

SISTEMA RADICULAR E COMPACTAÇÃO DO SOLO

Natasha Barchinski Galant^{1*}; Deonir Secco¹; Reginaldo Ferreira dos Santos²; Luana Celante¹; Emmanuelle Albara Zago¹; Natalia Pereira¹; Robson Andrei Sanches de Almeida¹ e Francisco de Assis Guedes Junior¹

¹Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Curso de Mestrado em Energia na Agricultura, Campus Cascavel, Rua Universitária, 2069, CEP 85819-110, Bairro Jardim Universitário, Cascavel, PR. *E-mail: nah.bio@gmail.com

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP.

RESUMO: Desde o surgimento da agricultura o homem se adaptou e desenvolveu novas tecnologias para suprir suas necessidades. O abuso destas técnicas e o uso excessivo do solo proporcionaram alguns problemas comuns atualmente e o principal destes é a compactação do solo. Esta situação normalmente ocorre devido uso demasiado de máquinas agrícolas muito pesadas em condições de elevada umidade do solo. Diante disso o sistema radicular dos vegetais responde negativamente a este dilema, pois suas raízes tem dificuldade de crescer nestas camadas e consequentemente compromete o desenvolvimento da planta. O objetivo deste trabalho é analisar, a partir de literaturas existentes, como as raízes reagem sob as camadas compactadas.

PALAVRAS-CHAVE: resistência do solo; plantas recuperadoras de estrutura; bioporos.

ROOTS AND SOIL COMPACTION

ABSTRACT: Since the dawn of agriculture human has adapted and developed new technologies to meet their needs. The abuse of these techniques and excessive land use have provided some common problems today and the most important of these is soil compaction. This usually occurs because too much use of heavy agricultural machinery in conditions of high soil moisture. Therefore the root system of the plant responds negatively to this dilemma, because their roots have difficulty to grow these layers and consequently compromises the development of the plant. In order to explain how this occurs, the objective of this study is to analyze , from existing literature, how the roots react under the compacted layers.

KEYWORDS: soil resistance; reclaimers plant structure; biopores.

INTRODUÇÃO

Desde que o homem começou a manejar o solo para sua sobrevivência, surgiram técnicas de manejo e máquinas cada vez mais modernas. Diante disso surgem também alguns problemas proporcionados pelo uso excessivo do solo, como a falta de nutrientes, erosões, diminuição da produtividade em virtude da compactação dos solos.

A compactação do solo pode ser resumida como uma compressão forçada das partículas do solo modificando suas características físicas, deixando mais difícil de manejar (Seixas, 1988). Esta compactação pode ser oriunda pelo uso de maquinários

agrícolas grandes e cada vez mais pesados, pelo uso excessivo do solo, manejo inadequado e uso de técnicas de maneira incorretas. Consequentemente fica mais difícil de se obter maiores produções se o solo não estiver em ótimas condições físicas, químicas e biológicas.

Isso se deve ao fato de que as raízes dos vegetais sofrem para ultrapassar as barreiras existentes no solo, como neste caso a camada compactada, que acaba impedindo que as estas se expandam para as partes mais profundas em busca de água e nutrientes principalmente.

Para que se possa minimizar este efeito, tem se usado muito as plantas de coberturas juntamente com o plantio direto. Estas plantas, conhecidas como plantas recuperadoras de estrutura do solo, tem recebido certa atenção pois são ótimas alternativas sustentáveis para os sistemas produtivos, recriando os bioporos (Soratto et. al., 2011).

A fim de explicar e proporcionar conhecimento sobre a interação entre solo e raízes, este trabalho tem como objetivo analisar, a partir de literaturas existentes, como o sistema radicular se comporta diante as camadas compactadas.

As plantas e seu Sistema radicular

Há uma diversidade infinita nos tamanhos e formas vegetais, estes variam de menos de 1cm a mais de 100m de altura. Além de embelezar e fazer parte de grandes paisagens cada parte da planta tem sua função, basicamente a das folhas é a fotossíntese, do caule a sustentação e a da raiz absorção e fixação de água e minerais (Taiz; Zeiger, 2006).

Resumidamente podemos dizer que a planta, é composta por inúmeras células, formando uma “fábrica” de substâncias orgânicas, liberando e transformando energia. Para isso ela necessita de alguns elementos básicos como: luz, água, micro e macro nutrientes, enzimas, açúcares, amidos e proteínas (Primavesi, 2002).

