

## COMPACTAÇÃO VERSUS PERDA DE ÁGUA E SOLO

Pablo Chang<sup>1\*</sup>; Deonir Secco<sup>1</sup>; Araceli Ciotti de Marins<sup>2</sup>; Simone Andréia Roehrs<sup>1</sup>; Claudia Borgmann<sup>1</sup>; Lilian Cristina de Souza Madalena<sup>1</sup> e Ricielly Eloyze Rosseto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Campus de Cascavel. Rua Universitária 2069, CEP: 85819-110, Bairro Jardim Universitário, Cascavel, PR. \*E-mail: pablo-sdw@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, Campus de Toledo. Rua Cristo Rei, 19, CEP: 85902-490, Vila Becker, Toledo, PR.

*RESUMO: Um dos problemas mais alarmantes é em relação a perda de água e solo, que se indicam como efeitos negativos gerados pela compactação. Os estados de compactação afetam de forma muito significativa as perdas de água e solo por erosão. O trabalho tem por objetivo fazer uma revisão de literatura sobre os efeitos dos estados de compactação na perda de água e solo. Será estudado cada caso separadamente; em sequência, das suas relações mútuas e, por fim, sobre as soluções de uso e manejo de acordo com a literatura recente. Ao compactar o solo este sofre redução no volume de macroporos, o que limita a infiltração, ocasionando maior escoamento superficial e resultando na perda de água e solo. Outros dois fatores que contribuem fortemente na causa e no efeito é a umidade e a cobertura vegetal presente no solo. Portanto, é necessário gerenciar o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, a fim de reduzir dos efeitos da compactação na perda de água e solo.*

*PALAVRAS-CHAVE: erosão hídrica, densidade do solo, física do solo.*

## COMPACTION VERSUS WATER AND SOIL LOSS

*ABSTRACT: One of the most alarming problems with water and soil loss is the negative effects generated by the compaction. The compaction states affect very significantly the water and soil loss by erosion. The objective of this work is to review the literature on the effects of compaction states on soil and water loss. Each case will be studied separately; In sequence, of their mutual relations and, finally, as solutions of use and management according to a recent literature. When compacting the soil, it undergoes a reduction in the volume of macropores, which limits the infiltration, causing greater surface runoff and resulting in loss of water and soil. Two other factors that contribute strongly to cause and effect are the moisture and vegetation cover present in the soil. Therefore, it is necessary to manage the traffic of agricultural machinery and implements in order to reduce the effects of compaction on soil and water loss.*

*KEYWORDS: water erosion, soil density, soil physic.*

## INTRODUÇÃO

Cada vez mais é requerido no âmbito da pesquisa atual sobre estudos para o melhoramento do uso e manejo do solo, pela decorrente manifestação de problemas que envolvem a estrutura do solo. Segundo Carvalho, M., et al. (2014), a estrutura do solo é uma das propriedades de alta importância e que interfere na produtividade das culturas.

De acordo com Eduardo et al. (2013) e Bertol et al. (2016), a degradação dos solos é um problema que se caracteriza pela rapidez no qual provoca prejuízos para o meio ambiente

e para as atividades econômicas. A principal consequência de sua degradação é a erosão do solo, isto é, a perda de solo e água. Ela pode ser ocasionada naturalmente ou de maneira induzida pela ação do homem (Marioti et al., 2013), podendo ser derivados do sistema de manejo, tratos culturais, semeadura, preparo do solo e colheita mecanizada. Tais práticas são fatores consideráveis que influenciam na intensidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, na erosão hídrica (Cândido et al., 2014; Volk e Cogo, 2014).

Por ser um problema recorrente na prática agrícola, boa parte das pesquisas sobre a erosão tendem a buscar estimativas de perdas de solo e, por meio de práticas conservacionistas, reduzi-los ao máximo (Eduardo et al., 2013). Tais pesquisas são de alta relevância científica e precisam ser destacadas, visto que, lamentavelmente, as estratégias de conservação de solo e água são infreqüentemente aplicadas (Keesstra et al., 2016).

Não obstante, como a erosão hídrica é acelerada pela ação antrópica, é necessário avaliar os impactos que as práticas de manejo causam sobre o solo, o que torna o entendimento necessário das modificações da qualidade física e estrutural desse (Guimarães, C., et al., 2013). Isso é de suma importância, uma vez que contribui na identificação e escolha de medidas apropriadas, conduzindo a uma produtividade sustentável (Cândido et al., 2014).

Entre os demais fatores ocasionados no solo pela ação de uso e manejo, a compactação é um dos principais fatores que altera na sua qualidade (Silva et al., 2014). Apesar disso, poucos estudos apresentaram uma ligação direta deste fator com a perda de água e solo, uma vez que possui uma relação íntima por envolver a macroporosidade, infiltração e escoamento superficial da água, este último sendo intuitivamente o processo da perda de água e solo.

Nesse estudo, por meio das pesquisas, foi encontrado que a compactação é uma das causas da erosão hídrica. Contudo, é necessário a adoção de medidas com o intuito de reduzir os efeitos da compactação, para reduzir a degradação ocasionada pelas operações mecanizadas sobre o solo e os conseqüentes prejuízos econômicos e produtivos das futuras rotações de culturas (Sampietro et al., 2015).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão de literatura sobre os efeitos dos estados de compactação na perda de água e solo. Primeiramente, será estudado cada caso separadamente; em seqüência, das suas relações mútuas e, por fim, sobre as soluções de uso e manejo de acordo com os resultados de trabalhos mais recentes no âmbito científico.

