



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil

<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Marco Segalla Prazeres

Universidade do Estado de Santa Catarina
marcosegalla@hotmail.com

Fabrcio Tondello Barbosa

Universidade Estadual de Ponta Grossa
fabriciotondello@gmail.com

Ildegardis Bertol

Universidade do Estado de Santa Catarina
ildegardis.bertol@udesc.br

Tercio Vaisnava Fehlauer

Universidade do Estado de Santa Catarina
tercioagro@gmail.com

Gustavo Ferreira de Oliveira

Universidade do Estado de Santa Catarina
gustavo.fdo@edu.udesc.br

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM SEMEADURA DIRETA APÓS ESCARIFICAÇÃO E CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS

RESUMO: A infiltração de água no solo é influenciada pelo manejo, em especial pelo tipo de preparo mecânico, dentre outros fatores, e seu conhecimento é importante para o planejamento conservacionista. A escarificação pode melhorar as condições físicas e hídricas e aumentar a capacidade de infiltração de água no solo. Com este estudo objetivou-se avaliar algumas propriedades físicas e a infiltração de água no solo na presença e ausência de uma escarificação em semeadura direta, em um Cambissolo Húmico de textura argilo siltosa. Para isso, testaram-se os seguintes tratamentos: semeadura direta e semeadura direta submetida a uma escarificação, ambos combinados com os cultivos de aveia preta/milho, aveia preta/feijão, trigo/milho, trigo/feijão, nabo forrageiro/milho e nabo forrageiro/feijão. Coleta de amostras de solo e testes de infiltração de água foram realizados no início e ao final do experimento. A escarificação afetou positivamente as propriedades físicas do solo apenas na camada superficial de 0-5 cm, cujo efeito persistiu pelo período de um ano para a maioria dos atributos, resultando em maior infiltração de água em relação ao tratamento sem escarificação.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação do solo, Manejo do solo, Movimento de água no solo.

WATER INFILTRATION INTO THE SOIL IN NO-TILL AFTER SCARIFICATION AND CULTIVATION OF PLANT SPECIES

ABSTRACT: Water infiltration into the soil is influenced by management, especially by the type of mechanical preparation, among other factors, and its knowledge is important for conservation planning. Scarification can

Recebido em: 2020-04-21
Avaliado em: 2020-07-31
Aceito em: 2021-01-13

improve physical and water conditions and increase the water infiltration capacity of the soil. This study aimed to evaluate some physical properties and the water infiltration into the soil in the presence and absence of scarification in no-till, in a Humic Cambisol with silty clay texture. For this, the following treatments were tested: no-till and no-till submitted to a single scarification, both combined with the cultivation of black oats/maize, black oats/beans, wheat/maize, wheat/beans, forage turnip/maize and forage turnip/beans. Soil samples were collected and water infiltration tests were performed at the beginning and at the end of the research. Scarification positively affected the soil physical properties only in the 0-5 cm layer, with the effect persisted for one year for most properties, resulting in higher water infiltration compared to the treatment without scarification.

KEYWORDS: Soil conservation, Soil management, Soil water movement.

INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO EN SIEMBRA DIRECTA DESPUÉS DE ESCARIFICACIÓN Y CULTIVO DE ESPECIES VEGETALES

RESUMEN: La infiltración de agua en el suelo está influenciada por el manejo, especialmente por el tipo de preparación mecánica, entre otros factores, y su conocimiento es importante para la planificación de la conservación. La escarificación puede mejorar las condiciones físicas y del agua y aumentar la capacidad de infiltración de agua en el suelo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar algunas propiedades físicas y la infiltración de agua en el suelo en presencia y ausencia de escarificación en la siembra directa, en un Cambisol Húmico con textura arcillo limosa. Para esto, se probaron los siguientes tratamientos: siembra directa y siembra directa sometidas a una escarificación, ambas combinadas con el cultivo de avena negra/maíz, avena negra/frijoles, trigo/maíz, trigo/frijoles, nabo forrajero/maíz y nabo forrajero/frijoles. Se recogieron muestras de suelo y se realizaron pruebas de infiltración de agua al principio y al final de la investigación. La escarificación del suelo afectó positivamente las propiedades físicas del suelo solo en la capa superficial de 0-5 cm, cuyo efecto persistió durante un año para la mayoría de los atributos, lo que resultó en una mayor infiltración de agua en el suelo en comparación con el tratamiento sin escarificación.

PALABRAS CLAVES: Conservación del suelo, Manejo del suelo, Movimiento del agua del suelo.

INTRODUÇÃO

A taxa de infiltração de água no solo é uma das propriedades que melhor representa as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (PANACHUKI et al., 2011; SANTOS et al., 2016), além de ser importante para definir práticas conservacionistas de solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem (BERTOL et al., 2015).

As práticas diferenciadas de manejo e cultivo alteram as propriedades físicas do solo, que podem manifestar-se de diversas maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2001). Sendo assim, a estrutura original do solo pode ser alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores. Em decorrência disso, observa-se redução no volume de macroporos e aumento da densidade do solo, com conseqüente diminuição da taxa de infiltração de água no solo.