Para que a planta consiga exercer seu papel no ambiente, crescer e se desenvolver ela precisa fundamentalmente de disponibilidade de água. A água do solo que passa por elas e acaba indo para a atmosfera (Reichardt, Timm, 2004). Na verdade, a planta é constituída de 80 a 85% de água, ela é a base vital de toda a vida vegetal (Primavesi, 2002).

E para que esta água armazenada no solo seja aproveitada pela planta, elas desenvolveram um órgão específico para este papel que são as raízes, que também

exercem outras funções como sustentação, armazenamento de reservas, síntese de substâncias importantes, absorção de nutrientes e a principal a absorção de água. Esta absorção ocorre principalmente pelas raízes mais finas que se encontram em um contato direto com um determinado volume de solo, estas raízes possuem “pelos” microscópicos que aumentam sua área superficial em contato íntimo com as partículas de solo (Kerbaudy, 2004).

Porém para que as raízes possam se desenvolver corretamente, o solo precisa se encontrar em um bom estado, sendo quimicamente bom, não estando compactado, tendo disponibilidade de água, macro e micro nutrientes. Então para que isso ocorra antes de se iniciar qualquer tipo de manejo no solo, é necessário que se conheça as características do local, para se poder aplicar a técnica adequada (Queiroz-Voltan et. al., 2000; Primavesi, 2002).

Compactação do solo

Desde que o homem começou a substituir florestas por áreas para cultivo e manejo de forma inadequada o solo, houve um desequilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Estas alterações ocorrem a medida que os sistemas naturais são substituídos para atividades voltada para áreas industriais ou produção de alimento (Centurion et. al., 2001).

Diante desse uso e ocupação do solo desenfreado surge um problema comum, a compactação do solo. Que pode ser definida como ação de forçar a agregação de partículas do solo e reduzir o volume por ela ocupado, diante disso ocorrem mudanças nas suas propriedades físicas como: aumento da densidade, diminuição do volume de macroporos, movimento interno da água mais lento, aeração mais pobre e maior resistência do solo ao desenvolvimento das raízes (Seixas, 1988).

A compactação pode ser definida também como altos valores de densidade no solo e baixos valores de porosidade total (Reichardt; Timm, 2004).

No Brasil as diversas regiões tem sofrido com a compactação dos solos a alguns anos, tanto no plantio convencional quanto no plantio direto, muitas vezes causado pelo manejo inadequado, o que tem limitado cada vez mais o crescimento e desenvolvimento das raízes (Ralisch et. al., 2008).

Camargo e Alleoni (2006) afirmam que as forças que atuam no solo podem ser classificadas em forças externas e internas. As externas são advindas do tráfego de veículos, animais ou até mesmo de pessoas, também como o crescimento de grandes

raízes que empurram as partículas do solo para forçar sua passagem. Quanto às forças internas são as que resultam de ciclos de umedecimento e secagem, congelamento que provocam expansão e contração do solo. Estas duas forças acabam se confundindo e trabalhando juntas, exercendo pressão no solo, sendo responsáveis pela compactação do mesmo.

A compactação do solo se intensificou, principalmente, pelo uso de máquinas agrícolas cada vez mais pesadas, em condições de elevada umidade do solo, que são benéficas para o homem mas nem tanto para o solo (Primavesi, 2002; Reichert et. al., 2007). Além de que podem ocorrer também pela destruição dos grumos das camadas superficiais, por um manejo agrícola inadequado (Primavesi, 2002).

Este problema está piorando com o passar do tempo, pois quando há chuva há destruição dos grumos e as partículas finas se “sedimentam” formando uma camada adensada que “cresce” de baixo para cima (Primavesi, 2002).

Ainda segundo Carmargo e Alleoni (2006) o rearranjo das partículas do solo é causado, quase que em sua totalidade, pelos implementos agrícolas. Segundo eles, ocorrem normalmente em duas etapas, a primeira é quando há o preparo do solo, para o cultivo convencional, e a segunda é o tráfego de máquinas e implementos agrícolas para posterior plantio, distribuição de adubo, e etc. No primeiro momento, grande parte dos agregados é destruído na preparação do solo, sendo que os implementos são desenhados para esta finalidade. No segundo caso como o solo já está preparado para o plantio, quando há presença de veículos pesados e tráfego intenso ocorre a compactação de partículas.

