

Qualidade física em latossolo compactado e sua relação com sistema radicular e biomassa de forrageiras

Physical quality in compacted latosol and its relationship with root system and forage biomass

Calidad física en latosol compactado y su relación con el sistema radical y la biomasa forrajera

DOI: 10.54033/cadpedv21n4-014

Originals received: 03/01/2024
Acceptance for publication: 03/22/2024

Paulo Henrique Andrade Silva

Mestre em Ciências Ambientais.
Instituição: Andrade & Gouveia LTDA. (META RURAL)
Endereço: Espigão D'Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: pauloprofessoragronomia@gmail.com

Anderson Cristian Bergamin

Doutor em Agronomia
Instituição: Universidade Federal de Rondônia
Endereço: Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
E-mail: anderson.bergamin@unir.br

Fábio Régis de Souza

Doutor em Agronomia
Instituição: Universidade Federal de Rondônia
Endereço: Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
E-mail: fabio.souza@unir.br

Jairo André Schlindwein

Doutor em Ciência do Solo
Instituição: Universidade Federal de Rondônia
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: jairojas@unir.br

Ronaldo de Almeida

Doutor em Ciências Biológicas, Biofísica
Instituição: Universidade Federal de Rondônia
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: ronaldodalmeida@unir.br

RESUMO

O objetivo com este trabalho foi avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes estados de compactação, e sua relação com o sistema radicular e a produtividade de gramíneas forrageiras. O experimento foi instalado na Universidade Federal de Rondônia – UNIR no ano de 2018. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocados quatro estados de compactação induzida do solo. Nas subparcelas foram implantadas quatro espécies de gramíneas forrageiras com três repetições. Foram avaliados no solo a densidade, macro e microporosidade, porosidade total e resistência do solo a penetração. Nas gramíneas forrageiras foram avaliados o sistema radicular, a densidade populacional de perfilhos, altura de planta, relação massa seca de folha/massa seca de colmo e a biomassa da parte aérea. Houve aumento da densidade e da resistência do solo à penetração, e diminuição na macroporosidade e porosidade total do solo com o aumento na compactação do solo. Foram observadas reduções no diâmetro médio, comprimento e área superficial radicular. A biomassa sofreu influência dos fatores compactação e gramíneas forrageiras.

Palavras-chave: Atributos Físicos do Solo. Resistência do Solo à Penetração. Desenvolvimento Radicular.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the physical quality of a Oxisol under different compaction states, and its relationship with the root system and the productivity forage grass. The experiment was carried out at the Experimental Farm of the Federal University of Rondônia - Rolim de Moura (RO) in 2018. The experimental design was a randomized block in split-plot scheme. In the plots four states of soil compaction were induced. In the subplots four species of forage grasses were implanted with three replicates. Bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity and soil resistance to penetration were evaluated. Regarding the forage grasses, root system, tiller population density, plant height, ratio of leaf dry mass / to stalk mass and biomass of the aerial part were evaluated. There was an increase in soil density and resistance to penetration, and a decrease in macroporosity and total soil porosity with the increase in soil compaction. Reductions in the mean diameter, length and root surface area were observed. Biomass was influenced by the compaction and forage grass factors.

Keywords: Physical Attributes. Soil Resistance to Penetration. Root Development.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física de un Oxisol bajo diferentes estados de compactación, y su relación con el sistema radicular y la productividad del pasto forrajero. El experimento se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Federal de Rondônia - Rolim de Moura (RO) en 2018. El diseño experimental fue un bloque aleatorio en esquema de parcelas divididas. En las parcelas se indujeron cuatro estados de compactación del

suelo. En las subparcelas se implantaron cuatro especies de pastos forrajeros con tres réplicas. Se evaluó la densidad aparente, macroporosidad, microporosidad, porosidad total y resistencia del suelo a la penetración. En cuanto a las gramíneas forrajeras, se evaluó el sistema radicular, la densidad poblacional de cultivadores, la altura de planta, la relación entre la masa seca de la hoja y la masa del tallo y la biomasa de la parte aérea. Hubo un aumento en la densidad del suelo y resistencia a la penetración, y una disminución en la macroporosidad y la porosidad total del suelo con el aumento de la compactación del suelo. Se observaron reducciones en el diámetro medio, la longitud y el área de la superficie de la raíz. La biomasa fue influenciada por los factores de compactación y forraje.

Palabras clave: Atributos Físicos. Resistencia del Suelo a la Penetración. Desarrollo de la Raíz.

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre a qualidade dos solos na região da amazônica tem crescido na última década (Mikos *et al.*, 2018; Pereira, 2018, Schlindwein *et al.*, 2021). Porém, no estado de Rondônia os estudos sobre manejo de solos são escassos. Historicamente no estado de Rondônia, operacionalizava-se a limpeza das pastagens por meio da prática de uso do fogo, a qual ocasiona problemas nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, com potenciais riscos à degradação. Atualmente, o avanço do cultivo de soja no estado de Rondônia aumentaram o tráfego de máquinas pesadas que também podem induzir a compactação do subsolo reduzindo assim as propriedades hidráulicas do solo e redução na absorção de nutrientes pelas plantas (Mikos *et al.*, 2018).

O uso inadequado do solo recurso pode trazer prejuízos, limitando ou diminuindo a capacidade em manter ou aumentar a produtividade agropecuária. Práticas de manejo inapropriadas associadas a condições favoráveis, condicionam o processo de degradação dos solos, uma vez que a floresta é derrubada para a implantação de pastagens ou culturas de grãos, provocando uma redução acelerada dos teores de matéria orgânica, e aumento nos níveis de compactação do solo, refletindo diretamente na produtividade das culturas (Sales *et al.*, 2018).

