

Compactação do solo em uma área livre com árvores urbanas em solos argilosos

Davidson da Silva Novaes¹

Eleandro José Brun²

Flávia Gizele König Brun³

RESUMO

O objetivo deste estudo foi subsidiar o manejo de árvores urbanas quanto aos aspectos relativos aos solos que as sustentam, por meio da análise da compactação do solo, no entorno de árvores urbanas que possuíam afloramento de raiz, em Dois Vizinhos, PR. Os dados foram levantados em seis ruas, com amostragem do entorno de 10 árvores de espécies diferentes, comumente usadas na arborização urbana de cidades do Sul do Brasil. Observaram-se os parâmetros qualidade fitossanitária da árvore, intensidade do afloramento de raízes e compactação do solo, no entorno da árvore, que foi medida quanto à resistência à penetração no solo. A resistência à penetração no solo nas áreas livres com afloramento de raízes foi elevada, principalmente entre o tronco e o meio-fio (> 6000 kPa), mas igualmente classificada como elevada em todos os lados do tronco (> 4800 kPa), o que é indicativo de valores altamente impeditivos ao crescimento de raízes em todos os lados do tronco. Para um novo plantio nesses locais, a descompactação do solo deve ser o foco principal. Assim, para melhorar o ambiente para o crescimento de uma nova árvore, é necessário fazer a abertura de covas amplas, até cerca de 60 cm de profundidade, para descompactar o solo nas camadas mais impeditivas ao crescimento de raízes.

Termos de indexação: afloramento de raiz, árvores urbanas, resistência mecânica à penetração.

Soil compaction in a free area with urban trees in clayey soils

ABSTRACT

The objective of this study was to subsidize the management of urban trees for the aspects related to the soils supporting them, through the analysis of the soil compaction in the surroundings of urban trees showing root outcrops, in Dois Vizinhos municipality, in Paraná state, Brazil. The data were collected in six streets, with sampling from the surroundings of 10 trees of different species, which are commonly used as urban trees in cities in the South of Brazil. The parameters for phytosanitary quality of the trees, intensity of outcropping roots, and soil compaction in the tree surroundings were observed; the compaction was measured for resistance to penetration into the soil. The resistance to soil penetration in free areas with root outcrops was high, mainly between the trunk and the curb (> 6000 kPa), but equally classified as high on all sides of the trunk (> 4800 kPa), which suggests highly hindering values for the growth of roots on all sides of the trunk. For a new planting in these places, soil unpacking should be the main focus. Therefore, to improve the surrounding for the growth of a new tree, it is necessary to open large pits, up to 60 cm soil depth, in order to unpack the soil in the most impeding layers to root growth.

Index terms: urban trees, mechanical resistance to soil penetration, root outcrops.

¹ Engenheiro Florestal, mestrando em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, PR. E-mail: davidson.novaes@gmail.com.

² Engenheiro Florestal, doutor, professor do Curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, PR. E-mail: eleandrobrun.utfpr@gmail.com.

³ Engenheira Florestal, doutora, professora do Curso de Engenharia Florestal e Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, PR. E-mail: flaviag@utfpr.edu.br.

Ideias centrais

- A compactação do solo no meio urbano é um dos principais fatores que causa a elevação de raízes na arborização.
- A elevação das raízes com danos aos pavimentos e calçadas é uma das causas dos pedidos de corte de árvores em cidades.
- O preparo adequado do solo para arborização urbana é fator crucial para a redução de quedas de árvores.
- Para a redução do risco de queda de árvores urbanas é fundamental o planejamento de calçadas amplas, com solos não compactados.
- A adoção de calçadas verdes reduz os impactos da compactação, propiciando um melhor desenvolvimento das raízes.

Recebido em
13/01/2021

Aprovado em
24/03/2021

Publicado em
25/05/2021



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

INTRODUÇÃO

O solo urbano pode ser caracterizado como um tipo de antropossolo (Curcio et al., 2004), que tem características próprias que podem diferir de outros tipos de solos com desenvolvimento natural, tais como: grande variedade vertical e espacial; modificação da estrutura; crosta impermeável na superfície; pH alterado pelo uso, aeração e drenagem reduzida; ciclagem de nutrientes e ação microbiana alteradas; presença de materiais antrópicos; e variação térmica alterada (Dias, 2017).

