

Impedância mecânica de substratos para plantas submetidos a diferentes tensões hídricas

Maria Helena Fermino¹, Atelene Normann Kämpf²

Resumo: Para determinar a interferência da umidade sobre a impedância mecânica em substratos para plantas, realizou-se um estudo com seis substratos: três turfas *in natura*, e três substratos comerciais à base de casca de pinus e vermiculita. As amostras foram preparadas e acondicionadas em cilindros de 3 cm de altura, saturadas e submetidas a diferentes tensões hídricas (10, 30, 50, 80 e 100 hPa). A impedância mecânica foi medida com micropenetrômetro em 5 pontos das amostras, a 2 cm de profundidade. Os resultados mostram que o aumento da tensão hídrica eleva significativamente a impedância mecânica, com resposta linear para TV e C3 e quadrática para TP, C1 e C2. Para todos os substratos, a menor impedância mecânica é verificada à tensão de 10 hPa.

Palavras-chave: micropenetrômetro, turfa, casca de pinus.

Mechanical impedance in growing media under different hydric tensions

Abstract: This study was performed to evaluate the influence of the usually most applied water tensions on the mechanical impedance of growing media. Six substrates were used: three types of the peat - black (BP), brown (BrP) and red peat (RP) - and three commercial mixtures based on pine bark, indicated for vegetables (V), forest (F) and tobacco plantlets (T). The samples were set in cylinders, saturated and submitted to five moisture tensions: 10, 30, 50, 80 e 100 hPa. The mechanical impedance was measured with a penetrometer five times in each sample, at 2 cm depth. Increasing water tension increased the mechanical impedance, with different curve responses for each material. The lower mechanical impedance was obtained at 10 hPa (corresponding to the concept of container capacity).

Key words: penetrometer, peat, pine bark.

¹ Eng^a Agr^a, Doutora, Pesquisadora da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Rua Gonçalves Dias, 570, Porto Alegre-RS, cep 90130-060, Fone (51) 3288-8087, maria-fermino@fepagro.rs.gov.br.

² Bióloga, Doutora, Bolsista CNPq no Jardim Botânico, Fundação Zoobotânica de Porto Alegre, nkampf@cpovo.net.
Recebido para publicação em 01/07/2005

Introdução

A resistência do solo ou substrato à penetração da raiz é denominada de impedância mecânica, e se constitui numa das causas de variação do crescimento das raízes (BENGOUGH e MULLINS, 1990).

Quando poros contínuos maiores do que as pontas das raízes estão presentes nos solos, as raízes crescem através destes poros como um resultado da baixa impedância mecânica (BENNIE, 1991). Se tais poros não existem, a extremidade da raiz deve exercer uma força para deformar o solo (BENGOUGH e MULLINS, 1990); a resistência da matriz do solo contra essa deformação deve ser menor do que a pressão exercida pela própria raiz (GILL BOLT citado por BENNIE, 1991) para permitir que a raiz se alongue.

Bennie (1991) afirma que mudanças na morfologia da raiz são normalmente tão características que elas podem ser usadas para identificar a presença de alta pressão. Raízes impedidas mecanicamente são mais curtas, mais grossas e com formas mais irregulares do que raízes fibrosas mais finas que se desenvolvem sob condições de baixa pressão. Com frequência observa-se a presença de raízes laterais curtas e atrofiadas ou sua ausência total.

Bengough e Mullins (1990) justificam a existência de poucos estudos envolvendo a medição da força da raiz, devido a dificuldades experimentais. Os resultados de experimentos envolvendo comparações diretas da resistência ao penetrômetro e à raiz indicam que os penetrômetros experimentam 2 a 8 vezes maior resistência do que as raízes de plantas penetrando no solo. Raízes são órgãos flexíveis que seguem caminhos tortuosos através do solo, aparentemente procurando pelo caminho de menor resistência. Ao contrário, os penetrômetros são sondas de metal rígido, confinadas a um caminho linear através do solo.

Estas diferenças entre penetrômetros e raízes têm causado discussão sobre a utilidade destes, mas apesar de suas limitações, eles permanecem o melhor método disponível para estimar a resistência para o crescimento da raiz no solo (HARTGE et al., 1985, BENGOUGH e MULLINS, 1990) ou substrato.

