

*Superfícies*

# Compactação dos solos em SPD precisa ser atenuada

Cássio Antonio Tormena\*

TIAGO TEZOTTO



*Solo compactado impedindo o crescimento normal da raiz do algodão. São Desidério, BA, 2010*

Estima-se que, atualmente, mais de 26 milhões de hectares no Brasil são cultivados em Sistema de Plantio Direto (SPD) – tecnologia importante e responsável por boa parte do sucesso de nosso agronegócio. Os bons resultados do SPD estão alicerçados na manutenção da cobertura do solo e na rotação de culturas. Nos últimos dez anos, verificou-se uma rápida evolução na área plantada em SPD, em ampla variedade de solos, condições climáticas e sistemas de manejo, em geral, sem eliminação da compactação já existente. A pressão pela intensificação do uso do solo demandou aumento da capacidade operacional de trabalho em menor tempo, exigindo maior número de passadas de máquinas agrícolas cada vez mais pesadas, o que acentuou a compactação do solo em SPD. Além disso, o tráfego das máquinas, realizado com umidade desfavorável, amplia a ocorrência da compactação do solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície.

Do ponto de vista físico, a compactação se traduz em redução do espaço poroso do solo, o que influencia o crescimento das raízes, a difusão de gases e a retenção de água disponível às plantas. As consequências da compactação incluem redução do *stand* e da área foliar, raízes menores, mais espessas e concentradas próximo às plantas e dificuldade de penetração das raízes no solo. Outros efeitos incluem maior predisposição às doenças de solo – devido à inadequada aeração do solo –, maiores riscos de perdas de nitrogênio (N) por desnitrificação e até tombamento de culturas de maior porte. Inúmeras pesquisas e evidências de campo indicam os efeitos deletérios da compactação do solo na produtividade das culturas. Nesse contexto, estratégias para prevenção, monitoramento e controle do processo de compactação do solo, sob SPD, são de fundamental importância.

A identificação da compactação para a posterior escolha da forma de manejo torna-se crucial para agricultores e as-

sessores técnicos. Quando um solo está compactado? Quais variáveis podem ser utilizadas para avaliação, monitoramento e controle? É necessário fazer uma intervenção mecânica para a correção da compactação? São todas questões desafiadoras nesse tema, especialmente em SPD, em que uma boa parte da capacidade produtiva dos solos depende de sua qualidade estrutural. A identificação da compactação do solo também tem sido feita com base em critérios qualitativos, como verificação da resistência do solo em pequenas trincheiras e do crescimento e da morfologia das raízes, em conjunto com uma boa dose de experiência profissional. Esses critérios qualitativos são úteis, de fácil e rápida mensuração, mas podem levar a avaliação e interpretação equivocadas. Do ponto de vista quantitativo, diferentes propriedades físicas do solo têm sido utilizadas para essa avaliação, tais como a densidade, a porosidade e a resistência do solo à penetração (RP), medida com penetrômetros.

Isoladamente, a densidade não é um bom parâmetro para indicar a compactação do solo, pois ela é dependente da textura do solo, o que dificulta a definição de um valor crítico ou limite. A RP é fortemente vinculada à umidade, o que implica em padronizar a umidade do solo para realizar a sua medida: recomenda-se que a RP seja medida com o solo na capacidade de campo, o que, de maneira empírica, espera-se que ocorra entre dois e três dias após uma chuva. No entanto, com o aumento da compactação, isto é, da densidade do solo, há maior incremento da RP durante seu secamento (Tormena et al., 1998), o que aumenta rapidamente o impedimento mecânico às raízes.