A principal causa de degradação de pastagens tem sido descrita como a compactação do solo, sendo essa ocasionada pelo tráfego de máquinas e pisoteio animal com elevadas taxas de lotação animal (Colombo *et al.*, 2017; Schlindwein *et al.*, 2021). O impacto do manejo dos sistemas agropecuários sobre a qualidade física do solo tem sido avaliado por meio da densidade, macro e microporosidade, e resistência do solo à penetração, sendo estes utilizados como indicadores de qualidade física, onde atuam diretamente sobre a estrutura do solo e o desenvolvimento radicular das plantas (Stefanoski *et al.*, 2013).

Os indicadores de qualidade física do solo desempenham papel importante na sustentação da estrutura do solo, e o estudo sobre eles encontra-se em processo de expansão, uma vez que observa-se uma relação positiva, de que quando ocorre a melhoria da qualidade física do solo, conseqüentemente também se observa melhoria na qualidade química e biológica (Arcoverde *et al.*, 2015).

Desta forma o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade física de um Latossolo compactado e sua relação com o sistema radicular e a biomassa de forrageiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do *Campus* de Rolim de Moura (RO) da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura argilosa (Embrapa, 2013), a uma altitude média de 277 m localizado em latitude 11° 34' 58,52" S e longitude 61° 46' 14,45" W. O clima, segundo Koppen é Am, com estação seca bem definida, temperatura mínima de 24-26 °C, máxima de 32 °C e média de 28 °C, precipitação anual média de 2.250 mm, com umidade relativa do ar elevada na época das chuvas, oscilando em torno de 85 % (Alvarez *et al.*, 2014).

Inicialmente o solo apresentava os seguintes atributos químicos na camada de 0,0-0,20 m: 5,8 de pH(H₂O); 5,05 de pH(CaCl₂); 1,26 mg dm⁻³ de P;

0,13, 2,3 e 1,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, Ca e Mg, respectivamente; 0,02 e 3,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al e H + Al, respectivamente; 33,89 g dm^{-3} de MO; 563; 43 e 394 g kg^{-1} respectivamente, de argila, silte e areia.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas (4,5m de largura x 32m de comprimento) foram alocados quatro estados de compactação induzida do solo, sendo: 0, 1, 2 e 6 passadas de um trator (New Holland t6.130 cv). Nas subparcelas (4,5m de largura x 8m de comprimento) foram implantadas quatro espécies de gramíneas forrageiras, sendo elas Braquiária ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*); Braquiária MG-5 (*Brachiaria brizantha* cv. MG-5); Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e Zuri (*Panicum maximum* cv. BRS Zuri) com três repetições.

Antes indução a compactação do solo, este foi subsolado com subsolador (Tatu Marchesan, 5 hastes) acoplado ao sistema hidráulico do trator, ajustado à profundidade média de 0,40 m, em seguida foram realizadas duas gradagens utilizando Grade aradora de arrasto (Baldan GR), com 14 discos de 26” com 230 mm de espaçamento entre discos, e posteriormente foi realizada a prática de fosfatagem com 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 a lanço.

A indução da compactação no solo quando o solo apresentava umidade gravimétrica de 0,24 kg kg^{-1} na camada de 0,0-0,10 m e 0,25 kg kg^{-1} na camada 0,10-0,20 m. A operação de indução da compactação no solo foi realizada por meio de um trator agrícola New Holland de 130 cv e massa de 6,30 Mg com pressão de insuflagem dos pneus do eixo dianteiro de 110 kPa e pneus do eixo traseiro com pressão de insuflagem de 120 kPa. Para estabelecer os estados de compactação do solo foi realizada a passagem dos rodados do de forma que toda área de cada parcela fosse trafegada com número igual de vezes.

2.2.1 Semeadura das Forrageiras

A semeadura das gramíneas forrageiras foi realizada em linha espaçadas em 0,25 m em densidade indicada para cada espécie: 7 kg ha⁻¹ (85% de pureza e 60% de germinação) para Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça); 10 kg ha⁻¹ (90% de pureza e 85% de germinação) para Braquiária ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*); 7 kg ha⁻¹ (85% de pureza e 50% de germinação) para Zuri (*Panicum maximum* cv. BRS Zuri) e 10 kg ha⁻¹ (90% de pureza e 60% de germinação) para Braquiária MG-5 (*Brachiaria brizantha* cv. MG-5).

2.2.2 Determinação da Resistência à Penetração

A resistência do solo à penetração foi determinada, com o uso de penetrômetro de campo eletrônico (Falker, Penetrolog – PLG 1020). A amostragem compreendeu dez leituras para cada na profundidade (0 a 0,50 m) com análise a cada 0,05 m. Foram coletadas com trado holandês, amostras de solo nas profundidades (0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,50 m) para determinar a umidade gravimétrica do solo (Embrapa, 2011). A resistência do solo a penetração foi realizada em duas épocas, sendo a primeira realizada no dia 02/02/2019 logo após a indução dos estados de compactação e antes da implantação das gramíneas forrageiras e a segunda no dia 15/06/2019 após o corte da parte aérea das forrageiras.