A pressão da raiz ou do penetrômetro necessária para criar um caminho é principalmente uma função das forças de ligação entre partículas e do atrito entre as partículas em movimento. As forças de ligação entre partículas consistem da adesão água-solo, da coesão água-água e da cimentação entre partículas. As forças de adesão e coesão são dependentes do conteúdo de água, área de contato e distância entre partículas individuais do solo, que são uma função da textura, porosidade total e densidade de volume, distribuição do tamanho de poros e conteúdo de matéria orgânica. A cimentação interpartículas é uma função do tipo e quantidade de agentes cimentantes presentes. A fricção entre partículas depende do conteúdo de água, grau de compactação,

compressibilidade, orientação e rugosidade da superfície da partícula do solo e da massa de sobrepeso do próprio solo (BENNIE, 1991).

Wever e Eymar (1999) também salientam a influência do teor de umidade inicial do substrato na acomodação das partículas e, conseqüentemente, no volume de sólidos do substrato dentro dos recipientes. Isto é particularmente observado em materiais com altos teores de matéria orgânica, como aqueles à base de turfa e cascas de pinus (MICHEL e RIVIÈRE, 1999).

A impedância mecânica tem sido estudada em relação à produção agrícola em solos compactados, entretanto, há deficiência de dados sobre a capacidade de penetração das raízes em substratos dentro de recipientes (KÄMPF et al., 1999b). Com base na observação destes autores (KÄMPF et al., 1999a, KÄMPF et al., 1999b) de que a presença de água no substrato altera sua penetrabilidade, buscou-se, neste trabalho, caracterizar a impedância mecânica, de alguns substratos para plantas, em crescentes níveis de umidade, dentro de faixas de tensões recomendadas para cultivo em recipientes (de 10 a 100 hPa).

Material e métodos

O estudo foi realizado no Laboratório de Biotecnologia em Horticultura, do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Os substratos submetidos ao estudo foram:

1. Turfas *in natura* oriundas da empresa Florestal, localizada na cidade de Araranguá-SC. A denominação apresentada neste trabalho é a utilizada pela empresa conforme a escala de Von Post, sendo uma turfa preta (TP), que corresponde a classificação H8, mais decomposta, com alta densidade, maior conteúdo de colóides e menor porosidade. Uma turfa vermelha (TV), que corresponde a H3, e uma turfa marrom (TM), H6, menos decompostas, com baixa densidade, maior conteúdo de fibras e maior porosidade.

2. Substratos comerciais da empresa MecPrec, localizada em Telêmaco Borba-PR: para cultivo de hortaliças - Comercial 1 (C1), para cultivo de mudas florestais - Comercial 2 (C2) e para cultivo de mudas de fumo - Comercial 3 (C3). Estes são formulados com casca de pinus e vermiculita em diferentes proporções.

Determinação da densidade

Para a determinação das densidades úmida (DU) e seca (DS) empregou-se o método de uso regular no Laboratório de Biotecnologia do DHS/UFRGS.

Este método consiste em preencher uma proveta plástica de 250 mL, transparente e graduada, com a amostra com umidade próxima a 50 % do volume (0,50 m³ m⁻³). Para fins desta análise considera-se a amostra neste ní-

vel de umidade quando, ao ser comprimida entre os dedos, o material úmido não apresenta água livre. Após, esta proveta é deixada cair, sob a ação do seu próprio peso de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas. Com auxílio de uma espátula nivela-se a superfície levemente, e lê-se o volume obtido (em mL). Em seguida, pesa-se o material úmido (em g), estabelecendo-se a relação massa/volume. Para determinar a massa seca, leva-se à estufa para secagem a 105°C, quando há predominância de componente mineral, ou 65°C, quando orgânico, por 48 horas ou até peso constante.

Os valores das densidades de volume (média de duas amostras) foram obtidos aplicando-se as seguintes fórmulas:

$$DU (\text{kg m}^{-3} \text{ ou } \text{g L}^{-1}) = 1000 [\text{massa úmido (g)} / \text{Volume (mL)}]$$

$$DS (\text{kg m}^{-3} \text{ ou } \text{g L}^{-1}) = DU \times \text{Matéria seca (g g}^{-1})$$

$$\text{Matéria seca (g g}^{-1}) = \text{massa seca (g)} / \text{massa úmida (g)}$$