A infiltração de água no solo difere significativamente com o manejo (BERTOL et al., 2015), por isso, o

incremento deste tem sido usado como argumento para escarificação em áreas de semeadura direta (GIRARDELLO et al., 2011). Na semeadura direta, a mobilização do solo restrita à linha de semeadura associada a pressão exercida pelas máquinas agrícolas resulta na compactação das camadas superficiais (TORMENA et al., 1998). A compactação dificulta o crescimento radicular, reduz a infiltração, a redistribuição de água no solo e as trocas gasosas, resultando em decréscimo de produção (POTT et al., 2018). Nicoloso et al. (2008) consideram a escarificação mecânica como alternativa eficiente para melhorar as condições físicas de solos muito argilosos apenas quando associada a escarificação biológica, com uso de plantas com sistema radicular bem desenvolvido.

Atributos do solo relacionados ao transporte de água, como taxa de infiltração, são sensíveis para avaliar a duração da descompactação mecânica no solo (DRESCHER et al., 2016). Em Latossolo Vermelho argiloso, Vieira e

Klein (2007) avaliaram o efeito da escarificação na descompactação de uma área sob semeadura direta, observando aumento da taxa de infiltração de água no solo 24 meses após a realização desta prática, comprovando efeito residual.

Mesmo com os efeitos positivos de uma escarificação, existe variabilidade elevada a respeito da sua persistência no solo (TWONLOW et al., 1994). Busscher et al. (2002), constataram que o efeito da escarificação apresenta a tendência em reduzir seus efeitos ao longo do tempo, em função dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, resultando no processo de reconsolidação.

Para Prando et al. (2010), a escarificação em um Nitossolo Vermelho de textura argilosa, proporciona maior infiltração de água no solo apenas no primeiro ano de cultivo. Alguns autores afirmam que a intervenção mecânica em solo manejado com semeadura direta, mediante escarificação, mostrou potencial transitório para mitigar a

compactação do solo (DRESCHER et al., 2011).

Existe carência de estudos sobre o efeito da escarificação em áreas manejadas sob semeadura direta em ambiente subtropical e localizadas em regiões de planalto, onde em muitas situações predominam solos argilosos com elevados teores de silte, pouco profundos, de elevada acidez e altos teores de matéria orgânica, como os Cambissolos Húmicos derivados de rochas sedimentares, que ocorrem no Planalto Catarinense. Estes solos apresentam capacidade de infiltração de água limitada (BERTOL et al., 2015) e quando cultivados geralmente apresentam restrições físicas ao crescimento e desenvolvimento de plantas, principalmente pela baixa macroporosidade e por elevados valores de densidade do solo e de resistência à penetração (BORTOLINI et al., 2016).

O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físicas e a infiltração de água em um Cambissolo Húmico de textura argilo siltosa após uma

escarificação em semeadura direta e seu efeito residual após o cultivo em sucessão de diferentes espécies vegetais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre junho de 2015 e junho de 2016, em campo experimental localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, situado no município de Lages, região do Planalto Sul Catarinense. O clima do local, segundo critérios estabelecidos pela classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), é do tipo Cfb (subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos), com precipitação média anual de 1.533 mm (SCHICK et al., 2014).

O solo da área é um Cambissolo Húmico alumínico léptico (420 g kg^{-1} de argila, 440 g kg^{-1} de silte e 140 g kg^{-1} de areia na camada de 0-0,2 m), situado nas coordenadas $27^{\circ} 47' \text{ S}$ e $50^{\circ} 19' \text{ W}$ com 937 m de altitude média.

Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de manejo do solo:

semeadura direta (SD), caracterizada pela mobilização de solo restrita à linha de semeadura, e semeadura direta submetida a uma escarificação (SDE), ambas combinadas com o cultivo de seis sequências de espécies vegetais, sendo elas: aveia preta/milho (A/M), aveia preta/feijão (A/F), trigo/milho (T/M), trigo/feijão (T/F), nabo forrageiro/milho (N/M) e nabo forrageiro/feijão (N/F). O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas, totalizando 36 unidades experimentais. As parcelas tinham dimensões de $6 \times 10 \text{ m}$ (60 m^2) e constituíram os tipos de manejo do solo (SD e SDE). As subparcelas possuíam dimensões de $2 \times 10 \text{ m}$ (20 m^2) e constituíram os cultivos de inverno (aveia preta, trigo e nabo forrageiro), enquanto as subsubparcelas tinham dimensões de $2 \times 5 \text{ m}$ (10 m^2) e constituíram os cultivos das espécies de verão (milho e feijão). Para isso, após o primeiro período sob os cultivos inverniais, cada subparcela foi dividida ao meio em relação ao seu

comprimento, para implantação das culturas de milho e feijão.

A área do experimento vinha sendo cultivada por duas décadas com diferentes culturas anuais e tipos de manejo. Em maio de 2011 foi realizada correção da acidez do solo com incorporação de calcário por meio de escarificador e grade leve. A partir deste momento a área foi conduzida ininterruptamente sob semeadura direta.