Segundo Unger e Kaspar (1994) o solo tende a se compactar mais nas entrelinhas, ou seja, nas linhas paralelas às linhas de plantio onde ocorre o tráfego intenso de máquinas, algumas dessas entrelinhas ficam compactadas e outras não gerando diferenças nas condições físicas do solo.

O manejo do solo exerce o efeito principalmente na formação de agregados, pois assim, acabam definindo a quantidade, tamanho, formato e até mesmo a orientação de espaços vazios, conseqüentemente a relação entre a porosidade do solo (Torres; Saraiva, 1999).

Esta compactação em áreas agrícolas ocorre em geralmente em uma camada de até 20cm, enquanto em áreas florestais a compactação pode atingir níveis mais profundos (Reichert et. al., 2007).

Para se medir a resistência do solo pode-se usar um aparelho chamado penetrômetro, ele determina a resistência que o solo oferece a passagem de uma haste. No uso agrícola é mais utilizado para a determinação da compactação do solo e para avaliação da espessura e profundidade de camadas adensadas (Reichardt; Timm, 2004).

Contudo pode se observar que a compactação do solo: prejudica o desenvolvimento radicular, dificulta a penetração de adubos, diminui a infiltração de água e diminui as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Em relação aos efeitos no solo, ele pode apresentar uma zona compactada na superfície, água empoçada, erosão e exige cada vez mais o aumento de uso de máquinas agrícolas ou técnicas específicas para o preparo do solo (Silveira, 2001).

Como o sistema radicular se comporta em camadas compactadas

Uma das principais causas atuais de redução de produtividade agrícola tem sido a compactação do solo, pois esta reduz principalmente o crescimento do sistema radicular, reduz também a infiltração de água e diminui as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera terrestre (Veiga, 2009)

A compactação do solo e o confinamento das raízes é um problema muito comum no ramo agrícola. O mais inconveniente é que isto significa restrição de água e nutrientes para a planta, porque o volume de solo explorado por ela é menor (Primavesi, 2002).

As raízes tendem a se desenvolver nos espaços vazios entre os agregados ou nos macroporos, por isso solos que não enfrentam problemas de compactação favorecem o desenvolvimento radicular naturalmente (Torres; Saraiva, 1999).

A compactação acarreta vários problemas ao solo, principalmente na relação solo planta. Um dos principais é a destruição dos agregados, primários e secundários, e consequente diminuição dos macro-poros, transformando-os em micro-poros (Reichert et al., 2007; Veiga, 2009). Com isso a quantidade de água no limite superior de disponibilidade de água (capacidade de campo) é aumentada, pelo acréscimo no volume de micro-poros, ao mesmo tempo em que a aeração, a taxa de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo são diminuídas pela redução do volume de macroporos. Estes problemas geram consequências como: escoamento superficial aumentado, crescimento da planta reduzido (devido a diminuição de disponibilidade de água), restrição de crescimento das raízes e aeração deficiente (Reichert et al., 2007).

O principal efeito da compactação do solo se dá em relação ao crescimento radicular, este talvez seja o primeiro componente a sentir os efeitos da compactação, com consequências tanto para a parte aérea da planta como para a produtividade (Queiroz-Voltan et al., 2000; Primavesi, 2002). A quantidade de raízes desenvolvidas depende das condições físicas do solo, como porosidade, densidades e disposição de nutrientes (Torres; Saraiva, 1999)

O solo pode até ser quimicamente bom, mas estando compactado as plantas não conseguem se beneficiar adequadamente dos nutrientes acessíveis pois o desenvolvimento das raízes está afetado (Queiroz-Voltan et. al., 2000).

Quando a raiz encontra uma barreira física para seu desenvolvimento, e que resista a sua penetração ela torna-se menos pontiaguda e suas células podem formar um tecido fraco e necrosado. Este impedimento faz com que caia a taxa de elongação celular devido à redução de divisão celular meristemática e do crescimento radicular, além de que torna a raiz mais grossa devido ao aumento de células por unidade de comprimento de raízes. Por isso as raízes que estão em solo compactados tendem a se tornar grossas, achatadas e tem um crescimento irregular e curvado (Torres; Saraiva, 1999).

Além disso, cada cultura apresenta determinadas características e consequentemente reage de formas diferentes a compactação. Algumas espécies podem apresentar um sistema radicular mais agressivo enquanto outras podem resistir a um longo período de déficit hídrico (Reichert et. al., 2007).

Jimenez e colaboradores (2008) afirmam que a diferença de massa seca de raízes que ocorreu entre o milho, sorgo, gergelim, quinoa e guandu acontece principalmente devido as propriedades características de cada espécie e não somente pelo grau de compactação em que foram testados.