### **Compactação x porosidade do solo**

A compactação do solo pode ser definida como o incremento na densidade por meio da aplicação de cargas ou pressão (Szymczak et al., 2014), sendo ocasionado pela ação de forças externas e internas que atuam no solo (Guimarães, C., et al., 2013), ocorrendo maior compactação do empacotamento das partículas do solo, quanto maior a densidade (Sampietro et al., 2015).

De acordo com Guimarães, C., et al. (2013), as forças externas podem ser provenientes do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas, enquanto as forças internas a expansão e contração da massa do solo e os ciclos de umedecimento e secagem. Todavia, a principal energia que rege a compactação em áreas cultivadas é por meio de máquinas e implementos agrícolas (Silva et al., 2014).

Por meio desta característica, a densidade se torna uma variável de extrema importância para quantificar os estados de compactação, visto que o seu conhecimento pode permitir a antecipação de medidas de controle. Uma aplicação direta é relacionada às condições restritivas das plantas, o que apresentará efeitos drásticos no momento em a densidade do solo for maior que a densidade crítica da planta (Guimarães, C., et al., 2013).

Barik et al. (2014), ao estudar as propriedades do solo com a operação de tráfego no campo, afirmam que a média da densidade havia crescido 8,6% de 1,28 g cm antes do tráfego para 1,39 g cm<sup>3</sup> depois do tráfego. O que indica que houve uma alteração na densidade do solo com a operação do tráfego de maquinarias agrícolas, sendo o seu incremento definido pela pressão aplicada ao solo.

No trabalho de Carvalho, M., et al., 2014, ao estudar composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo, verificou que os agregados retirados da área cultivada com milho, mais arenosos, apresentaram os maiores valores de densidade para todas as profundidades de amostragem. Esses resultados, segundo os autores, atribuem às características texturais do solo e não ao efeito da compactação ocasionada pelo sistema de manejo. Essa é uma observação relevante, enfatizando que a compactação é relacionada ao incremento da densidade e pela porosidade interagregados, e não apenas pelo próprio valor da sua densidade em si, o que é facilmente confundido ao realizar a identificação de um solo compactado.

Compreendendo o mecanismo da compactação, o solo, ao ser comprimido, é expulsado parcialmente o ar ou a água que estão neste. Por consequência, há a redução da porosidade com o aumento da compactação (Szymczak et al., 2014). No trabalho de Barik et al. (2014), a taxa de redução da porosidade total foi de 8,9% após a operação de tráfego no

campo. Feitosa et al., ao trabalharem a influência da alteração da pressão interna dos pneus e da velocidade de um trator agrícola para a avaliação da compactação, também apresentaram redução na porosidade total após o tráfego, com taxas de decréscimo de 3,21; 2,32 e 1,58% respectivamente nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade de solo. Com destaque à camada superficial, no qual teve maior impacto do trator agrícola.

Em relação à macroporosidade, Szymczak et al. (2014), em um trabalho em que em que objetivou-se verificar a ocorrência da compactação do solo após a colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes graus de umidade sobre um Latossolo Vermelho Distroférrico típico, as atividades de colheita florestal causaram compactação verificada nas parcelas experimentais com redução aproximada de 60% de macroporosidade em relação à condição inicial do solo, sem compactação.

Semelhantemente, no trabalho de Silva et al. (2014), ao determinar o grau de compactação que restringe o crescimento da cultura da soja em um Latossolo Bruno aluminoso típico, com a compactação, a macroporosidade diminuiu de 0,18 para 0,03 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, o que é equivalente a 83,33%. Ainda de acordo com os autores, com o aumento da compactação há transformação de parte dos macroporos em microporos.

Entretanto, ainda que a compactação diminua o volume dos macroporos, o mesmo não ocorre com o volume dos microporos que se localizam no interior dos agregados. Além disso, embora seja provocado a quebra dos agregados, não alteraria na sua densidade (Carvalho, M., et al., 2014).

Em um trabalho de Ortigara et al. (2014), ao determinar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas do solo para caracterizar o seu estado de compactação e a sua capacidade de suporte de carga em três áreas com diferentes usos pastejo rotacionado, mata nativa e preparo convencional, indicou os resultados em que o pisoteio animal influenciou negativamente no estado de compactação. Além disso, os menores valores de densidade máxima foram verificados na mata nativa por causa da elevada quantidade de raízes, folhas e material orgânico em decomposição.

Para o sistema com pastejo rotacionado, observou-se redução drástica na macroporosidade e porosidade total em relação à área de mata nativa, redução ocorrida em razão do pisoteio animal ocorrente na área (Ortigara et al., 2014), o que contribuiu na compactação do solo.

Na mata nativa, observou-se valores maiores de índice de vazios nas três camadas de profundidade (0-5, 5-10 e 10-15 cm), em relação ao pastejo rotacionado e preparo convencional. Além disso, no pastejo rotacionado, em relação aos valores das densidades 1,48;

1,47 e 1,42 Mg m<sup>3</sup> das camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm, respectivamente, ao passo que os valores das densidades diminuía, ocorreu o aumento do índice de vazios, sendo 0,79; 0,80 e 0,87, respectivamente nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. O mesmo comportamento ocorreu no preparo convencional e mata nativa, sendo suficiente para indicar que, com o aumento da densidade, diminui o índice de vazios, e portanto, da sua porosidade.

