

Forma e diâmetro de agregados do solo como fontes de variação na resistência tênsil

Shape and diameter of soil aggregates as sources of variation in tensile strength

Lucas de Sousa Oliveira¹; Alexandre dos Santos Queiroz²; Angélica da Silva Lopes³;
 Francisca Gleiciane da Silva⁴; Jaedson Cláudio Anunciato Mota⁵

¹Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, +5585998087738, lucasdesousa@alu.ufc.br; ² Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, queiroz.alexandre@outlook.com; ³ Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, angelicalopes.solo@gmail.com; ⁴ Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, gleiciane.silva27@gmail.com; ⁵ Docente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, jaedson.mota@ufc.br

NOTA

Recebido: 09/04/2020
 Aprovado: 18/11/2020

Palavras-chave:
 Estrutura do solo
 Física do solo
 Qualidade do solo

Key words:
 Soil structure
 Soil physics
 Soil quality

RESUMO

A qualidade do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas. A resistência tênsil é um dos indicadores frequentemente utilizados para o monitoramento da qualidade do solo, sendo influenciada por diversos fatores, tais como o tamanho e a forma do agregado. Nesta pesquisa, foi considerada a hipótese de que o uso de uma única forma de agregados do solo reduz a variabilidade na avaliação da qualidade estrutural dos solos. Além disso, o tamanho dos agregados influencia na determinação da resistência tênsil. Desse modo, objetivou-se avaliar a relação da resistência tênsil com o tamanho e as formas que os agregados podem assumir. Foram utilizados duas faixas de diâmetro de agregados (25-19 e 19-7,96 mm) e três formas de agregados (irregular, bases aplainadas e esférica). Os agregados com diâmetros menores (13,5 mm) apresentaram os maiores valores médios de resistência tênsil (82,73 kPa). A resistência à tração determinada nos agregados esféricos apresentou menor variabilidade. Para esses agregados, o coeficiente de variação da resistência à tração foi de 29,30 e 19,29%, para os diâmetros médios de 22 e 13,5 mm, respectivamente. Em virtude disso, a forma deve ser considerada ao avaliar a resistência à tração do agregado do solo.

ABSTRACT

Soil quality is essential to ensure the sustainability of agro-ecosystems. Tensile strength is one of the indicators frequently used for monitoring soil quality, being influenced by several factors, such as the size and shape of the aggregate. In this research, the hypothesis that the use of a single form of soil aggregates reduces the variability in the evaluation of the structural quality of soils was considered. In addition, the size of the aggregates influences the determination of tensile strength. Thus, the objective was to evaluate the relationship of tensile strength with the size and shapes that aggregates can assume. Two aggregate diameter bands (25-19 and 19-7.96 mm) and three aggregate forms (irregular, planed and spherical bases) were used. The aggregates with smaller diameters (13.5 mm) presented the highest mean values of tensile strength (82.73 kPa). The tensile strength determined in spherical aggregates showed less variability. For these aggregates, the coefficient of variation of the tensile strength was 29.30 and 19.29%, for the average diameters of 22 and 13.5 mm, respectively. As a result, shape must be considered when assessing the tensile strength of the soil aggregate.

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é definida como a capacidade do mesmo em exercer funções essenciais na natureza. Um solo de qualidade atua efetivamente em processos dinâmicos, como o fluxo de água, ar e calor. Além disso, é o meio e suporte para o crescimento de plantas, sendo, portanto, fundamental para garantir o equilíbrio ecológico e promover benefícios aos

agroecossistemas (CABELL; OELOFSE, 2012; XAVIER et al., 2019).

A qualidade do solo é avaliada de forma indireta a partir de medidas quantitativas de um conjunto de atributos indicadores, podendo ser físicos, químicos e biológicos (JONG VAN LIER; GUBIANI, 2015; LI et al., 2020). Os indicadores físicos, indicam funções primárias, e por isso têm eficiência comprovada na predição da funcionalidade do solo sob

diferentes sistemas de manejo (STEFANOSKI et al., 2013; MUNKHOLM et al., 2016).

No Brasil, atributos físicos e mecânicos como a resistência tênsil de agregados tem sido pouco estudada, e isto pode ser atribuído a pouca difusão e a instrumentação que facilite a determinação de um amplo número de agregados (OLIVEIRA et al., 2020). Dexter e Kroesbergen (1985) ressaltaram que a resistência tênsil é provavelmente a mais útil medida de resistência individual dos agregados do solo. A resistência tênsil é extremamente sensível à microestrutura do solo, e isto a torna um valioso parâmetro de medida em estudos de comportamento da estrutura.