2.2.3 Determinação dos Sistema Radicular

Em cada subparcela foi aberta uma trincheira (0,50 m de largura x 0,20 m de profundidade) transversal a duas linhas de cultivo, onde a parede vertical da trincheira ficou a 0,03 m das plantas escolhidas de maneira que representassem o conjunto de plantas da unidade experimental, expondo as suas raízes. Após a exposição das raízes em uma seção transversal à linha de cultivo e próxima ao eixo da planta, o perfil foi dividido em camadas, com auxílio de uma malha colocada em pleno contato com o solo, com largura de 0,50 m, que correspondeu ao

espaçamento entre linhas de cada cultura e profundidade de 0,20 m. Foi efetuada então, a fotografia do perfil com uma câmera digital (12.1 megapixels). As imagens foram segmentadas com a técnica de limiarização (*thresholding*). Posteriormente, as raízes foram analisadas nas profundidades de 0–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, quanto ao comprimento, superfície e diâmetro radicular, pelo software Safira v1,1 (Jorge e Rodrigues, 2008).

2.2.4 Atributos Físicos do Solo

Após a determinação do sistema radicular foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada utilizando cilindros metálicos de 100 cm³ para determinação dos atributos físicos do solo. Em cada subparcela foi escolhido aleatoriamente um ponto de amostragem, totalizando três pontos de amostragem para cada tratamento, sendo as amostras coletadas em três camadas de solo: 0–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m de profundidade. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos do Campus de Rolim de Moura da Universidade Federal de Rondônia.

Após o preparo das amostras com estrutura preservada, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel e realizado o procedimento para obtenção da macroporosidade pelo método da mesa de tensão, aplicando o potencial de -0,006 MPa, conforme descrito em Embrapa (2011). As amostras foram retiradas da mesa de tensão e levadas à estufa a 105–110 °C por 48 h para a determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A porosidade total (PT) foi determinada pelo método do volume de saturação, que consiste na diferença entre a quantidade de água da amostra saturada e amostra seca. A microporosidade (MIC) foi determinada pela diferença entre o volume total de poros e macroporosidade (Embrapa, 2011).

2.2.5 Determinação da Biomassa

A parte aérea das gramíneas forrageiras foi coletada aleatoriamente

determinando uma área de 0,50 m² (0,50 x 1,0 m), quando as plantas apresentavam altura de corte de 0,90 m para as gramíneas do gênero *Panicum* e 0,60 m para as gramíneas do gênero *Brachiaria*. O número de perfilhos foi estabelecido por meio da contagem do número total de perfilhos das plantas na área de 0,50 m². A determinação da biomassa das gramíneas forrageiras foi realizada pela coleta de toda a parte aérea das plantas acima de 0,20 m para Braquiária ruziziensis e Braquiária MG-5, e 0,40 m para Mombaça e Zuri. Após a coleta, o material foi separado em folhas expandidas (lâmina foliar) e hastes (colmo + bainha), colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante para as determinações da biomassa da parte aérea, de folhas expandidas e de hastes. Os resultados foram extrapolados para um hectare e apresentados em kg ha⁻¹.

O conjunto de dados foi submetido ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, a 5% de significância e, posteriormente aplicado a análise de variância (ANOVA) e quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLOS

Os atributos físicos do solo foram influenciados pelos estados de compactação do solo e gramíneas forrageiras ($p < 0,05$), exceto a microporosidade (Tabela 1). A microporosidade do solo não sofreu alterações com os tratamentos estudados ($p > 0,05$), resultados esses que corroboram com Bergamin *et al.* (2010).

Tabela 1 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em estados induzidos de compactação em três profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m

Passadas ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,0 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
	..... Densidade do solo (Mg m ⁻³)		
0	1,20 b	1,24 c	1,26 c
1	1,23 b	1,28 b	1,27 bc
2	1,30 a	1,34 a	1,30 ab
6	1,31 a	1,34 a	1,32 a
C.V. (%)	3,21	1,63	2,08
	..... Macroporosidade (m ³ m ⁻³)		
0	0,14 a	0,11 a	0,11 a
1	0,12 a	0,09 b	0,11 a
2	0,09 b	0,07 c	0,08 b
6	0,08 b	0,07 c	0,08 b
C.V. (%)	15,88	12,50	16,09
	..... Microporosidade (m ³ m ⁻³)		
0	0,36 a	0,35 a	0,36 a
1	0,37 a	0,36 a	0,36 a
2	0,36 a	0,36 a	0,36 a
6	0,36 a	0,35 a	0,36 a
C.V. (%)	3,23	7,68	7,93
	..... Porosidade total (m ³ m ⁻³)		
0	0,50 a	0,47 a	0,47 a
1	0,50 a	0,46 ab	0,47 a
2	0,45 b	0,44 ab	0,45 a
6	0,45 b	0,43 c	0,44 a
C.V. (%)	3,38	4,95	7,94

(1) 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130 cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

Segundo Valadão *et al.* (2015), os poros de menor diâmetro tendem a possuir maior capacidade de carga uma vez que há maior contato partícula-partícula e esses microporos ainda podem estar cheios de água e, em virtude da baixa condutividade hidráulica e não compressão da água, desta forma tendem a não sofrerem modificações em sua estrutura, sendo capazes de resistir a tensões aplicadas, diferindo assim dos macroporos.

A densidade, a macroporosidade e a porosidade total do solo foram alteradas nas três profundidades do solo, com exceção para a porosidade total na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 1). Moraes *et al.* (2018) estudando um Argissolo Vermelho com 250 g kg⁻¹ de argila e compactado pelo tráfego agrícola com um trator de 3,8 Mg, também observaram aumento da densidade do solo conforme aumentou o número de passadas do rodado do trator até a profundidade de 0,20 m.