Pode-se dizer que há duas diferenças principais entre as raízes fasciculadas e as pivotantes, em relação ao solo compactado. A fasciculada quando se choca com adensamento no solo tende a desviar penetrando pouco e somente em dias de chuva, conquanto que as raízes pivotantes, se forquilha e ficam retorcidas (figura 1), penetrando apenas em locais com rachaduras, entre os torrões (figura 2), desviando do seu caminho reto natural (Primavesi, 2002).



Figura 1: Esquema demonstrando o caminho seguido pela raiz quando há compactação. **FONTE:** Primavesi, problemas de compactação, 2002.

Figura 2: Nabo forrageiro a esquerda se desenvolveu sem compactação, a direita sob um solo compactado. **FONTE:** Santi et. al., 2006.

Segundo Reichert et. al. (2007) em algumas situações até podem ocorrer o crescimento de raízes abaixo das camadas compactadas, porém isso deve estar associado com o mecanismo que a planta apresenta para penetrar a estas camadas, regiões de maior e menor resistência e a heterogeneidade do solo. Mas segundo ele, a planta gasta muita energia procurando uma camada de menor resistência, com isto a ela deve reagir de forma negativa, ou seja, diminuindo seu potencial produtivo.

Diante disso, Beulter e Centurion (2004) afirmam que o diâmetro radicular aumenta até a resistência a penetração ser de 2,07 MPa, depois disso as plantas tem muita dificuldade de penetrar o solo. Já Veiga e seus colaboradores (2009) definem que quando a resistência de penetração atingir valores superiores a 2 MPa, em condições de umidade do solo na capacidade de campo, a planta tem seu desenvolvimento radicular afetado, tendo dificuldade em penetrar profundamente o solo.

Alvarenga e colaboradores (1996) estudaram a capacidade de algumas leguminosas sob solo compactado, dentre essas estão a crotalária júncea, guandu, feijão-bravo do ceará, feijão-de-porco e mata-pasto. Com exceção do mata-pasto as culturas reduziram suas raízes e houve acúmulo destas no anel superior do vaso. Em relação ao mata-pasto se destacou sendo que suas raízes se desenvolveram muito bem e conseguiram penetrar o solo compactado, tendo esta cultura como boa alternativa de planta recuperadora de solo, que é uma alternativa sustentável para a compactação do solo, assunto que será tratado adiante.

Primavesi (2002) observou que em 105 dias de idade 72,6% das raízes de morangueiros estavam aglomerados nos primeiros 5cm de solo e após 201 dias 90,1% se concentravam neste mesmo espaço. De acordo com a autora isto ocorre pois as raízes fasciculadas do morango desviam quando encontram adensamento no solo.

Nos estudos de Foloni e colaboradores (2003) houve uma redução do crescimento aéreo do milho em camadas compactadas em torno de 20%, com uma resistência do solo de 1,4 MPa. Observaram também que houve um engrossamento das raízes, e segundo os autores isso indica que esta cultura tem pouco potencial para se desenvolver em solos compactados.

Beulter e Centurion (2004) afirmam que diante a compactação, o solo aumenta de densidade e consequentemente a massa seca das raízes tende a se concentrar na camada superior, que é normalmente de 0 a 5cm.

Já no trabalho de Gonçalves e colaboradores (2006), observaram que sob camadas compactadas o milheto e o amaranto, conseguiram se desenvolver muito bem, pois expandiram superficialmente e suas raízes ultrapassaram as camadas de compactação se desenvolvendo abaixo delas, demonstrando que estas duas culturas também tem o potencial de serem utilizadas como plantas recuperadoras de solo.

Jimenez e colaboradores (2008) observaram sob um Latosso Vermelho compactado os efeitos de cinco plantas forrageiras. Dentre essas, o milheto apresentou maior produção de massa seca da parte área independente da densidade do solo na camada compactada. Conquanto o gergelim e a quinoa apresentaram valores intermediários e o guandu demonstrou menores valores, em comparação as outras espécies. Diante disso os autores recomendam o Milheto como planta descompactadora de solo.

Estudando o nabo forrageiro sob solo compactado Reinert e colaboradores (2008) obtiveram que quando a densidade do solo é inferior a $1,75 \text{Mg m}^{-3}$ a raiz do nabo penetra profundamente sem maior dificuldades não apresentando engrossamento e desvios (figura 3a), porém quando é exposta a densidade variando de 1,78 a $1,92 \text{Mg m}^{-3}$, as alterações morfológicas foram vistas com frequência (figura 3b).