A compactação é o adensamento do solo que pode ser causado pela aplicação de uma energia mecânica sobre o perfil desse solo, o que faz com que diminuam os espaços porosos. O rearranjo das partículas e redução da porosidade são considerados como consequências do aumento da densidade de camadas do solo (Curi, 1993). As forças causadoras da compactação podem ser externas, como o tráfego de veículos, animais ou pessoas e o crescimento de raízes, e internas, como umedecimento e secagem, expansão e contração do solo (Reichert et al., 2007).

Os solos são compostos de espaços vazios, ou seja, poros de variados tamanhos, classificados em física do solo como macroporos (maiores de 0,05 mm de diâmetro) e microporos (igual ou menores de 0,05 mm). Os poros maiores são responsáveis pela dinâmica dos fluidos: pela rápida infiltração de água e difusão de ar (aeração do solo).

Solos compactados em um nível crítico apontam valores de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos (Reichert et al., 2007) e, a partir dessa densidade, o crescimento radicular é dificultado, principalmente em razão do impedimento mecânico que o excesso relativo de partículas sólidas causa ao desenvolvimento das raízes. A partir daí, diversos problemas podem decorrer, como a baixa absorção de ar, água e nutrientes, diminuição do crescimento das árvores, baixa intensidade ou não ocorrência das fases fenológicas até problemas de sustentação da árvore em pé, pela menor vitalidade das raízes de ancoramento.

A resistência mecânica do solo à penetração, outro indicador claro de compactação, pode ser avaliada por meio de equipamentos chamados penetrógrafos ou penetrômetros automáticos. Essa avaliação tem resultados que são dependentes, de forma inversamente proporcional, da umidade do solo e, de forma diretamente proporcional, da densidade do solo e da distribuição do tamanho de partículas (Reichert et al., 2007).

Em geral, valores críticos de resistência à penetração giram em torno de 2 MPa (Taylor et al., 1966; Reichert et al., 2007) e são considerados restritivos quando próximos ou superiores a 3 MPa (Zou et al., 2000).

Uma das principais características da compactação em solos urbanos são as raízes visíveis à superfície do solo. Segundo Marchiori (2013), o afloramento se caracteriza por apresentar raízes subterrâneas que se manifestam de forma aérea como resposta à pressão ambiental. O afloramento é comum em solos compactados, fato que também pode ser causado pela falta de área livre para o crescimento radicular no ambiente em que as árvores se encontram.

O desenvolvimento do sistema radicular de uma árvore em solo compactado é extremamente prejudicado, e tais prejuízos se refletem no vigor da parte aérea da árvore. Um forte indicador de que o solo no entorno de uma árvore está compactado é a ocorrência de afloramento de raízes, ou seja, as raízes começam a aparecer à superfície do solo na busca por água e nutrientes. Assim, pela força mecânica que exercem, podem causar rachaduras e levantamentos de calçadas, meios-fios e do próprio asfalto ou calçamento da rua, o que resulta em transtornos diversos a pedestres e, principalmente, a cadeirantes.

Os solos urbanos em calçadas, em sua maioria, apresentam grande compactação, fato que é decorrente do próprio processo construtivo das calçadas e ruas. Porém, o que não se faz, quando do plantio de uma árvore na calçada, é a descompactação desse solo, ao menos na área livre de plantio e entorno, de forma a propiciar o bom crescimento do sistema radicular.

Com base nestes pressupostos, o objetivo deste trabalho foi conhecer a resistência do solo à penetração, como indicador de compactação no entorno das árvores que apresentavam afloramento de raízes, na área urbana do município de Dois Vizinhos, no sudoeste do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODO

O município de Dois Vizinhos tem um território total de 418,65 km² e uma população total de 40.641 habitantes, cuja maioria (36.179 pessoas) reside na área urbana (IBGE, 2019). Está localizado na região sudoeste do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas geográficas 25°41'37"S e 53°06'07"W.

O município pertence à 26.^a Microrregião de Francisco Beltrão, mesorregião geográfica do sudoeste do Paraná. Faz limite ao norte com Boa Esperança do Iguaçu e Cruzeiro do Iguaçu, ao sul com Verê, ao leste com São Jorge d'Oeste e a oeste com Salto do Lontra e Enéas Marques (Dois Vizinhos, 2020).

