, Gabriel Adams, José Alcides Soares de Freitas, Maicol Douglas.

A Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), por ter me proporcionado a oportunidade de ser acadêmico. A direção, administração e técnicos pelo comprometimento com a pesquisa e o desenvolvimento regional.

A todos os familiares e amigos de verdade, que me ensinaram, incentivaram e ajudaram, direta ou indiretamente, contribuindo assim, para que eu pudesse crescer.

RESUMO

A cultura da canola (*Brassica napus* L.) está se inserindo em ritmo acelerado no mercado mundial nas últimas décadas, devido aos seus altos rendimentos e recomendação de uso em sistemas de rotação de culturas e uso da terra no período do inverno. Grandes avanços já se obtiveram em relação ao conhecimento técnico sobre a cultura e as condições de solo favoráveis para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura, todavia o estudo das mesmas em diferentes tipos de solo e condições edafoclimáticas é essencial. A avaliação e caracterização dos atributos físicos do solo são consideradas fundamentais para que se obtenha um ambiente propício ao desenvolvimento das culturas. Este estudo teve por objetivo avaliar, num Latossolo vermelho argiloso, a influência de diferentes sistemas de manejo sobre os atributos físicos do solo e o desenvolvimento e a produtividade da cultura da canola. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Campus Cerro Largo/RS. Os tratamentos utilizados correspondem a: Plantio Direto (PD); Plantio Direto com Compactação Adicional (PDc); Plantio direto sobre área anteriormente sob cultivo mínimo (ESC 2014); Cultivo mínimo com escarificação e gradagem niveladora (ESC 2015). O delineamento experimental utilizado foi o bloco ao acaso com quatro repetições. As propriedades físicas do solo avaliadas durante o desenvolvimento da cultura foram: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. A resistência do solo a penetração e a umidade do solo foram acompanhadas no decorrer do ciclo da cultura. A avaliação qualitativa do desenvolvimento do sistema radicular, através do método do perfil cultural foi realizada no estágio de florescimento da cultura. A densidade do solo no ESC2015 foi inferior em relação aos demais tratamentos, apresentou valor de $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,00 – 0,10 m. A porosidade total e macroporosidade com valores respectivos de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas camadas 0,00 – 0,10 m foram observadas no ESC2015, diferindo estatisticamente dos outros tratamentos. A retenção e disponibilidade de água no solo foram menores no ESC2015, não afetando a produtividade. A porosidade de aeração apresentou valores de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no ESC2015, que diferiram significativamente do PDc e PD os quais se mostraram inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ durante período com elevada precipitação. Os valores de resistência a penetração foram superiores a 2 MPa nas camadas 0,00 – 0,10 m do PDc e PD em todos os períodos de avaliação, apresentando diferença significativa aos valores encontrados em ESC2014. A produtividade da cultura não foi afetada pelo uso de diferentes sistemas de manejo devido a sempre haver disponibilidade de água e aeração na zona de desenvolvimento das raízes em todo o ciclo da cultura.

Palavras - chave: Compactação do solo. Escarificação. Desenvolvimento radicular. Produtividade. *Brassica napus* L.

ABSTRACT

The culture of canola (*Brassica napus* L.) is entering the fast-paced world market in recent decades, due to their high yield and use of recommendation in crop rotation and land use in the winter time systems. Great advances have been achieved in relation to technical knowledge of the culture and soil conditions favorable for the establishment and development of culture, but the study of the same in different soil type and climate conditions is essential. Evaluation and characterization of soil physical attributes are considered essential in order to obtain a favorable environment for the development of cultures. This study aimed to evaluate, in a oxisol, the influence of different management systems on soil physical properties and the development and productivity of the canola crop. The experiment was conducted in the experimental area of the Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Campus Cerro Largo / RS. The treatments correspond to: Till (PD); Till with Additional Compression (PDc); Tillage on a previous year under minimum tillage (ESC 2014); Cultivation with minimum scarification and leveling and rowing (ESC 2015). The experimental design was a randomized block with four replications. The soil physical properties evaluated during the development of culture were: bulk density, total porosity, macroporosity and microporosity. The soil resistance to penetration and soil moisture were accompanied during the crop cycle. The qualitative assessment of the development of the root system, through the cultural profile method was carried out in the flowering stage of the crop. The density of the soil (ESC2015) showed significant difference compared to the other treatments, with 1.11 Mg m^{-3} values in the layer (0.00 to 0.10 m). Total porosity and macroporosity with respective values of $0.61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ and $0.20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in layers (0.00 to 0.10 m) were observed in (ESC2015), differing from the other treatments. The water retention in the soil was lower (ESC2015), not affecting productivity. The aeration porosity showed values of $0.38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in (ESC2015), which differed significantly from (PDc and PD) which proved to be less than $0.10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ during a certain period of the cycle. The penetration resistance values were greater than 2 MPa in layers (0.00 to 0.10 m) of PDc and PD in all periods appraisal, presenting a significant difference to those found in ESC2014. Most root restriction occurred at 0.05 m depth in PDc. The smallest restriction occurred in ESC2015, and root development were similar in all treatments. The crop yield was not affected by the use of different management systems due to always be availability of water and aeration in the root development zone throughout the crop cycle.

Key - words: Soil compaction; Scarification; Root development; Productivity; *Brassica napus* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Moldura (40 X 50 cm) e quadrículas (5 X5 cm) utilizada para determinação de raízes na cultura da canola.....	31
Figura 2 - - Croqui apresentando a área experimental e os tratamentos utilizados para avaliação.	33
Figura 3 - Processo de escarificação.	34
Figura 4 - Processo de compactação das parcelas da área experimental.....	34
Figura 5 – Amostragem do solo para análise de solo.....	36
Figura 6 - Anéis de aço inox utilizados para coleta de amostras.....	36
Figura 7 - Coleta de amostras preservadas.	37
Figura 8 - Equipamento utilizado para determinação da umidade do solo durante o ciclo da cultura.	38
Figura 9 - Resistência à penetração para quatro datas durante o ciclo da cultura da canola em Latossolo sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras horizontais comparam s valores de RP, por profundidade, pelo teste DMS (5 %). (ns: não significativo).	43
Figura 10 - Variação da Umidade volumétrica (θ) do solo no decorrer do do ciclo da canola até os 20 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de umidade do solo pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).	44
Figura 11 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura da canola. Dados obtidos da estação meteorológica da UFFS – Campus Cerro Largo.	46
Figura 12- Armazenamento total de água no solo (mm) no decorrer do ciclo da cultura da canola em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de armazenamento de água disponível pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).	46
Figura 13 - Armazenamento de água disponível no solo (mm) no decorrer do ciclo da cultura da canola em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo	

mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de armazenamento de água disponível pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).....	47
Figura 14 - Porosidade de aeração (PA) do solo durante o ciclo da cultura da canola em quatro sistemas de manejo de solo (PD – Plantio direto; PDc – plantio direto com compactação adicional; ESC2014 – cultivo mínimo; ESC 2015 – escarificação). Barras verticais comparam valores de porosidade de aeração pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).....	48
Figura 15 - Distribuição do sistema radicular da canola em Latossolo Vermelho sob sistema de cultivo - Plantio Direto com compactação adicional, (A) perfil referente à parcela 13 e bloco 4;. Sistema de cultivo - Plantio direto; (B) perfil referente à parcela 11 e bloco 3; Sistema de cultivo mínimo com escarificação 2015; (C) perfil referente à parcela 10 e bloco 3; Sistema de cultivo mínimo com escarificação em 2014. (D) perfil referente à parcela 16 e bloco 4.....	49
Figura 16 - Presença de pêlos radiculares em raízes secundárias no sistema de manejo ESC2015.....	51
Figura 17 - Produtividade da cultivar Diamond obtida em Latossolo Vermelho.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de área, produtividade e produção de CANOLA.	18
Tabela 2 – Resultado de análise do solo correspondente à camada de 0 – 10 cm.....	37
Tabela 3- Resultado de análise do solo correspondente à camada de 10 – 20 cm.	37
Tabela 4 - Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para diferentes sistemas de cultivo e camadas no Latossolo Vermelho.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.1.1	Objetivos específicos.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS DA CULTURA	17
2.2	ÁREA CULTIVADA, RENDIMENTO DE GRÃOS E PRODUÇÃO DA CANOLA NO BRASIL E MUNDO	17
2.3	LOCAIS E ÉPOCA DE SEMEADURA	19
2.4	EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS PARA O CULTIVO DA CANOLA	20
2.4.1	Temperatura do ar	20
2.4.2	Condições de solo e necessidade hídrica	21
2.5	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO PARA CULTIVO DA CANOLA	22
2.6	MANEJO DO SOLO E ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)	23
2.7	COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS ...	24
2.7.1	Indicadores do grau de compactação do solo.....	26
2.8	ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS	26
2.8.1	Densidade do solo	27
2.8.2	Porosidade total do solo	28
2.8.3	Resistência do solo à penetração (Rp)	28
2.8.4	Método do perfil cultural.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	LOCAL: SOLO E CLIMA	32
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COLETA DE DADOS.....	32
3.3	PREPARO DA ÁREA E SEMEADURA	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE TOTAL	40
4.2	RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO	42

4.3 UMIDADE DO SOLO	44
4.4 ARMAZENAMENTO TOTAL DE ÁGUA E DISPONIBILIDADE TOTAL DE ÁGUA.....	45
4.5 POROSIDADE DE AERAÇÃO	47
4.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA CULTURA ATRAVÉS DO MÉTODO DO PERFIL CULTURAL.....	49
4.7 PRODUTIVIDADE DA CANOLA - CULTIVAR DIAMOND	52
5 CONCLUSÕES	53

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de produção agrícola baseado no uso intensivo de insumos e constantes inovações tecnológicas, tanto na área de equipamentos agrícolas como em melhoramento genético de plantas, ambos tendo como prioridade permitir uma melhor eficiência no manejo e produtividade das culturas é visto como importante. Entretanto foi deixado de lado a preocupação com o agroecossistema que devido ao uso e manejo inadequado está sendo afetado.

A conservação do solo é tida como fundamental para que se obtenham resultados produtivos significativos e principalmente para que as condições químicas, físicas e microbiológicas do solo se mantenham acima das mínimas necessárias para o estabelecimento e desenvolvimento das culturas. Todavia, com a modernização muitas das técnicas foram abandonadas e o solo tornou a ser explorado intensivamente e com o mínimo de precauções.

A monocultura persiste em muitas propriedades e vem acarretando o desequilíbrio de todo o sistema produtivo. Alguns dos problemas que podem ser desencadeados pelo cultivo frequente de apenas um único tipo de produto agrícola são a resistência de plantas daninhas, aparecimento de pragas e doenças o que dificulta o controle e resulta em perdas de produtividade devido à desestruturação das condições químicas, físicas e biológicas do solo.

A cultura da canola (*Brassica napus* L.), a qual pertence à família das crucíferas, resultado do melhoramento genético da colza, vem nos últimos anos tomando posições importantes no desenvolvimento econômico do Brasil, especialmente na região sul do país onde possui facilidade de adaptação devido às condições edafoclimáticas disponíveis.

No Brasil a cultura da canola foi introduzida em meados de 1974 no Rio Grande do Sul tendo posteriormente sua dispersão para demais regiões com capacidade de adaptação da mesma. Essa cultura não teve muito destaque em um primeiro momento, devido ao uso de cultivares não adaptadas ao clima encontrado e devido à falta de interesse por parte de instituições e pessoas na busca de informações referentes ao cultivo e manejo da mesma.

Com o passar dos anos à necessidade de obter produtos alternativos no mercado para sustentar as necessidades da população em vários aspectos, fez com que a canola

tivesse reconhecido o seu potencial nos sistemas produtivos do Brasil. Atualmente são gerados subprodutos tanto para alimentação humana (óleo de canola), alimentação animal (farelo com alto teor de proteína 24 a 28%) usados na formulação de rações, além de ser utilizado como fonte de energia (biocombustível).