Aplicação da tensão hídrica e determinação do volume de água nas amostras: as amostras de cada material foram preparadas conforme o seguinte procedimento: a) vedação do fundo dos anéis (cilindros metálicos de 150 mL de capacidade e 3,0 cm de altura) com tecido de nylon preso por um atilho de borracha e pesagem destes anéis; b) preenchimento dos anéis com os substratos (5 anéis por substrato) calculando a quantidade de amostra através da densidade, para garantir a uniformidade entre as amostras; c) colocação de cada montagem (anel, amostra e vedação) em bandejas plásticas com água até 1/3 de sua altura, para saturação, por 24 horas; d) retirada dos anéis da água; e) pesagem imediata, cuidando para não perder água. O volume de água contida na amostra neste momento corresponde ao ponto zero de tensão; f) transferência dos anéis para os funis de vidro (25 cm de diâmetro superior interno), com uma base de placa porosa (pressão de 1 bar e alta condutância) de mesmo diâmetro; g) ressaturação dos cilindros, por 24 horas, com uma lâmina de 0,5 cm abaixo da borda destes; h) ajuste da tensão para 10 cm de coluna de água (10 hPa); i) permanência nos funis até atingir equilíbrio (cerca de 48 horas); j) retirada de uma amostra (cilindro) de cada substrato: pesagem e determinação da impedância mecânica; l) repetição dos itens g, h, i e j, para as tensões 30, 50, 80 e 100 cm de coluna de água (equivalentes a 30, 50, 80 e 100 hPa); m); secagem das amostras, à 65°C até peso constante; n) cálculo do volume de água na amostra (VA) a cada tensão:

$$VA_t = \text{massa úmida (g)} - \text{massa seca (g)} / \text{volume do cilindro (mL), Onde:}$$

Massa úmida (g) = peso substrato após drenado (item j);

Massa seca (g) = peso substrato após seco em estufa (item m);

t = tensão hídrica na amostra 10, 30, 50, 80 ou 100 hPa.

Determinação da Impedância Mecânica

A impedância mecânica (IM) foi medida com um micropenetrômetro Chatillon, Greensboro, NC/USA. A sonda possui 6,5mm de diâmetro e ápice cônico com semiângulo de 30°. As leituras a 2,0 cm de profundidade foram realizadas 5 vezes em cada amostra: 4 perfurações equidistantes, na distância média entre o centro e a borda do cilindro, e uma perfuração central. Para o cálculo da IM, os valores foram submetidos à equação (Kämpf et al. 1999a, Kämpf et al. 1999b):

$$Q = F / A, \text{ onde:}$$

Q = pressão necessária para introduzir verticalmente a sonda metálica (kPa);

F = força (N) requerida para penetrar a sonda. O valor F é fornecido pelo equipamento como Pico C (Compressão) e representa o valor máximo entre 600 leituras individuais realizadas pelo instrumento no período de 120 milissegundos (N);

A = área transversal do cone apical da sonda (cm).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (6 substratos, 5 níveis de tensão, 5 leituras/substrato). Para analisar o efeito das tensões procedeu-se à análise de regressão. Para as análises estatísticas utilizou-se o Programa SAS e para os gráficos o Programa Sigma Plot.

Resultados e discussão

Há modificações significativas na impedância mecânica com a variação da tensão hídrica nas amostras para os materiais TP, TV, C1, C2 e C3 (Figura 1).

TP, C1 e C2 apresentam aumento significativo da impedância mecânica com o aumento da tensão de hidratação nas amostras até o ponto de máxima inflexão da curva (-b/2c) que ocorre nas tensões entre 60 e 100 hPa (TP = 88; C1 = 66 e C2 = 77). A linha de comportamento da impedância em TP é superior à C1, e estas são superiores a todos os demais materiais.

Para os substratos TV e C3 há aumento linear significativo da impedância mecânica a medida em que há redução na hidratação da amostra, com retas paralelas entre si.

Os resultados superiores da TP, maior IM quanto menor o volume de água e maior a tensão, se justificam por ser mais decomposta, com densidade seca superior aos demais materiais (DS = 402 kg m⁻³), maior conteúdo de colóides e menor porosidade. TM e TV são turfas menos decompostas, com baixa densidade (147 kg m⁻³ e 174 kg m⁻³, para TM e TV respectivamente) e correspondem ao material menos humificado.

TM é o material com densidade seca mais baixa entre os estudados e esta característica pode explicar a não ocorrência de variações significativas nos valores da IM quando submetido a diferentes tensões hídricas.