Outra questão, em relação à RP, é a definição de um valor crítico para o crescimento das raízes no solo em SPD. A decomposição das raízes das culturas e a atividade de mesofauna possibilitam a criação de bioporos, que funcionam como rotas alternativas ao crescimento

das raízes, mesmo em solos compactados. A adoção de um valor crítico de RP, em SPD, ainda carece de protocolos experimentais específicos, apesar de valores de RP entre 2 e 5 MPa terem sido adotados. Além disso, a aeração do solo pode ser reduzida pela compactação e, assim, o papel dos bioporos torna-se importante nesse processo. Destaca-se que, além dos fatores acima mencionados, a compactação reduz a infiltração de água no solo, resultando em aumento no escoamento superficial, o que tem motivado a recomendação da manutenção do terraceamento como prática mecânica de conservação dos solos sob SPD.

De maneira ideal, a compactação do solo deveria ser medida por parâmetros que descrevam funcionalmente o ambiente físico do solo às raízes. O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) é um conceito moderno introduzido no Brasil, há 10 anos, por Tormena et al. (1998). O IHO incorpora, num único parâmetro, os efeitos da água disponível, a aeração e a RP em relação ao crescimento das plantas, de modo que o IHO é definido como a faixa de água disponível no solo em que são mínimas as limitações físicas às plantas, pelos fatores acima mencionados. Em solos com reduzido IHO, isto é, em solos compactados, as culturas estão frequentemente expostas a estresses físicos por aeração deficiente, em períodos úmidos prolongados, ou a excessiva RP, por ocasião de déficits hídricos prolongados. Assim, o IHO significa um grande avanço para a avaliação da compactação do solo. Várias pesquisas realizadas em diferentes solos, culturas e sistemas de manejo comprovam a pertinência da aplicação do IHO na avaliação da compactação e da qualidade física dos solos.

Para a estimativa do IHO, os valores críticos ou limites associados ao potencial da água no solo (água disponível), à resistência do solo à penetração e à porosidade de aeração são necessários ao cálculo do IHO. A Figura 1 exemplifica a determinação do IHO em um solo muito

argiloso, sob SPD, utilizando os valores críticos de capacidade de campo (CC) e de ponto de murcha permanente (PMP) nos potenciais de água no solo de -100 e -15.000 hPa; RP limitante de 2,0 MPa e porosidade de aeração (PA) limitante de 10%. Nesse solo, um valor médio de densidade do solo (Ds) pouco nos informaria a respeito de sua compactação. No entanto, com o aumento da compactação ou da densidade do solo, há redução na disponibilidade de água às plantas (área hachurada da Figura 1) e a RP é a principal variável física que promove a sua restrição.

Nesse caso, a porosidade de aeração praticamente não se tornou restritiva às plantas, e sim na CC, como o limite superior de disponibilidade de água. O aumento da Ds promove uma redução do IHO até um valor nulo. A Ds em que o IHO = 0 (na Figura 1, Ds = 1,28 g cm<sup>-3</sup>) se constituiu na Ds crítica e sugere que severas restrições físicas às plantas se estabelecem nessas condições. Esse valor de Ds é importante para estabelecer que nessa condição há severa compactação do solo e ele se torna um valor de referência para o solo em questão. Na Figura 1, o teor de água em que a RP = 2,0 MPa substitui o PMP ocorre na Ds = 1,10 Mg m<sup>-3</sup>, na qual o IHO começa a decrescer. Esse valor de Ds representa um valor de advertência, a partir do qual devem ser tomadas ações preventivas para evitar o agravamento dos efeitos deletérios da compactação.