Em relação às camadas de solo, a camada superficial é a mais suscetível à compactação (Vasconcelos et al., 2014; Feitosa et al., 2016) devido à presença de material orgânico integrado ao solo, que o torna mais poroso e frágil ao receber cargas provenientes das máquinas e equipamentos agrícolas (Szymczak et al., 2014).

No trabalho de Barik et al. (2014), a taxa de incremento da densidade após o tráfego no campo foi de 14,5; 5,3 e 6,7% nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Resultados semelhantes apresentaram no trabalho de Szymczak et al. (2014), em que apresentaram o incremento de 15,7; 13,5; 2,7 e -0,9% nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. No trabalho de Sampietro et al. (2015), com o incremento de 23,2; 5,3 e 6,1% nas camadas de 0-15; 15-30 e 30-50 cm, respectivamente. E também, no trabalho de Feitosa et al. (2015), apresentaram o incremento de 76,9; 6,2 e 2,6% nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Com isso, tais valores evidenciaram o estado de compactação da camada superficial do solo.

Ainda de acordo com Feitosa et al. (2015), as deformações na estrutura do solo ocasionadas pelo tráfego do trator são influenciadas pelas velocidades de deslocamento dos tratores; da distribuição do peso do trator; das dimensões, tipo de estrutura e pressão interna dos pneus; da área de contato e pressão de contato entre o pneu e o solo e da intensidade realizada pelos tratores. Através disso, observou-se que, na comparação das velocidades de deslocamento de 1,19; 1,51 e 2,03 m s<sup>-1</sup> com as aplicações das pressões 83, 96, 110 e 124 kPa, a maior compactação ocorreu com a aplicação das pressões internas de pneus de 110 e 124 kPa e velocidade 1,51 m s<sup>-1</sup>. Tal estudo é interessante para se analisar as velocidades e pressões ideais no tráfego agrícola, de forma a amenizar ao máximo possível os impactos da compactação.

### **Compactação e o desenvolvimento dos cultivos agrícolas**

Sobre o efeito da compactação no desenvolvimento das plantas, a parte mais afetada da planta é a sua raiz. Com o aumento da compactação do solo, há a diminuição dos macroporos e, com isso, a redução da concentração de oxigênio, isto é, menor índice das trocas gasosas. Dessa forma, o solo terá menor mineralização da matéria orgânica e, por sua

vez, menor desenvolvimento das raízes (Guimarães, C., et al., 2013; Silva et al., 2014). Silva et al. (2014) observaram que, com grau de compactação maior que 75%, reduziu o crescimento as raízes na camada compactada; com grau maior que 82%, diminuiu a altura das plantas; com grau maior que 87%, a massa da matéria seca foi reduzida; com grau maior que 93% a evapotranspiração foi reduzida e enquanto o grau maior que 105% as raízes não crescem.

Ortigara et al. (2014) determinaram os valores de resistência à penetração das raízes nos três sistemas de uso do solo em função do estado de compactação e verificaram que se apresentou uma regressão exponencial positiva, com coeficiente de determinação de 0,84. Barik et al. (2014) mostraram que a operação com tráfego em relação à operação sem tráfego apresentou o incremento de 43,3% da resistência de penetração. Indicando que, com o aumento da densidade, houve maior resistência à penetração.

### **Compactação x umidade do solo**

No trabalho de Sampietro et al. (2015), com o objetivo de avaliar a influência da umidade na compactação de um Neossolo Regolítico ao tráfego de máquinas de colheita florestal e desenvolver modelos para estimativa da compactação, além de relacionar a resistência à penetração em função da densidade do solo, foi construído o modelo de três variáveis com, além destes, a umidade gravimétrica. Por meio do modelo, foi possível verificar que a resistência à penetração estimada atingiu o seu pico no maior valor da densidade do solo e no menor valor da umidade gravimétrica. Enquanto na menor resistência à penetração ocorreu o inverso, sendo em função da menor densidade e maior umidade. No trabalho de Barik et al. (2014), a operação com tráfego em relação ao sem tráfego apresentou o aumento de 12,7% de teor de umidade do solo.

Sendo assim, foi possível afirmar que a umidade do solo influencia na compactação (Sampietro et al., 2015; Silva et al., 2014; Szymczak et al., 2014;). No mesmo trabalho, Sampietro et al. (2015) também afirmaram que, com o aumento da umidade, houve maior incremento na densidade. Da mesma forma, Cambi et al., ao analisar o impacto dos tratores de rodas nas propriedades físicas do solo em um suporte de conífera misturado, observaram-se que a compactação, no decorrer das cinco passadas de tratores, foi maior no solo em condição de solo úmido que a condição de solo seco.

De uma maneira intrínseca, o tráfego de máquinas e o preparo do solo em umidade de solo inadequada pode formar zonas de compactação, reduzindo a macroporosidade, o que

dificulta as trocas gasosas do solo e, conseqüentemente, provocando o confinamento no sistema radicular das plantas (Ortigara et al., 2014; Sampietro et al., 2015).

