



Métodos de determinação do limite superior de água disponível no solo em casa de vegetação⁽¹⁾

Matheus Pena Campos⁽²⁾; Pedro Henrique Pena Campos⁽³⁾; Adriano Gonçalves de Campos⁽⁴⁾; Igor Franco Rezende⁽³⁾; Bruno Montoani Silva⁽⁵⁾; José Carlos Moraes Rufini⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

⁽²⁾ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João Del-Rei - Campus Sete Lagoas (UFSJ-CSL), bolsista CAPES; Sete Lagoas, MG; E-mail: mapenacampos@hotmail.com;

⁽³⁾ Graduando de Engenharia Agrônoma da UFSJ-CSL; E-mails: pedropena_94@hotmail.com; ifrigor@gmail.com;

⁽⁴⁾ Mestrando do PPGCA, da UFSJ-CSL, bolsista UFSJ/FAUF; E-mail: adrianogcampos@yahoo.com.br; ⁽⁵⁾ Professor Doutor do Departamento de Ciências Agrárias (DCIAG) da UFSJ-CSL; E-mails: montoani@ufsj.edu.br; rufini@ufsj.edu.br.

RESUMO: A capacidade de pote (CP) é um método direto de determinação da capacidade de campo (CC) para experimentos com plantios em vasos. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes métodos laboratoriais de determinação da capacidade de campo e compará-los com o método da capacidade de pote. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com nove tratamentos (métodos de obtenção de CC) e quatro repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. Foram comparados as médias dos teores de umidade na CC dos nove métodos, sendo oito obtidos empiricamente e um diretamente em casa de vegetação (CP), sendo este definido como tratamento controle. Determinou-se a exatidão relativa (ER) para todos os tratamentos em relação ao tratamento controle. Os resultados evidenciaram que a estimativa da capacidade de campo varia dependendo do método, sendo que o tratamento CC-Lab4pts foi o que obteve a maior ER comparado ao controle e portanto, uma alternativa para a metodologia da capacidade de pote (CP). Para estimar o conteúdo de água na CC, o modelo do ponto de inflexão foi mais eficiente que o modelo de Andrade-Stone e o uso dos potenciais 10 kPa e 33 kPa está completamente fora da realidade dos solos brasileiros, quando se pretende ter a umidade na CC.

Termos de indexação: capacidade de pote, curva de retenção de água no solo, ponto de inflexão.

INTRODUÇÃO

Em cultivos em vaso, experimentos em casa de vegetação, há a necessidade de conhecer um limite superior de disponibilidade de água, para nortear o manejo da água. Em campo, esse limite é conceituado como capacidade de campo (CC), que apesar de limitações físicas, possui importante papel prático (Reichardt, 1988; Silva et al., 2014). Metodologias para estimativa da CC em laboratório vêm sendo adotadas para condições de Cerrado

baseadas na curva de retenção de água (CRA) (Andrade & Stone, 2011), no ponto de inflexão da CRA (Dexter, 2004; Silva et al. 2014), e proposições para experimentos em vasos (Casaroli & van Lier, 2008).

Porém, para empreendimentos agrícolas em casa de vegetação que necessitam da determinação da CC em vasos ou potes, existem poucos materiais disponíveis na literatura. Através da metodologia proposta por Souza et al. (2000), uma das pioneiras no Brasil, usualmente denominada como capacidade de pote (CP), é possível obter o limite superior de água disponível no solo para as plantas em experimentos conduzidos em vasos, ou seja, pode ser considerada um método direto de determinação da CC.

A maioria dos trabalhos relacionados ao manejo de água no solo considera valores de teores de água retido nas tensões de 33 kPa para solos argilosos e 10 kPa para solos arenosos, como estimativa da CC.. Estes valores são obtidos em laboratório, conforme Richards (1947). Entretanto, algumas metodologias (Dexter, 2004; Andrade & Stone, 2011; Silva et al., 2014) confirmaram que estes potenciais podem não estimar satisfatoriamente a CC.

Aliado a isto, algumas diferenças têm sido observadas entre os diversos métodos laboratoriais de determinação de CC, quando comparados com o método direto no campo, referência de exatidão conforme Reichardt (1988). Diferente do ponto de murcha permanente que mudanças no potencial resultam em pequenas mudanças na umidade associada, a capacidade de campo é considerada dinâmica (Souza & Reichardt, 1996), fato que dificulta sua análise e a confiabilidade dos valores obtidos.