Em junho de 2015, um mês antes da semeadura das espécies invernais, foi realizada uma operação de escarificação nas parcelas que receberam tal tratamento. A escarificação foi feita no solo com umidade na consistência friável e com cobertura de resíduos vegetais da cultura anterior. O escarificador continha duas linhas de hastes desencontradas, sendo a linha dianteira composta por sete hastes e a traseira por seis hastes, com distância de 0,5 m entre elas. Com isso, a escarificação resultou em sulcos distanciados em 0,25

m, com atuação de 0,25 m de profundidade.

A semeadura dos cultivos de inverno ocorreu em julho de 2015, com utilização de 80 e 20 kg ha⁻¹ de sementes nos tratamentos de aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) respectivamente. Para o tratamento com trigo (*Triticum aestivum*) utilizou-se 330 sementes viáveis/m². A semeadura ocorreu com auxílio de uma semeadora de parcelas experimentais com espaçamento entre linhas de 0,20 m, perfazendo um total de 10 linhas por parcela.

No mês dezembro de 2015, após manejar as culturas de inverno pela distribuição uniforme de sua biomassa vegetal sobre o solo com auxílio de roçadeira, as culturas do milho (*Zea mays*) e feijão-preto comum (*Phaseolus vulgaris*) foram implantadas. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a densidade foi de 80.000 e 300.000 plantas ha⁻¹ de milho e feijão, respectivamente. A semeadura foi feita com auxílio de semeadora manual (matraca). A adubação das culturas foi

realizada de acordo com recomendações da CQFS RS/SC (2016) e o controle de plantas espontâneas foi realizado de forma manual durante os cultivos invernais e com aplicação de herbicidas nas culturas de verão.

As determinações de infiltração de água e das propriedades físicas do solo foram realizadas em duas épocas, a primeira após o preparo do solo e anterior a semeadura das culturas de inverno, em junho de 2015, e a segunda, em maio de 2016, após o ciclo de desenvolvimento das culturas de verão.

Foram abertas trincheiras para coleta de amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos de 141,3 cm³ nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Determinou-se a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporos (Ma) e microporos (Mi), conforme metodologia descrita em EMBRAPA (2011). Para isso, os anéis foram saturados em água, submetidos a mesa de tensão de areia com sucção de 6 kPa e posteriormente secos em estufa a 105°C, por 48 horas.

Os testes de infiltração de água no solo foram realizados pelo método dos cilindros duplos concêntricos (FORSYTHE, 1975), para obtenção da taxa final de infiltração de água no solo (TFI) e da lâmina total de água infiltrada (I acumulada). Os cilindros interno e externo tinham diâmetro respectivamente de 0,3 e 0,6 m, e cada repetição de tratamento recebeu um teste com duração de 90 minutos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo pelo teste F ao nível de 5% ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Correlações entre variáveis foram realizadas utilizando o modelo linear de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PERÍODO INICIAL DO EXPERIMENTO, APÓS A ESCARIFICAÇÃO DO SOLO

A taxa final de infiltração de água no solo (TFI) foi respectivamente de 8,8 e 6,0 cm h⁻¹ para SDE e SD, representando um aumento numérico de 47% proporcionado pela

escarificação. Já a lâmina total de água infiltrada (I acumulada) foi respectivamente de 22,4 e 14,3 cm para SDE e SD, o que representou valor 57% maior na SDE (Tabela 1). Embora as diferenças quantitativas sejam evidentes, não houve diferença estatística entre os manejos em função da elevada variabilidade observada a campo da infiltração de água no solo,

assim como constatado por Vieira e Klein (2007). O incremento na infiltração de água está associado à mobilização do solo causada pelo escarificador, que ocasiona alterações na sua estrutura (GASSEN et al., 2014), como aumento do espaço poroso, principalmente da macroporosidade na superfície do solo (TORMENA et al., 2002).

Tabela 1. Taxa final de infiltração de água no solo (TFI) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), no período inicial do experimento, nos diferentes manejos.

Manejo			
SDE	SD	SDE	SD
TFI (cm h ⁻¹)		I acumulada (cm)	
8,8±1,7 ^{ns}	6,0±1,8 ^{ns}	22,4±7,4 ^{ns}	14,3±4,6 ^{ns}

Onde: SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta. Média ± desvio padrão. ^{ns} Não significativo por análise de variância (p<0,05).

As propriedades físicas do solo foram influenciadas pela escarificação na camada superficial, sem efeito entre tratamentos nas demais camadas (Tabela 2). A densidade do solo (Ds) foi numericamente reduzida pela escarificação em 11% na profundidade de 0-5 cm, sem diferença significativa entre os manejos. Estes resultados

estão de acordo com os obtidos por Araújo et al. (2004), os quais observaram alterações provocadas pela escarificação apenas na primeira camada de solo amostrada.

A porosidade total (Pt) variou entre 0,45 e 0,57 m³ m⁻³ e foi influenciada significativamente pelo preparo na camada de 0-5 cm, sendo que o

tratamento SDE aumentou a Pt em $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, quando comparado à SD. Werner et al. (2016) observaram comportamento semelhante ao avaliar

o efeito da escarificação sobre campo natural em um Nitossolo Bruno argiloso.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, no período inicial do experimento, nos diferentes manejos e em quatro camadas.