O maior aumento de densidade, em relação ao solos sem compactação, foi observado na camada superficial (0,0-0,05 m) dos solos com seis passadas com incremento de 9%, já nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m também ocorreu aumento da densidade, porém em menor proporção sendo respectivamente 8% e 5%. Valadão *et al.* (2015) pontuam que o aumento na densidade em camadas abaixo de 0,10 m podem sofrer efeitos de variados fatores como: umidade favorável, o solo próximo a capacidade de campo apresenta alta plasticidade, característica que faz com que o solo possa sofrer deformações mais lentamente com a carga aplicada, não havendo reversão quando essa é retirada, com isso o solo fica mais susceptível aos processos de compactação em profundidade. Além destes, outros fatores podem promover o efeito em profundidade como a baixa cobertura vegetal e características pertinentes ao próprio solo e ao trator como massa e pressão de insuflagem.

A densidade crítica do solo é dependente principalmente da classe textural, sendo considerado o valor crítico em solos argilosos de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ (Reichert *et al.*, 2003). Os valores obtidos neste estudo são iguais ou estão dentro da faixa de densidade crítica preconizada por Reichert *et al.* (2003), desta forma a camada compactada pode limitar o aprofundamento do sistema radicular e o pleno desenvolvimento das plantas, uma vez que atua sobre os fluxos de ar, água e nutrientes.

A macroporosidade e a porosidade total sofreram efeitos negativos das passadas do rodado do trator nas três profundidades, com exceção da porosidade total na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 1). Foi observado uma redução de 43% e 27% macroporosidade a partir de duas e seis passadas do rodado do trator quando comparado o tratamento sem compactação adicional nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,10-0,20 m, respectivamente. Na profundidade de 0,05-0,10 m o efeito de uma passadas e duas foi uma redução na macroporosidade de 18% e 36%, respectivamente. O efeito na porosidade total foi observado apenas nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m com redução no volume total de poros de 10% e 8% respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Rossetti e Centurion (2018).

De acordo com Scapinelli *et al.* (2016), o tráfego de máquinas promove um rearranjo das partículas sólidas em função da pressão exercida pelo pneu diminuindo a macroporosidade e a porosidade total do solo. Isto implica em uma redução na continuidade dos poros, com consequente diminuição na condutividade hidráulica o que leva a uma percolação mais lenta ao longo do perfil, facilitando a ocorrência de erosão laminar, findando em sérios problemas ambientais.

3.2 EFEITO DA COMPACTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS FORRAGEIRAS

O pleno desenvolvimento das plantas ocorre quando a macroporosidade solo é superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valores abaixo deste podem provocar diminuição dos fluxos de água e ar, prejudicando assim o desenvolvimento das raízes (KIEHL, 1979). Os sistemas radiculares das gramíneas forrageiras influenciaram ($p < 0,05$) na densidade e macroporosidade do solo na camada de 0,0-0,05m (Tabela 2). O sistema radicular da braquiária MG-5 diferiu da *Brachiaria ruziziensis*, onde se observou uma diminuição de 4% para densidade e aumento de 16% na macroporosidade do solo. Os microporos e a porosidade total não sofreram influência em função das gramíneas forrageiras cultivadas. Indicando que as espécies de gramíneas do gênero *Brachiaria* são mais eficientes no rompimento de camadas de solo compactadas (Chioderoli *et al.* 2012)

Tabela 2 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em três profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m cultivado com diferentes gramíneas forrageiras.

Culturas	Densidade (Mg m ⁻³)	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	Microporosidade (m ³ m ⁻³)	Porosidade total (m ³ m ⁻³)
.....0,0-0,05 m.....				
Mombaça	1,26 ab	0,11 ab	0,37 a	0,48 a
Ruzienseis	1,28 a	0,10 b	0,37 a	0,47 a
Zuri	1,26 ab	0,11 ab	0,37 a	0,48 a
MG-5	1,23 b	0,12 a	0,36 a	0,48 a
C.V. (%)	2,40	12,43	4,62	3,42
.....0,05-0,10 m.....				
Mombaça	1,31 a	0,09 a	0,36 a	0,45 a
Ruzienseis	1,31 a	0,08 a	0,37 a	0,45 a
Zuri	1,30 a	0,09 a	0,35 a	0,44 a
MG-5	1,29 a	0,09 a	0,36 a	0,45 a
C.V. (%)	2,28	14,21	4,57	4,56
.....0,10-0,20 m.....				
Mombaça	1,28 a	0,10 a	0,36 a	0,46 a
Ruzienseis	1,30 a	0,09 a	0,37 a	0,46 a
Zuri	1,28 a	0,10 a	0,36 a	0,46 a
MG-5	1,28 a	0,10 a	0,36 a	0,46 a
C.V. (%)	1,88	16,98	3,35	4,00

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, não foi observada diferença significativa ($p>0,05$) sobre os atributos físicos do solo. Indicando gramíneas forrageiras tiveram o menor desenvolvimento radicular ao longo do perfil, não promovendo modificações nos atributos.

A resistência do solo a penetração sofreu influência ($p<0,05$) dos tratamentos aplicados até a profundidade de 0,20 m para as passadas do trator tanto para a primeira época, realizada antes da semeadura das gramíneas forrageiras, e após corte da parte aérea das gramíneas forrageiras (Tabelas 3 e 4). A resistência do solo à penetração aumentou conforme o número de passadas do trator. Deperon Júnior *et al.* (2016) também observaram que o aumento no número de passadas de um trator com 3,5 Mg de massa sobre um

Argissolo Amarelo com 90 g kg⁻¹ de argila promoveram aumentos na resistência do solo à penetração.