### **Manejo x perda de água e solo**

De acordo com Marioti (2013) e Cândido et al., (2014), a erosão apresenta diversas conseqüências. Ela diminui a fertilidade do solo, em decorrência da perda de carbono orgânico e da perda de nutrientes da camada superficial. Assim como degrada o solo de forma física, biológica e quimicamente, rebaixa a camada arável e reduz o potencial produtivo do solo. Pelo lado financeiro, a erosão aumenta os gastos com adubação química, podendo até excluir áreas do processo produtivo pela sua inviabilidade na produção. Além disso, ambientalmente falando, causa problemas como assoreamento, o que diminui a quantidade de água disponível para a planta e que reduz a qualidade da água, e inundações.

As operações de colheita mecanizada provocam a deterioração física, o que é mais intensa na camada superficial do solo (Sampietro et al., 2015), da mesma forma como ocorreu com a compactação do solo. Nesta camada, é mais suscetível ao selamento superficial do solo, em que se define como uma fina camada de partículas com adensamento, o que cria resistência à infiltração da água no perfil do solo. O selamento induz a maiores perdas de água, no entanto, em perdas de solo já são menores, pois ocorre menos arraste de partículas quando comparado a um solo sem a ocorrência do selamento (Cândido et al., 2014).

Em trabalho de Eduardo et al. (2013), com o objetivo de determinar a erodibilidade e os fatores manejo e cobertura da cultura de milho, mostrou dados sobre as perdas de solo na parcela cultivada com milho em nível e milho cultivado morro abaixo (em desnível). Os resultados mostraram que as perdas de solo foram maiores em estabelecimento da cultura de pouca cobertura e com maior desnível.

Em outro trabalho semelhante, de Rodrigues et al. (2015), foi simulado a precipitação em parcelas experimentais com e sem cobertura vegetal e, avaliar o escoamento superficial e a função da floresta na interceptação da água, controle e perdas de solo provocadas pela erosão. O solo descoberto apresentou um aumento de 98,09% de sedimentos, quando comparado com solos com cobertura. Isso corrobora com a afirmação de Oliveira et al. (2015), em que a redução da cobertura superficial acelera a erosão.

Carvalho, D., et al. (2015), ao avaliarem as perdas de solo e água em cultivo em nível, cultivo morro a baixo e solo exposto, concluíram que o sistema de preparo do solo em nível, em relação ao solo exposto, apresentou uma redução de 59,7% de perda de água, 86,6% da

perda de solo e um incremento de 223,3% da taxa de infiltração. O que claramente diminui o escoamento superficial.

Prosdocimi et al. (2016) testaram o efeito da palha de cevada na erosão do solo e escoamento superficial em um vinhedo da Espanha Oriental onde a perda de água e solo são insustentáveis. Os resultados mostraram que a perda de solo após a aplicação de palha teve a redução de 77,79%, enquanto a perda de água com a redução de 25,31%.

Uma das causas para que o solo exposto apresentasse maiores magnitudes de perda de água e solo foi devido ao impacto direto dos pingos de chuva. De acordo com Carvalho et al. (2015), os pingos de chuva causam a desagregação das partículas de solo, o que, por sua vez, resulta na redução da macroporosidade pela sua obstrução, aumento do escoamento de água, diminuição da rugosidade da superfície e, conseqüentemente, na produção e transporte de sedimentos (Carvalho, D., et al., 2015; Eduardo et al., 2013; Ramos et al., 2014).

Em relação à perda total de solo em função da cobertura superficial, nos trabalhos de Volk e Cogo (2014) e Ramos et al. (2014) apresentaram comportamentos semelhantes, dado que as perdas de solo diminuíram com o aumento da cobertura. Ao relacionar também a perda de solo com a perda de água, nos trabalhos de Bertol et al. (2013, 2014) e Oliveira et al. (2015), com o objetivo de quantificar as perdas de solo e água em relação em uma área sem preparo prévio do solo, à aplicação de fertilizantes e nutrientes, respectivamente, evidenciaram que o aumento na taxa de enxurrada se refletiu em aumento da energia de desagregação e o transporte de sedimentos.

Ainda no trabalho de Bertol et al. (2013), o aumento da quantidade de adubo aplicado na superfície do solo, elevou a produção de fitomassa, o que diminuiu as perdas de solo por erosão hídrica. Em muitos casos semelhantes, apresentaram também que a umidade do solo foi o fator predominante (Marioti et al., 2013). Visto que o solo úmido proporciona a desagregação e o transporte das partículas por meio do escoamento superficial (Cândido et al 2014).

Assim, quanto maior a umidade do solo, maiores foram as perdas. Ao mesmo momento em que, a baixa umidade do solo proporcionou maior infiltração (Sampietro et al., 2015). No trabalho de Marioti et al. (2013), independente do sistema de manejo, as menores taxas de reduções das perdas de água ocorreram nas condições em que os solos apresentaram limitada capacidade de infiltração. Além desses fatores, a intensidade das chuvas e o tempo de ocorrência do escoamento superficial, também são fundamentais, como observados por Rodrigues et al. (2015).



### Relação causas x efeitos

Os estados de compactação, dependendo do grau em que ocorre, pode incrementar os níveis de perda de água e solo (Oliveira et al., 2015; Szymaczak, 2014). Por meio do processo da compactação, ocorre a redução do espaço poroso, da infiltração, da condutividade hidráulica e do movimento interno da água (Vasconcelos et al., 2014; Sampietro et al., 2015; Mossadeghi-Björklund et al., 2016).