Manejo	Ds	Pt	Ma	Mi
	(kg dm^{-3})	($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
Camada (cm)				
----- 0-5 -----				
SDE	$1,09 \pm 0,03$ ^{ns}	$0,57 \pm 0,01$ A	$0,21 \pm 0,01$ A	$0,36 \pm 0,01$ B
SD	$1,22 \pm 0,08$ ^{ns}	$0,50 \pm 0,04$ B	$0,09 \pm 0,04$ B	$0,40 \pm 0,02$ A
----- 5-10 -----				
SDE	$1,32 \pm 0,08$ ^{ns}	$0,48 \pm 0,03$ ^{ns}	$0,07 \pm 0,04$ ^{ns}	$0,41 \pm 0,02$ ^{ns}
SD	$1,29 \pm 0,05$ ^{ns}	$0,47 \pm 0,01$ ^{ns}	$0,06 \pm 0,01$ ^{ns}	$0,41 \pm 0,01$ ^{ns}
----- 10-20 -----				
SDE	$1,19 \pm 0,21$ ^{ns}	$0,53 \pm 0,08$ ^{ns}	$0,13 \pm 0,08$ ^{ns}	$0,40 \pm 0,01$ ^{ns}
SD	$1,28 \pm 0,06$ ^{ns}	$0,48 \pm 0,02$ ^{ns}	$0,09 \pm 0,05$ ^{ns}	$0,39 \pm 0,03$ ^{ns}
----- 20-30 -----				
SDE	$1,40 \pm 0,04$ ^{ns}	$0,45 \pm 0,02$ ^{ns}	$0,04 \pm 0,03$ ^{ns}	$0,40 \pm 0,01$ ^{ns}
SD	$1,37 \pm 0,01$ ^{ns}	$0,45 \pm 0,01$ ^{ns}	$0,03 \pm 0,01$ ^{ns}	$0,42 \pm 0,01$ ^{ns}

Onde: SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta. Média \pm desvio padrão. ^{ns} Não significativo por análise de variância ($p < 0,05$). Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A escarificação resultou em maior volume de macroporos (Ma) na camada de 0-5 cm, com valor de $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferindo significativamente da SD com $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 2). O tratamento SDE teve a maior variação em profundidade dos valores de Ma,

com redução de 81% na camada de 20-30 cm em comparação com a camada superficial. O maior valor de Ma em superfície no SDE deve-se a ação das hastes do escarificador, que resultaram no fraturamento dos

agregados e no desenvolvimento de poros, notadamente os macroporos.

Considerando limite crítico de M_a igual a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, onde valores abaixo deste sugerem problemas de aeração às raízes das plantas (XU et al., 1992), observou-se limitação na SD em todas as camadas de solo. Este comportamento é atribuído ao mínimo revolvimento e ao tráfego de máquinas (DRESCHER et al., 2011). Ao considerar o valor crítico de M_a , a SDE foi eficiente em contornar tal limitação nas camadas de 0-5 cm ($0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e de 10-20 cm ($0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), o que pode interferir no crescimento do sistema radicular das plantas e no fluxo de água ao longo do perfil do solo.

Os valores de microporos (M_i) variaram entre 0,36 e $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Na camada superficial (0-5 cm) a escarificação (SDE) proporcionou redução significativa de 4% do volume de M_i em relação à SD (Tabela 2). De modo geral, foi possível observar que houve alteração mais acentuada na M_a do que na D_s , P_t e M_i . Este comportamento ocorreu devido ao

fato de que parte do volume de M_i foi convertido em M_a pela ação do implemento durante o preparo mecânico do solo, concordando com Werner et al. (2016).

PERÍODO FINAL DO EXPERIMENTO, APÓS O CULTIVO DAS SUCESSÕES VEGETAIS

Os efeitos de uma escarificação sobre a infiltração de água no solo persistiram pelo período de doze meses. A TFI foi respectivamente de 11,3 e $8,1 \text{ cm h}^{-1}$ em SDE e SD, na média dos cultivos, representando uma diferença numérica de 39,5% entre os manejos (Tabela 3). Em comparação ao início do experimento, os tratamentos SDE e SD aumentaram em 28,4 e 35% a taxa final de infiltração. Vieira e Klein (2007) avaliando o efeito de uma escarificação em semeadura direta, em um Latossolo Vermelho, concluíram que a mesma teve efeito sobre a infiltração de água por período de 24 meses. Entre as culturas de inverno e na média dos manejos, a aveia preta teve TFI de $11,3 \text{ cm h}^{-1}$, sendo 25 e 29%

superior respectivamente ao nabo forrageiro (TFI: 9,0 cm h⁻¹) e trigo (TFI: 8,8 cm h⁻¹), enquanto que nos cultivos de verão, o milho (TFI: 10,4 cm h⁻¹) foi 15% superior ao feijão (TFI: 9,0 cm h⁻¹). Assim como o milho, citado anteriormente, a aveia preta por ter elevada produção de fitomassa protege o solo, e devido ao seu denso

e fasciculado sistema radicular, promove a formação de agregados, melhorando a estrutura do solo, tornando-o mais poroso e arejado. Embora as diferenças quantitativas tenham ocorrido, não houve diferença significativa entre as sucessões de espécies vegetais, em função da alta variabilidade observada a campo.

