Predição do momento de ocorrência de resistência à penetração restritiva e sua relação com o rendimento de grãos da cultura do feijoeiro em diferentes níveis de compactação

Gubiani, P. I.[1]; Reinert, D. J.[2]; Reichert, J. M.[3]; Gelain, N. S.[4]; Rodrigues, M. F. [5]

[1]Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (UFSM), CEP 97105900, e-mail: paulogubiani@gmail.com (Apresentador); [2]UFSM, e-mail: dalvanreinert@gmail.com; [3]UFSM, e-mail: reichert@smail.ufsm.br; [4]UFSM, e-mail: neivaengenheira@gmail.com; [5]UFSM, e-mail: miriamf_rodrigues@yahoo.com.br

Introdução

A compactação do solo pode afetar o crescimento e desenvolvimento de plantas à medida que impõe restrição ao crescimento radicular, altera os fluxos de água e ar no solo, que são fatores diretamente relacionados com o crescimento vegetal (LETEY, 1985). O momento de ocorrência e a intensidade desses efeitos dependem do nível de compactação, das condições climáticas no período em que as plantas permanecem no local e da espécie cultivada. O grande desafio da pesquisa em física do solo tem sido estabelecer limites críticos para variáveis físicas de solo, relacionadas com o crescimento das culturas (REICHERT et al., 2007). Associado a isso, o momento de ocorrência da condição crítica é também de grande relevância.

Segundo Tormena et al. (2007), condições físicas do solo adequadas ao crescimento das plantas resultam de complexas interações entre resistência do solo à penetração (RP), aeração e disponibilidade de água, sendo que o intervalo hídrico ótimo (IHO) integra valores limitantes dessas propriedades físicas do solo numa única variável, com base no conteúdo de água. No entanto, poucos trabalhos exploraram a relações entre o IHO e a resposta das culturas, a exemplo de Silva (2003), Collares (2005) e Klein & Câmara (2007). Além disso, a resposta das plantas tem apresentado uma relação não muito clara com o IHO. No seu trabalho, Klein & Câmara (2007) sugerem, inclusive, que a resistência à penetração de 2 MPa não deva ser assumida como limite crítico para o desenvolvimento de plantas de soja, baseados na não relação entre resposta no rendimento e permanência da umidade do solo dentro ou fora do IHO. Possivelmente, o simples enquadramento da umidade do solo em “dentro ou fora” do IHO pode não ser um bom critério para ser relacionado com a resposta das culturas, pois não informa o quão próxima ou afastada a umidade está dos limites críticos e nem a intensidade com que os fatores atuam sobre a cultura.

Os limites inferiores do IHO (umidade em um dado valor de RP ou no ponto de murcha permanente) parecem ser os fatores que precisam de melhor definição, a partir de indicadores fisiológicos quantitativos, para que o IHO possa ser adequadamente correlacionado com as respostas quantitativas das culturas. Nesse aspecto, pelo menos alguma informação de plantas deveria estar associada à determinação

do IHO. Além disso, estratégias alternativas de monitoramento da RP com a variação da umidade podem auxiliar no entendimento da relação entre plantas e o IHO.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi de comparar o momento de ocorrência de limites críticos inferiores de RP do IHO com os mesmos limites críticos de RP determinada por metodologia alternativa, e verificar a relação do rendimento de grãos da cultura do feijoeiro com esses momentos de ocorrência da RP, em diferentes níveis de compactação.

Material e Métodos

Este trabalho reuniu dados do IHO apresentado por Collares (2005) para o mesmo solo da área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no qual foi desenvolvido um experimento em 2008 com a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). Os tratamentos constaram de três níveis de compactação definidos em relação à condição atual da área, cultivada sob plantio direto consolidado: (i) plantio direto (PD), (ii) plantio direto com compactação adicional (PDC) e (iii) plantio direto escarificado (ESC), casualisados em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. A escarificação foi realizada até uma profundidade de 0,25 m, e a compactação adicional foi aplicada com um trator MF 275, ao qual foi acoplada uma grade aradora para aumentar a carga sobre o solo. A densidade média do solo medida após a aplicação dos níveis de compactação foi de 1,57, 1,69 e 1,77 g cm^{-3}, respectivamente para o ESC, PD e PDC, na camada de 0 a 0,10 m, e de 1,64, 1,69 e 1,71 g cm^{-3}, respectivamente para o ESC, PD e PDC, na camada de 0,15 a 0,25 m.

A semeadura do feijoeiro, cultivar BRS Valente, foi realizada no dia 30 de janeiro de 2008 (safrinha), numa densidade de 280000 sementes ha^{-1}. As sementes foram distribuídas manualmente em sulcos espaçados 0,45 m, previamente formados por uma semeadora. Quanto aos aspectos de nutrição, controle de pragas, plantas daninhas e doenças, a cultura foi adequadamente conduzida de acordo com as indicações técnicas.