A área urbana de Dois Vizinhos é formada por 18 bairros: Jardim da Colina, Da Luz, Centro, Centro Norte, Centro Sul, Jardim Concórdia, Das Torres, Jardim dos Lagos, Jardim Marcante, Margarida Galvan, Nossa Senhora Aparecida, Santa Luzia, Vitória, Nossa Senhora de Lurdes, Parque Industrial, Sagrada Família, São Francisco de Assis e São Francisco Xavier.

O solo na área urbana de Dois Vizinhos é classificado, predominantemente, como Latossolo Vermelho distroférico típico. Latossolos são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B latossólico, precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo, ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais de 150 cm de espessura. No segundo nível categórico, esses solos apresentam elevado teor de argila, com cor densamente avermelhada, nos horizontes A e A/B. Quanto ao caráter distroférico, são solos com saturação por bases < 50% e teores de Fe₂O₃ de 180 g kg⁻¹ a < 360 g kg⁻¹ de solo, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Santos et al., 2018).

O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses do verão (Alvares et al., 2013). Durante o ano de 2018, o valor acumulado de precipitação pluvial foi de 1.771,6 mm, com maiores volumes nos meses de setembro, outubro, novembro, janeiro e fevereiro (primavera e verão), no total de 1.180,6 mm. A temperatura média anual de 2018, foi de 20,8 °C, com destaque para junho, que teve a menor temperatura registrada (2,1 °C), e dezembro, com a máxima de 35,1 °C (Gebimet, 2019).

Para o estudo, foi selecionado, por sorteio, o Bairro São Francisco Xavier e, dentro dele, também de forma aleatória, em seis ruas do bairro, 10 árvores adultas de espécies distintas plantadas nas calçadas, com altura entre 10 e 12,8 m, na área urbana do município de Dois Vizinhos.

Os critérios para seleção dos indivíduos arbóreos foram o afloramento de raízes e o solo descoberto na área livre onde a árvore estava situada. De forma a permitir a realização da avaliação, todas as árvores selecionadas tinham área livre mínima de 1 m².

Nas árvores selecionadas, os dados foram coletados tendo-se como repetições as 10 árvores, e como tratamentos os lados delas (árvore-meio-fio, lado esquerdo; árvore-muro, lado direito) (Figura 1).

Para a medição de resistência mecânica à penetração, utilizou-se o penetrógrafo eletrônico penetrológ (Falker Automação Agrícola Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil). Os dados foram coletados até 60 cm (profundidade máxima de coleta de dados do equipamento) ou, em alguns casos, até onde foi possível, em razão da existência de impedimentos mecânicos em profundidade.

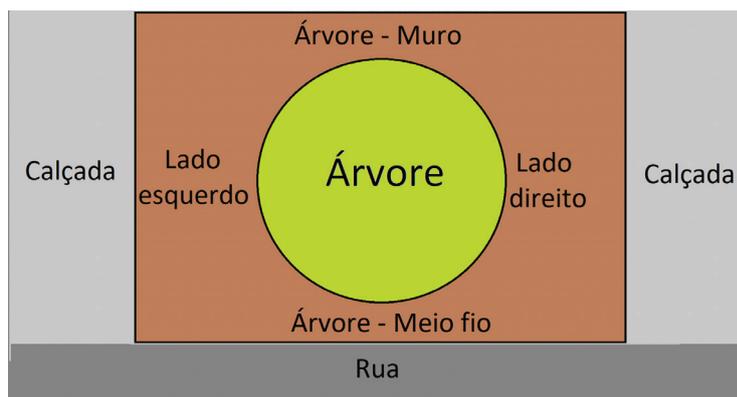


Figura 1. Representação do local e ordem dos tratamentos em que os dados foram coletados, em Dois Vizinhos, PR.

O estudo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com 10 repetições (árvores) para cada tratamento (lado da árvore). Os resultados para profundidade máxima alcançada, profundidade da RP (resistência à penetração) máxima e RP máxima foram submetidos à análise de variância e ao teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de profundidade máxima do solo e profundidade da resistência à penetração máxima não diferiram entre si, nos diferentes pontos ao redor da árvore (Tabela 1), o que mostra que a profundidade máxima é similar entre os lados da árvore e, também, que a profundidade onde ocorre a máxima compactação também é similar, próxima de 20 cm de profundidade.