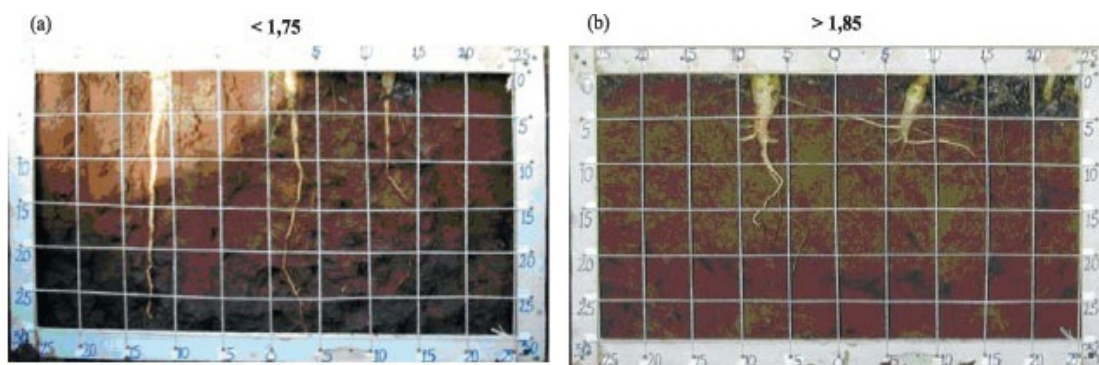


Figura 3: Demonstrando o trabalho de Reinert 2008, com o nabo forrageiro em superfícies com densidade abaixo de 1,75 (a) e com densidade acima de 1,85 Mg m⁻³. **FONTE:** Reinert et. al, 2008.

No experimento de Rodrigues e colaboradores (2009), em dois tipos de solos o Argissolo Vermelho Escuro e Argissolo Vermelho Amarelo sob uma compactação de 1,7 kg dm⁻³ com a cultura do milho em vaso, observaram que este nível de compactação não foi o suficiente para afetar o crescimento desta, os autores acreditam que isso ocorreu pois a compactação afeta mais facilmente solos argilosos do que arenosos.

Analisando áreas de pastagens, utilizadas para este fim por 20 anos, na primeira camada de 0-10 cm, Silva Filho e seus colaboradores (2010) notaram que a resistência a penetração era de 2,6 vezes maior do que é normalmente tolerado para o desenvolvimento de raízes, demonstrando que é necessário também cuidado com o manejo em áreas de pastagens visto que estas estão sendo degradadas.

Severiano e seus colaboradores (2010) ao estudarem o capim Tifon em Argissolo, chegaram à conclusão que este pode ser usado a fim de promover a descompactação do solo, ou seja, também pode ser usado como uma planta recuperadora de estrutura do solo devido a suas raízes crescerem através das camadas compactadas.

Bergamin et. al. (2010) observaram a anatomia do milho diante a compactação do solo, conforme o aumento de passada do trator (de 5Mg) aumentava a razão entre o córtex e o cilindro vascular. O que resultou em aumento da espessura do córtex e redução na espessura do cilindro vascular que pode ser observado na figura 4.