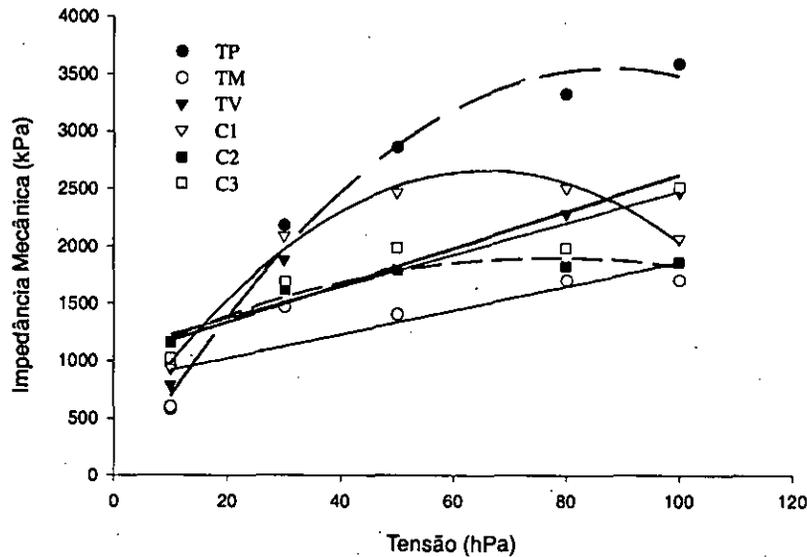


Figura 1 - Impedância mecânica (kPa) dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP); Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais para hortaliças (C1), mudas florestais (C2) e para fumo (C3), submetidos a tensões de 10, 30, 50, 80 e 100 cm de coluna d'água (10, 30, 50, 80 e 100 hPa) (n=5).

Tabela 1 - Equações de regressão e significância das curvas de regressão relacionadas na Figura 1 (* = p < 0,05; NS = não significativo).

Material	Equação de Regressão	R ²
TP	$Y = -0,47x^2 + 82,78x - 88,53$	0,98 *
TM	$Y = 10,39x + 815,33$	0,70 ^{NS}
TV	$Y = 15,99x + 1019,60$	0,80 *
C1	$Y = -0,53x^2 + 70,45x + 336,29$	0,99 *
C2	$Y = -0,15x^2 + 23,81x + 977,23$	0,96 *
C3	$Y = 13,81x + 1093,5$	0,86 *

Os valores de impedância encontrados entre C1, C2 e C3 não podem ser explicados unicamente pelas características de densidade seca (C1, 215; C2, 209 e C3, 216 kg m⁻³). Assim, nota-se que quando apresentam a mesma densidade (C2 e C3), resultam em valores significativamente diferentes de IM; quando formulados com densidades ligeiramente diferentes (C1 e C2), resultam em valores significativamente semelhantes de IM. Estes substratos foram formulados com os mesmos componentes, no entanto, foram aplicadas diferentes proporções às misturas. Pode-se supor que as diferentes proporções de mistura entre os componentes podem ter resultado nas diferenças de IM verificadas.

Ainda, materiais de composição e densidade totalmente diferentes (TV e C3) apresentam valores significativamente semelhantes de IM para os mesmos níveis de umidade na amostra. Pode-se pensar que, neste caso, a geometria dos espaços criados entre as partículas conferiu características semelhantes de IM aos substratos.

Estes resultados mostram que a impedância mecânica pode estar sendo influenciada por outras características como forma, rugosidade, capacidade de expansão, arranjo e cimentação entre partículas.

Em todos os materiais, a menor impedância foi verificada à tensão de 10 hPa e a maior amplitude entre os valores, para o mesmo material, ocorreu entre a tensão de 10 e 30 hPa. Na tensão 10 hPa há o maior volume de água livre no meio (Figura 2 e 3), permitindo o deslocamento das partículas à passagem da sonda. Também para as raízes da planta é o ponto de menor resistência, coincidindo com o valor da Capacidade de Recipiente (CR). White e Martalerz (1966) descreveram a CR, a semelhança da Capacidade de Campo, como o volume de água livre em um substrato, após a saturação e livre drenagem. Após, para análises laboratoriais, convencionou-se como a drenagem equivalente a 10 cm de coluna de água ou 10 hPa. Considera-se ainda como volume de água mínimo recomendado para se manter em recipientes de cultivo comerciais, a fim de se evitar estresse hídrico às plantas.

No presente estudo verificou-se que, quanto maior a tensão, menor o volume de água no meio, e maior o atrito da sonda com as partículas do material ou substrato. Exceção se verifica para C1, onde na maior tensão e, conseqüentemente, menor conteúdo de água, se verifica uma diminuição significativa da IM.

Kämpf et al. (1999a/b), analisando a influência do nível de umidade sobre a densidade de empacotamento de diferentes substratos, também verificaram haver

maior impedância mecânica nos substratos levemente compactados e, naqueles altamente compactados, com menor conteúdo de umidade.

