

## Diferentes tipos de coberturas vegetais: taxa de descompactação do solo e penetração radicular nas camadas

Claudio Reynoldo Rudnick Rati, Curso de Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil.

Nikolas Formagio, Curso de Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil.

Prof. Dr. João Claudio Alcantara dos Santos, Curso de Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil.

**Resumo:** A compactação do solo compromete a produtividade agrícola, especialmente em solos argilosos submetidos a tráfego intenso de máquinas, dificultando a penetração radicular e a absorção de água e nutrientes. Culturas de cobertura, como milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e aveia (*Avena strigosa*), auxiliam na descompactação e na melhoria da estrutura do solo, aumentando a porosidade e a infiltração hídrica. Este estudo avalia a eficácia dessas espécies na redução da compactação, medindo a resistência do solo à penetração antes e após o cultivo. Os resultados poderão subsidiar práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo a dependência de insumos externos e melhorando a produtividade.

**Palavras-chave:** Compactação do solo. Plantas de cobertura. Manejo conservacionista.

**Abstract:** Soil compaction negatively impacts agricultural productivity, particularly in clayey soils under intensive machinery use, impairing root penetration and water/nutrient uptake. Cover crops including millet (*Pennisetum glaucum*), sorghum (*Sorghum bicolor*), and oats (*Avena strigosa*) aid in decompaction and soil structure improvement by enhancing porosity and water infiltration. This study evaluates these species' effectiveness in reducing soil compaction by measuring penetration resistance before and after cultivation. The findings may support sustainable agricultural practices by reducing external input dependency while enhancing productivity.

**Keywords:** Soil compaction. Cover crops. Conservation management.

## 1. INTRODUÇÃO

A cobertura do solo é uma prática agrônômica fundamental dentro do manejo conservacionista, utilizada para proteger a superfície do solo contra processos de degradação, como a erosão causada pela água e pelo vento. Além disso, contribui para o aprimoramento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (COGO et al., 2003). Essa técnica consiste no uso de materiais orgânicos ou de plantas vivas que recobrem o solo, diminuindo o impacto direto das gotas de chuva, reduzindo a evaporação da água e dificultando o surgimento de plantas daninhas (DERPSCH et al., 2010). O uso de coberturas vegetais começou a ganhar importância com o avanço da agricultura conservacionista, principalmente a partir das décadas de 1970 e 1980, como resposta aos impactos negativos provocados pelo sistema convencional de cultivo. Desde então, diversos estudos têm comprovado sua eficiência na conservação do solo e da água, tornando-se uma prática amplamente difundida em sistemas de plantio direto (BOT; BENITES, 2005). A relevância da cobertura vegetal é evidenciada pelos inúmeros benefícios que proporciona: aumento da infiltração e retenção de água no solo, proteção contra erosão, elevação do teor de matéria orgânica, estímulo à atividade biológica, redução do crescimento de plantas espontâneas e melhoria na ciclagem de nutrientes (CASTRO FILHO et al., 1998). Outro ponto positivo é a diminuição da variação de temperatura no solo, o que favorece o desenvolvimento das raízes (SALTON et al., 2008). Entre as espécies mais utilizadas como cobertura vegetal, destacam-se o milheto (*Pennisetum glaucum*), a braquiária (*Brachiaria spp.*), a crotalária (*Crotalaria juncea*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), o trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*) e o feijão-guandu (*Cajanus cajan*). Essas plantas são escolhidas por apresentarem alta produção de biomassa, sistema radicular vigoroso e, no caso das leguminosas, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (CRUSCIOL et al., 2005). Mesmo com o avanço das práticas conservacionistas, a compactação do solo ainda é um dos principais problemas que limitam o rendimento das lavouras. Esse processo ocorre quando há redução da porosidade do solo, dificultando o crescimento das raízes, a infiltração de água e a troca de gases, o que compromete o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade (SILVA et al., 2003). Entre os fatores que mais contribuem para a compactação estão o tráfego excessivo de máquinas agrícolas, o pisoteio de animais e o manejo inadequado. Como alternativa sustentável para reduzir esse problema, o uso de plantas de cobertura tem se mostrado bastante eficiente. As raízes dessas espécies atuam diretamente na descompactação, rompendo camadas mais densas e melhorando a estrutura e a porosidade do solo (CALONEGO; ROSOLEM, 2008). Além disso, a incorporação de matéria orgânica oriunda da decomposição das coberturas estimula a atividade da fauna do solo especialmente de minhocas que exercem papel importante na reorganização física do perfil do solo (LAVELLE et al., 1998).