Levando em consideração, as prováveis variações na umidade do solo quando este se encontra na CC, segundo o método de determinação, o limite superior de água disponível no solo será alterado, com reflexos nos cálculos de lâminas de água para manejo de irrigações e no



possível déficit de produtividade potencial da cultura.

Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes métodos laboratoriais de determinação do limite superior de disponibilidade de água no solo e compará-los com o método direto de determinação da capacidade de pote.

MATERIAL E MÉTODOS

Tratamentos e amostragens

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com ambiente controlado de temperatura e umidade, pertencente ao Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), Campus Sete Lagoas (CSL), para obtenção da capacidade de pote (CP) e no Laboratório de Física do Solo, do CSL, para determinação da CC de forma indireta, através do extrator de Richards e por modelagem em software específico para construção de curva de retenção de água no solo (CRA). Foi utilizado em todos os tratamentos um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, unidade pedológica representativa da região de Cerrado, onde está inserido o município de Sete Lagoas - MG, com textura muito argilosa (14% de areia, 16% de silte e 70% de argila), coletado a uma profundidade de 0-20 cm, procedente do CSL.

Cada tratamento correspondeu a um método de obtenção de CC, sendo um diretamente em casa de vegetação e oito realizados em laboratório, listados abaixo:

- CP, capacidade de pote, obtida diretamente em vasos preenchidos com 3,5 kg de solo;
- CC-Labpi, estimada em laboratório pelo ponto de inflexão (π) da CRA (Dexter, 2004), adotando o conteúdo de água (U) na CC, em g.g^{-1} ;
- CC-Lab8pts, estimada pelo π da CRA, modelada com oito pontos da curva (saturação; -4; -6; -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa);
- CC-Lab6pts, estimada pelo π da CRA, modelada com seis pontos da curva (saturação; -4; -6; -10; -33 e -1500 kPa);
- CC-Lab4pts, estimada pelo π da CRA, modelada com quatro pontos da curva (saturação; -6; -33 e -1500 kPa);
- CC-LabCRA, sendo a CC estimada por meio da CRA em laboratório, utilizando o modelo proposto por Andrade & Stone (2011);
- CC-6kPa; CC-10kPa e CC-33kPa; determinados em laboratório pelo conteúdo de água retido em seus respectivos potenciais.

A CP foi determinada segundo o método proposto por Souza et al. (2000), sendo esta adotada como o conteúdo de água retida pelo solo após sofrer saturação e consequente ação da gravidade, até o cessamento visual da drenagem.

Foram utilizados quatro vasos contendo 3,5 kg do solo citado anteriormente para a determinação da CP, e considerou-se a equação abaixo para seu respectivo cálculo:

$$MU_{CP} = MS \times (1 + U_{CP}),$$

onde MU_{CP} foi a massa úmida, em kg, na capacidade de pote obtida pela média das pesagens dos quatro vasos, segundo Souza et al. (2000); MS foi a massa seca, em kg, determinada para os vasos (N=4) e U_{CP} foi a umidade do solo, em g/g, na capacidade de pote, obtida em laboratório, pelo método gravimétrico padrão de estufa (Embrapa, 2011). Após a estimativa da massa seca e com o valor da umidade obtido, o peso de cada vaso (MU_{CP}) foi definido.

Para determinação da U_{CP} , foram coletadas 24 amostras dos quatro vasos utilizados na obtenção da CP. Em cada vaso, foram coletadas três amostras subsuperficiais e três amostras na região mais profunda do vaso, em torno de 50 g de solo/amostra. Posteriormente, foram pesadas 10 g de cada amostra e secas em estufa de secagem e esterilização a 105 °C, até atingir peso constante (Embrapa, 2011).

O tratamento CC-Labpi, foi obtido no Laboratório de Física do Solo, do CSL, utilizando-se o conjunto: mesa de tensão automatizada da marca ECOTECH (até 75 kPa de tensão), extrator de Richards de média e alta pressão, contendo as amostras retiradas do mesmo solo utilizado nos vasos da CP. Foram pesadas 25 g de cada uma das quatro amostras de solo com estrutura deformada em uma montagem com anel de PVC (25 mm de altura), malha e goma de borracha. Após este procedimento, as amostras foram colocadas em uma bandeja e saturadas por capilaridade (elevação gradual de lâmina de água) com água destilada, durante 24 horas, até a saturação ter sido alcançada.