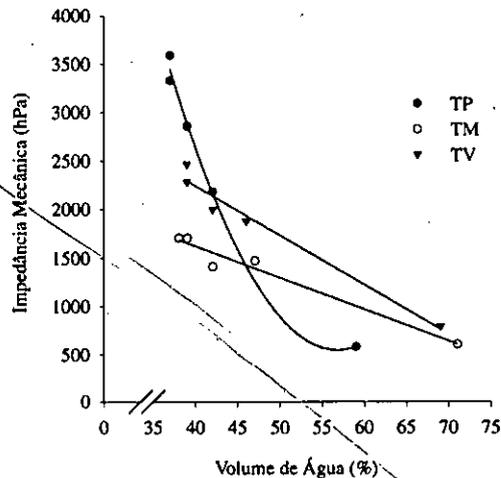


Figura 2 - Impedância mecânica (kPa) dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP); Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), submetidas a diferentes Volumes de Água na amostra (%) (n=5).

Tabela 2 - Equações de regressão e significância das curvas de regressão relacionadas na Figura 2 (* = p 0,05).

Material	Equação de Regressão	R ²
TP	$Y = 7,39x^2 - 840,32x + 24416,41$	0,99*
TM	$Y = -32,55x + 2919,08$	0,96*
TV	$Y = -50,91x + 4275,38$	0,97*

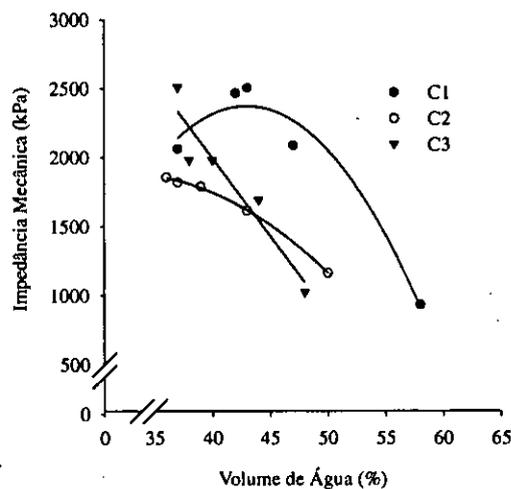


Figura 3 - Impedância mecânica (kPa) dos substratos comerciais para hortaliças (C1), mudas florestais (C2) e para fumo (C3), submetidos a diferentes Volumes de Água na amostra (%) (n=5).

Tabela 3 - Equações de regressão e significância das curvas de regressão relacionadas na Figura 3 (* = p 0,05; ** = p 0,01).

Material	Equação de Regressão	R ²
C1	$Y = -6,51x^2 + 559,75x - 9659,78$	0,96*
C2	$Y = -2,27x^2 + 146,19x - 461,50$	0,99**
C3	$Y = -113,02x + 6517,90$	0,90*

Conclusões

Sob condições de empacotamento regular das amostras, a menor impedância, para os materiais testados, é verificada com a tensão de 10 hPa, considerada como Capacidade de Recipiente, que, por definição, equivale ao estado de máxima saturação hídrica após a drenagem natural.

Referências

- BENNIE, A.T.P. Growth and Mechanical Impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. *Plant Roots: The Hidden Half*. New York: Marcel Dekker, 1991. p.393-413.
- BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical Impedance to Root Growth: a Review of Experimental Techniques and Root Growth Responses. *Journal of Soil Science*, Oxford, n.41, p.341-358, 1990.
- HARTGE, K.H.; BOHNE, H.P.; SCHREY, H.P.; EXTRA, H. Penetrometer Measurements for Screening Soil Physical Variability. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, n.5, p.343-350, 1985.
- KÄMPF, A.N.; HAMMER, P.A.; KIRK, T. Effect the Packing Density on the Mechanical Impedance of Root Media. *Acta Horticulturae*, Wageningen, n.481, v.2, p.689-694, 1999a.
- KÄMPF, A.N.; HAMMER, P.A.; KIRK, T. Impedância Mecânica em Substratos Hortícolas. *Pesquisa Agropecuária Bras-*

Agradecimentos

Às empresas Florestal® e Mec Prec® pela oferta dos substratos para a realização deste trabalho.

leira, Brasília, v.34, n.11, p.2157-2161, 1999b.

MICHEL, J.C.; RIVIÈRE, L.M. Characterisation of the Wettability of Organic Substrates (Peat and Composted Bark) by Adsorption Measurements. *Acta Horticulturae*, Wageningen, n.481, v.1, p.129-135, 1999.

WEVER, G.; EYMAR, E. Characterisation of the Hydrophysical and Mechanical Properties of Pressed Blocks for Transplanting. *Acta Horticulturae*, Wageningen, n.481, v.1, p.111-119, 1999.

WHITE, J. W.; MASTALERZ, J. W. Soil Moisture as Related to "Container Capacity". *Proceedings of the American Society for Horticulturae Science*, Geneva, v. 89, p. 758-765, 1966.