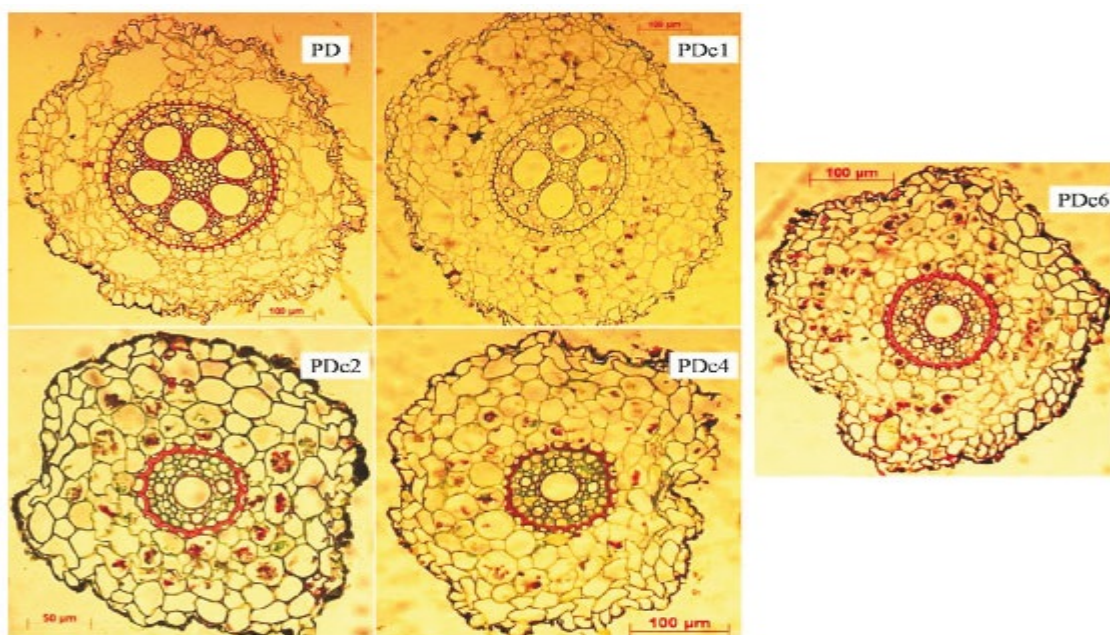


Figura 4: Cortes transversais das raízes secundárias do milho. Tratamentos plantio direto sem compactação (PD); plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5Mg em uma passada (PDc1); duas (PDc2); quatro (PDc4); seis (PDc6) respectivamente.

FONTE: BERGAMIN et. al., 2010.

Calonego e colaboradores (2011) estudaram o potencial de crescimento em solos compactados das culturas de cobertura de *Brachiaria*, *Labe labe* e *Sorgo*. Observaram que nenhuma das três culturas teve seu desenvolvimento diminuído diante a compactação, porém o sorgo se destacou pois foi a cultura com maior colonização de raízes mais profundas atravessando a camada compactada sem maiores problemas, tendo em vista que esta espécie, também, pode ser usada como planta recuperadora de solos.

Silva et. al. (2011) analisaram o trigo em um Latossolo Vermelho na região do cerrado, em vasos na casa de vegetação, sob compactação e puderam observar que seu desenvolvimento foi afetado a partir de valores de densidade do solo superiores a $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$, demonstrando a sensibilidade do trigo em relação a áreas compactadas.

Ao avaliar duas espécies de forrageiras sob diversos níveis de compactação, Bonelli e colaboradores (2011) notaram que o capim mombaça é bastante tolerante a compactação e tem um bom desenvolvimento, porém o campim piatã, demonstrou sensibilidade a diversas variáveis. O primeiro, talvez, possa até ser aplicado como planta recuperadora de solo já que não foi muito afetado pela compactação, mas isso ainda requer estudos posteriores.

Modolo e colaboradores (2011) avaliaram o efeito da compactação, diante da pressão impostas sobre rodas compactadoras, sob a emergência de sementes do feijão e

observaram que as plantas foram pouco afetadas por essa condição pois 79,2% e 89,6% das plantas submetidas as cargas de 190N e 60N, respectivamente, emergiram normalmente. Os autores concluem ainda que a semeadura sob estes níveis de compactação não influenciaram a altura da planta e nem a massa seca da raiz.

Andrade e colaboradores (2013) observaram que na região do cerrado valores de resistência a penetração do solo iguais ou maiores que a pressão de 1900 kPa, determinados pelo conteúdo de água do solo equivalente à capacidade de campo, podem ser considerados como indicador de solo compactado.

Diante a capacidade do feijão guandu anão sob um Latossolo Vermelho compactado, Farias e colaboradores (2013) observaram que esta espécie é pouco resistente a compactação pois conforme a densidade aumentava, diminuía o número de ramos e folhas, a altura da planta e diâmetro do caule. Isso demonstra o quão é sensível esta cultura diante este tipo de solo.

Pode-se dizer que não existe um fator isolado que influência diretamente o crescimento da planta, mas uma união de fatores em que um influencia o outro. No caso da compactação a maior densidade do solo provoca menor difusão de oxigênio, consequentemente há uma absorção deficiente das raízes, seu metabolismo diminui pois há pouca energia, a raiz fica fraca e cada vez absorve menos (seja nutriente disponíveis no solo, água, ar, etc.), assim, a planta que está mal nutrida, tem menor taxa fotossintética, que consequentemente tem sua raiz reduzida e explora um espaço menor, há déficit hídrico, sua respiração fica acelerada causando maior gasto de produtos da fotossíntese, resultando em menor produtividade e grãos de pouca qualidade (Primavesi, 2002).