Tabela 3. Taxa final de infiltração de água no solo (TFI) e lâmina total de água infiltrada (I acumulada), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	TFI (cm h ⁻¹)		I acumulada (cm)	
A/F	11,5±7,2 aA	8,3±0,9 aA	24,7±15,5 aA	17,0±2,1 aA
A/M	11,9±9,2 aA	13,4±3,0 aA	26,0±21,8 aA	26,2±4,4 aA
T/F	8,4±3,6 aA	7,9±4,2 aA	18,9±7,0 aA	17,2±8,3 aA
T/M	14,5±2,6 aA	5,2±0,9 aB	30,0±3,7 aA	10,8±1,7 aB
N/F	13,1±5,9 aA	4,8±2,8 aB	26,0±10,2 aA	11,9±6,8 aA
N/M	8,5±2,0 aA	8,6±3,9 aA	17,1±4,5 aA	20,3±5,9 aA
Média	11,3±2,2 A	8,1±0,6 B	23,8±5,1 A	17,2±0,9 B

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. Média ± desvio padrão. Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

A lâmina total de água infiltrada (I acumulada) seguiu o mesmo comportamento da taxa final de infiltração. A SDE resultou em I acumulada 38% superior à SD, na

média dos cultivos (Tabela 3). Para esta variável, os cultivos de aveia e milho foram 23 e 13% superiores aos demais cultivos de inverno (nabo e trigo) e de verão (feijão), respectivamente.

Girardello et al. (2011), em Latossolo Vermelho de textura argilosa testaram a escarificação no solo e obtiveram aumento na infiltração de água quatro vezes superior em relação a área não escarificada, porém constataram que este efeito foi anulado sete meses após o preparo.

Ao final dos cultivos a D_s variou entre 1,05 e 1,46 kg dm^{-3} , constatando-se apenas na camada de 0-5 cm influência estatística da escarificação (Tabela 4). Este resultado demonstra que após doze meses da mobilização de solo no tratamento SDE, a D_s foi 16,5% inferior à SD. Resultados similares foram obtidos por Tormena et al. (2002) e Araújo et al. (2004), indicando que a persistência dos efeitos da escarificação estão provavelmente associados à maior estabilidade estrutural do solo na

camada superficial, a qual se deve ao efeito do desenvolvimento radicular.

Na camada de 0-5 cm as sucessões nabo/feijão, trigo/feijão e nabo/milho em SDE, apresentaram menores valores de D_s em comparação às mesmas sucessões em SD (Tabela 4). Nas camadas inferiores não houve interação entre os manejos e sucessões. Já na camada de 5-10 cm em SD, o valor observado superou o limite crítico de 1,40 kg dm^{-3} para solos argilosos (REICHERT et al., 2003), indicando possível compactação subsuperficial pelo efeito do tráfego de máquinas associado ao mínimo revolvimento. Já na SDE, na camada 20-30 cm, o valor médio de D_s foi igual ao valor crítico, indicando possível compactação pela base das hastes do escarificador.

Tabela 4. Densidade do solo (D_s) e porosidade total (Pt), ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	D_s (Kg dm^{-3})		Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	
	Camada 0-5 (cm)			

A/F	1,12±0,17 aA	1,27±0,11 aA	0,56±0,07 aA	0,50±0,05 aA
A/M	1,10±0,15 aA	1,24±0,01 aA	0,57±0,06 aA	0,50±0,01 aA
T/F	1,06±0,14 aB	1,29±0,08 aA	0,58±0,05 aA	0,49±0,03 aB
T/M	1,15±0,16 aA	1,23±0,10 aA	0,54±0,07 aA	0,51±0,04 aA
N/F	1,05±0,08 aB	1,35±0,04 aA	0,58±0,03 aA	0,46±0,01 aB
N/M	1,07±0,09 aB	1,26±0,14 aA	0,57±0,04 aA	0,48±0,09 aB
Média	1,09±0,10 B	1,27±0,03 A	0,56±0,04 A	0,49±0,02 B
Camada 5-10 (cm)				
A/F	1,45±0,03 ^{ns}	1,43±0,05 ^{ns}	0,42±0,03 ^{ns}	0,42±0,04 ^{ns}
A/M	1,40±0,07 ^{ns}	1,44±0,03 ^{ns}	0,43±0,05 ^{ns}	0,41±0,05 ^{ns}
T/F	1,36±0,13 ^{ns}	1,39±0,08 ^{ns}	0,47±0,05 ^{ns}	0,45±0,04 ^{ns}
T/M	1,39±0,08 ^{ns}	1,37±0,13 ^{ns}	0,44±0,04 ^{ns}	0,45±0,05 ^{ns}
N/F	1,36±0,05 ^{ns}	1,46±0,01 ^{ns}	0,46±0,02 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}
N/M	1,38±0,10 ^{ns}	1,42±0,06 ^{ns}	0,45±0,04 ^{ns}	0,43±0,03 ^{ns}
Média	1,39±0,02 ^{ns}	1,42±0,02 ^{ns}	0,44±0,02 ^{ns}	0,43±0,01 ^{ns}
Camada 10-20 (cm)				
A/F	1,37±0,07 ^{ns}	1,41±0,05 ^{ns}	0,46±0,03 ^{ns}	0,43±0,03 ^{ns}
A/M	1,39±0,05 ^{ns}	1,36±0,07 ^{ns}	0,43±0,03 ^{ns}	0,46±0,03 ^{ns}
T/F	1,39±0,04 ^{ns}	1,34±0,11 ^{ns}	0,45±0,02 ^{ns}	0,45±0,08 ^{ns}
T/M	1,37±0,06 ^{ns}	1,37±0,09 ^{ns}	0,46±0,02 ^{ns}	0,45±0,04 ^{ns}
N/F	1,42±0,06 ^{ns}	1,35±0,11 ^{ns}	0,43±0,04 ^{ns}	0,46±0,05 ^{ns}
N/M	1,32±0,10 ^{ns}	1,25±0,06 ^{ns}	0,48±0,04 ^{ns}	0,50±0,02 ^{ns}
Média	1,38±0,02 ^{ns}	1,35±0,04 ^{ns}	0,45±0,02 ^{ns}	0,46±0,02 ^{ns}
Camada 20-30 (cm)				
A/F	1,42±0,04 ^{ns}	1,34±0,12 ^{ns}	0,43±0,03 aA	0,47±0,05 aA
A/M	1,41±0,09 ^{ns}	1,31±0,06 ^{ns}	0,44±0,05 aA	0,48±0,03 aA
T/F	1,35±0,09 ^{ns}	1,34±0,03 ^{ns}	0,46±0,03 aA	0,47±0,02 aA
T/M	1,38±0,02 ^{ns}	1,37±0,07 ^{ns}	0,45±0,01 aA	0,46±0,03 aA
N/F	1,47±0,01 ^{ns}	1,35±0,08 ^{ns}	0,40±0,01 aB	0,47±0,04 aA
N/M	1,39±0,07 ^{ns}	1,29±0,02 ^{ns}	0,44±0,04 aA	0,49±0,01 aA
Média	1,40±0,03 ^{ns}	1,33±0,02 ^{ns}	0,44±0,01 B	0,47±0,01 A

SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. Média ± desvio padrão. ^{ns} Não significativo por análise de variância ($p < 0,05$). Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A Pt variou entre 0,40 e 0,58 m³ m⁻³, com efeito significativo entre tratamentos nas camadas de 0-5 e 20-30 cm (Tabela 4). Em superfície, o manejo SDE foi superior à SD, seguindo comportamento contrário da Ds, sendo maiores nas sucessões nabo/feijão, trigo/feijão e nabo/milho em comparação as mesmas sucessões em SD. Na camada de 20-30 cm o

manejo SDE resultou em menor Pt do que na SD. Estes resultados sugerem que a escarificação atua positivamente para reduzir a Ds e aumentar a Pt em superfície, por outro lado, afeta negativamente estas variáveis em profundidade abaixo da ação das hastes.

Quanto aos valores de Ma do solo, houve diferença estatística entre tratamentos nas camadas de 0-5 e 10-20 cm (Tabela 5). A mobilização do solo, através da escarificação, manteve, após doze meses do preparo, volume de Ma 90% superior na SDE em relação à SD na camada de 0-5 cm. Com relação às sucessões vegetais, a escarificação afetou positivamente os Ma nas sequências trigo/feijão e nabo/feijão para esta mesma camada. Provavelmente, as raízes das plantas que se desenvolveram durante o

período de condução do experimento no manejo SDE evitaram a reconsolidação do solo e impediram o seu retorno ao estado inicial de compactação na superfície (NICOLOSO et al., 2008). Nestas sucessões houve redução expressiva dos valores de Ma ao final dos cultivos em SD. Isso pode ter ocorrido em função do baixo desenvolvimento radicular característico da cultura do feijão, associada à elevada Ds nesta camada.

Considerando o valor crítico de Ma de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a utilização da cultura do milho foi capaz de aumentar a Ma acima deste valor nos tratamentos sob SD (Tabela 5), em comparação ao início do experimento (Tabela 2), com maior destaque para a sucessão nabo/milho (Ma: $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Tabela 5. Macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo, ao final dos cultivos, nos diferentes tratamentos e em quatro camadas.

Sucessão vegetal	Manejo			
	SDE	SD	SDE	SD
	Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
	Camada 0-5 (cm)			