## 2. MÉTODO

O experimento foi realizado na Fazenda Boa Esperança, de propriedade do aluno Nikolas Formagio, localizada no município de Rancho Alegre D'Oeste, no estado do Paraná, sob as coordenadas geográficas 24°17'32.9"S e 52°52'34.1"W.



Figura 01 - Área do experimento vista por satélite.

O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo Köppen–Geiger, caracterizado por verões quentes e invernos suaves, com temperatura média anual em torno de 21 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm, distribuída ao longo do ano, havendo ligeiro aumento durante os meses de verão. O experimento foi organizado no esquema de blocos casualizados, envolvendo três tratamentos com espécies diferentes, cada uma com quatro repetições, além de um tratamento misto com as três espécies, que contou com duas repetições, e uma testemunha, totalizando 15 parcelas experimentais. Essa metodologia foi escolhida por sua capacidade de reduzir a interferência da variabilidade natural do solo, permitindo comparações mais confiáveis entre os tratamentos avaliados.



Figura 02 - Área do experimento antes da semeadura.



Figura 03 - Área do experimento após a semeadura.

Os tratamentos incluíram três espécies de plantas de cobertura, um consórcio dessas espécies e uma testemunha, aplicados no manejo do solo:

- Milheto (*Pennisetum glaucum*) – semente comum;
- Sorgo (*Sorghum bicolor*) – semente comum;
- Aveia-preta (*Avena strigosa*) – semente comum;
- Consórcio (Milheto, Sorgo e Aveia);
- Testemunha (sem cobertura vegetal).

Tabela 1 – Estrutura dos tratamentos de culturas de cobertura

Cultura	Tratamento A	Tratamento B	Tratamento C	Tratamento D
Sorgo	Sorgo A	Sorgo B	Sorgo C	Sorgo D
Aveia	Aveia A	Aveia B	Aveia C	Aveia D
Milheto	Milheto A	Milheto B	Milheto C	Milheto D
Consórcio	Consórcio A	Consórcio B		
Testemunha	Testemunha A			

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

A semeadura foi feita de forma manual, por plantio a lanço, posteriormente feito uma gradagem leve para incorporar as sementes e garantir melhor contato com o solo, favorecendo a germinação. A adubação mineral foi realizada com o

fertilizante 10-15-15 (10 % de nitrogênio, 15 % de fósforo e 15 % de potássio), na dosagem de 200 kg ha<sup>-1</sup>, atendendo às necessidades nutricionais das plantas.



Figura 04 - Plantio das coberturas a lanço



Figura 05 - Gradagem leve realizada na área experimental

O experimento teve início em 18 de agosto de 2025 e foi conduzido até o término do ciclo vegetativo das culturas, estimado entre 90 e 120 dias. Durante esse período, foram realizadas coletas de dados referentes às propriedades físicas do solo e ao desenvolvimento radicular das plantas.

As variáveis avaliadas e os procedimentos utilizados foram os seguintes:

- Resistência à penetração do solo (KPa): determinada por meio de um penetrômetro digital da marca Falker, modelo PLG2040, capaz de gerar o perfil de compactação em até seis profundidades: 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40cm, 40–50cm e 50–60cm, o resultado apresenta valores detalhados de resistência à penetração (R.P.) para cada centímetro medido, permitindo identificar os pontos onde o crescimento das raízes encontra maior dificuldade. Esse procedimento é essencial para avaliar o nível de compactação do solo e a resistência oferecida às raízes das plantas (STOLF, 1991; STOLF et al., 2014).
- Descompactação do solo: a análise foi conduzida integrando os dados de densidade e resistência à penetração. A comparação entre os tratamentos possibilitou verificar o efeito de cada cobertura vegetal sobre a estrutura do solo, especialmente em relação à redução da compactação e à melhoria da penetração radicular.

Os dados coletados foram extraídos através de relatório do penetrômetro digital Falker, organizados e analisados com o auxílio do Microsoft Excel, utilizado tanto para o tratamento estatístico quanto para a interpretação dos resultados. Foram elaboradas análises descritivas e comparativas entre os tratamentos, a fim de identificar diferenças significativas quanto à resistência à penetração e ao grau de descompactação do solo. Os resultados foram representados em tabelas, de modo a facilitar a visualização e compreensão do comportamento das coberturas vegetais estudadas.