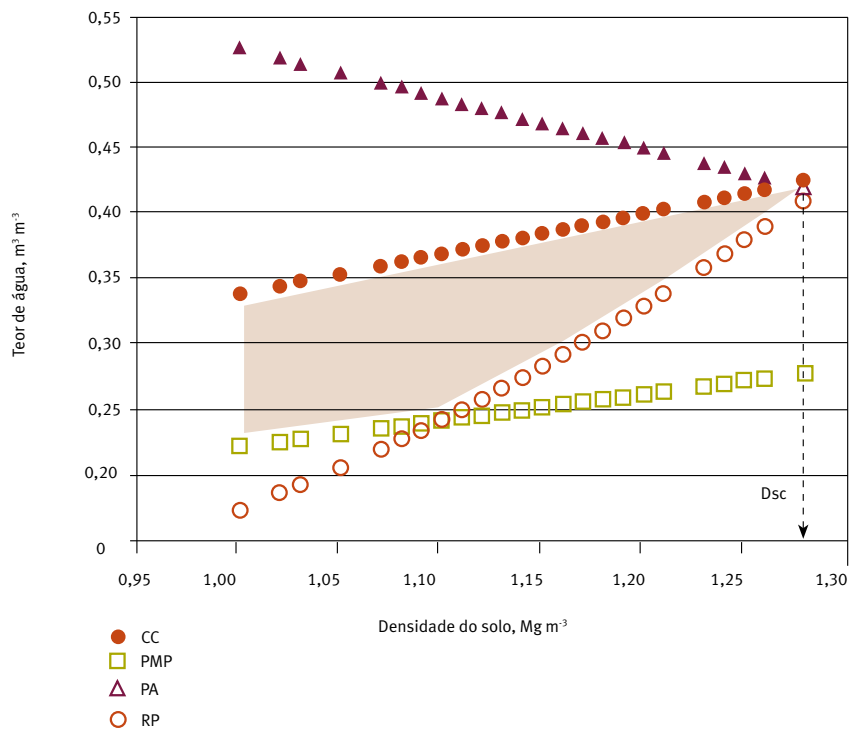
Assim, o sistema de manejo de culturas, o controle da densidade e a cobertura do solo para reduzir as perdas de água são estratégias importantes para o manejo da compactação do solo em SPD. Uma redução da densidade do solo implica em aumentar o IHO, ampliando as chances da umidade do solo permanecer dentro do IHO, já que, idealmente, a umidade deveria permanecer dentro dos seus limites para não haver restrição ao crescimento das raízes e das plantas. A estratégia de reduzir a evaporação de água por meio da

cobertura do solo por resíduos culturais propicia maior tempo de permanência da água no solo, reduz sua variabilidade temporal e aumenta seu tempo de permanência dentro dos limites do IHO. Em SPD, o estabelecimento de manejo para a obtenção de cobertura morta constitui-se numa das estratégias mais importantes para manter a umidade do solo dentro dos limites do IHO e reduzir o impacto negativo da compactação do solo.

Os resultados apresentados na Figura 1 indicam que a RP é a principal variável física que restringe o crescimento das plantas com o aumento da compactação do solo, o que também é constatado em outros estudos no Brasil. Esses resultados

chamam a atenção sobre a necessidade de planejar o Sistema de Plantio Direto com vistas ao controle da qualidade física do solo via manutenção da RP, em níveis menos restritivos ao crescimento das plantas. Isso pode ser realizado por meio do aumento de poros biológicos (bioporos) ou pela manutenção da umidade via cobertura do solo e redução da Ds, mecanicamente. O sucesso do SPD envolve, necessariamente, a utilização de rotação de culturas para manter a qualidade produtiva do solo. Dessa forma, tem-se estimulado a adoção da rotação planejada com a inclusão de espécies com sistema radicular agressivo, com aportes diferenciados de resíduos culturais e que

FIGURA 1 | INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO, SOB SPD (ÁREA HACHURADA)\*



\*CC=capacidade de campo ( $\theta$  no  $\Psi = 0,001Pa$ ); PMP = ponto de murcha ( $\theta$  no  $\Psi = -1,5 MPa$ ); Pa =  $\theta$ , em que o volume de poros com ar é de 10%; RP =  $\theta$ , em que a resistência do solo à penetração é de 2,0 MPa; Dsc = densidade do solo crítica

Fonte: Tormena et al., 1998



favorecem a criação de poros biológicos e o aporte de carbono orgânico no solo, como uma alternativa no controle da compactação do solo em SPD.