Tabela 3 – Resistência do solo à penetração (1ª época) de um Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes profundidades de acordo com os estados de compactação

Profundidade (m)	Resistência do Solo a Penetração (MPa)				
	Passadas ⁽¹⁾				
	0	1	2	6	CV (%)
0,00-0,05	0,24 c	0,34 bc	0,45 b	0,75 a	23,71
0,05-0,10	0,66 c	0,79 bc	0,95 ba	1,19 a	22,07
0,10-0,15	1,05 b	1,12 ab	1,24 ab	1,39 a	18,36
0,15-0,20	1,35 b	1,43 b	1,47 ab	1,62 a	7,87
	Umidade (%)				
0,00-0,10	24,38	26,69	24,75	25,60	
0,10-0,20	25,62	25,67	24,75	25,59	

(1) 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130 cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Primeira época: avaliações feitas depois dos tratamentos de compactação do solo e antes do plantio das espécies forrageiras

Fonte: O próprio autor

Tabela 4 – Resistência do solo à penetração (2ª época) de um Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes profundidades de acordo com os estados de compactação

Profundidade (m)	Resistência do Solo a Penetração (MPa)				
	Passadas ⁽¹⁾				
	0	1	2	6	CV (%)
0,00-0,05	0,81 b	0,94 b	1,26 a	1,49 a	14,09
0,05-0,10	1,39 b	1,40 b	1,58 ab	2,05 a	28,36
0,10-0,15	1,38 b	1,56 ab	1,66 ab	1,95 a	21,45
0,15-0,20	1,59 b	1,72 ab	1,81 ab	2,02 a	15,34
	Umidade (%)				
0,00-0,10	19,71	20,55	19,42	19,18	
0,10-0,20	19,90	20,74	19,42	20,22	

(1) 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130 cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Segunda época: avaliações feitas após corte da parte aérea das espécies forrageiras

Fonte: O próprio autor

As avaliações de resistência do solo à penetração feitas depois dos tratamentos de compactação do solo e antes da semeadura das espécies de

forrageiras mostraram incremento de 29, 46 e 68% na resistência na camada de 0,0-0,05 m em relação ao tratamento sem compactação adicional com os tratamentos em uma, duas e seis passadas do trator, respectivamente. Entretanto o tratamento sem compactação adicional não se diferenciou do tratamento com uma passada do trator (Tabela 3). Nas demais camadas até 0,20 m os tratamentos seguiram a mesma tendência conforme se aumentou o número de passadas.

Depois da avaliação do primeiro corte de biomassa da parte aérea, os valores apresentaram dinâmica semelhantes à primeira época, entretanto, na camada de 0,0-0,05 m a resistência do solo à penetração só aumentou a partir do tráfego de duas passadas do trator com incremento de 35 e 45%, quando comparados o tratamento sem indução a compactação com os tratamentos que receberam duas e seis passadas do trator (Tabela 4).

Nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m somente observou-se aumento da resistência do solo à penetração quando comparados o tratamento sem tráfego com o tratamento que recebeu seis passadas do rodado do trator. Indicando efeito da sazonalidade entre períodos em que solos apresentou maior umidade. Na medida em que o solo vai secando há um aumento da força de coesão entre as partículas, promovendo desta forma uma maior resistência à penetração (Freddi *et al.*, 2009).

O valor de resistência do solo à penetração do solo tido como crítico para o desenvolvimento radicular da maioria das culturas é de 2,0 MPa (DALCHIAVON *et al.*, 2011). Neste estudo a resistência do solo à penetração na camada de 0,0-0,05 m não apresentou diferença significativas nas demais camadas estudadas (Tabela 5). Quando comparada braquiária MG-5 com braquiária Ruziziensis, a resistência do solo a penetração aumentou em 11%, demonstrando a maior sensibilidade da braquiária Ruziziensis a solos compactados ou a maior rusticidade da braquiária MG-5.

Tabela 5 – Resistência de um Latossolo Vermelho-Amarelo à penetração em diferentes profundidades e diferentes gramíneas forrageiras
Médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Profundidade (m)	Resistência do Solo a penetração (MPa)				
	Cultura.....				
	Mombaça	Ruziziensis	Zuri	MG-5	CV (%)
0,00-0,05	1,13 ab	1,17 a	1,18 a	1,05 b	9,66
0,05-0,10	1,55 a	1,59 a	1,77 a	1,51 a	17,25
0,10-0,15	1,67 a	1,53 a	1,70 a	1,66 a	9,66
0,15-0,20	1,84 a	1,75 a	1,75 a	1,79 a	6,63
	Umidade (%)				
0,00-0,10	19,71	20,55	19,42	19,18	
0,10-0,20	19,90	20,74	19,42	20,22	

Fonte: O próprio autor

A braquiária MG-5, possui vantagens quando comparadas a outras gramíneas por apresentar maior taxa de rebrota e maior produção de forragem, sobretudo durante a estação seca (FLORES *et al.*, 2008) o que pode contribuir para a melhoria dos atributos do solo (NETO *et al.*, 2015).

Os sistemas radiculares das plantas sofreram alterações significativas ($p < 0,05$) em função dos estados induzidos de compactação (Tabela 6). Foram observadas a diminuição no diâmetro médio, comprimento e área superficial radicular quando se aumentou os estados induzidos de compactação na camada de 0,0-0,20 m. Resultados semelhantes foram obtidos por Bergamin *et al.* (2010) e Valadão *et al.* (2015).