Na agricultura a sua importância se tornou notória no momento em que fora observado a necessidade de melhorar o gerenciamento das tecnologias disponíveis e o possível manejo do solo que, segundo (STRECK et al, 2008,p.9) é um recurso natural insubstituível para a agricultura. A partir dessas concepções a canola, cultura de inverno tornou a ser implantada na rotação de culturas e vem apresentando resultados satisfatórios em projeções de rotação nas lavouras. A cultura combinada com outras práticas, como semeadura direta e utilização de culturas de cobertura garantiram melhorias no cultivo.

No decorrer do estudo será retratada a importância de conhecer e manejar de forma adequada as condições físicas de solo, que para muitos autores são tidas como objeto de menor preocupação para se obter sucesso produtivo no cultivo da canola. A pouca disponibilidade de informações referentes a resultados dos atributos físicos encontrados em diferentes sistemas de manejo e a influência dos mesmos sobre o estabelecimento, desenvolvimento, crescimento radicular e produtividade desperta o interesse do desenvolvimento do experimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo e manejo do solo, relacionando o comportamento de alguns atributos físicos do solo no estabelecimento da cultura, no desenvolvimento radicular e produtividade da mesma no campo.

1.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar a densidade e porosidade do solo em camadas diferenciadas do solo e definir limites críticos ao desenvolvimento da cultura;
- Avaliar a resistência do solo a penetração e os níveis de compactação encontrados nos sistemas de manejo adotados;
- Monitorar as condições de umidade do solo em diferentes sistemas de manejo e níveis de compactação do solo para cultura da canola;

- Avaliar a distribuição do sistema radicular encontrado no solo relacionando com o desenvolvimento e produtividade da cultura nas diferentes condições encontradas;

1.2 JUSTIFICATIVA

É notório que a partir de 1970 começou no Brasil a intensificação e o uso de novas técnicas produtivas que objetivavam o desenvolvimento da agricultura, através do aumento da produtividade nas lavouras e uma possível conservação do solo, a qual se encontrava em níveis elevados de degradação.

A adoção do sistema plantio direto mostrou-se efetiva e apresentou resultados positivos por um determinado período. Entretanto o não cumprimento e adoção de seus princípios resultaram em efeitos adversos e novamente em desequilíbrio do sistema agrícola. Os efeitos ocasionados referem-se à desestruturação das condições físicas do solo, um dos fatores responsáveis pela promoção de condições ideais ou limitantes para o desenvolvimento vegetal.

A compactação do solo é considerada um problema antigo e que com as inovações tecnológicas e a intensificação do uso de máquinas maiores e mais pesadas fez com que a mesma continuasse a progredir e atingir diferentes camadas, dependendo do manejo adotado na área agrícola, (REICHERT et al., 2007).

No sistema plantio direto a camada em que se observa um maior impedimento de crescimento radicular está localizada na superfície entre os 8 e 15 cm (SILVA, 2002; GENRO JUNIOR et al., 2004; SUZUKI, 2005). Essa impermeabilização, não permite que as raízes explorem camadas mais profundas acomodando-se na superfície, tornando a cultura suscetível a condições adversas de tempo, como a ocorrência de veranicos.

A partir desta problemática é que se torna necessário procurar alternativas de manejo sustentáveis e que não causam impactos negativos no sistema produtivo. Uma dentre as várias possibilidades existente e considerada fundamental para o sucesso do sistema plantio direto é a rotação de culturas.

“A cultura da canola se insere perfeitamente em um sistema de rotação de culturas, em sucessão a cultura da soja, cultura de verão e antecedendo a cultura do milho”(TOMM et al., 2010, p.59).

Desenvolver um estudo referente ao uso em diferentes condições de manejo cultura no município de Cerro Largo é de grande importância tendo a significância com

a qual a cultura está inserida no estado do Rio Grande do Sul. Em levantamento realizado no mês de julho/2015 verificou-se que houve redução de 10,2% na área semeada em comparação com a safra 2013/14, sendo previsto o cultivo de 35 mil hectares que deverão produzir ao redor de 1500 kg/ha (CONAB, 2015).

Tendo a cultura da canola como de grande importância para diversificação das propriedades rurais, além de se mostrar eficiente na melhoria e aperfeiçoamento da agricultura é fundamental que se tenha conhecimento aprofundado em relação ao seu comportamento quando exposta a diferentes condições de manejo do solo. Esse detalhamento sobre a relação da cultura com características físicas de solo poderá possibilitar melhorias no processo produtivo e consequentemente aumentar a eficiência produtiva da canola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS DA CULTURA

A canola (*Brassica napus* L. Var. oleífera) é uma planta oleaginosa anual, com hábito de crescimento indeterminado, com presença significativa de ramos laterais (LUZ, et al., 2013). Pertence à família das *Brassicaceae*, também denominadas de crucíferas e ao gênero *Brassica* (TOMMet al, 2009).

Sua denominação no Brasil concerne na utilização de um termo genérico internacional, sendo que a “canola” resulta do melhoramento genético da colza (*Brassica napus*) e sua composição é baseada em teores menores de 2% de ácido erúico e teor inferior a 30 micromoles de glucosinolatos, Canola (1999 apud TOMM, 2007 p.4).

Possui um sistema radicular pivotante, com presença significativa de ramificações secundárias. O caule é herbáceo, ereto. O porte da cultura varia de 0,5 a 1,7 m de altura. As folhas inferiores são pecioladas e constituem a roseta. Nos estádios posteriores tem-se a elongação do caule e as folhas emitidas são lanceoladas. As flores são de tamanho pequeno de coloração amarela, as quais se dispõem agrupadas e formam o racemo (CAZALI, 2014).

Os frutos são do tipo siliquas que possuem em torno de 6 cm de comprimento, sendo este variável de acordo com a variedade utilizada. A semente é de formato esférico, de tamanho muito pequeno em torno de 2 mm de diâmetro e quando madura possui coloração marrom, García (2007 apud CAZALLI, 2014).

2.2 ÁREA CULTIVADA, RENDIMENTO DE GRÃOS E PRODUÇÃO DA CANOLA NO BRASIL E MUNDO

Resultados de pesquisa apontam que a canola é a terceira planta oleaginosa mais produzida no mundo e o consumo da mesma é significativo em países desenvolvidos. Os principais países produtores mundiais de canola são a União Europeia (EU- 27), Canadá, China e Índia, sendo que o consumo de seus subprodutos nesses locais tem sido superior a produção dos mesmos (CONAB, 2014).

Segundo dados do IBGE (2008), no Rio Grande do Sul, as maiores áreas cultivadas com canola localizam-se na região das Missões, sobretudo os municípios de Santo Ângelo, Entre-Ijuís, Giruá, Guarani das Missões, São Luiz Gonzaga e Bossoroca. Conforme levantamento realizado a área de canola tem variado expressivamente ano a ano: cresceu 35.022 ha em 2009 para 41.976 ha em 2010 e atingido 59.100 ha em 2011, reduzindo a 48.704 ha em 2012, 42.168 ha em 2013 (TOMM et al., 2010).

A principal explicativa para evolução produtiva da cultura é referente ao interesse de pesquisa e cultivo da cultura que no Brasil se deu por meados de 1974, sendo a região noroeste do Rio Grande do Sul com incentivo da cooperativa COTRIJUIÍ a primeira a ter implantada em suas lavouras a cultura da canola. A cultura teve no decorrer dos anos sua área de cultivo expandida para outros estados (Paraná, Goiás, Mato Grosso), (TOMM et al., 2010).

As áreas com cultivo de canola e sua produtividade no estado do Rio Grande do Sul vêm aumentando no decorrer dos últimos anos como pode ser observado na Tabela 1 abaixo, adaptada com dados provindos da CONAB (2015).

Tabela 1 - Comparativo de área, produtividade e produção de CANOLA.

REGIÃO/ UF	Área (mil ha)			Produtividade (kg/ha)			Produção (mil toneladas)		
	Safra	Safra	VAR.	Safra	Safra	VAR.	Safra	Safra	VAR.
	2014	2015	%	2014	2015	%	2014	2015	%
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
SUL	44,7	40,1	(10,3)	812	1.529	88,3	36,3	61,3	68,9
PR	5,7	5,1	(10,5)	1.436	1.728	20,3	8,2	8,8	7,3
RS	39,0	35,0	(10,2)	720	1.500	108,3	28,1	52,5	86,8
CENTRO-SUL	44,7	40,1	(10,3)	812	1.529	88,3	36,3	61,3	68,9
BRASIL	44,7	40,1	(10,3)	812	1.529	88,3	36,3	61,3	68,9

Fonte: adaptada, CONAB.

Nota: Estimativa em Julho/2015.

“O rendimento de grãos obtidos pelos agricultores brasileiros que já cultivam canola a mais tempo e que recebem assistência de técnicos com experiência e maior domínio da tecnologia tem, geralmente, atingido 30 sacas/ha ou 1800 kg/ha”(TOMM et al., 2010, p.17).

Esse resultado é possível devido o interesse de fomento das empresas ali existentes as quais disponibilizam de sementes de alta qualidade (importadas em sua grande totalidade da Austrália), garantem o recebimento da produção, prestam assistência técnica qualificada em conjunto com pesquisadores que proporcionam informações das tecnologias de manejo disponíveis e necessárias para sucesso produtivo da cultura (TOMMet al., 2010).

Além destas, outras razões importantes vem com o transcorrer dos anos propiciando o aumento das áreas cultivadas de canola no Brasil. Dentre elas está à utilização frequente na alimentação humana devido à composição nutricional dos grãos que possuem em torno de 38% de óleo, a utilização na formulação de ração para alimentação animal devido seus teores elevados de proteína que variam de 24 a 27%. Ainda a produção de agroenergéticos (biodiesel) os quais são direcionados para exportação a países com predominância de invernos rigorosos nos quais em algumas situações o cultivo da mesma é dificultado (TOMM, 2007).

A utilização da cultura pode propiciar certo equilíbrio e manutenção de condições ideais para o estabelecimento de culturas posteriores. A cultura representa uma ótima alternativa para rotação de culturas, geração de alternativa de renda para o agricultor, além de solucionar problemas referentes a ocupação de áreas que em alguma época do ano ficam em pousio (TOMM, 2009).

2.3 LOCAIS E ÉPOCA DE SEMEADURA

Mundialmente as regiões situadas em latitudes que variam entre 35° e 55° graus, com predominância de clima temperado, são consideradas ideais para o desenvolvimento da canola do tipo invernal, a qual se caracteriza por ser semeada no outono e permanecer no campo durante a estação do inverno coberta por neve e colhida no verão seguinte, (TOMMet al., 2010).

Como afirmam Barniet al (2003 apud CAZALI, 2014, p.11), “o cultivo das espécies tem se expandido para várias regiões do globo em função da grande quantidade

de híbridos e variedades existentes”. No Brasil, o cultivo de variedades do tipo invernal é impossibilitado pelo fato de mesmo em latitudes de 30 graus sul o número de horas de frio necessárias não serem o suficiente para o seu desenvolvimento, (TOMMet al., 2010).

Todavia algumas regiões do país apresentam alto potencial para desenvolvimento da cultura, sendo, entretanto seu cultivo no país restrito a variedades de primavera. Estas possuem como característica principal baixa sensibilidade ao fotoperíodo, o que permite seu cultivo em regiões de baixa latitude que variam entre 30 a 6 graus com predominância de clima subtropical e tropical (TOMMet al., 2010).

As primeiras lavouras no Brasil eram implantadas com cultivares de canola de polinização aberta, as quais com o passar dos anos foram substituídas por híbridos que mesmo tendo um custo superior de implantação, devido o alto valor da semente, apresentaram aspectos positivos na produção. Uniformidade de maturação e redução do ciclo produtivo são as características marcantes dos híbridos, que remetem a diminuição das perdas elevadas na colheita e minimizam os problemas de atraso na implantação das culturas de verão subsequentes - soja/ milho (TOMM et al., 2009).