Soluções para a compactação do solo

Para que se possa minimizar o efeito da compactação há uma medida bem simples, que deve ser tomada primeiramente que é a observação das condições de umidade de solo para o tráfego de máquinas.

Segundo Kochhann e colaboradores (2000) a condição ideal para o uso de máquinas agrícolas no campo é equivalente ao ponto de friabilidade. Este pode ser identificado em campo mesmo, pegando um torrão de solo com mais ou menos 2cm de diâmetro, coletado a 10cm de profundidade exercendo sobre ele pressão entre os dedos polegar e o indicador, se o torrão se desagregar o solo se encontra em ponto de

friabilidade. Caso as condições do solo estejam acima deste ponto só haverá amassamento ou deformação do solo, proporcionando assim a compactação.

De uma forma geral, para diminuir este efeito pode-se reduzir a pressão aplicada no solo, como por exemplo o aumento da área de contato mantendo um peso suportado por ele, como o uso de pneus duplos em máquinas agrícolas (Veiga, 2009).

De acordo com Torres e Saraiva (1999), a primeira e mais importante ação a se tomar contra a compactação é sem dúvida a rotação de culturas. Para isso devem ser utilizadas plantas com sistema radicular bem agressivo como: guandu, crotalária, aveia preta, tremoço, nabo forrageiro e milheto. E ainda, segundo o autor, no plantio direto a crotalária e o guandu substituem espécies de fim econômico na safra de verão e são cultivadas em consórcios com o milho e todas as operações de cultivos são mecânicas.

Cardoso et. al. (2003) também escrevem que só a redução do número de operações agrícolas não é o suficiente, segundo eles é necessário a rotação de culturas que envolvam espécies que produzam grande quantidade de massa de cobertura do solo e que possuam um sistema radicular profundo capaz de promover os bioporos que diminuam a compactação.

Esta, então, é uma ação sustentável e interessante o uso de plantas de cobertura que tem o sistema radicular forte e bem desenvolvido, conhecidas como plantas “recuperadoras” de estrutura de solo ou ainda “descompactadoras” de solo. A fim de que se tenha uma alternativa eficiente e de baixo custo para minimizar a compactação, recriando os canais entre as camadas de solo, os chamados “bioporos” (Gonçalves et. al., 2006).

Estas plantas precisam ter o sistema radicular agressivo para poder penetrar nesta camada, podendo ser pivotante como a crotalária ou girassol e fasciculado como milheto ou o sorgo (Veiga, 2009).

Segundo Salton e Tomazi (2014) um dos principais sistemas de rotação funcional, do plantio direto, para utilização de plantas recuperadoras de solo é o Sistema Integrado Lavoura-Pastagem (rotação entre a pastagem e a cultura de soja, por exemplo). Neste caso os autores recomendam o uso das braquiárias, pois seu sistema radicular é muito eficiente em promover reestruturação de solos, com formação de agregados, macroporosidade e canais que proporcionam um ambiente favorável para o crescimento radicular da próxima cultura.

É um fato que as plantas de coberturas são de fundamental importância para a proteção do solo, gerando vários efeitos benéficos como: redução da temperatura, da

erosão, da amplitude térmica do solo, das perdas de águas por evaporação, manutenção da umidade do solo, acúmulo de material orgânico além de que ajuda a reduzir a ocorrência de ervas daninhas. Além de tudo elas diminuem o impacto das máquinas agrícolas diretamente com o solo, ajudando a minimizar o efeito da compactação (Primavesi, 2002; Gonçalves et. al., 2006; Salton e Tomazi, 2014).

Existem também outras alternativas para a descompactação do solo que envolve o uso de implementos agrícolas específicos para este fim, como semeadoras dotadas de facões próximos ao disco de corte, estes fazem a descompactação do solo na linha da semeadura ou cortam a camada compactada permitindo então a passagem das raízes. Porém é muito importante garantir que as sementes sejam distribuídas na profundidade adequada sob o risco de se ter problemas de emergência e uniformidade na lavoura. Essa é umas das tecnologias mais usadas pelos agricultores há muitos anos (Torres; Saraiva, 1999).

Outra alternativa executável é fundamentada no uso de escarificadores, este é um implemento que auxilia a preparar o solo sem revolve-lo. Este possui hastes que trabalham em maiores profundidades do que outros maquinários, e demanda menos força de tração para uma mesma largura de trabalho e volume de solo (Ortiz-Cañavate, 1995).