O monitoramento da umidade do solo foi feito a partir da semeadura até os 56 dias após a semeadura (DAS), nas camadas de 0 a 0,10; 0,15 a 0,25; 0,30 a 0,45 m por meio de TDR Trase, e a RP foi medida com um penetrômetro manual, modelo RIMIK, CP 20. Em cada determinação foram efetuadas cinco medidas de RP (entrelinha da cultura) por unidade experimental, para melhor representar a condição média do solo. Aos dados de RP e umidade foram ajustadas equações lineares para estimar a RP ao longo do ciclo da cultura. A umidade do solo para o limite inferior de 2 MPa do IHO foi calculada por meio da equação $RP = 24{,}9929\theta^{-1{,}0896} Ds^{4{,}9261}$ (COLLARES, 2005), onde RP = resistência à penetração (kPa); θ = umidade volumétrica do solo (cm^3 cm^{-3}) e Ds = densidade do solo (g cm^{-3}). Isolando a umidade, a

equação assumiu a forma $\theta = \left[\frac{2000}{24{,}9929 * Ds^{4{,}9261}}\right]^{\frac{1}{-1{,}0896}}$, com a qual foi calculada a umidade do solo na condição de RP igual a 2000 kPa (2 MPa), por meio da densidade média de cada nível de compactação.

O rendimento de grãos foi medido por ocasião da colheita das plantas das cinco linhas centrais da unidade experimental. As duas linhas laterais e uma faixa de 0,5 m de cada extremidades foram descartadas para minimizar um possível efeito interparcelar, restando uma área útil de 9 m^2. Os grãos foram secos e a umidade foi ajustada para 13 % em base de massa. A quantidade de grãos colhida foi convertida em kg ha^{-1}.

Resultados e Discussão

Estão representadas neste trabalho as equações das camadas de 0 a 0,10 e 0,15 a 0,25 m (Figura 1), visto que, na camada de 0,30 a 0,45 m, a umidade do solo variou muito pouco entre os níveis de compactação e, por isso, não foi possível estabelecer uma relação da RP com a umidade e que tivesse utilidade para os propósitos deste trabalho. Nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,15 a 0,25 m , principalmente no ESC, o coeficiente de determinação (r^2), indicou baixa relação da RP com a umidade. No entanto, o modelo linear foi significativo a 0,05 em todos os casos.

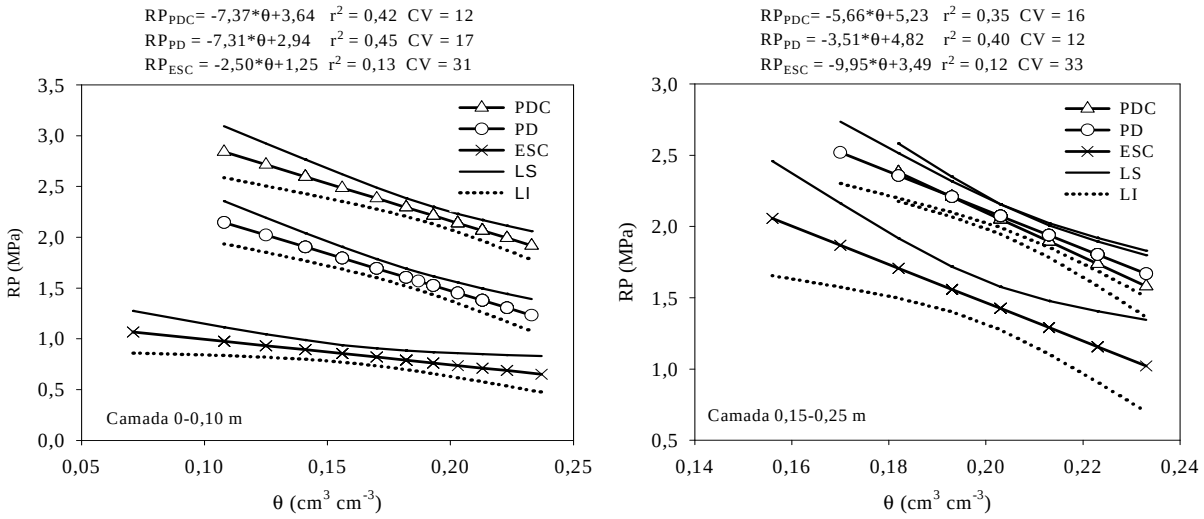

Figura 1. Resistência à penetração do solo (RP) em função da umidade volumétrica (θ) nos diferentes níveis de compactação. LS = limite de confiança superior e LI = limite de confiança inferior da média, a 0,95 de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