O desenvolvimento de cultivares resistente a doença canela - preta causada pelo fungo (*Leptosphaeriamaculans*) a qual exterminou lavouras por meados de 1990 propiciou o melhoramento genético e criação de híbridos com alta resistência ao fungo causador da doença. A partir desse momento quase totalidade das sementes implantadas em lavouras do Brasil são providas do programa de melhoramento genético australiano (TOMM et al., 2010).

2.4 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS PARA O CULTIVO DA CANOLA

2.4.1 Temperatura do ar

Como já abordado anteriormente a canola é uma espécie de clima frio e tem seu desenvolvimento favorecido em ambientes que possuam temperaturas do ar amenas, na faixa dos 20° C durante todo ciclo (TOMMet al., 2009).

DALMAGO et al. (2010), enfatizam que a temperatura é a variável que controla o desenvolvimento das plantas. No momento em que a temperatura do ar excede os 27°C o potencial de rendimento da cultura pode ser afetado, devido o possível abortamento de flores que reduz a produtividade da cultura (TOMM et al, 2010). Temperaturas muito baixas com ocorrência de geada (-3°C a -4°C, na superfície do

solo) são prejudiciais e podem comprometer a lavoura se esta estiver no desenvolvimento inicial da cultura ou pleno florescimento (TOMM et al., 2008).

A escolha de locais e época de semeadura são fundamentais para se obter sucesso produtivo da cultura. Os locais que devem ser priorizados são os que apresentam menor suscetibilidade a ocorrência de geadas. É sugerido que sejam utilizadas áreas onde se tenha um escoamento natural do ar frio e que as mesmas se encontrem em locais com maior incidência de radiação solar. Já a época de semeadura é recomendada ser feita logo após a liberação do zoneamento para a cultura (TOMM et al., 2009).

Levando em consideração a necessidade de condições edafoclimáticas favoráveis para o desenvolvimento da canola e conhecendo a diversidade de riscos associados à produção da cultura, foi elaborado o zoneamento agroclimático para a cultura (TOMM et al., 2008).

O Zoneamento Agrícola para a cultura da canola no estado do Rio Grande do Sul é definido pela portaria 329/2012 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. O objetivo desta portaria é identificar os municípios e os períodos de semeadura para o cultivo da canola. Para o município de Cerro Largo é indicada a semeadura no período de 11 de abril a 30 de junho, sendo que o período é estabelecido levando em consideração o tipo de solo predominante e variedade recomendada (ciclo da cultura).

É importante ressaltar que o potencial de rendimento da cultura da canola é maior quando a semeadura é realizada em meados de abril, sendo que este potencial tende a diminuir a cada dia de atraso na semeadura após a data que lhe é conferida no zoneamento (TOMM et al., 2004).

2.4.2 Condições de solo e necessidade hídrica

A cultura possui a característica de se desenvolver em variados tipos de solo, sendo solos de textura média (francos, franco – argiloso) e argiloso que ela demonstra maior capacidade de adaptação. Condições de média e alta fertilidade são consideradas ideais, Tagolet al (2006 apud CAZALI, 2014, p.12).

Solos profundos e bem drenados são considerados ideais para a cultura da canola. O estabelecimento da cultura em áreas que possuem tendência de

encharcamento deve ser evitado, sendo estas altamente prejudiciais à cultura (TOMM et al., 2009).

O pH do solo e a presença de altos teores de alumínio no solo afetam o desenvolvimento da cultura. Desta forma é recomendado que o pH seja corrigido preferencialmente para 6,0. O indicado é fazer a correção do solo de 3 a 6 meses antes da semeadura da cultura. (SBCS, 2004). Áreas que possuam solos com teores altos de acidez e infestadas com a cultura do nabo não são recomendadas para o cultivo de *Brassica napus* (TOMM et al., 2009).

Outro fator que afeta o estabelecimento e posterior desempenho da cultura é a disponibilidade de água no solo. A ocorrência de déficit hídrico na germinação/emergência das plantas e durante a floração resultam em perdas significativas. Entretanto, o excesso de precipitações pluviométricas e ocorrência de ventos intensos são desfavoráveis e limitam o desenvolvimento das plantas. Com relação a essa condição o recomendado é a implantação da mesma em áreas que predisponham de 312 a 500 mm, durante o ciclo (TOMM et al., 2009).

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO PARA CULTIVO DA CANOLA

O estabelecimento da cultura da canola é totalmente dependente de equipamentos agrícolas. Sendo que as operações consistem em dessecação e posterior semeadura (TOMM et al., 2010).

As tecnologias utilizadas para implantação da cultura no campo são as mesmas para implantação e manejo de outras espécies de grãos como (soja, milho, trigo). Entretanto a regulação da semeadora e alternância de peças é necessária, sendo indispensável o uso do kit com disco plástico alveolado, específico para canola quando for utilizada a semeadora de grãos graúdos (TOMM et al., 2009). Ainda pode-se fazer uso de semeadoras que possuem um reservatório de sementes menor, conhecido por “caixa de pastagens” ou ainda o que se encontra em grandes lavouras na região central do país é a utilização de semeadoras a vácuo (TOMM et al., 2010).

É notório que a implantação de lavouras de canola exige conhecimento e experiência de assistentes técnicos e agricultores. É evidente que a correta regulação da semeadora facilita o sucesso produtivo da cultura. Características como tamanho da semente que corresponde a um diâmetro menor de 2 mm, peso de mil grãos de 3 a 6

gramas e o espaçamento entre linhas preferencial de 17 cm devem ser tomados como base (TOMM et al., 2009).

A regulagem da semeadora é fundamental para que se tenha um estande uniforme de plantas e para garantir um melhor potencial de rendimento. O recomendado é que se tenha em torno de 40 plantas/ m², equivalente a 3 kg de semente/ha (TOMM et al., 2009).

Outro fator importante que deve ser considerado no momento anterior a semeadura da canola é a profundidade em que as sementes serão depositadas no solo. Recomenda - se o ajuste da roda limitadora de profundidade de 1- 2 cm, para que possa ocorrer uma possível uniformização na deposição das sementes (TOMM et al., 2009).

2.6 MANEJO DO SOLO E ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)

O cultivo mundial da canola e de outros grãos vem nos últimos anos adotando o uso de tecnologias de cultivo conservacionista, sendo uma delas o Plantio Direto (PD). Esta forma de produzir consiste em manter a superfície do solo coberta por plantas e por restos vegetais (palhada da cultura anterior), sendo que o preparo do solo é limitado ao sulco de semeadura onde será depositada a semente e fertilizante (TOMM et al., 2010).

A canola, no Brasil, é cultivada exclusivamente sob o SPD, o que constitui vantagem competitiva, econômica e ambiental muito importante em relação aos grandes produtores mundiais da cultura, tais como China, Europa e Índia, os quais, na maioria das áreas, cultivam a canola em sistemas de manejo com revolvimento de solo (TOMM et al 2010, p.60).

Existem alguns estudos realizados na Itália os quais compararam o sistema de cultivo convencional com o cultivo mínimo do solo. O objetivo inicial do estudo era em relação à economia de energia para o preparo do solo. Posteriormente o estudo inclui a avaliação dos efeitos de diferentes formas de manejo com o rendimento das culturas, conservação da fertilidade do solo e problemas com erosão (BONARI et al., 1995).

A adoção da semeadura direta pelos agricultores, com rotação de culturas e manutenção de plantas de cobertura afeta indiretamente a estabilidade da estrutura do solo, devido o incremento gradativo da matéria orgânica e atividade biológica do solo nas camadas superficiais. Além de minimizar problemas relacionados à erosão hídrica (REICHERT et al., 2003).

Resultados referentes a experimentos realizados a campo indicam que à realização do cultivo da canola em PD é suscetível ao aumento de danos causados pela geada, sendo estes proporcionais à quantidade de palha existente na linha de semeadura e próxima a planta. Isso é devido o solo apresentar coloração mais escura do que a palha e absorver mais calor durante o dia, liberando-o a noite e mantendo a temperatura mais elevada do que onde a palha refletiu maior quantidade de radiação durante o dia(TOMM et al., 2010, p.41).

O cultivo da cultura é predominante em propriedades de pequeno e grande porte, sendo a variação da área de 10 a 100 hectares, apresentando uma boa opção de uso da terra. De acordo com (TOMM et al., 2010, p.25) “a decisão de plantar canola se contrapõe a deixar as áreas em pousio, que favorece a degradação dos solos causada pela lixiviação de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio”.

A escolha da área para realizar o cultivo da canola é um dos fatores que é considerado importante para que se obtenha sucesso produtivo. Recomendação é que sejam utilizadas áreas que possuam alta fertilidade, estando essas aliadas a aplicação suficiente de nutrientes especialmente (nitrogênio e enxofre) e a realização da semeadura uniforme a qual terá influência no estabelecimento da população de plantas(SBCS, 2004).

De acordo com o levantamento realizado em número expressivo de lavouras no Canadá, Thomas (2003, apud TOMM et al, 2010, p.18) concluiu que “o rendimento da canola é mais limitado por falhas em aplicar, modificar e ajustar fatores de produção dentro dos sistemas de produção do que pelas condições de solo e clima”.

2.7 COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS

A adoção de técnicas de cultivo que visam à diminuição do processo de degradação do solo vem se mostrando eficientes se comparadas ao sistema de manejo convencional. Todavia a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo apresentam índices elevados de compactação do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

A compactação é tida como um processo antrópico referente ao acúmulo de tensões recebidas em uma área, através do pisoteio animal e uso contínuo da mecanização (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). O grau de compactação de

uma área é variável e depende do manejo de solo adotado. As diferenças estão relacionadas a intensidade de preparo, ao tráfego de máquinas, histórico de uso da área, condição do solo no momento de preparo (umidade) e o acúmulo natural dos restos culturais (KLEIN E BOLLER, 1995; SECCO et al., 2004).

Os principais efeitos ocasionados pelo processo são referentes ao aumento da densidade do solo nas camadas superficiais e a dificuldade de absorção de água no solo, devido à redução dos poros. Nesse sistema de manejo as camadas superficiais, próximo aos 0,10 m de profundidade são as mais atingidas (GENRO JUNIOR et al., 2004).

A ocorrência de níveis elevados de compactação ocorre principalmente pelo não cumprimento dos princípios estabelecidos pelo Sistema Plantio Direto (DENARDIN et al., 2008). As consequências podem ser severas, estando relacionado com disponibilidade limitada de água, ar e nutrientes as plantas, o que desfavorece o crescimento radicular em regiões mais profundas e interfere na produtividade da cultura (MORAES et al., 1995).

A identificação da compactação do solo pode ser constatada tanto pela densidade como pela resistência do solo a penetração. Estes dois indicadores possuem relação com o crescimento radicular, sendo que o sistema radicular pode ser considerado o primeiro componente a refletir os efeitos da compactação de um solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Os métodos mais utilizados para descompactação em sistemas onde predomina a semeadura direta são os métodos mecânicos ou biológicos. Dentre os mais utilizados são a escarificação e rotação de culturas. A escarificação apresenta bons resultados, devido à produção de superfícies mais rugosas, menor superfície de contato, menor poder desagregador do solo e manutenção de quantidades maiores de restos culturais sobre a superfície (CARVALHO FILHO et al., 2007).

A rotação de culturas, método biológico pode ser utilizada tanto na prevenção quanto no controle da compactação. Tendo as culturas utilizadas para esse fim, sistema radicular vigoroso capaz de se desenvolver em camadas altamente compactadas e criar poros onde às raízes de culturas posteriores possam se desenvolver (SILVA e ROSOLEM, 2002); (MUZILLI, 2006).

A cultura possui um sistema radicular pivotante, com presença significativa de raízes secundárias (BEVILAQUA et al., 2008). A ocupação de áreas maiores de solo se dá no momento em que a raiz principal encontra camadas de impedimento para se aprofundar (CAZALI, 2014). Estudos e resultados de experimentos referentes à

interferência da compactação e limites críticos para a cultura da canola não se encontram disponíveis em literatura brasileira.