Figura 06 - Coleta de dados iniciais



Figura 07 - Coleta de dados finais

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência à penetração do solo (RP) é um dos principais parâmetros físicos usados para avaliar o grau de compactação e o quanto essa condição pode limitar o crescimento das raízes. De modo geral, valores acima de 2.000 kPa (2 MPa) já são considerados críticos para o desenvolvimento de várias culturas agrícolas, principalmente em situações de baixa umidade (REINERT & ROSSETTI, 2008; MORAES et al., 2016). A seguir, apresentam-se os resultados observados para cada tipo de cobertura vegetal e para a área testemunha (sem cobertura), considerando as variações da RP entre o início do experimento (agosto de 2025) e o término do ciclo das coberturas (outubro de 2025).

#### 3.1 AVALIAÇÃO GERAL DAS COBERTURAS VEGETAIS

De forma geral, notou-se que as espécies utilizadas como cobertura apresentaram comportamentos diferentes conforme a profundidade analisada. As camadas de 0–10 cm e 10–20 cm mostraram-se as mais sensíveis, pois correspondem à região onde ocorre a germinação, o estabelecimento e o crescimento inicial das raízes das culturas que serão implantadas em seguida. Já as faixas situadas abaixo de 20 cm indicam a capacidade de descompactação em profundidade, um efeito esperado em plantas com raízes mais vigorosas ou pivotantes.

#### 3.2 AVALIAÇÃO DA COBERTURA DE AVEIA

Entre as espécies avaliadas, a aveia destacou-se pela eficiência em reduzir a resistência à penetração, especialmente na profundidade de 11–20 cm, considerada uma das zonas mais afetadas pela compactação devido ao tráfego

de máquinas e práticas inadequadas de manejo superficial. No caso da aveia A/B, observou-se uma redução da RP em aproximadamente 71,7% (de 3.053 para 863 kPa), enquanto na aveia C/D essa redução foi de 50,2% (de 2.934 para 1.461 kPa). Esses resultados confirmam o alto potencial da aveia como cobertura descompactadora, atribuído ao seu sistema radicular fasciculado e denso, que atua melhorando a estrutura física do solo e aumentando a macroporosidade (TORRES et al., 2015). Essa melhoria estrutural contribui não apenas para o crescimento radicular das culturas subsequentes, mas também para o aumento da infiltração de água, redução do escoamento superficial e estímulo à atividade biológica do solo, fatores fundamentais para a manutenção de um ambiente produtivo e sustentável.

**Tabela 2 - Resistência à penetração (kPa) na aveia A/B, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0–10	2.157	3.282	+52,2
11–20	3.053	0,863	-71,7
21–30	0,206	0	-100
31–60	0	0	0

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

**Tabela 3 - Resistência à penetração (kPa) na aveia C/D, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0–10	1.686	2.292	+36,0
11–20	2.934	1.461	-50,2
21–30	2.546	0	-100
31–60	1.3–2.1Mpa	0	0

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

### 3.3 AVALIAÇÃO NA COBERTURA DE MILHETO

O milheto, analisado nos dois blocos experimentais (A/B e C/D), demonstrou resultados satisfatórios nas camadas superficiais do solo (0–10 cm), promovendo uma redução na resistência à penetração de até -31,3% (milheto A/B) e -18% (milheto C/D). Essa diminuição está relacionada à formação de uma camada mais solta e arejada, consequência do vigoroso crescimento radicular e da deposição de material orgânico na superfície. Entretanto, nas faixas mais profundas (21–60 cm), observou-se um aumento gradual da resistência, indicando que o processo de descompactação não se estendeu de forma efetiva para o perfil inferior do solo. Esse comportamento pode estar associado ao curto período de desenvolvimento da cultura e ao fato de o sistema radicular do milheto concentrar-se majoritariamente nas camadas mais rasas, com menor penetração vertical.