A baixa relação da RP com a umidade pode estar relacionada ao fato de que a RP foi medida em vários pontos distribuídos na mesma unidade experimental, enquanto que a umidade foi medida sempre no

mesmo local (ponto onde estava instalada a sonda de TRD). A maior variabilidade da RP nos tratamentos ESC e PDC deve ser resultado de modificações heterogêneas na estrutura do solo, causadas pelas operações de escarificação e compactação adicional. Em ambas as camadas, o coeficiente angular mostrou aumento (em módulo) no sentido ESC-PDC, indicando que a RP é afetada com maior intensidade pela variação da umidade, à medida que aumenta o grau de compactação. Na camada de 0 a 0,10 m, observa-se que uma RP de 2 MPa é obtida no PDC e no PD quando a umidade volumétrica estiver próxima de 0,22 e 0,12 cm^3 cm^{-3}, respectivamente, enquanto no ESC o valor máximo possível seria de 1,24 MPa, na condição de solo completamente seco (coeficiente linear).

A maior variação da umidade do solo ocorreu dos 32 aos 52 DAS, período no qual praticamente não houve precipitação (Figura 2), sendo mais acentuada na camada de 0 a 0,10 m, tanto dentro quanto entre os níveis de compactação, devido às diferenças estruturais do solo e o contato direto com agentes atmosféricos.

A comparação do momento de ocorrência de limites críticos de RP do IHO com os mesmos limites críticos de RP determinados pelas equações RP(θ), mostrou em torno de 2 e 4 dias de diferença, respectivamente para o PDC e PD, na camada de 0 a 0,10 m (Figura 2). No entanto, para o ESC a RP de 2 MPa foi prevista aos 38 DAS pelo IHO, enquanto que pelas equações RP(θ) não haveria RP restritiva durante todo o período. Cabe ressaltar que o valor de densidade de 1,57 g cm^{-3} do ESC está compreendido na faixa de densidades do gráfico do IHO, onde o limite inferior foi definido pela RP, o que valida o seu uso. Além disso, a aplicabilidade, em anos posteriores à sua determinação, das funções do IHO que estimam os limites inferiores parece ser perfeitamente possível, dada a similaridade desses limites independente da época de determinação do IHO (TORMENA et al., 2007). Como a densidade do solo tem maior efeito sobre a RP no modelo exponencial usado por Collares (2005), possivelmente a condição de solo mobilizado ficou menos representada, em função do efeito dominante da densidade do solo de condições de solo mais consolidado. Devido a isso, para solos mobilizados com pouca coesão, a função RP(θ,Ds) do IHO pode superestimar a RP. Nesses casos, provavelmente um ajuste linear RP(θ) represente melhor a RP.

Na camada de 0,15 a 0,25 m, o ESC sofreu menos o efeito da mobilização e o solo, em termos de estrutura, se assemelhou ao PD. Verifica-se que o momento de ocorrência da RP de 2 MP no ESC não tem grande diferença, porém o IHO indicou a ocorrência 3 dias antes. No PD e PDC, a RP de 2 MPa ocorreu em momento semelhante que foi praticamente o mesmo quando determinado pelo IHO ou RP(θ). Observa-se, portanto, que o IHO reproduziu bem o momento de ocorrência da RP crítica em sistemas consolidados, por outro lado, em solo mobilizado houve uma grande imprecisão que poderia levar a interpretações equivocadas da resposta das culturas.