Atualmente tem-se um grande número de informações relacionados ao nível de compactação do solo cultivado sob Sistema Plantio Direto e as suas consequências no desenvolvimento das plantas. Portanto ainda concernem dúvidas sobre qual o estado de compactação do solo que afeta negativamente a produção das culturas e qual o limite crítico das propriedades físico-mecânicas que limitam o desenvolvimento das plantas (SECCO, 2003).

2.7.1 Indicadores do grau de compactação do solo

O grau de compactação no solo pode ser determinado por indicadores qualitativos e quantitativos. O método qualitativo permite apurar na propriedade pelo próprio agricultor em conjunto com o assistente técnico o grau de compactação existente na lavoura. Mesmo sendo um método visual e subjetivo é muito utilizado no Brasil devido a sua simplicidade e obtenção imediata de resultados referente as condições físicas do solo, (SUZUKI, 2005).

Dentre os indicadores qualitativos estão: padrão de desenvolvimento da lavoura, características da superfície do solo, qualidade da estrutura do solo e o crescimento, morfologia e distribuição de raízes, (DEBIASiet al., 2008). Sendo o último de interesse para o estudo desenvolvido.

O desenvolvimento radicular é uma das formas de verificar a existência de camadas de impedimento no solo e validado por muitos autores como sendo o primeiro componente a sentir os efeitos da compactação, (REICHERT et al., 2007). Na sequência a avaliação do crescimento da parte aérea e produtividade da cultura podem ser consideradas.

Dentre os indicadores do estado de compactação do solo possíveis de serem quantificados estão a densidade do solo e a resistência mecânica do solo a penetração, discutidos na sequência. Mesmo fornecendo resultados eficientes ainda há dificuldades referentes à determinação de limites críticos devido à variação de clima, tipo de solo, manejo adotado, espécie implantada em distintos locais e anos, (DEBIASiet al., 2008).

2.8 ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS

A utilização de indicadores sejam eles visuais, físicos, químicos ou biológicos são fundamentais para determinação da qualidade do solo e avaliação da sustentabilidade do sistema de manejo adotado (CASÃO JÚNIOR, R. et al., 2006).

A escolha de indicadores para avaliação da qualidade física poderá ser realizada utilizando aqueles que primeiramente possuem relação direta com a produção da cultura, tenham potencial para medir a capacidade do solo de fornecer aeração e água suficiente para o crescimento do sistema radicular e ainda devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação (IMHOFF, 2002); Singer e Ewing (2000 apud CASÃO JÚNIOR et al., 2006).

Como reportado acima a determinação dos atributos físicos utilizados em avaliações no solo é fundamental. A partir disso têm-se como recorrentes: a avaliação da resistência à penetração, densidade do solo, porosidade total (macroporosidade e microporosidade), capacidade de infiltração de água no solo (PACHECO e CANTALICE, 2011).

REICHERT et al., (2007), reforçam a importância de avaliar um conjunto de propriedades físicas do solo, para o posterior diagnóstico do solo e para minimizar problemas de interpretações errôneas.

2.8.1 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) foi um dos primeiros parâmetros físicos utilizados para determinar o desenvolvimento radicular, além de ser a propriedade física mais estudada. Variações na mesma são influenciadas pela diferença no volume total de poros existentes (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

Em sistemas de manejo de cultivo conservacionista tem-se uma redução maior na porosidade total e nos macroporos, responsáveis pela infiltração da água e aeração do solo. Os poros maiores são os primeiros a serem destruídos quando ocorre a compactação do solo (REICHERT et al., 2007).

Os valores críticos de densidade estão relacionados com as características de solo (TORMENA et al., 1998) e sua variação em diferentes camadas do solo está relacionada com o manejo do solo adotado para o cultivo de determinada cultura.

Estudos realizados avaliando o estado de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos manejados sob sistema plantio direto, foi possível verificar que valores de densidade do solo de 1,62

Mg.m^{-3} e $1,54 \text{ Mg.m}^{-3}$ evidenciaram queda na produtividade da cultura do trigo e do milho, sendo que esses valores de densidade não afetaram a produtividade da soja em ambos Latossolos (SECCO, 2003).

Através da análise de dados de vários estudos realizados utilizando diferentes culturas em variados tipos de solo e alternadas formas de manejo do solo foi possível constatar que para as condições brasileiras, densidades acima de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ em condições de solo argiloso e $1,65 \text{ Mg.m}^{-3}$ para solos com textura média são considerados limitantes para o desenvolvimento radicular (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

2.8.2 Porosidade total do solo

A porosidade do solo é caracterizada como importante reguladora de propriedades ecológicas do solo, sendo que o valor de 30% de porosidade total é tido como limite mínimo aceitável para que ocorra desenvolvimento radicular (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

Os valores de macroporosidade dependem da cimentação entre os agregados de solo, sendo que nesses espaços fica retida a grande parte da água que posteriormente será utilizada pelas plantas. Valores entre $0,05$ e $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ apresentam-se restritivos ao rendimento da cultura da soja (TORMENA et al., 1998). Estudos indicam que o limite mínimo aceitável para que ocorra desenvolvimento radicular é de 10% de macroporos (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

Em estudo realizado por VAN LIER (2001), determina que os fatores: profundidade a ser aerada e o nível de consumo de O_2 influem diretamente na porosidade de aeração mínima necessária para que ocorra uma oxigenação completa do sistema radicular. Ainda, através de adequações e consulta a materiais existentes na literatura esse autor determinou que para culturas com um sistema radicular pouco profundo (aproximadamente 10 cm), os valores de porosidade de aeração deve se encontrar próxima de $0,05 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, enquanto em condições de maior profundidade do sistema radicular e alto consumo de O_2 , associadas a climas tropicais, a porosidade de aeração atingiria valores próximos de $0,20 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$.

2.8.3 Resistência do solo à penetração (R_p)

A resistência à penetração é um ótimo indicador físico que expressa o grau compactação de determinado solo. Através do uso da penetrometria é possível avaliar a resistência à penetração das raízes no solo (TORMENA e ROLOFF, 1996).

Atualmente a resistência do solo a penetração pode ser avaliada por meio de penetrógrafos ou penetrômetros automáticos de vários tipos, sendo as especificações de cone e de velocidade definidas pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (REINERT et al., 2007).

Os instrumentos utilizados na agricultura são caros e podem ser do tipo estático ou dinâmico, sendo que o primeiro possui como característica velocidade constante de penetração devido à existência de um sistema hidráulico. Já o segundo necessita do impacto de um corpo metálico para que ocorra a penetração. Em áreas com intuito de manejo de solo faz-se o uso de penetrômetros que exigem força manual. Isso gera uma grande variabilidade nos resultados, pois existe certa dificuldade em se estabelecer uma pressão constante ao longo do tempo de penetração e conseqüentemente que esta permita uma velocidade uniforme de penetração (REINERT et al., 2007)

No momento da aplicação do método que faz uso da penetrometria é necessário tomar como base os condicionantes físicos do solo (umidade e densidade do solo) que podem interferir nos resultados obtidos. (REICHERT et al.,(2007) constata que “um solo seco ou mais denso apresenta maior resistência se comparado a um solo úmido ou menos denso, enquanto, para uma mesma umidade, um solo argiloso apresenta maior resistência que um solo arenoso”.

O estabelecimento de níveis críticos de resistência do solo para o crescimento das plantas é de uma forma geral inviável, pois a resistência varia de acordo com o tipo de solo com a espécie cultivada (GENRO et al., 2004), além de ser influenciada pelos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Todavia alguns autores indicam que valores superiores de 2,0 MPa são considerados limitantes ao crescimento radicular para maioria das culturas de interesse, Taylor et al., (1966, apud SECCO et al 2009).

Segundo REICHERT et al., (2007), solos com textura argilosa que apresentarem resistência do solo à penetração superior a 2,0MPa, densidade maior que 1,30Mg.m⁻³ para classe textural muito argiloso e 1,40Mg.m⁻³ para classe textural argila e volume de macroporos inferior a 10 % evidenciam a existência de camadas compactadas.

Levando em consideração as características descritas acima se torna importante aliar este método a outras avaliações ou observações de campo. A complementação do

método com determinação da densidade do solo ou abertura de trincheiras para observação do crescimento radicular é importante para melhor embasamento dos resultados de resistência à penetração (REICHERT, et al., 2007).

2.8.4 Método do perfil cultural

A partir do século XX, quando na Europa iniciava a utilização intensiva da moto mecanização nas lavouras, tornou-se necessária a implementação nas avaliações da fertilidade do solo as condições físicas do solo, devido o uso frequente de máquinas nas lavouras.

O perfil cultural é um método de avaliação muito antigo, que inicialmente era utilizado como ferramenta pedagógica exclusiva para formação de estudantes de agronomia com propósito de avaliar as diferenças estruturais do solo ocasionadas por diferentes sistemas de manejo e uso do solo. Somente após a década de 70 o método começou a ser utilizado por pesquisadores franceses como variável para explicação de itinerários experimentais, (TAVARES FILHO, 1999).

O perfil cultural é feito através da abertura de trincheiras no solo, podendo estas ser realizada de forma manual ou mecânica. O corte é realizado no sentido transversal e perpendicular às linhas de semeadura.

A exposição das raízes no perfil é um procedimento que exige muito cuidado, dependendo da cultura as raízes são muito finas frágeis e podem acabar sendo destruídas. O processo pode ser feito utilizando enxadões e instrumentos especiais (facas, canivetes) ou ainda o uso de jatos d'água torna essa etapa do processo mais fácil.

Na sequência é colocada uma moldura sobre as raízes, a qual é subdividida em quadriculas (Figura 1), através da qual é feita a avaliação das mesmas e o registro de imagens para posterior análise em programas específicos.



Figura 1- Moldura (40 X 50 cm) e quadrículas (5 X5 cm) utilizada para determinação de raízes na cultura da canola.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL: SOLO E CLIMA

O experimento foi instalado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, no município de Cerro Largo (RS). O solo da área é classificado como um Latossolo Vermelho com 583,2 g kg de argila; 92,7 g kg de areia e 324,02 g kg de silte na camada de 0 a 30 cm. Conforme o triângulo de agrupamento textural esse solo se enquadra como argiloso. Conforme a classificação estabelecida pelo Ministério da agricultura (MAPA), referente ao zoneamento agroclimático a mesma é classificada como solo do Tipo 3, devido o seu teor de argila ser superior a 35%.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COLETA DE DADOS

A área utilizada para o experimento corresponde a 1600 m². O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo quatro blocos e cada um com quatro repetições, sendo as parcelas de 10 x 10 m. Os tratamentos foram diferenciados devido à simulação de diferentes condições estruturais do solo, através do preparo do mesmo e tráfego de máquinas. Na safra 2014-2015 foi implantada a cultura do girassol no verão e como cultura de inverno foi cultivada a canola.

Abaixo segue a descrição dos tratamentos que foram aplicados no decorrer dos meses de abril e maio de 2015 e representam diferentes condições de preparo, manejo e compactação do solo, podem ser observados também na (Figura 2) abaixo.

1 PD – Plantio direto consolidado. Essa condição representa o sistema de manejo histórico da área.

2 PDc – Plantio direto com compactação adicional. Essa objetivou aumentar o estado de compactação da área até atingir um estado de compactação representativo de solos já compactados. A compactação foi induzida pelo tráfego de trator agrícola da marca TL 75E da New Holland, com peso conhecido de 2719 kg sobre toda a área da parcela.

3 Esc 2014- Cultivo mínimo com escarificação até próximo de 20 cm de profundidade. O preparo foi realizado em outubro de 2014 antes da implantação da cultura do Girassol.