Tabela 6 – Diâmetro médio, comprimento e área superficial radicular sob estados induzidos de compactação do solo em três profundidades 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m

Passadas ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,0 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
	..... Diâmetro médio (mm).....		
0	0,61 a	0,60 a	0,58 a
1	0,60 a	0,58 ab	0,56 ab
2	0,56 b	0,54 bc	0,53 ab
6	0,54 b	0,53 c	0,52 b
C.V. (%)	4,56	5,16	8,33
	..... Comprimento (m m ⁻²)		
0	61,24 a	24,26 a	8,22 a
1	35,37 b	16,23 ab	6,68 a

2	24,23 bc	10,78 b	6,11 ab
6	22,85 c	7,67 b	3,74 b
C.V. (%)	23,42	42,91	29,37
..... Área superficial (m ² m ⁻²)			
0	0,13 a	0,05 a	0,02 a
1	0,07 b	0,03 b	0,01 ab
2	0,05 bc	0,02 bc	0,01 ab
6	0,04 c	0,01 c	0,007 b
C.V. (%)	28,89	37,80	47,19

(1) 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

Constatou-se que o diâmetro médio radicular começa a diminuir conforme ocorre o aumento na densidade do solo (Tabela 1), acompanhada do aumento na resistência do solo a penetração (Tabela 4). A compactação dos solos pode promover barreiras para o crescimento radicular causando modificações morfológicas, fisiológicas e anatômicas além de diminuir o volume de solo explorado pelas raízes, e interferir nos processos de penetração, ramificação e distribuição de raízes no perfil do solo, conforme observado por Souza *et al.* (2013). A diminuição no diâmetro radicular pode estar associada à emissão de raízes laterais de diâmetro menor, sendo essa uma adaptação da planta às condições restritivas impostas pela compactação.

A compactação do solo influenciou negativamente e de forma gradativa o comprimento radicular nas três camadas de solo (Tabela 7). Na profundidade de 0,0-0,05 m ocorreram reduções na ordem de 42, 60 e 62% para uma, duas e seis passadas do trator, respectivamente, quando comparado com o tratamento sem tráfego. Nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m as maiores reduções ocorreram quando comparados o tratamento sem tráfego com o que recebeu seis passadas do trator com redução de 68% na profundidade de 0,05-0,10 m e 54% na de 0,10-0,20 m.

Na profundidade de 0,10-0,20 m foi observada a diminuição no comprimento radicular a partir de seis passadas do trator, demonstrando portanto ocorrer o efeito do tráfego intenso.

A área superficial radicular sofreu influência da compactação do solo semelhante ao que aconteceu com o comprimento radicular, com diminuição em todas as profundidades. A área superficial radicular diminuiu em 70, 80 e 65% quando comparada aos tratamentos sem passada do trator, com o que recebeu seis passadas nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente. A compactação do solo aumenta a densidade limitando o espaço poroso o que reduz o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (PACHECO *et al.* 2015, MORAES *et al.* 2018).

O diâmetro, o comprimento e a área superficial radicular variam significativamente conforme a espécie de gramínea forrageira (Tabela 7). A braquiária MG-5 apresentou maiores resultados de diâmetro, comprimento e área radicular se comparado a braquiária Ruziziensis, nas camadas de solo estudadas. O comprimento e área radicular nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m onde não apresentaram diferenças entre as gramíneas forrageiras. O capim braquiária MG-5 apresentou 6% a mais no diâmetro médio radicular, 27% de comprimento radicular e 37% de área superficial radicular na camada de 0,0-0,05 m quando comparada ao capim braquiária Ruziziensis. Já na camada de 0,05-0,10 m o aumento foi de 15, 34 e 33%, respectivamente.

Tabela 7 – Diâmetro, comprimento, área superficial radicular de capim Mombaça, Ruziziensis, Zuri e MG-5 sobre um solo compactado em três profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m.

Passadas ⁽¹⁾	Profundidades (m)		
	0,0 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20
	..... Diâmetro médio (mm).....		
Mombaça	0,60 a	0,59 ab	0,57 a
Ruziziensis	0,55 b	0,51 c	0,50 b
Zuri	0,56 ab	0,55 b	0,54 ab
MG-5	0,59 a	0,60 a	0,57 a
C.V. (%)	5,36	6,93	8,97
	..... Comprimento (m m ⁻²)		
Mombaça	37,58 ab	15,18 ab	6,43 a
Ruziziensis	29,08 b	11,40 b	5,69 a
Zuri	36,01 ab	14,89 ab	6,29 a
MG-5	40,19 a	17,47 a	6,34 a
C.V. (%)	21,69	29,35	33,23

	Área superficial (m ² m ⁻²)		
Mombaça	0,08 a	0,03 a	0,01 a
Ruziziensis	0,05 b	0,02 b	0,01 a
Zuri	0,07 ab	0,02 ab	0,01 a
MG-5	0,08 a	0,03 a	0,01 a
C.V. (%)	28,96	27,09	38,68

(1) 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130 cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

A dinâmica radicular das diferentes gramíneas forrageira variou de acordo com as profundidades estudadas (Tabela 7). Para o diâmetro radicular, na camada de 0,0-0,05m os capins Mombaça, Zuri e MG-5 não diferiram, sendo o menor diâmetro radicular encontrado no capim Ruziziensis. Na camada de 0,05-0,10m os capins Mombaça e MG-5 não diferiram quanto ao diâmetro radicular, sendo diferente dos demais, onde o capim braquiária Ruziziensis apresentou menor valor. Na camada de 0,10-0,20 somente o capim braquiária Ruziziensis apresentou diâmetro radicular dos demais.