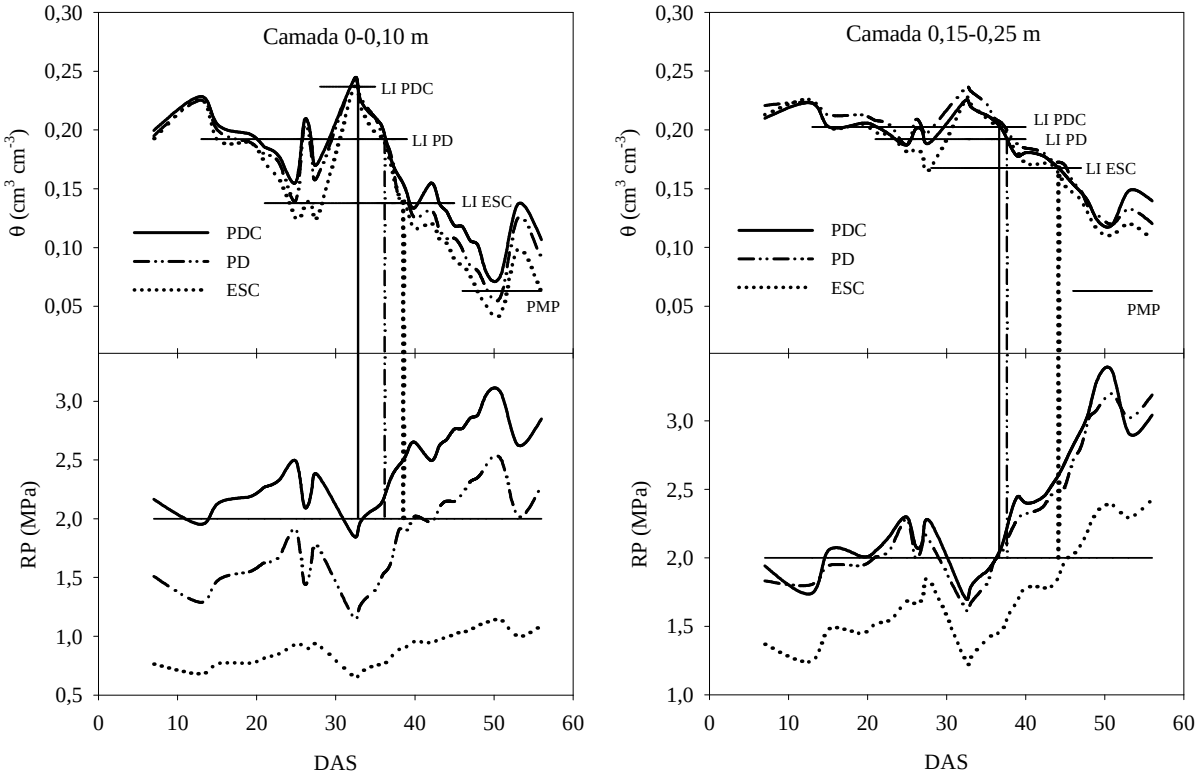

Figura 2. Variação média da umidade volumétrica (θ) e da estimativa da RP, no período de 7 a 56 DAS, em diferentes níveis de compactação com (IR) e sem (NI) irrigação. LIPDC, LIPD e LIESC, são os limites inferiores de umidade no solo quando a RP é igual a 2 MPa, estimados a partir do IHO (COLLARES, 2005), e PMP é o ponto de murcha permanente.

Em relação ao rendimento de grãos, os níveis de compactação diferiram significativamente, pela análise da variância a 0,05 de probabilidade de erro, sendo que o ESC e o PD apresentaram as maiores médias (2459 e 2269 kg ha^{-1}, respectivamente) e diferiram do PDC (1655 kg ha^{-1}), pelo teste de Tukey a 0,05 (Tabela 1). Observa-se que o rendimento de grãos teve uma relação indireta com o momento de ocorrência da RP de 2 MPa. Neste trabalho, a interpretação do momento de ocorrência da RP de 2 MPa pelo IHO está coerente com o sentido da resposta da cultura. No entanto, no ESC e na camada de 0 a 0,10 um efeito negativo no rendimento de grãos provocado por deficiência hídrica poderia ser equivocadamente atribuído à RP acima do valor crítico.

O valor crítico de densidade do solo (IHO = 0) obtida por Collares (2005) de 1,75 g cm^{-3} parece ser a informação do IHO que melhor pode predizer o efeito da compactação do solo sobre as culturas, visto que no PDC a densidade do solo (1,77 g cm^{-3}) foi semelhante à densidade crítica pelo IHO e, nessa

situação, a cultura mostrou claramente redução no rendimento. Além disso, o momento de ocorrência da RP crítica foi praticamente coincidente no PDC independente de ter sido estimado pelo IHO ou em função apenas da umidade.

Tabela 1. Rendimento de grão da cultura do feijoeiro em diferentes níveis de compactação.

Níveis de compactação		
ESC	PD	PDC
2459 a	2269 a	1655 b

Médias com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade de erro.

Conclusão

A análise temporal da RP parece ser uma alternativa interessante para compreender melhor seu comportamento em níveis diferentes de compactação e sua relação com o rendimento das culturas. É necessário, porém, obter estimativas mais precisas da RP em função da umidade, para melhorar a confiabilidade das relações feitas a partir dessas estimativas. O uso do IHO para prever a RP crítica, nas condições de solo consolidado, mostrou ser coerente com as estimativas considerando-se apenas a umidade do solo. No entanto, em condições de solo mobilizado pode não indicar o fator predominante causador de estresse nas culturas.

Literatura Citada

COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e Relação com Parâmetros de Solo e de Plantas**. Santa Maria, R.S. 107p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo - processos Físicos e Morfogenéticos do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2006, 306.

KLEIN, V.A & CÂMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.31 p. 221-227, 2007.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil** Science, v.1, p.277-294, 1985.

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. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v. 5, 2007.

SILVA, V. R. da. **Propriedades Físicas e Hídricas em solos sob diferentes níveis de compactação**. 2003. 171f. Tese (Doutorado em Agronomia - Biodinâmica do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

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.