**Tabela 4 - Resistência à penetração (kPa) no milho A/B, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Varição (%)
0-10	2.266	1.557	-31,3
11-20	3.696	3.075	-16,8
21-30	2.174	3.036	+39,7
31-40	1.924	2.423	+25,9
41-50	1.585	2.101	+32,6
51-60	1.378	1.948	+41,3

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

**Tabela 5 - Resistência à penetração (kPa) no milho C/D, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Varição (%)
0-10	2.006	2.352	+17,2
11-20	3.173	2.602	-18,0
21-30	2.605	2.717	+4,3
31-40	2.136	2.387	+11,8
41-50	1.775	2.174	+22,5
51-60	1.673	1.907	+14,0

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

### 3.4 AVALIAÇÃO NA COBERTURA DE SORGO

Os tratamentos com sorgo apresentaram comportamentos distintos entre os blocos experimentais. No caso do sorgo A/B, observou-se uma discreta redução na camada superficial (-16% em 0-10 cm); porém, na profundidade de 11-20 cm, ocorreu aumento da compactação (+51,9%), indicando a permanência da chamada camada crítica. Já o sorgo C/D, que iniciou o ciclo com valores menores de resistência, manteve a RP praticamente estável e dentro de níveis considerados não limitantes (entre 1,6 e 2,2 MPa). Esse resultado demonstra boa estabilidade estrutural do solo, sem sinais de compactação adicional. A variação entre os blocos pode estar associada a diferenças na textura e na umidade do solo nas áreas avaliadas, além de contrastes no desenvolvimento vegetativo das plantas (COSTA et al., 2017).

**Tabela 6 - Resistência à penetração (kPa) no sorgo A/B, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0–10	2.730	2.294	-16,0
11–20	2.515	3.821	+51,9
21–30	0	2.911	—
31–40	0	2.338	—
41–50	0	2.317	—
51–60	0	1.923	—

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

**Tabela 7 - Resistência à penetração (kPa) no sorgo C/D, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0–10	2.243	2.198	-2,7
11–20	1.720	1.658	-3,6
21–30	0,782	0	-100
31–60	0,75–0,87	0	—

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

### 3.5 AVALIAÇÃO NA COBERTURA DE CONSÓRCIO DE PLANTAS

O consórcio de plantas apresentou resultados intermediário entre os tratamentos. Houve uma melhora perceptível nas camadas superficiais do solo, com redução da resistência à penetração em torno de -18% na faixa de 0–10 cm e -14,5% entre 11–20 cm. No entanto, nas camadas intermediárias e mais profundas (até 50 cm), observou-se um aumento expressivo da RP, chegando a cerca de +57%. Esse comportamento demonstra que o consórcio de plantas foi eficiente em promover a aeração e a soltura das camadas mais rasas, mas não gerou efeito significativo de descompactação em profundidade dentro de um único ciclo de cultivo.

Esses resultados estão alinhados com o que relatam Torres et al. (2015), que destacam que a descompactação biológica mais profunda depende de sucessivos ciclos de cultivo com espécies de raízes complementares e sistemas radiculares mais agressivos.

**Tabela 8 - Resistência à penetração (kPa) no consórcio de plantas, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0-10	1.991	1.633	-18,0
11-20	3.442	2.943	-14,5
21-30	2.768	3.007	+8,6
31-40	2.539	3.274	+28,9
41-50	2.066	3.254	+57,5
51-60	2.023	2.675	+32,2

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

### 3.6 AVALIAÇÃO DA TESTEMUNHA

Por outro lado, a testemunha (solo sem cobertura) apresentou aumento de resistência em todas as profundidades, com destaque para +52% em 0-10 cm e +38% em 11-20 cm, evidenciando o processo de recompactação natural de solos descobertos. Esse comportamento é resultado direto do impacto das gotas de chuva, da ausência de raízes estruturantes e da falta de proteção contra o selamento superficial (ALBUQUERQUE et al., 2001).

**Tabela 9 - Resistência à penetração (kPa) na testemunha, início vs fim.**

Profundidade (cm)	Início (kPa)	Fim (kPa)	Variação (%)
0-10	1.690	2.573	+52,2
11-20	2.577	3.547	+37,6
21-30	2.212	3.078	+39,2
31-40	1.902	2.777	+46,0
41-50	1.766	2.449	+38,7
51-60	1.713	2.193	+28,0

Fonte: Leituras de campo 18/08/2025 e 20/10/2025.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo permitiram compreender como diferentes espécies de plantas de coberturas como, milho (*Pennisetum glaucum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), aveia (*Avena sativa*) e o consórcio de plantas (milho, sorgo e aveia) influenciam a resistência à penetração e o processo de descompactação do solo em condições de campo no município de Rancho Alegre D'Oeste - PR. Foi possível observar diferenças claras entre os tratamentos, mostrando que cada espécie apresenta um comportamento particular em relação à estrutura física do solo. O milho destacou-se por apresentar os menores valores médios de resistência à penetração (RP) em todas as camadas avaliadas,