Posteriormente, as amostras foram pesadas para estimar a umidade na saturação e levadas para determinação da água em equilíbrio nos potenciais (Ψ): -4; -6; -8; -10; -33; -100; -300; -500 e -1500 kPa (Klute, 1986), e após o último potencial as quatro amostras foram secas em estufa de secagem a 105 °C, para quantificação dos conteúdos de água (U), em g.g^{-1} , associados a cada Ψ para a obtenção da curva de retenção de água.

A CRA foi modelada empregando-se o modelo de van Genuchten (1980) com restrição de Mualem [$m = 1 - (1/n)$], mediante o software RETC (van Genuchten et al., 1991). No ponto de inflexão da curva modelada foram obtidos o U (g.g^{-1}), que foi utilizado como o conteúdo de água na capacidade de campo para o tratamento CC-Labpi, determinado conforme Dexter (2004) e Silva et al. (2014).

Para os tratamentos CC-Lab8pts, CC-Lab6pts, CC-Lab4pts, foram adotados os mesmos procedimentos para o CC-Labpi, utilizando o



número de pontos da CRA, respectivo para cada tratamento.

O tratamento CC-LabCRA, seguiu a mesma metodologia dos tratamentos citados acima para obter a CRA, adotando os mesmos potenciais do tratamento CC-Labpi, porém o U (g.g^{-1}) na CC, foi determinado segundo o modelo proposto por Andrade & Stone (2011).

Nos potenciais de -6; -10 e -33 kPa fez-se o registro dos conteúdos de água retidos como os valores de U (g.g^{-1}) na CC, para os três últimos tratamentos (CC-6KPa, CC-10KPa e CC-33KPa). O tratamento CP foi definido como controle, para possibilitar o cálculo da exatidão relativa (ER), em %, em relação aos demais tratamentos.

Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com nove tratamentos e quatro repetições, totalizando 36 unidades amostrais ($N=36$). Para avaliar o efeito dos tratamentos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% probabilidade, utilizando o software R, pacote ExpDes (Ferreira et al., 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** são apresentados os valores médios de conteúdos de água (g.g^{-1}) para os nove métodos de determinação da CC e os valores da exatidão de cada método em relação ao método de determinação direta da CC, o tratamento CP, definido como o padrão ou controle neste trabalho. Os valores da exatidão são relativos, deste modo representam a porcentagem de U (g.g^{-1}) na CC em relação ao valor de $U_{cc} = 0.510 \text{ g.g}^{-1}$, correspondente ao tratamento controle.

Na **tabela 1**, cinco tratamentos apresentaram valores médios de U_{cc} estatisticamente iguais, sendo que quatro destes foram obtidos em laboratório com posterior modelagem, adotando o ponto de inflexão como valor de umidade na CC. Isto comprova que o modelo proposto por Dexter (2004) é robusto o suficiente para estimar a umidade na CC utilizando apenas quatro pontos na curva de retenção de água no solo. Porém, o tratamento CC-Lab6pts obteve a ER mais próxima do tratamento CP, com 0,39% a menos de exatidão.

O resultado obtido para o tratamento CC-Lab4pts permitirá reduzir o tempo de análise das amostras de solo no extrator de Richards, aumentar a eficiência de trabalho laboratorial e agilizar a modelagem da CRA.

Além disso, todos os tratamentos que utilizaram a metodologia do ponto de inflexão (Dexter, 2004) podem ser uma alternativa para o método da CP, que necessita de vasos e uma quantidade

considerável de solo para sua obtenção. Portanto, ao se tratar de uma empresa de produção de mudas ou flores em larga escala, em casa de vegetação, com necessidade de boa precisão e menor tempo possível para definir a CC, o tratamento CC-Lab4pts pode ser uma alternativa prática e eficiente para o produtor ou empresário.

De acordo com Andrade & Stone (2011), em estudo com a utilização de 2242 amostras de solo de Cerrado, foi obtido por modelagem a partir de informações sobre retenção de água no solo e tendo considerada a taxa de drenagem equivalente a 1% do valor da condutividade hidráulica saturada do solo., potenciais para a CC entre -6,5 e -7,5 kPa. Para o presente trabalho, encontrou-se valor de potencial na CC maior do que no intervalo previsto pelo modelo dos autores citados (**Tabela 1**).