Nesta perspectiva, a resistência tênsil de agregados é considerada um robusto indicador de qualidade física do solo (RABOT et al., 2018). Segundo Dexter e Kroesbergen (1985), a resistência tênsil é definida como a força por unidade de área necessária para causar ruptura dos agregados. A medida dessa resistência reflete possíveis alterações na estrutura do solo, decorrentes de práticas antrópicas e facilidade de enraizamento das plantas. Dessa forma, as avaliações focadas em conhecer a estrutura dos agregados são relevantes para o planejamento de práticas de manejo sustentáveis (TORMENA et al., 2008).

Para a determinação da resistência tênsil, podem ser aplicados métodos diretos e indiretos, sendo que, na maioria das pesquisas com solo, devido à dificuldade de obtenção da medida da força de tração, os métodos diretos são menos utilizados (DEXTER; WATTS, 2000; BARBOSA; FERRAZ, 2020). Nos métodos indiretos o estresse mecânico é aplicado sobre uma placa metálica que é posteriormente transmitida ao agregado. Duas forças de mesma direção e sentido oposto são aplicadas nos dois extremos do agregado, separando-o em partes pelo efeito dessas forças (SEBEN Jr et al., 2013).

A medida da resistência tênsil é influenciada por fatores como umidade do solo, matéria orgânica, mineralogia, exsudatos orgânicos das raízes das plantas, substâncias provenientes da ação e decomposição de microrganismos (BARBOSA; FERRAZ, 2020). Além disso, os agregados podem ser organizados em estruturas hierárquicas complexas, apresentando tamanho e formato distintos. Diversas abordagens têm apontado esses aspectos morfométricos dos agregados como uma importante fonte de variabilidade nos ensaios de resistência tênsil (DEXTER; KROESBERGEN, 1985; MUNKHOLM, 2015; MUNKHOLM et al., 2016).

Neste contexto, essa pesquisa considerada as hipóteses: i) o uso de uma única forma de agregados do solo reduz a variabilidade na avaliação da qualidade estrutural dos solos; ii) o tamanho dos agregados influencia na determinação da resistência tênsil. Desse modo, objetivou-se avaliar a relação da resistência tênsil com o tamanho e as formas que os agregados podem assumir.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado nessa pesquisa foi coletado no horizonte B de um Argissolo Amarelo (SANTOS et al., 2018) do Setor de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici em Fortaleza – CE, localizada sob as coordenadas geográficas (3° 44' 6" S, 38° 34' 52" W). Foram coletados três blocos de solo, distanciados 60 cm dentro do perfil buscando abranger a

variabilidade dentro do horizonte avaliado na camada de 97-150 cm, esculpindo-os em caixa de papel nas dimensões de 20 x 15 x 10 cm (comprimento x largura x altura). Posteriormente, cada bloco foi envolto com filme plástico para manter a integridade estrutural do solo e levados ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências de Solos da UFC. No tocante à granulometria o solo do horizonte avaliado foi classificado com a textura franco argilosa.

No laboratório, após a secagem ao ar, os blocos foram colocados em bandejas sobre esponjas (2 mm de espessura) e umedecidos, por capilaridade, com água destilada até aproximadamente a capacidade de campo. Lograda essa condição, as amostras foram subdivididas em agregados (considerando a situação da estrutura no horizonte) pela aplicação de uma força mínima manual suficiente para separá-los pelos seus planos de fraqueza.

Os agregados foram postos ao ar por 36 horas, para secagem e homogeneização do teor de água, em seguida, levados à estufa a 60 °C durante o período de 24 horas (FIGUEIREDO et al., 2011). Após retirada da estufa, os agregados foram colocados em temperatura ambiente por 24 horas para posterior realização dos ensaios de resistência tênsil.

Foram utilizados duas faixas de diâmetros e três formas de agregados, sendo eles diâmetros entre 25 e 19 mm e entre 19 e 7,96 mm nas formas irregular, com bases aplainadas e esférica (Figura 1). Para obtenção da forma irregular, fez-se a separação manual nos blocos. A forma com bases aplainadas foi obtida com a raspagem cuidadosa em lixa de grãos P220 (ISO 80) em dois lados opostos (área lixada 0,6 cm²). A forma aproximadamente esférica foi obtida com o arredondamento dos agregados naturais trabalhando as arestas manualmente. Cada agregado teve sua massa calculada em balança analítica. A resistência tênsil foi determinada em equipamento de bancada, com célula de carga com capacidade de suporte até 20 kgf.