Dessa forma, quando a intensidade da chuva ultrapassa a taxa de infiltração do solo, ocorre o acúmulo de água na sua superfície e, conseqüentemente, o escoamento superficial nesses pontos (Carvalho, D., et al., 2012; Vasconcelos et al., 2014), que é decisivo no aumento dos processos erosivos (Bertol et al., 2014; Vasconcelos et al., 2014; Rodrigues, et al., 2015). Assim como verificado no trabalho de Barros et al. (2014) sobre a estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica, ocorreu a baixa infiltração nas áreas saturadas onde se encontra o escoamento superficial na bacia.

Kuncoro et al. (2014), ao obterem dados experimentais dos efeitos de compactação nas propriedades de transporte e sua relação com a presença da aplicação de matéria orgânica, compararam as medidas de condutividade hidráulica saturada após a compactação em níveis de estresse no solo de 150, 225 e 300 kPa. Observaram-se que, em todos os tratamentos, houve a redução da condutividade hidráulica com o incremento da compactação.

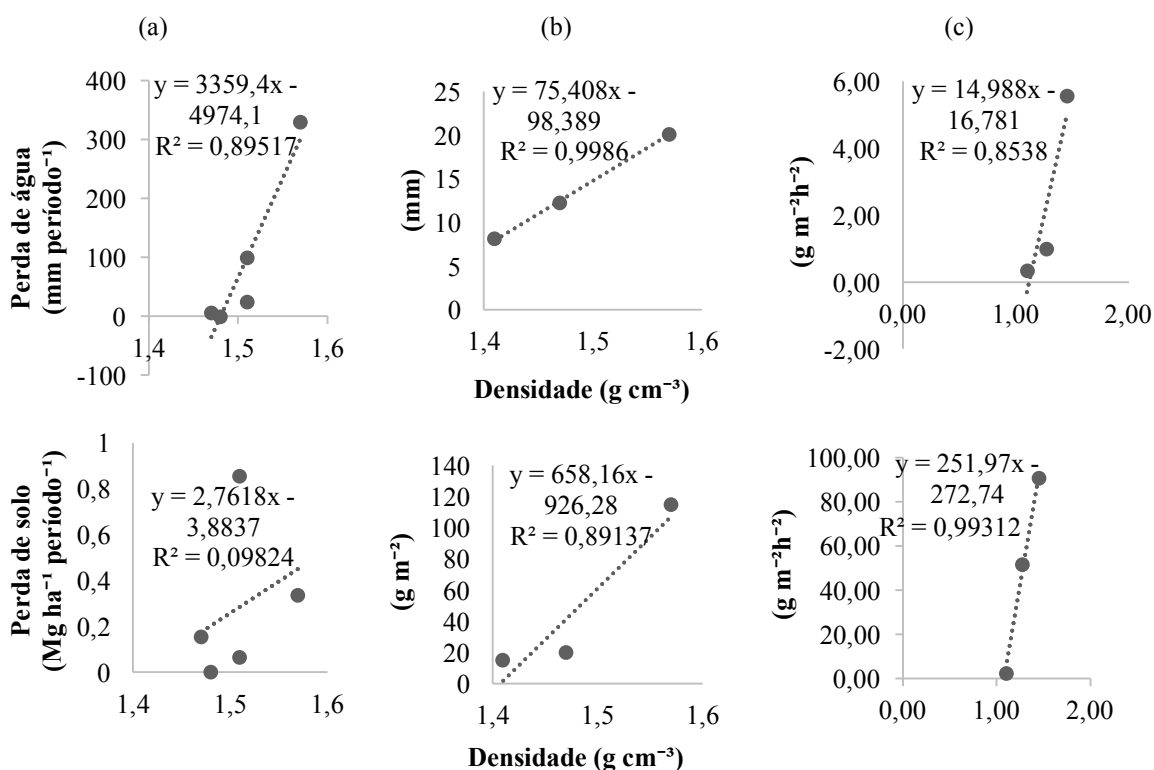
Mossadeghi-Björklund (2016) também apresentaram, em seu estudo sobre o efeito da compactação nas propriedades hidráulicas e de transporte do solo em subsolo, um modelo sobre o escoamento superficial em função dos estados de compactação. Em graus de compactação, houve o aumento do escoamento, enquanto isso, ao passo em que os macroporos foram se regenerando ao seu estado natural, diminuía os níveis de escoamento.

Como dito anteriormente, são poucos artigos que tratam diretamente da relação de compactação com a perda de água e solo. No entanto, para afirmar de forma cuidadosa as hipóteses retratadas, foram escolhidos três trabalhos para a análise dos dados da densidade do solo e perda de solo e água. O primeiro trabalho é de Cândido et al. (2014), com o objetivo de calcular os valores da erosividade da chuva, estimar a tolerância da perda de solo, avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica e verificar a influência dos atributos e matéria orgânica do solo em relação à erosão, em floresta de eucalipto no estágio de pós-plantio. No segundo trabalho, Carvalho, D., et al. (2015) conseguiram avaliar, por meio da chuva simulada, perdas de solo e de água, infiltração no solo e construíram modelos para a estimativa da taxa de infiltração em sistema de preparo de solo e fases da cultura do milho *Zea mays L.* Enquanto o terceiro trabalho, foi de Keesstra et al. (2016), em que analisaram

os efeitos das técnicas de manejo na erosão da água no solo em manejo convencional, com cobertura vegetal e manejo com uso de herbicidas.