A/F	0,18±0,12 aA	0,09±0,06 aA	0,38±0,06 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}
A/M	0,19±0,11 aA	0,10±0,02 aA	0,38±0,06 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}
T/F	0,22±0,07 aA	0,08±0,02 aB	0,35±0,03 ^{ns}	0,41±0,02 ^{ns}
T/M	0,15±0,10 aA	0,12±0,06 aA	0,39±0,04 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}
N/F	0,21±0,03 aA	0,07±0,01 aB	0,36±0,04 ^{ns}	0,39±0,01 ^{ns}
N/M	0,20±0,09 aA	0,15±0,08 aA	0,37±0,05 ^{ns}	0,34±0,10 ^{ns}
Média	0,19±0,07 A	0,10±0,02 B	0,37±0,04 ^{ns}	0,39±0,03 ^{ns}
Camada 5-10 (cm)				
A/F	0,04±0,02 ^{ns}	0,05±0,02 ^{ns}	0,38±0,05 ^{ns}	0,37±0,03 ^{ns}
A/M	0,04±0,05 ^{ns}	0,02±0,01 ^{ns}	0,39±0,04 ^{ns}	0,39±0,05 ^{ns}
T/F	0,06±0,07 ^{ns}	0,12±0,09 ^{ns}	0,41±0,03 ^{ns}	0,32±0,10 ^{ns}
T/M	0,03±0,05 ^{ns}	0,07±0,04 ^{ns}	0,41±0,03 ^{ns}	0,38±0,02 ^{ns}
N/F	0,04±0,02 ^{ns}	0,03±0,03 ^{ns}	0,42±0,03 ^{ns}	0,37±0,04 ^{ns}
N/M	0,07±0,05 ^{ns}	0,04±0,03 ^{ns}	0,38±0,05 ^{ns}	0,39±0,01 ^{ns}
Média	0,05±0,03 ^{ns}	0,06±0,01 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}	0,37±0,02 ^{ns}
Camada 10-20 (cm)				
A/F	0,04±0,04 aA	0,02±0,01 bA	0,41±0,02 ^{ns}	0,42±0,03 ^{ns}
A/M	0,02±0,01 aA	0,05±0,03 abA	0,40±0,03 ^{ns}	0,40±0,02 ^{ns}
T/F	0,04±0,01 aB	0,10±0,06 abA	0,41±0,02 ^{ns}	0,34±0,12 ^{ns}
T/M	0,03±0,02 aA	0,05±0,04 abA	0,43±0,03 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}
N/F	0,05±0,01 aA	0,05±0,05 abA	0,39±0,05 ^{ns}	0,41±0,02 ^{ns}
N/M	0,09±0,08 aA	0,12±0,05 aA	0,39±0,03 ^{ns}	0,38±0,03 ^{ns}
Média	0,05±0,01 ^{ns}	0,07±0,01 ^{ns}	0,41±0,01 ^{ns}	0,39±0,03 ^{ns}
Camada 20-30 (cm)				
A/F	0,01±0,01 ^{ns}	0,05±0,06 ^{ns}	0,42±0,03 ^{ns}	0,41±0,02 ^{ns}
A/M	0,04±0,04 ^{ns}	0,06±0,06 ^{ns}	0,41±0,01 ^{ns}	0,42±0,04 ^{ns}
T/F	0,05±0,06 ^{ns}	0,04±0,04 ^{ns}	0,41±0,03 ^{ns}	0,43±0,03 ^{ns}
T/M	0,03±0,01 ^{ns}	0,02±0,02 ^{ns}	0,43±0,01 ^{ns}	0,45±0,04 ^{ns}
N/F	0,03±0,03 ^{ns}	0,02±0,01 ^{ns}	0,37±0,02 ^{ns}	0,45±0,04 ^{ns}
N/M	0,04±0,02 ^{ns}	0,08±0,03 ^{ns}	0,40±0,03 ^{ns}	0,41±0,02 ^{ns}
Média	0,03±0,02 ^{ns}	0,04±0,02 ^{ns}	0,41±0,01 ^{ns}	0,43±0,02 ^{ns}

Onde: SDE: semeadura direta escarificada; SD: semeadura direta; A: aveia; T: trigo; N: nabo forrageiro; F: feijão; M: milho. Média ± desvio padrão. ^{ns} Não significativo por análise de variância ($p < 0,05$). Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Este resultado pode ser atribuído ao efeito combinado das raízes utilizadas nesta sucessão, já que o nabo forrageiro possui raiz pivotante e bem

desenvolvida, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar as propriedades físicas do solo (CUBILLA et

al., 2002), enquanto o milho, embora não possua raízes muito desenvolvidas, possui sistema radicular bem desenvolvido.

A sucessão nabo/milho resultou nos maiores valores absolutos de M_a na camada de 10-20 cm, independentemente do manejo do solo, sendo superior ao limitante para as culturas ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Ao observar o valor limitante de M_a , este tipo de solo (Cambissolo Húmico com elevado teor de silte) tem restrições ao desenvolvimento radicular, devido aos baixos valores observados nas camadas inferiores, independente do manejo e das culturas, concordando com Bortolini et al. (2016).

Os valores de M_i variaram entre 0,35 e $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e não apresentaram diferença significativa doze meses após a escarificação e a implantação das sucessões vegetais (Tabela 5).

CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades físicas do solo da camada de 0-5 cm e a infiltração

de água constam na Tabela 6. Para interpretação dos resultados, os valores dos coeficientes foram classificados de acordo como o grau de correlação (MUKAKA, 2012).

As variáveis de infiltração de água TFI e I acumulada apresentaram correlação (positiva) muito alta entre si, e ambas apresentaram correlações do tipo baixa a moderada com as propriedades D_s , P_t e M_a . Destes, P_t e M_a apresentaram correlação (positiva) com TFI e I acumulada, enquanto a D_s teve correlação (negativa) com as duas variáveis de infiltração. A M_i apresentou correlação insignificante com TFI e I acumulada (Tabela 6). Os resultados demonstram que a redução da D_s e o aumento da P_t e da M_a na camada superficial do solo resultantes da escarificação, efetivamente elevam a taxa final de infiltração e a lâmina total de água infiltrada. É através dos M_a os caminhos preferenciais para a entrada da água no solo, e quando o mesmo encontra-se com teor de umidade elevado, a manutenção do fluxo de água ocorre nos poros maiores, por

efeito gravitacional (VIEIRA; KLEIN, 2007). Por esta razão, uma maior taxa

final de infiltração de água proporciona uma maior infiltração total.