Considerando-se o excesso de compactação ou a ocorrência de rochas ou restos de concreto, em nenhum dos pontos de amostragem foi possível alcançar a profundidade máxima potencial do equipamento (60 cm), pois o modelo utilizado é operado com força humana.

Além disso, a RP máxima (máxima compactação dentro da profundidade avaliada) ocorreu em cerca de 20 cm de profundidade, em ambos os tratamentos. Essa informação é importante, pois ações de manejo podem ser adotadas para a descompactação do solo no entorno da árvore, podendo inclusive serem associadas com ações de fertilização, caso seja necessário.

Tabela 1. Distribuição da profundidade máxima (cm), profundidade da RP máxima (cm) e RP máxima (KPa) em relação aos lados da árvore.

Lado	Profundidade máxima (cm*) (ns)	Profundidade da RP máxima (cm*) ^(ns)	RP máxima (kPa)	
Árvore-meio-fio	53,1	19,4	6020,2	a*
Lado esquerdo	59,0	21,9	5447,0	ab
Árvore-muro	58,9	19,3	4809,5	b
Lado direito	58,8	19,6	4906,9	b

*Médias de RP máxima, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade; ns a 5% de probabilidade. kPa: kiloPascal. ns: diferenças não significativas a 5% de probabilidade de erro.

Nessas condições de elevada compactação do solo no entorno da árvore, em muitos casos, pode-se tomar, ainda, a decisão pela substituição da árvore. Nesse caso, um novo plantio deverá ser realizado somente após uma completa descompactação do solo na área livre, o que pode incluir a retirada do toco e a escavação da área livre e do entorno.

A RP máxima apresentou diferença significativa entre os lados da árvore, com os valores maiores no lado do meio fio e rua, como possível efeito do tráfego de carros nessa compactação (maior vibração e acomodamento de partículas).

Seixas & Souza (2007) afirmam que raízes de espécies florestais passam a ter dificuldade no desenvolvimento com RP entre 2500 e 3000 kPa, e em uma análise de frequência de tráfego e a produção de madeira de *Eucalyptus grandis*, consideram como ponto crítico para a compactação do solo aproximadamente 7000 kPa, nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, valor atingido após 20 passadas do trator com 8 toneladas de carga.

Antoneli et al. (2019) relatam resistência à penetração média de 3200 kPa, nas primeiras camadas de um solo coberto por pastagem e 15 ± 5 árvores ha⁻¹ com diâmetro à altura do peito (DAP) médio 70 ± 21 (cm) usado no sistema faxinal, valor suficiente para inibir o crescimento das raízes, que é resultado relacionado principalmente ao pisoteio bovino na área.

Segundo Alvarenga et al. (1996), a resistência à penetração é diretamente proporcional à densidade do solo e inversamente proporcional à porosidade. Para Antoneli et al. (2019), além da relação da resistência com a densidade do solo, a taxa de cobertura da vegetação se apresenta inversamente proporcional à resistência à penetração.

Entretanto, não houve diferença significativa entre os lados “árvore–meio-fio” e “lado esquerdo”. As médias para os lados “árvore–muro”, “lado direito” e “lado esquerdo” também não apresentaram diferença estatística.

A profundidade do solo influencia diretamente a capacidade de fixação da árvore no solo. Os valores de profundidade máxima encontrados permitem bom desenvolvimento do sistema radicular, porém, a profundidade em que se encontra a RP máxima restringe o crescimento da raiz em profundidade, dificultando a fixação da árvore e a absorção de água e nutrientes.

Outro fato importante, que apesar de não ter sido avaliado no presente trabalho, deve-se ter em mente, é o fato de que compactações elevadas do solo, além de impedirem o crescimento de raízes, causam também, potencialmente, deformações das raízes existentes. As elevadas pressões que o solo exerce sobre as raízes pode acarretar tal situação. Ao estudar o comportamento do sistema radicular de *Zea mays* em solo compactados, Bécel et al. (2012) e Tavares Filho et al. (2001) constataram que houve alterações mais significativas na morfologia da raiz do que restrições ao crescimento.