Vale ressaltar que, para a análise, é desconsiderado a textura do solo e os seus tratamentos, visto que, com as informações disponíveis, não foi possível identificar se houve ou não a compactação do solo. Apesar disso, apenas com os variados valores da densidade do solo em que estão acessíveis nos trabalhos, já são suficientes para verificar os efeitos de maneira geral. Ademais, os resultados se assemelharam, o que é um indício de menos risco de concluir de forma equivocada.

Os dados de perda de água e solo, em função das densidades para cada tratamento dos trabalhos, foram plotados em gráficos (Figura 1), onde apresentaram uma correlação linear positiva para perda de água, variando de 0,8538 a 0,9986. Enquanto os dados de perda de solo apresentaram uma correção linear, também positiva, variando de 0,098 a 0,9931. Neste sentido, foi possível certificar que o incremento na densidade influenciou no aumento da perda de água e solo, independente do tratamento retratado.



**Figura 1** – Gráficos de perda de água e solo em função das densidades de cada tratamento comparando com os trabalhos de (a) Cândido et al. (2014); (b) Carvalho, D., et al. (2015) e (c) Keesstra et al. (2016).

A retenção de água no solo também é um parâmetro importante a ser analisado. Visto que, no momento em que o volume de água ultrapassa a sua máxima capacidade de retenção,

passará ao estado de inundação e ocorrerá a perda de água e solo. Sendo assim, a densidade pode interferir na curva de retenção de água do solo.

No trabalho de Guimarães, R., et al. (2013), foi verificado a influência da densidade sobre a retenção de água no solo, principalmente no potencial da capacidade de campo. Observaram-se que o impacto da densidade foi menor em  $\psi = -15.000$  hPa do que nos  $\psi = -100$ hPa (capacidade de campo).

Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Silva et al. (2014). Com o aumento dos graus de compactação, principalmente nas menores tensões (0,1 e 10 hPa) a retenção de água foi menor. Enquanto nas maiores tensões, principalmente nas de 5.000 e 10.000 hPa, a retenção de água foi maior.

Como os microporos retém água, os autores explicaram que o fenômeno demonstra em que há a transformação de parte dos macroporos em microporos devido à compactação e, conseqüentemente, o volume de água retido nas maiores tensões aumenta. Assim, reduzindo a inclinação da curva de retenção de água no solo (Silva et al., 2014) e provocando maiores perdas de água e solo em um solo compactado do que um solo sem compactação, nas mesmas condições de umidade volumétrica do solo.

Tratando especificamente da perda de água, um dos fatores pode ser submetido à evapotranspiração exercido pelas plantas. Entretanto, não é impulsionado com a compactação, como afirmam no trabalho de Silva et al. (2014), em que analisaram também os efeitos da compactação na evapotranspiração diária. Observou-se que, com o aumento da compactação, diminuiu a evapotranspiração. Visto que nos menores graus de compactação favorecia o maior desenvolvimento de plantas associada à maior disponibilidade de água e solo. Por outro lado, com o alto estado de compactação, as diminuições dos diâmetros dos poros aumentavam a energia de retenção e diminuía a disponibilidade de água para o crescimento das plantas.

### **Soluções de uso e manejo**

A recuperação de um solo desgastado pela perda de água e solo demanda, geralmente, elevados gastos e longo espaço de tempo. Ainda mais quando for possível, pois depende se a degradação for severa a ponto de ser irreversível. Em vista disso, a prevenção e o controle da erosão são as alternativas mais viáveis sustentavelmente e economicamente (Marioti et al., 2013). Na prática agrícola, o rompimento da camada compactada é usualmente manipulado por meio de subsoladores e escarificadores, os quais penetram na camada compactada (Guimarães, C., et al., 2013).

Um trabalho que envolveu escarificação foi de Gubiani et al. (2013), em que o objetivo foi estudar a correlação de Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) com as variáveis de crescimento e com a produção da cultura de milho de oito cultivos em Latossolo Vermelho distroférico típico, por meio de diferentes estados de compactação. Os tratamentos consistiram de plantio direto com escarificação, até uma profundidade média de 0,3 m, e outro com compactação adicional, com três passadas de um trator MF292 na camada de 0-0,05m. Constatou-se que as densidades do plantio direto escarificado apresentaram menores valores de densidade em relação ao plantio direto e plantio direto compactado, além de apresentar maiores volumes de macroporos.

Além de aliviar o efeito da compactação, a escarificação aumenta a rugosidade superficial, do qual provoca a dissipação da energia cinética da enxurrada (Ramos et al., 2014), sendo um funcionamento relevante em solos com altos declives, por diminuir também a velocidade do escoamento.

No trabalho de Volk e Cogo (2014), ao avaliarem o efeito de diferentes condições físicas de superfície do solo, criadas por métodos de seu preparo, nas perdas de solo e água por erosão hídrica, o tratamento com escarificação, apesar da elevada mobilização do solo nele, resultou em perda de água e solo muito pequena. Já com o uso de gradagem, em que é mais agressivo no quesito de rompimento dos agregados, após a escarificação, aumentou a perda de solo em mais de seis vezes, comparada ao tratamento sem gradagem.