Tabela 6. Correlação linear de Pearson entre propriedades físicas do Cambissolo Húmico (camada de 0-5 cm) e infiltração de água no solo.

Variáveis	Pt	Ma	Mi	TFI	I acumulada
Ds	-0,985 (p<0,01)	-0,941 (p<0,01)	0,557 (p<0,03)	-0,485 (p<0,07)	-0,514 (p<0,06)
Pt		0,921 (p<0,01)	-0,482 (p<0,08)	0,482 (p<0,08)	0,510 (p<0,06)
Ma			-0,771 (p<0,01)	0,412 (p<0,13)	0,480 (p<0,08)
Mi				-0,144 (p<0,62)	-0,254 (p<0,38)
TFI					0,972 (p<0,01)

Onde: Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Ma: macroporos; Mi: microporos; TFI: taxa final de infiltração de água no solo; I acumulada: infiltração total de água no solo. Coeficiente do modelo de Pearson seguido do valor de significância da correlação (p-value). Grau de correlação (MUKAKA, 2012): Insignificante (<0,3), baixa (0,3 a 0,5), moderada (0,5 a 0,7), alta (0,7 a 0,9) e muito alta (>0,9).

Entre as propriedades do solo, a Ds teve correlação (negativa) muito alta com Pt e Ma e correlação (positiva) moderada com Mi. A Pt também foi correlacionada de forma (positiva) muito alta com Ma e de forma (negativa) baixa com Mi (Tabela 6). Com isso, o aumento da Ds proporciona menor Pt, efeito já esperado, por outro lado, o preparo do solo também altera a distribuição do tamanho de poros, sendo que parte dos Mi foram convertidos em Ma pela escarificação, concordando com Werner et al. (2016). Isso justifica a

correlação (negativa) alta entre Ma e Mi.

CONCLUSÕES

Uma escarificação em solo manejado sob semeadura direta afeta positivamente as propriedades físicas do solo logo após o preparo, com efeito restrito à camada superficial de 0-5 cm, aumentando a porosidade total e a macroporosidade.

Os efeitos da escarificação em um Cambissolo Húmico de textura argilo siltosa persistem por período de um ano, e resulta em maior infiltração de

água no solo, conforme constatado nesta pesquisa.

As propriedades físicas densidade do solo, porosidade total e macroporos da camada superficial de 0-5 cm correlacionam-se com a taxa final de infiltração e a lâmina total de água infiltrada no solo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.495 - 504, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300011>
- BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, C.; LUCIANO, R. V. Water infiltration in two cultivated soils in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.573 - 588, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140304>
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, v.58, p.555 - 560, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300018>
- BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; RECH, C.; MAFRA, A. L.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; PÉRTILE, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.15, p.60 - 67, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711512016060>
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. *Soil and Tillage Research*, v.68, p.49-57, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00083-1)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.
- CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, M. J. Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação, 2002. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

E DA ÁGUA, 14. Cuiabá. **Anais...Cuiabá**, SBCS, 2002. CD-ROM.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1713 - 1722, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500026>

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; Faganello, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.159-168, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**: manual de laboratório. New York: University Press, 1975.

GASSEN, J. R. F.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U. B.; BELLÉ, M. P.; BONOTTO, G. J. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.116 - 124, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100015>

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2115 - 2126, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600026>

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v.24, p.69 - 71, 2012. <https://www.ajol.info/index.php/mmj/article/view/81576>

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1735 - 1742, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037>

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777 - 1785, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032>

- PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.693 - 700, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>
- POTT, C.A.; BARETA JUNIOR, E.; MÜLLER, M.M.L.; GENÚ, A.M.; SANDINI, I.E.; KRAMER, L.F.M. Qualidade física do solo e produtividade da cultura do feijoeiro em sistema de integração agricultura-pecuária. **Acta Iguazu**, v.7, p.85 -98, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001100013>
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v.27, p.29 - 48, 2003. http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.quoo.com.br/downloads/Producao_Artigo_s/5.pdf
- SANTOS, I. L. N.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M.; SANTOS, K. V.; OLIVEIRA, D. T. B.; SOUZA, L. G. Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de Crotalária. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, p.925 - 934, 2016. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V10N500469>
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1890 - 1905, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, Porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, p.795 - 801, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301 - 309, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000200016>
- TWONLOW, S. J.; PARKINSON, R. J.; REID, I. Temporal changes in soil physical conditions after deep loosening of a silty clay loam in SW England. **Soil & Tillage Research**, v.31, p.31-47, 1994. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90093-0)
- VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271 - 1280, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600006>
- WERNER, R. S.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WOLSHICK, N. H.; SANTOS, K. F. D.; MOTA, J. M. Soil Properties and

Plant Biomass Production in Natural Rangeland Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1 - 10, 2016.
<https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150117>

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society American Journal**, v.56, p.1743 - 1750, 1992.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>