4 Esc 2015- Cultivo mínimo com escarificação e gradagem niveladora.

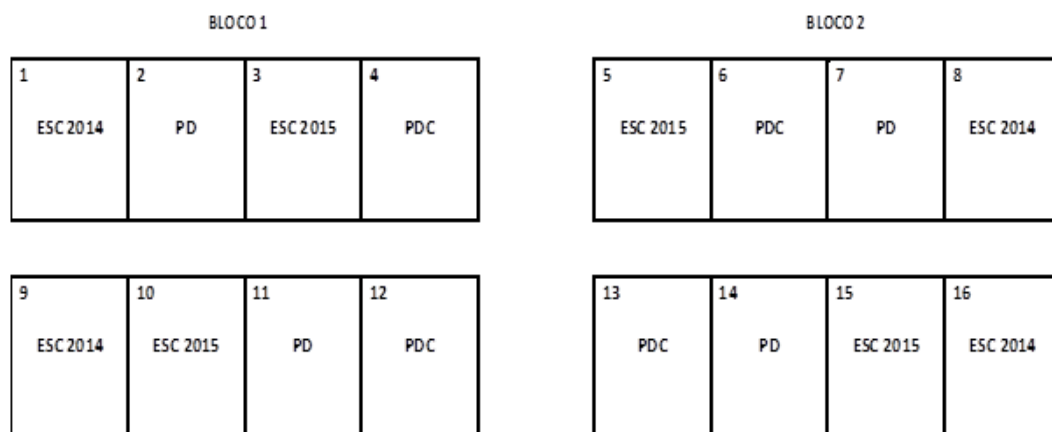


Figura 2 - - Croqui apresentando a área experimental e os tratamentos utilizados para avaliação.

3.3 PREPARO DA ÁREA E SEMEADURA

A dessecação da área foi realizada no dia 11 de abril de 2015. Utilizando Glifosato 480 Agripec com adição do adjuvante Nimbus. A dose utilizada foi de 2,5 l/ha de glifosato e 0,5 l para cada 100 litros de calda, respectivamente.

A escarificação da área foi realizada no dia 30 de abril de 2015, com o escarificador de 5 garras modelo AS 170 – 5 g da Metalúrgica Freitas (Figura 3). O processo de compactação adicional do solo nas parcelas (PDC) foi realizado no dia 07 de maio de 2015, por meio de passadas paralelas de um trator TL 75E da New Holland até toda parcela ser atingida (Figura 4). O peso do trator (4X2) com escarificador e operador é de aproximadamente 2710 kg.



Figura 3 - Processo de escarificação.



Figura 4 - Processo de compactação das parcelas da área experimental.

A coleta de solo foi realizada no dia 10 de abril de 2015. O solo foi coletado em 16 pontos da área experimental com auxílio de uma pá de corte. A profundidade amostrada foi de 0-10 e 10-20 cm, o solo foi homogeneizado e espalhado sob bandejas para secagem e posterior envio ao laboratório de análises (Figura 5).

A recomendação de adubação para a cultura foi baseada nos resultados da análise de solo realizada no laboratório de solos da SETREM no dia 20 de abril de 2015 (Tabela 2 e 3). Para determinação da quantidade de nutrientes necessários fora utilizado o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2004. A estimativa de rendimento utilizada foi de 1800 Kg/ha. Sendo assim o fertilizante que melhor se enquadrava a situação encontrada foi o Fosfato Diamônico - DAP 18-46-00, sendo a dose recomendada de 78 kg/ha. A necessidade de enxofre para a cultura foi de 36 kg/ha, sendo este misturado com o fertilizante no dia da semeadura. A adubação de cobertura foi feita com 16 kg/ha de ureia, fonte de N, quando a cultura se encontrar no estágio fenológico de quatro folhas desenvolvidas, conforme indicações técnicas para a cultura (TOMM et al., 2007).

A regulação da semeadora foi feita através da demarcação de 20 metros lineares, posterior percurso do trator e pesagem da quantidade de sementes e fertilizante liberado no trajeto. Sendo que a mesma permitiu utilizar 118 kg/ha de fertilizante e 3,5kg/ha de semente.

No dia 21 de maio de 2015 foi implantada a cultura da canola (*Brassica napus* L.). A variedade utilizada na área foi a DIAMONT, de ciclo precoce, porte médio, originária dos Estados Unidos. A densidade de semeadura foi de 72 sementes por m², com espaçamento entre linhas de 0,17 m. A semeadura da cultura foi realizada com uma semeadora de arrasto modelo KF 60 40- A.

Para avaliar o efeito do manejo e da compactação do solo sobre as propriedades físico - hídricas e a dinâmica da água no solo foram avaliados os seguintes parâmetros: a densidade do solo (DS), a porosidade, a resistência mecânica do solo à penetração (RP), a umidade e o armazenamento de água ao longo do ciclo da cultura. Nas plantas foi avaliada a distribuição do sistema radicular na fase de florescimento e a produtividade na maturação fisiológica.

Para determinar a densidade e a porosidade do solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em dois tipos de anéis de aço inox (Figura 6) com 0,062 m de diâmetro e 0,043 m de altura e com 0,053 m de diâmetro e 0,05 m de altura nas camadas de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm conforme a (Figura 7), após a semeadura (21

de maio de 2015). A partir destes resultados avaliou-se as possíveis alterações ocasionadas pela utilização de diferentes tratamentos. A determinação da densidade do solo e porosidade (macroporosidade e microporosidade) foi descrito de acordo com o método descrito pela EMBRAPA (2011).



Figura 5 – Amostragem do solo para análise de solo.



Figura 6 - Anéis de aço inox utilizados para coleta de amostras.



Figura 7 - Coleta de amostras preservadas.

Tabela 2 – Resultado de análise do solo correspondente à camada de 0 – 10 cm.

Amostra Nº	Área (ha)	Argila %	Classe Textural	PH H ₂ O 1:1	Índice SMP	M.O. %	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
							mg L ¹		Cmolc L ¹			
17721	1,0	74	1	5,0	5,6	3,4	10,0	320	6,3	2,0	0,8	6,9
Amostra Nº	CTC (Cmolc L ¹)		Saturação (%)		S	B	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe	Na
17721	Efetiva	pH7,0	Bases	Al	mg L ¹							
	9,9	16,0	61,9	8,0	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Tabela 3- Resultado de análise do solo correspondente à camada de 10 – 20 cm.

Amostra Nº	Área (ha)	Argila %	Classe Textural	PH H ₂ O 1:1	Índice SMP	M.O. %	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
							mg L ¹		Cmolc L ¹			
17720	1,0	90	1	5,3	5,8	2,8	4,2	160	7,0	2,4	0,3	5,4
Amostra Nº	CTC (Cmolc L ¹)		Saturação (%)		S	B	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe	Na
17720	Efetiva	pH7,0	Bases	Al	mg L ¹							
	10,1	15,2	66,0	2,9	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

A umidade do solo foi determinada através da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). Foi instalada uma sonda por parcela, sendo duas vezes por semana feita à leitura (Figura 8). A umidade foi monitorada nas profundidades de 0-20 cm. Foram acompanhados dois ciclos de umedecimento e secagem para obtenção dos dados referentes a esta condição.



Figura 8 - Equipamento utilizado para determinação da umidade do solo durante o ciclo da cultura.

A resistência mecânica do solo a penetração foi determinada com um penetrômetro eletrônico da marca FALKER. As medidas foram feitas até os 60 cm de profundidade, sendo o intervalo de leitura a cada 2 cm. Foram retiradas 6 medidas por parcela, distanciadas entre si a cada 20 cm.

O efeito do manejo e da compactação do solo sobre a cultura foi avaliada utilizando os parâmetros de distribuição do sistema radicular e produtividade de grãos. A distribuição do sistema radicular foi avaliada pelo método do perfil cultural, conforme metodologia descrita em Gautronneau Y. Manichon H. (1987). Já a produtividade de grãos foi avaliada na maturação fisiológica da cultura, colhendo-se uma área de 6 m² em cada parcela, posteriormente ensacadas e levadas até o laboratório para debulha manual e determinação da umidade da mesma.

A análise de variância das médias foi realizada pelo teste “F” e para comparação

das médias entre os distintos sistemas de manejo foi usado o teste de Tukey com probabilidade de erro de 5 %, utilizando o programa SASM – AGRI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE TOTAL

Para os solos argilosos o valor de densidade restritivo ao crescimento de raízes fica acima de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2003; 2007). Quando solos argilosos apresentam densidade acima de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$, estão mais propensos a apresentarem maior resistência ao crescimento de raízes em períodos mais secos e limitações a aeração do solo em períodos mais úmidos. No presente estudo, os valores de densidade não ultrapassaram o valor crítico. Analisando a tabela 4 verifica-se que nos diferentes sistemas de manejo estudados (PDc; PD; ESC 2014) o atributo densidade do solo apresentou valores similares entre as camadas avaliadas (0,00 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30). Já o sistema de manejo (ESC 2015) proporcionou diferença significativa na camada superficial (0,00 - 0,10 m).

O efeito da escarificação (ESC 2015) foi pronunciado, mostrando redução da densidade do solo (D_s), entre os sistemas de cultivo avaliados. Na tabela 4, é possível verificar que na camada de (0,00 a 0,10 m) a densidade do solo apresentou valor de $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo este inferior ao considerado crítico para o desenvolvimento radicular de culturas implantadas em solos com textura argilosa. É notório o efeito do escarificador em profundidade, sendo que nas camadas de (0,10 a 0,20) e (0,20 a 0,30m) não foram observadas melhorias significativas no processo de descompactação do solo.

A persistência do efeito da escarificação, atribuída como prática de intervenção mecânica para descompactação do solo e neste trabalho avaliada no sistema de cultivo mínimo (ESC 2014) mostrou-se pouco duradoura. Os efeitos desapareceram em praticamente oito meses, indicando um processo natural de reconsolidação e rearranjo da estrutura do solo.

Avaliando as propriedades físicas (densidade do solo, porosidade total), estas não apresentam diferença significativa se comparadas ao sistema de cultivo PD e PDc. Esse comportamento observado em inúmeros experimentos pode ser atribuído principalmente aos ciclos de umedecimento e secagem e ao tráfego frequente de máquinas em condições inadequadas de umidade (REICHERT et al., 2007).

A porosidade total apresentou comportamento oposto ao da densidade, tendo o sistema de cultivo mínimo (ESC 2015), apresentando um volume de poros cerca de 8%

superior aos sistemas de cultivo (PDC; PD; ESC 2014). Entretanto, é importante enfatizar que em todas as camadas estudadas e todos os sistemas de cultivo avaliados o valor de porosidade total é superior a 30%, valor tido como limite mínimo aceitável para que ocorra desenvolvimento radicular (CASÃO JUNIOR et al., 2006).

Em relação à microporosidade não houve diferença significativa entre os tipos de sistema de cultivo e as camadas analisadas. Entretanto, observou-se uma leve tendência de aumento da microporosidade no sistema de cultivo (PDC) e redução do mesmo no (ESC 2015), em relação aos outros tratamentos. Isso mostra que a transferência de carga aplicada pelos rodados do trator em uma passada sobre a parcela, não foi suficiente para alterar as propriedades físicas do solo.

A avaliação dos macroporos mostrou diferença na camada (0,00 – 0,10) nos sistema de cultivo mínimo (ESC 2015; ESC 2014), apresentado valores correspondentes a $0,20 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ e $0,15 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, considerados satisfatórios para uma boa difusão de gases no solo. No sistema de cultivo (PDC; PD; ESC2014) podemos verificar valores de macroporosidade inferiores ao limite crítico $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ nas camadas de (0,00 – 0,10 e 0,10 – 0,20), (TORMENA et al., 1998).

Tabela 4 - Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) para diferentes sistemas de cultivo e camadas no Latossolo Vermelho.