Na **tabela 1**, o valor da ER referente ao tratamento CC-LabCRA, apresentou um déficit de umidade na CC ou redução da produtividade potencial de uma cultura hipotética, no valor de 12,35%, comparado ao tratamento controle. Nesse sentido, para experimentos conduzidos em vasos, o modelo de Andrade & Stone (2011) mostrou menor exatidão, com subestimativa da CC.

Tabela 1 - Valores médios de conteúdos de água (g.g^{-1}), de exatidão relativa (%) e de potencial matricial na capacidade de campo (Ψ_{cc}) para diferentes métodos de determinação da capacidade de campo.

Tratamentos	U_{cc} ¹	ER ²	Ψ_{cc} ³
	(g.g^{-1})	%	kPa
CC-Lab4pts	0.516 a	101.18	-3.8
CC-Labpi	0.515 a	100.98	-3.8
CC-Lab8pts	0.513 a	100.59	-4.2
CP	0.510 a	100.00	-4.0
CC-Lab6pts	0.508 a	99.61	-4.5
CC-6kPa	0.464 b	90.98	-6.0
CC-LabCRA	0.447 b	87.65	-7.7
CC-10kPa	0.396 c	77.65	-10.0
CC-33kPa	0.340 d	66.67	-33.0

CV = 1.86 %

¹ Umidade na capacidade de campo, ² Exatidão relativa e ³ Potencial matricial na capacidade de campo.

³ Médias de U_{cc} (g.g^{-1}), seguidas com a mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Em estudo utilizando os potenciais de -6 kPa, -10 kPa, -33 kPa e o ponto de inflexão para determinar o U_{cc} , Silva et al. (2014), obtiveram os piores resultados nas tensões de 10 e 33 kPa em relação ao ψ_p da CRA, com $\psi_p = 4,015$ kPa, na profundidade de 0,20 m de um Latossolo Vermelho. Além disso, dependendo do método escolhido para estimar a CC, houve uma variação de 336% na capacidade de água disponível (CAD).

Portanto, não é recomendável estimar a capacidade de vaso, equivalente da CC para culturas em vaso, com base em valores “tradicionais” de potencial matricial (-10 ou -33 kPa), pois os valores obtidos são superestimados e correspondem a altas taxas de redução de teor de água (> 1 % ao dia) (Casaroli & van Lier, 2008).

As conclusões obtidas pelos autores citados acima confirmam os resultados do presente trabalho, quanto ao uso inadequado dos potenciais de -10 kPa e -33 kPa para estimativa da CC.

CONCLUSÕES

A estimativa da capacidade de campo varia dependendo do método, observando uma ordem decrescente de níveis de umidade na CC: CC-Lab4pts > CC-Labpi > CC-Lab8pts > CP > CC-Lab6pts > CC-6KPa > CC-LabCRA > CC-10KPa > CC-33KPa.

O tratamento CC-Lab6pts tem a exatidão relativa mais próxima de 100% e pode ser uma alternativa prática à capacidade de pote (CP).

O uso de 4, 6, 8 ou 10 pontos para modelagem da CRA não interfere na qualidade da CC estimada pelo ponto de inflexão.

O método do ponto de inflexão de Dexter (2004) é mais eficiente para experimentos desta natureza, quando comparado ao método de Andrade-Stone (2011).

Não é adequado o emprego dos potenciais de -10 kPa e -33 kPa para estimar a CC em casa de vegetação.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo apoio financeiro, à UFSJ-CSL pela infraestrutura laboratorial e à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S. & STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(2):111-116, 2011.

CASAROLI, D. & VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 32:59-66, 2008.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120:201-214, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2. 2013. Disponível em: <<http://CRAN.Rproject.org/package=ExpDes>>. Acesso em 29 abr. 2015.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12(3):211-216, 1988.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. *Agronomy Engineering*, Madison, 28:451-454, 1947.

SILVA, B. M.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: Estimation methods and implications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 38(2):464-475, 2014.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3):338-342, 2000.

SOUZA, L. D. & REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 20(2):183-189, 1996.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, Version 1.0. Riverside, 1991.