Depois de cada procedimento de ruptura, uma porção da amostra do agregado teve sua massa mensurada em balança analítica para, posteriormente, ser submetida à secagem em estufa a 105 °C até massa constante, para cálculo do teor de água no agregado do solo. A resistência tênsil (RT) foi determinada, segundo Dexter e Kroesbergen (1985), conforme Eq. (1).

$$RT = \frac{0,576 P}{D^2 10^3} \quad \text{Eq. (1)}$$

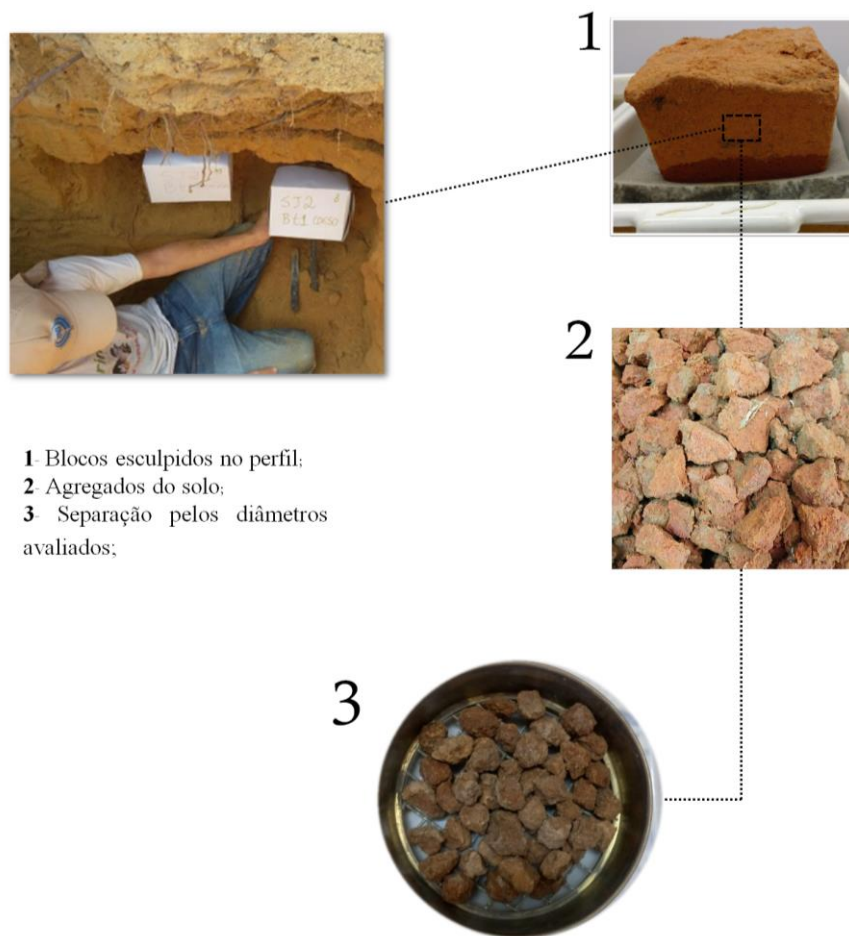
Em que, RT é a resistência tênsil de agregados (kPa), 0,576 a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicado e o estresse tênsil gerado no interior do agregado, P a força aplicada (N), e D o diâmetro efetivo do agregado (m).

O diâmetro efetivo do agregado torrão foi mensurado de acordo com Dexter e Watts (2000), seguindo a Eq. (2).

$$D = Dm \left(\frac{M}{Mo} \right)^{0,333} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que, Dm é o diâmetro médio dos agregados [(19 + 25)/2 e (12,5 + 19)/2, em mm], explicado pela média dos tamanhos da abertura das peneiras, M a massa do agregado individual seco a 105 °C (g), e Mo a massa média dos agregados secos a 105 °C (g).

Figura 1. Procedimentos realizados no preparo de agregados em campo e laboratório para determinação da resistência tênsil de agregados do solo.



Fonte: Autor (2020).

Análise dos dados

Os dados foram analisados inicialmente pela estatística descritiva. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância considerando o experimento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 (dois diâmetros e três formas de agregados), com 15 repetições. Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar os pressupostos de normalidade, ao teste F para análise de variância e, ao teste de Tukey de comparação de médias, todos ao nível de probabilidade de 5%. Para estas análises, utilizou-se o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise exploratória dos valores obtidos nas formas irregular, base plana e esférica para resistência tênsil de agregados em solo seco apresentada na Tabela 1, constatou-se variabilidade média para o conjunto de dados analisados de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Segundo estes autores, o coeficiente de variação pode ser classificado como baixo – C.V. < 12%, médio – 12% < C.V. < 60%, alto – C.V. ≥ 60%.