Este formato da haste permite o rompimento da camada de solo compactada, sem afetar muito o nivelamento do terreno. Para esse tipo de tecnologia, a operação deve ser feita logo após a colheita da soja e antes da semeadura do trigo ou da aveia ou de outra espécie que apresente rusticidade para germinar (Torres; Saraiva, 1999).

Este equipamento reduz a densidade do solo e a resistência a penetração e aumenta a infiltração da água, por isso é recomendado para ajudar no manejo de solos compactados. Porém é fundamental o conhecimento das características geométricas dos subsistemas do maquinários para que a descompactação do solo seja feita corretamente (Mazurana et. al., 2011).

Contudo segundo Veiga e colaboradores (2009) afirmam que a melhor solução para a compactação no solo é evita-la, porém para isso deve-se conhecer as propriedades do solo que conferem resistência a compactação, as condições internas e externas do solo que podem ser favorável a compactação e a característica das máquinas e equipamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. O sistema radicular tem dificuldade em penetrar as camadas compactadas pois esta barreira física faz com que as células se tornem mais fracas e menos pontiagudas tornando a raiz retorcida.
2. Há raízes mais agressivas que podem ultrapassar as camadas compactadas, estas plantas são conhecidas como plantas recuperadoras de estrutura do solo e tem sido utilizadas atualmente na rotação de culturas a fim de minimizar o efeito das compactação e reconstruir os canais ou bioporos.
3. Plantas como o milheto, grandu, crotalaria, e nabo forrageiro são abundantemente utilizadas para estudos e indicadas como plantas para recuperar a estrutura do solo.

REFERÊNCIAS:

- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 20: 319-326, 1996
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice de S e no estresse efetivo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.9, p.932–937, 2013.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004
- BONELLI, E. A.; BONBFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; CAMPOS, J. J. SCARAMUZZA, W. L. M. P.; POLIZEL, A. C. Compactação do solo: efeitos nas características produtiva e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.3, p.264–269, 2011.
- CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 289-296, Mar./Apr. 2011.
- CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Causas da Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em: 23. Abr. 2015.
- CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.; TORRES, J. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja em função do manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira e Ciência do Solo, 2003.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes

agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E.; PIETRO-SOUZA, P.; VILARINHO, M. K. C. SILVA, T. J. A.; GUIMARAES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.5, p.497-503, 2013.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, ago. 2003.

GONÇALVES, W. R.; JIMENEZ, R. J.; ARAUJO FILHO, J. V. ASSIS, R. L. SILVA, G. P. PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75, jan./abr. 2006.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, n.2, p.116-121, 2008.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.

MODOLO, A. J; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; SILVEIRA, J. C. M; KOLLING, E. M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 5.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 465p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesq. Agropec. Br.** 35:929- 938, 2000.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA G. M. C.; GUIMARÃES, M. SCOPEL, E. BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, p.381-384, 2008.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004.

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

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDADRA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1805-1816, 2008.

RODRIGUES, P. N.; ROLIM, M. M.; NETO, E. B.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S. Crescimento e composição mineral do milho em função da compactação do solo e da aplicação de compostos orgânicos. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.1, p.94-99, 2009.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Comunicado técnico 198. Dourados, MS. ISSN: 1679-0471. Dezembro, 2014.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHAES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, p.39-45, 2010.

SEIXAS, F. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. IPEF: instituto de pesquisas e estudos florestais. **Circular técnica**. Outubro, 1988.

SILVA, E. M. B.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, F. C. M.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Compactação do solo na cultura do trigo em latossolo do cerrado. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.

SILVA FILHO, E. P.; COTTAS, L. R.; MARINI, G. B. S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho - Rondônia. **Boletim de Geografia**. v.28, p.145-155, 2010.

SILVEIRA, G. M. **Preparo do solo: técnicas e implementos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

SORATTO, R.P.; ROSOLEM, C.A.; CRUSCIOL C.A.C. **Integração lavoura-pecuária-floresta: alguns exemplos no Brasil**. Central. Botucatu: FEPAF, 2011. 110p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 3ªed.

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

UNGER, P.W.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: **A review**. **Agron. J.**, 86:759-766, 1994.

VEIGA, M.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Compactação: das causas às soluções. **Revista a granja**. Fevereiro, 2009. p. 41-43.