Camada (m)	Sistema de cultivo				CV (%)
	PDC	PD	ESC2015	ESC2014	
Densidade do solo (Mg m ⁻³)					
0,00-0,10	1,31a	1,31a	1,11b	1,27a	6,06
0,10-0,20	1,34a	1,38a	1,31a	1,39a	4,88
0,20-0,30	1,34a	1,28a	1,34a	1,31a	4,98
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)					
0,00 - 0,10	0,53b	0,53b	0,61a	0,55b	4,80
0,10 - 0,20	0,52a	0,51a	0,53a	0,51a	4,60
0,20 - 0,30	0,52a	0,55a	0,52a	0,53a	4,43
Microporosidade (m ³ m ⁻³)					
0,00 - 0,10	0,45a	0,43a	0,41a	0,42a	11,03
0,10 - 0,20	0,43a	0,41a	0,43a	0,43a	4,75
0,20 - 0,30	0,44a	0,43a	0,45a	0,41a	8,12
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)					
0,00 - 0,10	0,09b	0,10b	0,20a	0,15ab	44,22
0,10 - 0,20	0,10a	0,09a	0,11a	0,08a	38,45
0,20 - 0,30	0,08a	0,12a	0,07a	0,12a	48,48

Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5 %.

4.2 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

A resistência do solo a penetração nos diferentes dias após a semeadura (DAS) avaliados utilizando o método da penetrometria indicou valores superiores a 2 MPa na camada superficial (0,00 a 0,20 m), para o sistema de cultivo PDc e PD. É possível afirmar que os valores obtidos sofreram influência da variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura da canola.

Ao avaliar a RP aos 8 DAS (Figura 9), observou-se que nos sistemas de cultivo PDc e PD não teve diferença significativa na camada superficial (0,00 – 0,10 m). Podendo o alto teor de umidade existente no solo no decorrer do mesmo dia ($0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para PD e $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para PDc) ter influenciado na mitigação da provável camada compactada em (PDc), (Figura 10).

A determinação da RP aos 11 DAS (Figura 9), mostra que com a redução no teor de umidade no solo os sistemas de preparo mostraram diferenças significativas na camada superficial. O PDc apresentou maiores níveis de resistência até os 0,10 m, já o PD apresentou impedimentos superiores a 2 MPa até os 0,20 m, reduzindo em profundidade.

A (ESC2015) mostrou ser uma prática eficiente em reduzir a resistência do solo em todos os períodos avaliados durante o ciclo da cultura. Isso porque apresentou rápida diminuição da RP até profundidades de 0,25 m e consequente melhora da camada para o estabelecimento do sistema radicular da cultura. Os valores de RP obtidos aos (8; 11; 70 DAS) nas medições foram inferiores a 2 MPa (limite crítico), como visto na Figura 9. Entretanto o cultivo mínimo (ESC2014) mostrou diferença significativa em relação ao (PD) dentre as camadas de 0,10 a 0,20 m aos (8; 11; 70 DAS), sendo confirmado a redução do efeito descompactador ocasionado pelo revolvimento do solo nas camadas superficiais em um curto período de tempo.

Em relação aos demais dias avaliados, nos 14 DAS houve diferença significativa entre níveis de resistência a penetração entre o tratamento (PDc e PD) nas camadas de 0,10 a 0,20 m. O PDc apresentou valores superiores a 2 MPa de resistência. Aos 70 DAS à variação existente entre diferentes tratamentos apresentou resultados próximos aos obtidos no início do estabelecimento e desenvolvimento da cultura, conforme pode ser observado na Figura 9.

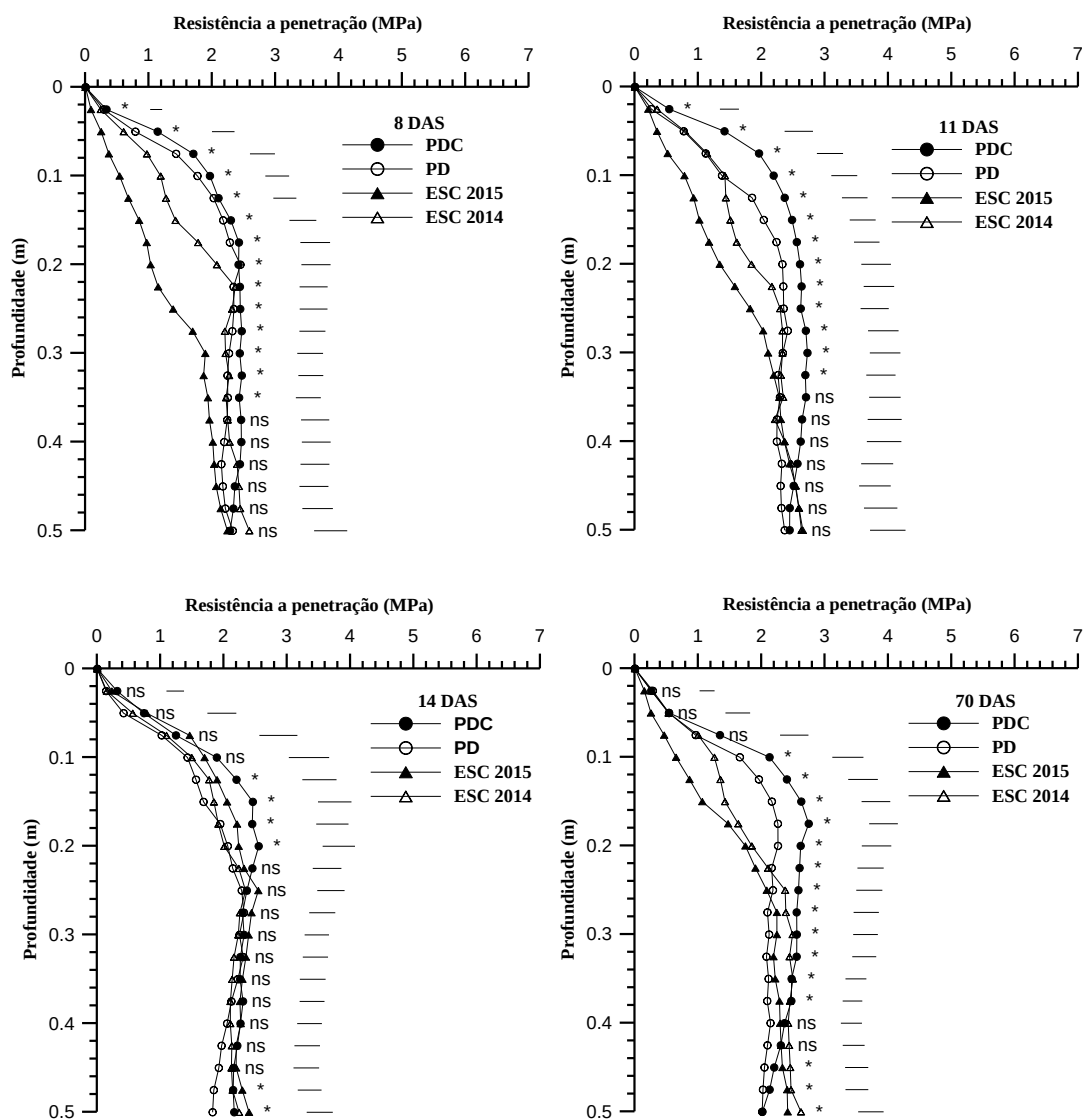


Figura 9 - Resistência à penetração para quatro datas durante o ciclo da cultura da canola em Latossolo sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDC), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras horizontais comparam os valores de RP, por profundidade, pelo teste DMS (5 %). (ns: não significativo).

4.3 UMIDADE DO SOLO

A variação da umidade do solo acompanhada no decorrer do ciclo da canola não apresentou períodos restritivos que possam ter afetado o crescimento do sistema radicular e a produtividade. Em estudos realizados avaliando o desempenho produtivo de outras culturas, a umidade do solo mostrou relação significativa ao desenvolvimento do sistema radicular (DALMAGO, 2004).

Como pode ser observado na Figura 10, os teores de umidade no decorrer do ciclo sempre estiveram acima do ponto de murcha permanente (PMP) e em algumas situações próximos ou superiores a capacidade de campo (CC), como ocorrido no sistema PDc aos 49; 51; 61; 64 DAS.

A umidade volumétrica do solo avaliada ao longo do ciclo da cultura (Figura 10) variou de 0,47 a 0,26 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PDc, 0,44 a 0,26 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PD, 0,39 a 0,24 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no ESC2014, 0,38 a 0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no ESC2015 nas camada superficial (0,00–0,20 m). Isso indica diferença significativa entre os tratamentos PDc, ESC2015 e ESC2014 e entre o PD e ESC2014.

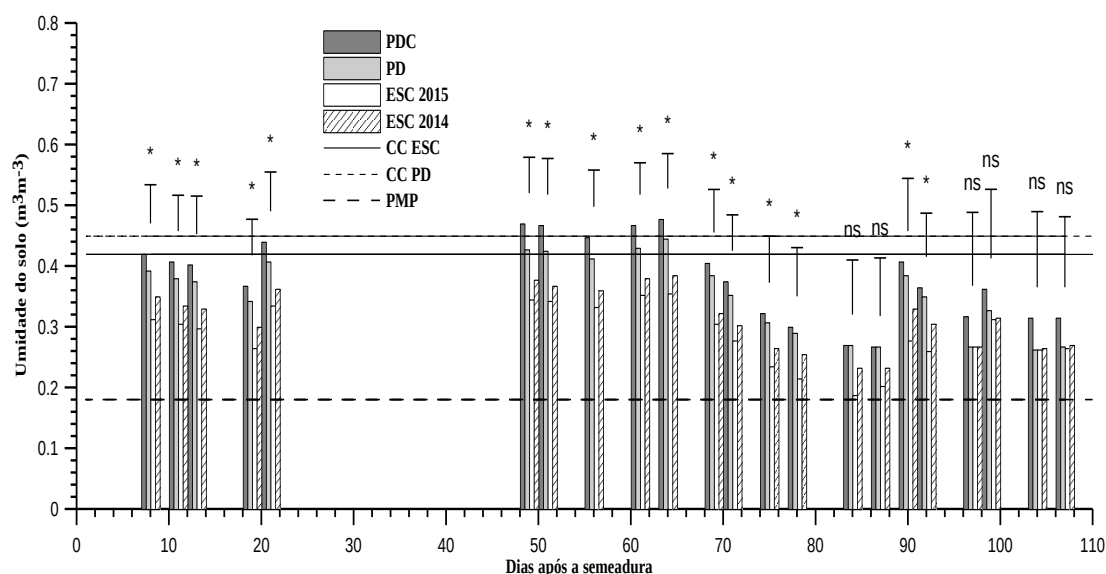


Figura 10 - Variação da Umidade volumétrica (θ) do solo no decorrer do do ciclo da canola até os 20 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de umidade do solo pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).

4.4 ARMAZENAMENTO TOTAL DE ÁGUA E DISPONIBILIDADE TOTAL DE ÁGUA

Como descrito por TOMM et al., 2009, à necessidade hídrica para cultivo da canola é de aproximadamente 500 mm, sendo que os mesmos devem ser bem distribuídos no decorrer do ciclo produtivo da mesma. Para a validação da precipitação no local do experimento foram utilizados os dados registrados na estação automática instalada da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS do campus Cerro Largo.

Como pode ser visto na Figura 11, não houve limitação para o desenvolvimento da cultura devido à disponibilidade de recursos hídricos, sendo que o total acumulado durante o ciclo produtivo foi aproximadamente 720 mm.

Analizando as Figuras 12 e 13, define-se que a compactação adicional (PDc) aumentou significativamente o armazenamento total de água e disponibilidade da mesma para a cultura, diferindo do ESC2015, que reteve menores volumes de água, nas camadas de 0,00 – 0,20 m. A retenção de água no solo manejado sob plantio direto (PD) não diferiu estatisticamente do PDc e ESC2014.

Os maiores valores de retenção de água foram registrados aos 49; 51; 56; 61; 64 DAS no sistema de manejo PDc, sendo estes próximos a 100 mm. Os menores valores observados no decorrer do ciclo da cultura foram correspondentes ao sistema de manejo ESC2015 aos 75; 78; 84 DAS, com retenção aproximada de 35 mm neste período. Analisando a Figura 13 é possível comprovar que o fator de interferência foi à precipitação pluviométrica a qual apresentou oscilações no decorrer do ciclo.