Tabela 1. Análise exploratória dos valores de resistência tênsil de agregados de um Argissolo Amarelo (kPa).

	Formas de agregados	Min kPa	Máx	Média	D.P.	C.V. %	Assimetria	Curtose
22 mm	Irregular	17,73	69,90	39,98	14,38	36,80	0,47	-0,67
	Base Plana	20,33	98,25	52,49	23,71	45,17	0,67	-0,88
	Esférica	25,77	62,99	43,37	12,71	29,30	0,16	-1,53
13,5 mm	Irregular	31,29	110,60	74,55	23,02	30,88	-0,14	-1,10
	Base Plana	34,79	128,96	82,99	27,16	32,72	-0,40	-0,80
	Esférica	57,48	114,00	90,66	17,49	19,29	-0,20	-1,12

Min: valor mínimo; Máx: valor máximo; D.P: desvio padrão; C.V: coeficiente de variação.

Estudos como os de Seben Jr et al. (2013) e Barboza e Ferraz (2020) evidenciam a elevada variabilidade em dados de resistência tênsil, uma vez que fatores como umidade, matéria orgânica mineralogia do solo, tamanho e forma dos agregados influenciam diretamente nesse atributo físico do solo corroborando com os resultados observados nesta pesquisa.

A forma esférica dos agregados provocou menor variabilidade, com coeficiente de variação correspondente a 29,30 e 19,29%, nos diâmetros médios 22 e 13,5 mm, respectivamente (Tabela 1). Isso pode ser atribuído a distribuição da força de compressão aplicada para a ruptura do agregado com características morfométricas esféricas, uma vez que, em virtude da forma, a aplicação dessa força causa uma tensão de tração no interior da amostra em ângulo reto com a direção da força aplicada, resultando em menor variabilidade (DEXTER; WATTS, 2000).

As pesquisas desenvolvidas em física do solo com objetivo de identificar o efeito da variação decorrente do formato dos agregados na medida da resistência tênsil, apresentam resultados divergentes, o que demonstra a relevância de investigações com essa temática. Dexter e Kroesbergen (1985) e Munkholm (2015) reportam que a utilização de agregados com formato natural minimiza o efeito perturbador da forma na determinação da resistência tênsil, e que também pode representar de modo mais fiel a estrutura do solo.

De acordo com teste F da análise de variância, observa-se que o diâmetro de agregados promoveu efeito significativo nos valores da resistência tênsil do solo, enquanto a forma e a interação entre os fatores não refletiram diferença significativa entre os valores obtidos.

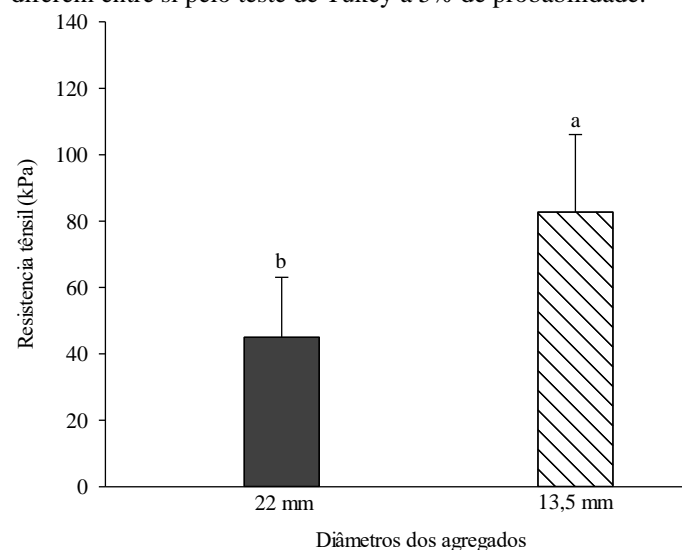
Os agregados de menores diâmetros médios (13,5 mm) apresentaram, para conjunto total de dados, maior valor médio de resistência tênsil quando comparados com agregados de maior diâmetro (Figura 2). Esse comportamento corrobora com resultados observados por Tormena et al. (2008) e Seben Jr et al. (2013). Esses autores creditaram que a redução da resistência tênsil em agregados de maiores diâmetros, ocorre devido a maior facilidade com que eles são fragmentados, expondo planos de fraqueza, e com isso zonas de menor resistência.