A compactação afeta o comprimento das raízes e, conseqüentemente, a colonização e o uso do solo, alterando a absorção de nutrientes, incorporação de água e ancoragem no solo (Merotto Jr. & Mundstock, 1999).

Os valores mínimos para RP máxima, pela classificação da fabricante do aparelho, o lado direito é tolerável para o desenvolvimento de raízes, o lado esquerdo é classificado como intermediário, e os lados árvore–muro e árvore–meio-fio são classificados como críticos (Figura 2).

Wang et al. (2018) estudaram os efeitos da urbanização sobre as propriedades físicas do solo e a configuração da vegetação sobre a infiltração de água no solo, em floresta urbana da cidade de Changchun, Nordeste da China, e constataram que a causa principal da variação da taxa de infiltração de água no solo foi diretamente ligada à densidade e à porosidade do solo e ao grau de atividade humana. Os autores ressaltam que locais com alto índice de atividade humana apresentaram alta densidade do solo e baixa porosidade, indicando elevada compactação, o que, por sua vez, foi problemático para o desenvolvimento do sistema radicular das árvores.

Bécel et al. (2012) afirmam que, em solos com alta resistência à penetração, há aumento da demanda de água pela planta, para que a mesma mantenha o seu desenvolvimento, uma vez que os impedimentos na expansão do sistema radicular dificultam que as raízes busquem mais água se expandindo no perfil de solo.

Para os valores médios (Figura 2), conforme a classificação realizada por Camargo & Alleoni (2006), o lado árvore–muro e lado direito foram classificados como intermediários, o que representa alguma limitação para o desenvolvimento radicular. O lado esquerdo e árvore–meio-fio foram classificados como críticos em seus valores de resistência à penetração, com potencial para causar sérias limitações ao crescimento de raízes.

Os valores máximos, para todos os lados, foram classificados como críticos para o desenvolvimento radicular, caso em que as raízes apresentam sérias restrições de crescimento. A RP máxima mais elevada foi encontrada no lado árvore–meio-fio. Esse é o ponto ao qual os veículos mais têm acesso; assim, altas cargas são aplicadas nessa região. As árvores estudadas se encontravam centralizadas na calçada, forçando as pessoas a transitarem justamente por locais com menos dificuldade de acesso, que foi o que apresentou os maiores valores de RP. Durante a construção e manutenção da faixa de rolagem, é aplicada elevada carga para o preparo do solo, por estar mais próximo à faixa de rolagem.