demonstrando maior eficiência no alívio da compactação e na melhoria da condição física do solo. Esse desempenho está associado ao seu sistema radicular profundo e bem desenvolvido, capaz de romper mecanicamente camadas mais adensadas, aumentar a porosidade e favorecer o crescimento das raízes das culturas subsequentes. O sorgo apresentou um desempenho intermediário, mostrando boa capacidade de reduzir a compactação e manter a estabilidade da estrutura do solo. Apesar de não atingir a mesma eficiência do milho, mostrou-se uma alternativa interessante para compor rotações agrícolas em áreas com compactação moderada. A aveia apresentou os maiores valores de resistência à penetração, especialmente nas camadas superficiais, indicando menor capacidade de descompactação. Essa limitação pode estar relacionada ao seu sistema radicular mais raso, que restringe a atuação em profundidade e reduz o efeito sobre a reestruturação física do solo. O consórcio de espécies (Mix) e o sorgo C/D apresentaram efeito conservacionista, prevenindo a intensificação da compactação, embora sem grande impacto nas camadas mais profundas. Já o sorgo A/B mostrou-se menos eficiente como descompactador biológico, reforçando que o efeito depende diretamente da espécie, do desenvolvimento radicular e das condições edafoclimáticas durante o ciclo. De maneira geral, o estudo confirma que o uso de plantas de cobertura é uma prática eficiente, econômica e ambientalmente adequada para o manejo da compactação do solo. Espécies com raízes profundas e alta capacidade de penetração, como o milho, podem substituir ou complementar técnicas mecânicas de subsolagem, contribuindo para o equilíbrio físico e biológico do solo e promovendo aumento gradual da produtividade agrícola. Esses achados reforçam a importância de selecionar cuidadosamente as espécies de cobertura nos sistemas conservacionistas, principalmente em áreas com tendência à compactação.

## 5. AGRADECIMENTOS

### AGRADECIMENTOS (CLAUDIO REYNOLDO RUDNICK RATI)

Agradeço a minha família, pelo suporte e por serem meus alicerces, em especial minha mãe Isolde Rudnick.

Aos meus amigos do Centro Universitário Integrado, pela força e troca de conhecimento durante todos esses anos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. João Claudio Alcantara Dos Santos

### AGRADECIMENTOS (NIKOLAS FORMAGIO)

Agradeço a minha família, pelo suporte e por serem meus alicerces, em especial minha mãe Jilmara Alessandra, meu pai Cleber

Formagio e meu avô Adolpho Formagio

Aos meus amigos do Centro Universitário Integrado, pela força e troca de conhecimento durante todos esses anos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. João Claudio Alcantara Dos Santos

## 6. REFERÊNCIAS

- 1) BOT, A.; BENITES, J. *O solo: um recurso natural não renovável*. Roma: FAO, 2005.
- 2) CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Influência de plantas de cobertura na descompactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 6, p. 2245–2253, 2008.
- 3) CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIN, T. A.; PEREIRA, H. S. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob sistemas de plantio direto orgânico e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 3, p. 613–623, 2009.
- 4) CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.
- 5) CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Atributos físicos do solo após cultivo de plantas de cobertura e aplicação de gesso em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, p. 2105–2114, 2011.
- 6) COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de semeadura em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 743–753, 2003.
- 7) CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E. Produtividade de culturas em rotação com o milho, sob sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 10, p. 975–983, 2005.
- 8) CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E. Culturas de cobertura do solo em rotação com o milho: efeitos na produtividade e atributos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 10, p. 863–871, 2015.
- 9) DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; LI, H. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 3, n. 1, p. 1–25, 2010.
- 10) FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 12, supl. 1, p. 175–204, 2000.

- 11) LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A. V. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: LAL, R. (Ed.). *Soil quality and agricultural sustainability*. Boca Raton: CRC Press, 1998.
- 12) SALTON, J. C. et al. Aporte e decomposição da fitomassa de culturas de cobertura e milho em dois solos do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 275–285, 2008.
- 13) SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. D. Plant response to mechanical resistance and aeration conditions in soil. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 4, p. 745–752, 2003.
- 14) SILVA, F. M.; FONSECA, A. F.; VIEIRA, C. Desempenho de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto na região do Cerrado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, n. 3, p. 267–278, 2009.
- 15) STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de cálculo do índice de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, n. 3, p. 229–235, 1991.
- 16) STOLF, R.; SILVA, A. P.; SOARES, A. F. Penetrômetro de impacto Stolf: teoria, funcionamento e aplicações. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 3, p. 727–738, 2014.