O comprimento radicular das gramíneas forrageiras apresentou diferença apenas entre os capins braquiária MG-5 e Ruziziensis nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10m. A área superficial radicular apresentou resultados semelhantes, entretanto neste atributo os capins Mombaça e MG-5 diferiram do capim braquiária Ruziziensis nas camadas 0,0-0,05 e 0,05-0,10m, sem alteração na camada de 0,10-0,20m. demonstrando que o capim MG-5 apresenta uma maior tolerância às modificações estruturais no solo provocadas pela compactação (Freddi *et al.*, 2009).

A densidade populacional de perfilhos, altura de plantas e a relação massa seca de folha/massa seca de colmo apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para as gramíneas forrageiras (Tabela 8). Esses resultados já eram esperados uma vez que as gramíneas forrageiras apresentam características morfológicas distintas (Bonelli *et al.*, 2011).

Tabela 8 – Densidade populacional de perfilho (DPP), altura de planta (AP) e relação massa seca de folhas por massa seca de colmo (MSF/MSC) de diferentes gramíneas forrageiras.

Cultura	DPP (Perfilhos m ²)	Altura de Planta (cm)	(MSF:MSC)
Mombaça	476,08 ab	60,18 a	2,47 a
Ruziziensis	443,00 b	50,31 b	1,13 b
Zuri	463,50 ab	60,50 a	2,60 a
MG-5	512,66 a	41,06 c	2,44 a
C.V. (%)	9,41	13,06	14,06

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

A braquiária MG-5 apresentou maior densidade populacional de perfilho que a braquiária Ruziziensis. As espécies do gênero *Panicum* apresentaram maior altura de planta. A menor relação massa seca de folha/massa seca de colmo foi observada para a braquiária Ruziziensis. Bonelli *et al.* (2011), encontraram resultados semelhantes para as forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça.

A relação massa seca de folha/massa seca de colmo foi influenciada ($p < 0,05$) pelos estados de compactação do solo. A maior relação MSF:MSC foi encontrada no solo foi submetido a uma passada do rodado do trator (Tabela 9).

Tabela 9 – Relação massa seca de folhas por massa seca de colmo (MSF/MSC) em diferentes estados de compactação induzida do solo

Passadas (¹)	.....(MSF:MSC)
0	2,02 c
1	2,32 a
2	2,22 ab
6	2,09 bc
C.V. (%)	6,23

⁽¹⁾ 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130 cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

Em todos os estados de compactação os valores da relação massa seca de folha/massa seca de colmo ficaram acima 1,0 indicando um elevado teor de proteína, melhor digestibilidade e consumo, sendo capaz de atender as

exigências nutricionais dos ruminantes, com consequente aumento de sustentabilidade nos sistemas produtivos (Pinto *et al.*, 1994, Bonelli *et al.*, 2011).

A biomassa da parte aérea apresentou interação significativa ($p < 0,05$) entre as gramíneas forrageiras e os estados induzidos de compactação. O capim braquiária Ruziziensis apresentou menor biomassa da parte aérea quando comparada com as demais gramíneas forrageiras (Tabela 10).

Tabela 10 – Biomassa de gramíneas forrageiras sobre estados induzidos de compactação do solo.

Passadas ⁽¹⁾	Mombaça	Ruziziensis	Zuri	MG-5
	..... Biomassa (kg ha ⁻¹)			
0	4333,73 bA	3914,13 aA	4205,90 bcA	3956,60 bA
1	5300,20 aA	3661,60 aB	5226,46 aA	5427,30 aA
2	4402,20 bA	2891,73 bB	4408,90 bA	4276,66 bA
6	3690,35 bA	2537,58 bB	3817,95 cA	3294,43 cA
	C.V. (%) - 1 (Passadas) = 5,86			
	C.V. (%) - 2 (Culturas) = 6,34			

⁽¹⁾ 0 – preparo convencional sem compactação adicional; 1, 2, e 6 – correspondem a preparo convencional com compactação adicional por tráfego de trator de 6,30 Mg (130cv) em uma, duas e seis passadas, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O próprio autor

A biomassa da parte aérea, com exceção do capim braquiária Ruziziensis, apresentou melhores resultados quando o solo foi submetido a compactação com apenas uma passada do trator. Onde foram realizadas apenas uma passada do trator a produção de biomassa foi superior em 30, 30, 27 e 39% para os capins Mombaça, Ruziziensis, Zuri e MG-5 respectivamente. Quando comparado o tratamento sem tráfego, com o que recebeu uma passada do trator a diferença de produção de biomassa foi de 18, 19 e 27% para os capins Mombaça, Zuri e MG-5 respectivamente. O capim braquiária Ruziziensis não apresentou diferença para biomassa quando comparados o tratamento sem compactação com o que recebeu uma passada do trator.

Os valores de densidade, porosidade (Tabela 1) e resistência do solo à penetração (Tabela 4), não promoveram barreiras para o desenvolvimento das gramíneas forrageiras quando estas foram submetidas a uma passada do trator.

Lima *et al.* (2015) estudando o desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em um Latossolo Vermelho com 470 g kg⁻¹ de argila com faixas de densidade variando de 1,1 a 1,9 Mg m⁻³, apresentaram modelo quadrático de regressão para a produção de biomassa das culturas e observaram que a densidade de 1,55 Mg m⁻³ promoveu maior produção de biomassa da parte aérea para *Brachiaria brizantha* e capim pé-de-galinha.