Outra alternativa é em relação ao uso de espécies que tenham um sistema radicular vigoroso com a capacidade de crescimento em solos compactados. Estas espécies de cobertura são conhecidas como “recuperadoras” de estrutura do solo. A vantagem é por distribuir o rompimento da camada compactada de uma maneira mais uniforme, sendo como um perfil próprio das raízes à sua estrutura radicular (Guimarães, C., et al., 2013).

O trabalho de Guimarães, C., et al. (2013), em que objetivou avaliar o crescimento aéreo e radicular de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a quatro níveis de compactação do solo, mostrou que a cultura do milho *Pennisetum graucum* (L.) R. Br. possui a capacidade de romper camadas compactadas.

Além disso, segundo os autores, as raízes deixam uma grande quantidade de bioporos no solo após o processo da decomposição. Estes que são fundamentais no processo da infiltração de água e trocas gasosas (Guimarães, C., et al., 2013). Tais afirmações corroboram com Marioti et al. (2013), ao descrever que as raízes fasciculadas melhoram a estrutura do solo.

A cobertura orgânica sobre o solo diminui a compactação e, por sua vez, a perda de solo e água. No trabalho de Szymczak et al. (2014), o tratamento em que possuía resíduos da colheita evitou que a compactação chegasse a níveis críticos e se estendesse nas camadas subsuperficiais do solo. A razão é pela camada de resíduos da colheita, que contribuiu na dissipação da pressão ocasionado pelas máquinas.

Ademais, a vegetação tende a minimizar o impacto das gotas de chuva (Eduardo et al., 2013), além de proporcionar maior infiltração da água no solo e diminuir o escoamento superficial (Rodrigues, V.A. et al., 2015), reduzindo a quantidade de sedimentos escoados pela enxurrada (Carvalho, D., et al., 2015).

No trabalho de Keesstra et al. (2016) também resultou claramente a redução de perda de água e solo com o crescimento vegetativo do solo coberto. Pois, baixou o escoamento superficial e concentração de sedimentos e, como consequência, baixou as taxas de erosão. De acordo com Cândido et al., (2014) e Eduardo et al., (2013), a rica existência de camada vegetal proporciona maiores valores de macroporosidade e condutividade hidráulica. Já no trabalho de Silva et al. (2014), o menor grau de compactação relacionou-se com o maior teor de matéria orgânica, mesmo em maior teor de argila.

Guimarães, C., et al. (2013) apresentou que o tratamento mata obteve menor de densidade, com  $1,50 \text{ Mg m}^3$ , em relação à pastagem, citros e cultivo, que variaram entre  $1,50$  e  $1,75 \text{ Mg m}^3$ . Ao estudar alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Distrocoeso dos tabuleiros costeiros de Alagoas cultivado com cana-de-açúcar, Vasconcelos et al. (2014) mostraram que o sistema de manejo irrigado apresentou um incremento de 57% da densidade do solo em relação à mata nativa. O que foi uma porcentagem muito maior comparado ao incremento de 42%, da aplicação de vinhaça com torta de filtro em relação à mata nativa.

Segundo os autores, o alto valor do incremento da densidade do sistema manejo irrigado é explicado pela compactação provocada pelo tráfego de máquinas há mais de vinte anos. Já Morvan et al. (2014), em um trabalho, determinaram a influência da densidade da cobertura de grama em rodas de tratores e a sua influência na perda de solo e escoamento sobre inter-fileiras de vinhas. Mostraram que o solo exposto, de densidade de  $1358 \text{ Mg m}^3$ , apresentou maiores coeficientes de escoamento do que o solo com alta densidade de cobertura de grama, com densidade do solo de  $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ . A falta de grama permitiu um fluxo preferencial nas perdas de solo no decorrer das trilhas da roda da inter-fileira onde o solo foi compactado.

Conforme Vasconcelos et al. (2014), a matéria orgânica presente na cobertura vegetal é o principal agente cimentante na formação de agregados. Este o que influencia na retenção de água, estabilidade dos agregados, aeração do solo e na movimentação hídrica do solo. Também no trabalho apresentou, por meio de dados, em que o grau de compactação diminuiu em função do diâmetro médio ponderado dos agregados. No trabalho de Barik (2014), com o tráfego no campo, foi reduzido 22,6% da estabilidade, comparado ao sem o tráfego no campo.

Ademais, a umidade também é um fator imprescindível, sendo necessário gerenciar o tráfego conforme a umidade do solo. Em conformidade com Sampietro et al. (2015), em condições de solo seco, a capacidade de suporte de carga é elevada, favorecendo a suportar as pressões exercidas exteriormente e, assim, a compactação poderá não ser significativa. Com essa postura, é altamente recomendável aguardar pelo momento em que o solo esteja o mais seco possível para minimizar a compactação do solo (Cambi et al., 2015).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estados de compactação influenciam negativamente na perda de água e solo. Os fatores determinantes na compactação são as pressões aplicadas pelas máquinas, o teor de matéria orgânica, os resíduos culturais sobre a área e a umidade do solo.