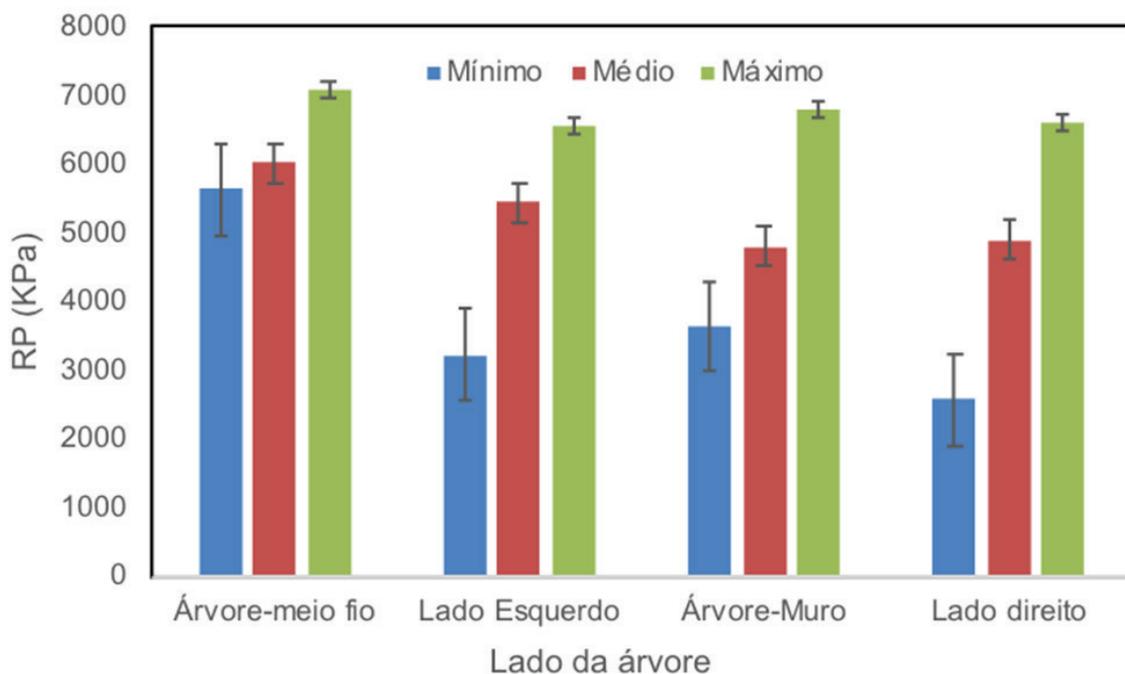


Figura 2. Valores mínimos, médios e máximos de resistência à penetração (RP) nos lados das árvores do estudo (barras verticais representam o erro-padrão da média).

Os valores de resistência à penetração encontrados comprovam a compactação do solo em locais com afloramento de raízes. A compactação é maior entre a árvore e o meio-fio, pela soma de efeitos causadores de compactação nesse lado da árvore.

CONCLUSÕES

- 1) A resistência mecânica à penetração de raízes é elevada, na área livre das árvores, fazendo com que ocorram restrições ao crescimento delas em todos os lados avaliados.
- 2) A profundidade máxima do solo, abaixo de 60 cm, pode ser impeditiva ao bom crescimento radicular em profundidade que seja suficiente para o bom ancoramento da árvore e sua adequada absorção de água.
- 3) A ocorrência das máximas resistências à penetração, em profundidade de cerca de 20 cm, mostra que os solos estudados são compactados desde a superfície e apresentam restrições ao crescimento radicular desde as camadas superficiais.

- 4) A restrição ao crescimento radicular é mais pronunciada entre a árvore e o meio-fio, para o lado da rua, o que evidencia que esse lado sofre maiores impactos, como a passagem de veículos na proximidade, e não somente pelo uso dos pedestres.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.319-326, 1996.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANTONELI, V.; OLIVEIRA, T. de; BEDNARZ, J.A. A fragmentação da floresta é um indicador de compactação do solo em sistema faxinal? **Caminhos de Geografia**, v.20, p.94-106, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207242140>.
- BÉCEL, C.; VERCAMBRE, G.; PAGÈS, L. Soil penetration resistance, a suitable soil property to account for variations in root elongation and branching. **Plant and Soil**, v.353, p.169-180, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1020-7>.
- CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 13 jan. 2021.
- CURCIO, G.R.; LIMA, V.C.; GIAROLA, N.F.B. **Antropossolos**: proposta de ordem (1ª aproximação). Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Embrapa Florestas. Documentos, 101).
- CURI, N. (Coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 90p.
- DIAS, M.A. **Antropossolos**: enquadramento taxonômico e implicações ambientais. 2017. 117p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DOIS VIZINHOS (PR). **Plano Municipal de Arborização Urbana de Dois Vizinhos**. Dois Vizinhos: Prefeitura Municipal, 2020. 517p.
- GEBIOMET. **Grupo de Estudos em Biometeorologia**. Dois Vizinhos: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <<http://www.gebiomet.com.br/boletins.php>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 2 jun. 2019.
- MARCHIORI, J.N.C. **Elementos de Dendrologia**. 3.ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2013. 216p.
- MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.197-202, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200002>.
- 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. da; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p.49-134.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.Á. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; ARAÚJO FILHO, J.C. de; OLIVEIRA, J.B. de; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.
- SEIXAS, F.; SOUZA, C.R. de. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.31, p.1047-1052, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600009>.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.725-730, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300022>.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.
- WANG, P.; ZHENG, H.; REN, Z.; ZHANG, D.; ZHAI, C.; MAO, Z.; TANG, Z.; HE, X. Effects of urbanization, soil property and vegetation configuration on soil infiltration of urban forest in Changchun, Northeast China. **Chinese Geographical Science**, v.28, p.482-494, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0953-7>.
- ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.947-958, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR99108>.