A variação entre os sistemas de manejo e o armazenamento de água no solo pode ser explicado pela tendência de aumento da macroporosidade no sistema de manejo ESC2015 e tendência de aumento da microporosidade na camada superficial do PDc em relação aos demais tratamentos, como pode ser verificado na Tabela 4.

Diversos estudos constatarem como causa principal da maior retenção e possível disponibilidade da água as plantas em PD o teor elevado de matéria orgânica nas camadas superficiais, o qual influencia na estruturação do solo (DALMAGO, 2004).

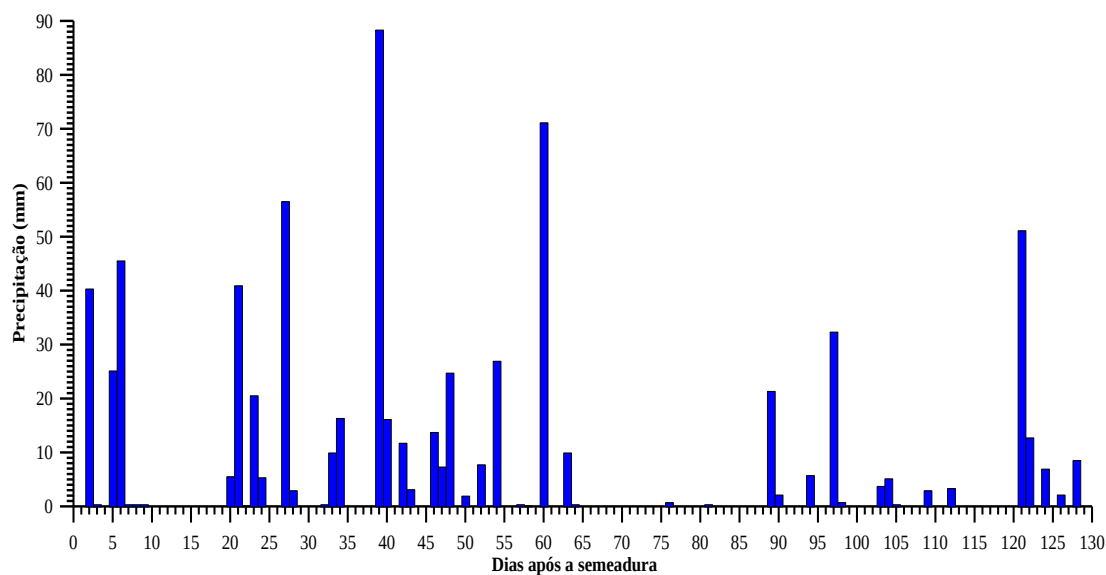


Figura 11 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura da canola. Dados obtidos da estação meteorológica da UFFS – Campus Cerro Largo.

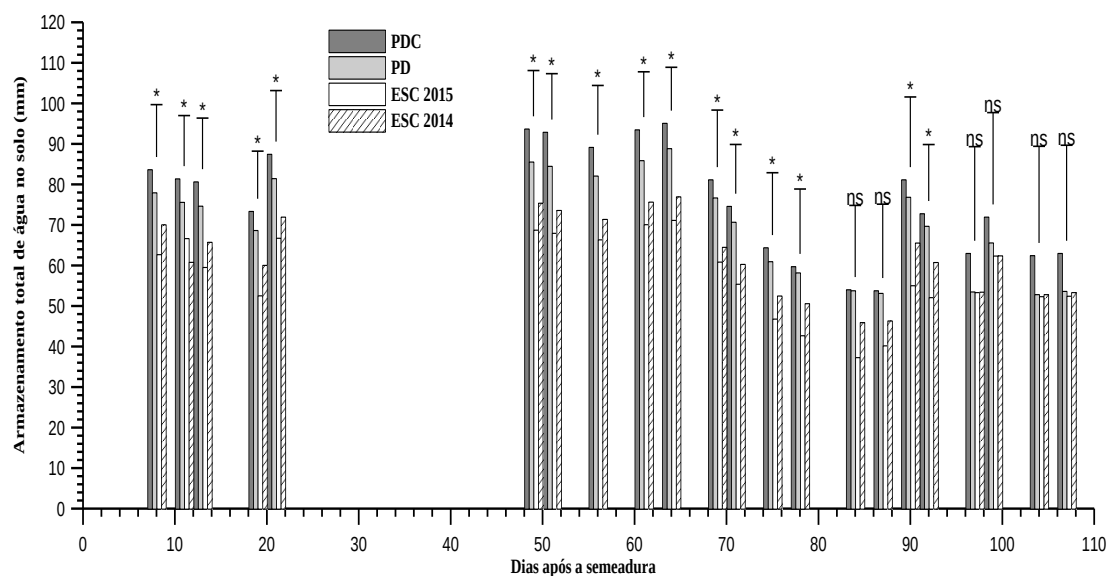


Figura 12- Armazenamento total de água no solo (mm) no decorrer do ciclo da cultura da canola em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDC), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de armazenamento de água disponível pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).

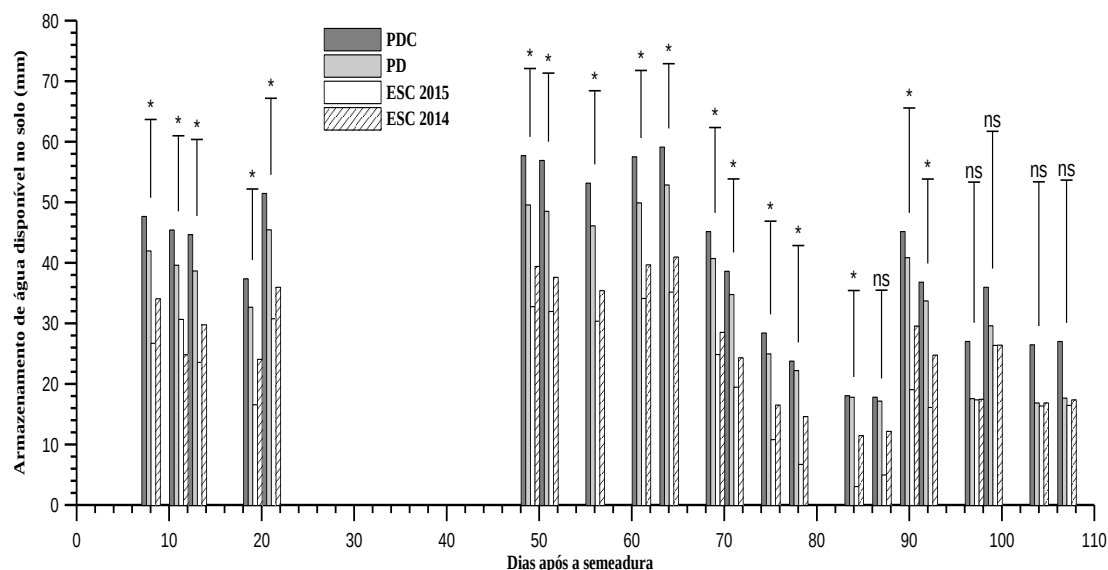


Figura 13 - Armazenamento de água disponível no solo (mm) no decorrer do ciclo da cultura da canola em Latossolo Vermelho sob plantio direto contínuo (PD), plantio direto com compactação adicional (PDc), com escarificação (ESC2015) e cultivo mínimo (ESC2014). Barras verticais comparam valores de armazenamento de água disponível pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).

4.5 POROSIDADE DE AERAÇÃO

Em relação à quantidade de poros livres de água, disponível no solo para realização das trocas gasosas, consideradas fundamentais para o desenvolvimento da cultura de interesse, percebe-se que nos períodos em que aumenta a umidade do solo diminui a quantidade de poros livres de ar e vice-versa. Em relação aos sistemas de cultivo avaliados a Figura 14, demonstra claramente que a dinâmica da água no solo foi afetada no sistema de preparo com escarificação.

O sistema de manejo ESC2015 apresentou valores de $0,38 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ de porosidade aérea. Embora esse valor seja superior ao determinado como mínimo ($0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) por TORMENA et al., 1998, ele pode afetar de maneira negativa a cultura, devido à baixa capacidade do mesmo em reter água e disponibilizar as plantas.

Entre os 21; 49; 51; 56; 61; 64 DAS nos sistemas de manejo PDc e PD constata-se a presença de valores inferiores a $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$. Quando essa taxa de difusão de gases no solo é reduzida, permanecendo baixa por um longo período pode comprometer o crescimento das plantas. A redução drástica da taxa observada na (Figura 14) é dada pelo alto conteúdo de água presente no solo devido os frequentes registros pluviométricos registrados, observados na (Figura 11) no decorrer deste período.

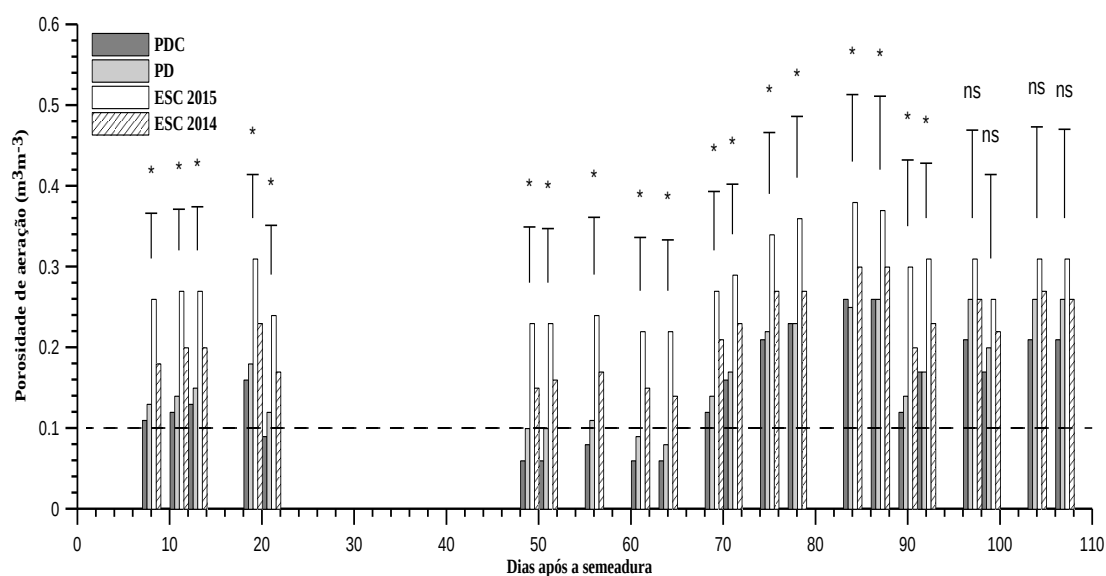


Figura 14 - Porosidade de aeração (PA) do solo durante o ciclo da cultura da canola em quatro sistemas de manejo de solo (PD – Plantio direto; PDC – plantio direto com compactação adicional; ESC2014 – cultivo mínimo; ESC 2015 – escarificação). Barras verticais comparam valores de porosidade de aeração pelo teste DMS a 5 %. (ns: não-significativo; *: significativo).

4.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA CULTURA ATRAVÉS DO MÉTODO DO PERFIL CULTURAL



Figura 15 - Distribuição do sistema radicular da canola em Latossolo Vermelho sob sistema de cultivo - Plantio Direto com compactação adicional, (A) perfil referente à parcela 13 e bloco 4;. Sistema de cultivo - Plantio direto; (B) perfil referente à parcela 11 e bloco 3; Sistema de cultivo mínimo com escarificação 2015; (C) perfil referente à parcela 10 e bloco 3; Sistema de cultivo mínimo com escarificação em 2014. (D) perfil referente à parcela 16 e bloco 4.