O volume de palha na superfície do solo é importante para a minimização da compactação do solo causada pelo tráfego das máquinas e também proporciona uma barreira física ao escoamento.

Visando à redução dos efeitos de compactação, é necessário o gerenciamento de tráfego de máquinas agrícolas em conformidade com a umidade do solo, bem como o uso de espécies denominadas “recuperadoras” de estrutura, propiciando melhores condições de infiltração de água no solo e em consequência menores perdas de solo e água por erosão.

### REFERÊNCIAS

BARIK, K.; AKSAKAL, E.L.; ISLAM, K.R., SARI, S.; ANGIN, I. Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations. *Catena*, Giessen, v.120, n.1, p.122-133, 2014.

BARROS, C.A.P.; MINELLA, J.P.G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L.; OTTONELLI, A.S. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.38, n.2, p.557-564, 2014.

BERTOL, I.; RAMOS, R.R.; BARBOSA, F.T.; GONZÁLEZ, A.P.; RAMOS, J.C.; BANDEIRA, D.H. Water erosion in no-tillage monoculture and intercropped systems along contour lines. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.2, p.521-528, 2013.

BERTOL, I.; RAMOS, R.R.; BARBOSA, F.T.; GONZÁLEZ, A.P.; RAMOS, J.C.; BANDEIRA, D.H. Soil water erosion under different cultivation systems and different fertilization rates and forms over 10 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.6, p.1918-1928, 2014.

CAMBI, M.; CERTINI, G.; FABIANO, F.; FODERI, C.; LASCHI, A.; PICCHIO, R. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, Viterbo, v.9, n.1, p.89-94, 2015.

CÂNDIDO, B.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BATISTA, P.V.G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.5, p.1565-1575, 2014.

CARVALHO, D.F.D.; SOUZA, W.D.J.; PINTO, M.F.; OLIVEIRA, J.R.D.; GUERRA, J.G. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.4, p.708-717, 2012.

CARVALHO, D.F.D.; EDUARDO, E.N.; ALMEIDA, W.S.D.; SANTOS, L.A.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.11, p.1072-1078, 2015.

CARVALHO, M.A.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; PASSOS, R.R.; ARAUJO, C.A. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.10, p.1010-1016, 2014.

EDUARDO, E.N.; CARVALHO, D.F.; MACHADO, R.L.; SOARES, P.F.C.; ALMEIDA, W.S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, p.796-803, 2013.

FEITOSA, J.R.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R. Influência da pressão interna dos pneus e velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.117-127, 2016.

GUBIANI, P.I.; GOULART, R.Z.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.6, p.1502-1511, 2013.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p.765-773, 2014.

GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA, C.A.; BLAINSKI, É.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.6, p.1512-1521, 2013.

GUIMARÃES, C.V.; ASSIS, R.L.; SIMON, G.A.; PIRES, F.R.; FERREIRA, R.L.; SANTOS, D.C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.11, p.1188-1194, 2013.

KESSTRA, S.; PEREIRA, P.; NOVARA, A.; BREVIK, E.C.; AZORIN-MOLINA, C.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; JORDÁN, A.; CERDÀ, A. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.551, n.1, p.357-366, 2016.

KUNCORO, P.H.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.143, n.1, p.172-179, 2014.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J.C.; WERNER, R.S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D.H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p.1361-1371, 2013.

MORVAN, X.; NAISSE, C.; ISSA, O.M.; DESPRATS, J.F.; COMBAUD, A.; CERDAN, O. Effect of ground- cover type on surface runoff and subsequent soil erosion in Champagne vineyards in France. **Soil use and management**, Cranfield, v.30, n.3, p.372-381, 2014.

MOSSADEGHI-BJÖRKLUND, M.; ARVIDSSON, J.; KELLER, T.; KOESTEL, J. LAMANDÉ, M.; LARSBO, M.; JARVIS, N. Effects of subsoil compaction on hydraulic properties and preferential flow in a Swedish clay soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.156, n.1, p.91-98, 2016.

OLIVEIRA, L.C.D.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; CAMPOS, M.L.; JUNIOR, J.M. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na Serra Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.25, n.3, p.655-665, 2015.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F.B.; KAISER, D.R.; SILVA, V.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.2, p.619-926, 2014.

PROSDOCIMI, M.; JORDÁN, A.; TAROLLI, P.; KESSTRA, S.; NOVARA, A.; CERDÀ, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface



runoff generation in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.547, n.1, p.323-330, 2016.

RAMOS, J. C.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; MARIOTI, J.; WERNER, R.S. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.5, p.1587-1600, 2014.

RODRIGUES, V.A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; TARJUELO, J.M.; SARTORI, M.M.P.; CANALES, A.R. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, Botucatu v.1, n.1, p.1-13, 2015.

SAMPIETRO, J.A.; LOPES, E.D.S.; REICHERT, J.M. Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um Neossolo Regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.25, n.1, p.239-248, 2015.

SILVA, F. R.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A.D. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.6, p.1731-1739, 2014.

SZYMCZAK, D.A.; BRUN, E.J.; REINERT, D.J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C.C.; LÚCIO, A.D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.4, p.641-648, 2014.

VASCONCELOS, R.F.; SOUZA, E.R.; CANTALICE, J.R., SILVA, L.S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.4, p.381-386, 2014.

VOLK, L.B.D.S; COGO, N.P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.2, p.565-574, 2014.