A rápida evolução do SPD em diferentes condições de solo e climas no Brasil estimula questionamentos a respeito da compactação do solo. Espera-se que a bioporosidade construída em SPD poderia atuar como rotas alternativas ao crescimento das raízes, apesar da maior RP do solo. Isso implica que podemos ampliar os valores críticos de RP acima do comumente adotado, de 2,0 MPa. Essa abordagem foi utilizada recentemente por Tormena et al. (2007) para distinguir os efeitos de rotação e de sucessão de culturas no IHO de um solo sob SPD em longo prazo, uma vez que, naquelas condições experimentais, se constatou maior incidência de bioporos com o uso de rotação de culturas.


A densidade do solo crítica (Dsc) tem sido utilizada como um critério para o estabelecimento da Ds em que há severa restrição física às culturas. A partir do conhecimento da Dsc, o monitoramento da compactação pode ser feito de forma simples e com baixo custo por meio de medições periódicas da Ds. Os resultados de Collares et al. (2006) indicam que o aumento na frequência de  $Ds > Dsc$  num solo compactado determinou severas reduções de produtividade na cultura do feijoeiro. Assim, o IHO se constitui num excelente critério para a avaliação, o monitoramento e a definição do controle da compactação do solo.

A pressão de pré-consolidação do solo (ppc) tem sido utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga dos solos, pois a aplicação de cargas maiores leva à compactação adicional do solo. Ressalta-se que, quanto maior for a umidade do solo, menor é a capacidade de suporte de carga, o que indica a necessidade de evitar o tráfego em locais com umidade elevada. Imhoff et al. (2001) integrou a ppc com o IHO para estimar as pressões críticas (pcr) que poderiam

ser aplicadas sem promover condições restritivas às plantas. Nesse contexto, a quantificação da pcr apresenta potencial como estratégia de prevenção da compactação do solo e de seleção de sistemas de manejos sustentáveis. De acordo com Imhoff et al. (2001), a pcr pode ser útil na escolha de equipamentos agrícolas, bem como na definição do momento mais oportuno para a entrada de máquinas nas áreas.

A escarificação e a subsolagem também podem ser utilizadas como alternativa de controle da compactação em solos sob SPD e a diferença entre elas está relacionada à profundidade de trabalho e à robustez do equipamento. Ambas têm por objetivo reduzir a Ds e a RP, com o mínimo possível de movimentação do solo, preservando a maior parte dos resíduos na superfície. Ressalta-se que a eficiência da prática depende de um conjunto de fatores relacionados ao solo (especificamente o teor de água do solo) e também de fatores técnicos ligados aos implementos, como geometria das hastes sulcadoras, tipo de ponteira, ângulo de ataque e relação entre largura das hastes no chassi e profundidade de operação. Para situações em que é possível a implantação de culturas de inverno, é recomendável que a escarificação, ou subsolagem, seja feita antes da cultura que antecede a cultura de verão.

Após mobilização do solo, a introdução de uma ou mais culturas com sistema radicular fino, agressivo e abundante (como aveia ou azevém, no Sul do Brasil) possibilita uma melhoria na estabilidade da estrutura do solo e reduz as possibilidades de recompactação, já que os efeitos da escarificação e da subsolagem são de curto prazo. Em algumas situações, tem ocorrido redução na produtividade das culturas de soja e de milho, implantadas logo após a escarificação, ou subsolagem, do SPD, possivelmente associada à excessiva drenagem do solo. A utilização de hastes sulcadoras nas semeadoras também assume importância

para o controle da compactação do solo em SPD, uma vez que sua utilização contribui para uma escarificação superficial do solo nesse sistema. 

---

**\*Cássio Antonio Tormena** é professor associado do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (catormena@uem.br).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, n. 41, p. 1663-1674, 2006.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação das pressões crítica para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 25, p. 11-18, 2001.
- TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 31, p. 211-219, 2007.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 22, p. 573-581, 1998.