Analisando os quatro sistemas de manejo adotados no experimento (PDc; PD; ESC2015; ESC2014) verifica-se a presença de camadas de impedimento a penetração das raízes pivotantes em profundidade e o consequente aumento do diâmetro das mesmas. O tratamento que mostrou maior restrição de crescimento radicular para a cultura da canola foi o sistema de preparo plantio direto com compactação adicional (PDc).

Na Figura 15 (A), na qual está representado o perfil cultural referente ao tratamento PDc, ocorreu o desvio da raiz principal com crescimento no sentido horizontal em superfície (0,00 – 0,05 cm de profundidade). Ainda ocorreu o engrossamento das raízes na mesma camada.

O valor de densidade média determinado para esse sistema de manejo varia de 1,31 a 1,34 Mg m⁻³ na profundidade de 0,00 – 0,30 m, confirmando através de um método quantitativo a existência de um possível impedimento para o crescimento e desenvolvimento radicular. Essa concentração superficial das raízes embora não tenha apresentado diferença significativa na produtividade neste caso, pode ocasionar problemas em anos com déficit hídrico pelo fato de impossibilitar a planta utilizar os nutrientes disponíveis em camadas mais profundas.

Avaliando o sistema de cultivo PD na Figura 15 (B) observou-se a dificuldade de penetração do sistema radicular da cultura da canola na camada abaixo dos 0,10 m, semelhante ao sistema de manejo (PDc).

Se compararmos o resultado da densidade do solo de 1,38 Mg m⁻³ nas profundidades 0,10 – 0,20 m com o método do perfil cultural, é possível identificar que nas quatro plantas avaliadas temos problemas de adaptação do sistema radicular abaixo dos 10 cm, devido o adensamento do solo nas respectivas camadas.

Nesse perfil é visível a existência de diferentes níveis de resistência à penetração, que resulta em espaços de maior e menor resistência permitindo que as raízes cresçam entre esses espaços, mesmo definidas.

O sistema de manejo ESC2015 representado na Figura 15 (C) mostrou restrição do desenvolvimento radicular delimitado pela profundidade de serviço do escarificador, próximo aos 20 cm de profundidade. Esse tratamento foi o que proporcionou melhor caracterização da possível “agressividade” do sistema radicular referente a cultura da canola.

É possível observar o engrossamento da raiz principal e desenvolvimento de uma quantidade significativa de raízes secundárias que indicam a existência de camadas com impedimento. Ainda são nítidos pequenos pêlos radiculares junto às raízes secundárias (Figura 16), estes são possível resultado do definhamento do sistema radicular secundário devido a existência de obstáculos para crescimento do mesmo (REICHERT et al., 2007).

Na Figura 15 (D) avaliando o sistema de cultivo mínimo (ESC 2014), no qual fora realizado uma escarificação no mês de outubro de 2014 antes da semeadura da cultura do girassol, com intuito de mobilizar camadas adensadas de solo resultantes da ação natural do sistema de cultivo predominante em conjunto com a ação antrópica fica comprovado o seu curto período de ação e como pode ser observado na tabela 4, não são constatadas melhorias nas condições físicas oito meses após a operação.



Figura 16 - Presença de pêlos radiculares em raízes secundárias no sistema de manejo ESC2015.

4.7 PRODUTIVIDADE DA CANOLA - CULTIVAR DIAMOND

O desenvolvimento da cultura ocorreu dentro das normalidades, sendo que em nenhuma das fases de desenvolvimento houve restrição de água, fator que influencia diretamente na produtividade da cultura. Além deste outros fatores como ocorrência de baixas temperaturas com ocorrência de geada, ataque de pragas e presença de plantas espontâneas não foram presenciados.

A colheita da canola foi realizada no dia 28 de setembro de 2015, aos exatos 130 DAS. Os resultados de produtividade foram próximos a 2,2 Mg ha⁻¹ para todos os tratamentos avaliados como pode ser conferido na Figura 16 . Não houve diferença estatística significativa na produtividade da canola nas condições de manejo estudadas, pois não faltou água disponível no solo em todos os estádios de desenvolvimento da cultura.

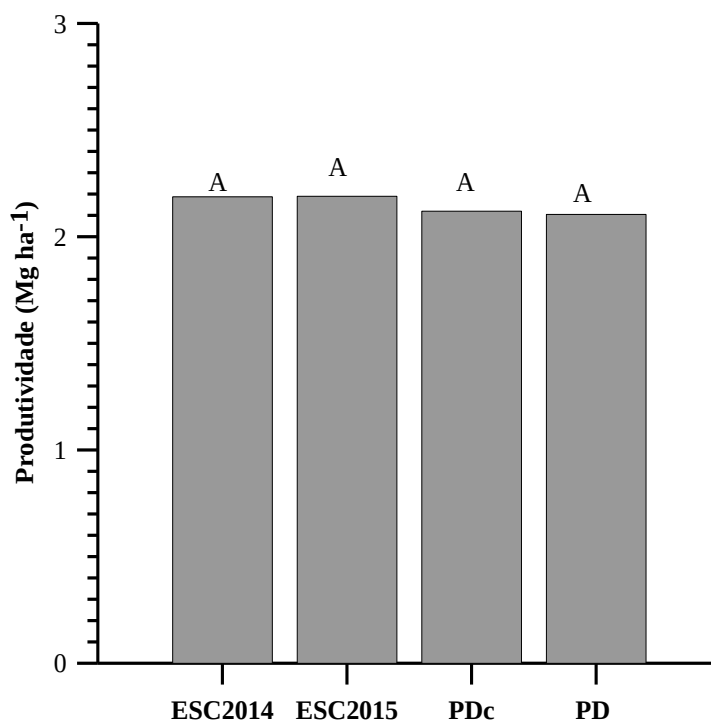


Figura 17 - Produtividade da cultivar Diamond obtida em Latossolo Vermelho.

5 CONCLUSÕES

A compactação adicional do solo (PDc) não alterou de forma significativa as propriedades físicas do solo.

A escarificação do solo (ESC2015) alterou a retenção de água no solo e porosidade de aeração, porém estas não afetaram a produtividade da canola.

O desenvolvimento do sistema radicular da cultura foi semelhante em todos os sistemas de manejo, atingindo profundidades máximas de 0,3 m.

A produtividade da cultura não foi afetada pela limitação do desenvolvimento radicular ou por valores superiores de densidade e resistência a penetração, devido à disponibilidade de água nas camadas de estabelecimento radicular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEVILÁQUA, G.A.P.; ANTUNES, I.F.; ZUCHI, J.; MARQUES, R.L.L. **Indicações técnicas para produção de sementes de plantas recuperadoras de solo para a agricultura familiar**. Embrapa, 2008. 43p. (Embrapa Clima Temperado Documentos, 227). Disponível em: http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_227.pdf.
- BONARI, E.; MAZZONCINI, M.; PERUZZI, A. Effects of conventional and minimum tillage on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a Sandy soil. *Soil & Tillage Research* 33.1995.p. 91-108.
- CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 229-237, jan./abr. 2007.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G de.; ARAÚJO, G.de.; LLANILLO, R. F. Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação- FAO e Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR, 77p., 2012.
- CAZALI, I. Taxa de enchimento e rendimento de grãos de canola (*Brassica napus* L) em função das épocas de semeadura. 2014. 31 p. TCC (departamento de estudos agrários). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Curso de graduação em Agronomia, Ijuí, 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Proposta de preços mínimos – Safra 2013/2014, produtos de inverno, regionais e leite. Superintendência de gestão da oferta – SUGOF, v. 1 n. 6 – sexto levantamento, Brasília, 83.p mar. 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira – Grãos. Monitoramento Agrícola. Cultivos de verão, 2ª safra e de inverno – safra 2014/15. V .2. N. 10 – Décimo Levantamento Julho/2015.
- DALMAGO, G.A. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Tese de doutorado (Programa de pós graduação em fitotecnia). 228p., set.2004.Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, set.2004.
- DALMAGO, G.A. et al. Aclimação ao frio e dano por geada em canola. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília, v. 45, n. 9, p.933-943, set.2010.

DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. [S.I.: s.n.], 2008.

DEBIAUS, H.; FRANCHINI, J.C.; GONÇALVES, S.L. Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. Circular técnica 63 - EMBRAPA. Londrina, PR. Setembro de 2008.

DONAGEMA, G.K, et al. Manual de métodos de análise do solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, dados eletrônicos, 2011. 230 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production Indices 2008. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em 04-06-2015.

GAUTRONNEAU, YVAN; MANICHON, HUBERT. Guide methodique du profil cultural. CEREF-GEARA. 1987. 71p.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 8, p.477-484, mai./jun. 2004.
Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214032009>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Rio Grande do Sul. 2008. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa02200506.htm>. Acesso em 04 - 06- 2015.

IMHOFF, S. del. C. Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e argissolos vermelhos. 2002. 94p. Tese de doutorado. (Solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Piracicaba, São Paulo, maio, 2002.

KLEIN, V. A.; Boller, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria. v. 25, n. 3, p.395-398, 1995.

LUZ, G. L. da. Produtividade de cinco híbridos de canola em Xancerê, Santa Catarina. UNOESC e CIÊNCIA – ACET, Joaçaba, v. 4, n. 1, p. 7-12, jan./jun. 2013.

MORAES, M.H.; BENES, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. Bragantia, Campinas, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema de plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R. et al. **Plantio direto com qualidade**. Londrina/ Foz do Iguaçu: IAPAR/Itaipu Binacional, 2006. p. 9-27.

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração

de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 35, p. 417-428, 2011.

REINERT, D.J et al. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. *Engenharia agrícola*. Jaboticabal, v.27, n.1, p.304-3016, jan/abr.2007.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência e ambiente*, n. 27. Julho/Dezembro de 2003. p 30-48.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, J.D. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do solo*, v. 5, n. 49, p.49-134, 2007.

SANTOS, H.G dos et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA, 2013. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF. 350 p.

SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. 2003. 108p. Tese de Doutorado. (Biodinâmica de solos). Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, 2003.

SECCO, D; REINERT D.J.; REICHERT; J.M & DA ROS C.O. 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.

SECCO, D; REINERT D.J.; REICHERT; SILVA, V.R da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.1, p.58-64, jan-fev, 2009.

SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.855-860, 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 400p., 2004.

STONE, L.R.; SILVEIRA, P.M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.395-401, 2001.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed, Editora EMATER-RS, Porto Alegre, EMATER; UFRGS, 2008. 222 p.

SUZUKI, L.A.S. Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas. 2005. 149 p. Tese de mestrado (Programa de

pós- graduação em ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, 2005.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. Revista brasileira de ciência do solo. p. 393-399, 1999.

TOMM, G. O.; GARRAFA, M.; BENETTI, V.; WOLBOLT, A. A.; FIGER, E. Efeito de épocas de semeadura sobre o desempenho de genótipos de canola em Três de Maio, RS. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p (Circular Técnica, 17). Disponível: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci17.htm. Acesso em 09-04-2015.

TOMM, G.O Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 32 p. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p_sp03_2007.pdf. Acesso em 09-04-2015.

TOMM, G.O et al. Zoneamento agroclimático de canola para o Rio Grande do Sul. Comunicado técnico online 252. Passo Fundo, dezembro de 2008. http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co252.ht. Acesso em 09-04-2015.

TOMM, G.O et al. Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul. Documentos, 92. Passo Fundo - Embrapa Trigo, 2009. 88 p.

TOMM, G.O et al. Panorama atual e indicações para aumento da eficiência da produção de canola no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 82 p., 2010.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, p. 333 – 339, 1996.

TORMENA, C.A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

VAN LIER, Q. de J. Oxigenação do sistema radicular: Uma abordagem física. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 233-238, 2001.

<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/portarias-segmentadas-por-uf>. Acesso em 05-04-2015.

http://abrascanola.com.br/system/filemanager/file_system/informativo_arquivo_18_1364390594.pdf. Acesso em 09-04-2015.

<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso em 26-05-2015.