Tormena et al. (2008) observaram que com a redução do tamanho do agregado há aumento da força empregada para promover a ruptura de agregados, o que justifica os maiores valores de resistência tênsil (Figura 2). Salienta-se que valores de resistência tênsil superiores a 40 kPa como observados no presente estudo, quando próximos à superfície do solo estão ligados à problemas na germinação de sementes, emergência e desenvolvimento de diversas culturas agrícolas (BARBOSA; FERRAZ, 2020). Desse modo, os resultados desta pesquisa são extremamente relevantes em considerar o tamanho do agregado como fonte de variação neste atributo físico do solo.

Diversas abordagens comprovaram a influência das propriedades intrínsecas do solo na variabilidade dos dados de resistência tênsil (DEXTER; KROESBERGEN, 1985, SEBEN JR et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013; MUNKHOLM et al., 2016). Contudo, assim como observado nesse estudo, Seben Jr et al. (2013) também relataram que os aspectos morfométricos dos agregados, como por exemplo, o diâmetro é

responsável por aumentar a amplitude dos valores da resistência tênsil, com tendência de aumento à medida que o diâmetro médio é reduzido.

Figura 2. Valores médios (com os desvios-padrão representados pelas barras) de resistência tênsil de agregados em solo seco, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



CONCLUSÕES

O uso da forma esférica na resistência tênsil reduziu a variabilidade da qualidade estrutural do solo. Em virtude disso, a forma deve ser considerada na avaliação da resistência tênsil de agregados do solo. De igual modo, conclui-se que a resistência tênsil em solo seco aumenta com a redução do tamanho dos agregados.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. A. P.; FERRAZ, A. C. O. Which evidence attests for soil aggregate rupture? A new criterion to determine aggregates tensile strength. *Soil and Tillage Research*, v. 197, n. 104530, p. 1-9, 2020. [10.1016/j.still.2019.104530](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104530).
- CABELL, J. F.; OELOFSE, M. An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *Ecology and Society*, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2012. [10.5751/ES-04666-170118](https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118).
- DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *Journal Agriculture Engineering Research*, v. 31, p. 139-147, 1985. [10.1016/0021-8634\(85\)90066-6](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90066-6).
- DEXTER, A.R.; WATTS, C.W. Tensile strength and friability. In: *Soil Environment Analysis. Structural Methods*, 2nd Ed. K.A Smith and C.E. Mullins (eds.). Marcel Dekker, New York, NY, pp. 401-430, 2000.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its Bootstrap produces in multiple comparasons. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n. 38, p. 109-112, 2014. [10.1590/S1413-70542014000200001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001).
- FIGUEIREDO, C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; MORAES, S. O.; ALMEIDA, B. G. Desenvolvimento de um consolidômetro pneumático; modelagem da compactação, penetrometria e resistência tênsil de agregados de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 389-409, 2011. [10.1590/S0100-06832011000200009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200009).
- JONG VAN LIER, Q.; GUBIANI, P. I. Além do “intervalo hídrico ótimo”: Repensando a pesquisa em física do solo no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 9, p. 925-939, 2015.
- LI, Y.; LI, Z.; CUI, S.; ZANG, Q. Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, v. 361, n. 114099, p. 1-9, 2020. [10.1016/j.geoderma.2019.114099](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114099).
- MUNKHOLM, L. J. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. *Geoderma*, v. 167, p. 236-246, 2015. [10.1016/j.geoderma.2011.08.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.08.005).
- MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B.; ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. *Geoderma*, v. 268, p. 52-59, 2016. [10.1016/j.geoderma.2016.01.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.005).
- OLIVEIRA, L. S.; MAIA, R. N.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; ALENCAR, T. L.; MOTA, J. C. A. Tensile strength values for degrees of soil consistency using human perception and TS-Soil device. *Catena*, v. 190, n. 104541, 2020. [10.1016/j.catena.2020.104541](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104541)
- RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHÜTER, H.; VOGEL, J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, v. 314, p. 122-137, 2018. [10.1016/j.geoderma.2017.11.009](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009).
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 590 p.
- SEBEN Jr, G. F.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; LAL, R. Aggregate shape and tensile strength measurement. *Soil Science*, v. 178, p. 301-307, 2013. [10.1097/SS.0b013e3182a4a0a6](https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3182a4a0a6).
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, p. 1301-1309, 2013. [10.1590/s1415-43662013001200008](https://doi.org/10.1590/s1415-43662013001200008).
- TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 33-42, 2008. [10.1590/S0100-06832008000100004](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100004).
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.
- XAVIER, C. A.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; SANTOS, G. A. A.; BARBOSA, M. A.; MILORI, D. M. B. P.; RIGOBELLO, E.; CORÁ, J. E.; LA ESCALA Jr, N. Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes. *Journal Environmental Management*, v. 245, p. 8-15, 2019. [10.1016/j.jenvman.2019.05.053](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.053).