O fato de as maiores produtividades de biomassa serem encontradas quando o solo recebeu uma passada do trator, pode estar associado ao benefício que uma pequena compactação adicional proporciona a um solo que recebeu preparo convencional (desestruturado), aumentando o contato solo/raiz, e conseqüentemente favorecendo a absorção de água e nutrientes, logo, melhor aproveitamento destes recursos pelas gramíneas (Bonetti *et al.*, 2015).

Fato a se levar em consideração é que de modo geral quando ocorreu o tráfego de uma passada do trator os valores de densidade e resistência do solo a penetração nas primeiras camadas de solo pouco se alteraram não comprometendo o desenvolvimento das gramíneas forrageiras (Tabela 1 e 4) apresentando valores inferiores ao preconizado como críticos ao desenvolvimento das plantas.

4 CONCLUSÕES

A qualidade física do solo é reduzida devido ao tráfego de trator agrícola com aumento da densidade e resistência a penetração, e conseqüentemente diminuição da macroporosidade e porosidade total até a profundidade de 0,20 m. O sistema radicular das gramíneas forrageiras é afetado pelo tráfego de trator, com diminuição no diâmetro, comprimento e área superficial radicular em função do aumento da resistência a penetração e densidade do solo.

A produtividade das gramíneas forrageiras é afetada pela compactação do solo, sendo que uma leve compactação do solo por uma passada do trator de 6,30 Mg de massa total proporciona incremento na matéria seca, enquanto duas ou mais passadas acarretam sua redução. O presente estudo não testou diferentes conjuntos de máquinas agrícolas e nem relacionou quantos passadas

seriam suficientes para finalizar o cultivo de forrageiras. Mais estudos sobre manejo e conservação dos solos podem ajudar a definir as melhores técnicas de manejo do solo com uso máquinas agrícolas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)

ANDREOTTI M.; CARVALHO, M.P.; MONTANARI, R.; BASSO, F.C.; PARIZ, C.M.; AZENHA, M.V.; VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. **Ciência Rural**, v. 4, n. 3, 520-526, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000032>

ARCOVERDE, S.N.S.; SALVIANO, A.M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S.B.; CUNHA, T.J.F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J.S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1473-1482, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140282>

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento Radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n. 3, p. 681-691, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>

BONELLI, E.A.; BONFIM-SILVA, E M.; CABRAL, C.E.A. Compactação do solo: efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.264–269, 2011. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000300007>

BONETTI, J.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.S.; CARNEIRO, A.C.; SILVA, G.N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4529625>

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100005>

COLOMBO, G.A.; LOPES, M.B.S.; DOTTO, M.C.; CAMPESTRINI, R.C.; LIMA, S.O. Atributos físicos de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 29–21, 2017.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado

brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i1.8351.

DEPERON JÚNIOR, M.A.; NAGAHAMA, H.J.; OLSZEWSKI, N.; CORTEZ, J.W.; SOUZA, E.B. Influência de implementos de preparo e de níveis de compactação sobre atributos físicos do solo e aspectos agronômicos da cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 367-376, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p367-376/2016>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

FLORES, R.S.; EUCLIDES, V.P B.; ABRÃO, M P.C.; GALBEIRO, S.; DIFANTE, G.S.; BARBOSA, R.A. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1355-1365, 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000800004>

FREDDI, O.S.; CENTURION, F.J.; ALMEIDA, C.X. Compactação de um Latossolo Vermelho de textura argilosa afetando o sistema radicular e a produtividade do milho. **Revista Ceres**, v. 56, n. 5, p. 654-665, 2009. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3052/305226893014>

JORGE, L.A.C.; RODRIGUES, A.F.O. SAFIRA: sistema de análise de fibras e raízes. Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, 2008. 20p.
KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. 1. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

LIMA, L.B.; PETTER, F.A.; LENADRO, W.M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1064-1071, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1064-1071>

MIKOS, A.; SCHLINDWEIN, J.A.; FOGAÇA, I.; ROCHA, M M.S.; SOBREIRA, A.L.; LUZ NETO, L.S.; ALMEIDA, F.M. Evaluation of the Physical Attributes of Soil under Different Uses and Management in the Territory of the Zona da Mata in Rondônia, Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 12, p. 126-133, 2018. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.12.17>

MORAES, M.T.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; BONETTI, J.A.; DEBIASI, H. Corn crop performance in an Ultisol compacted by tractor traffic. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.4, p.464-477, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400008>

NETO, J.F.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; JUNNYOR, W.S.G.; GONÇALVES, W.G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in croplivestock integration. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015. <https://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19392>

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S.C.S.; BONFIM-SILVA, E.M.; SOUZA, E.D.; SILVA, F.D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n. 4, p. 464-472, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4538107>

PEREIRA, E.C.F. **Indicadores de qualidade em um Latossolo sob diferentes usos e manejos em Rondônia**. Porto Velho: Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2018. 133p. Tese Doutorado.

PINTO, J.C.; GOMIDE, J.A.; MAESTRI, M. Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.3, p.313-326, 1994.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

ROSOLEM, C.A.; PIVETTA, L.A. Mechanical and biological approaches to alleviate soil compaction in tropical soils: assessed by root growth and activity (Rb uptake) of soybean and maize grown in rotation with cover crops. **Soil and Use Management**, v. 33, n. 1, p. 141-152, 2017. <https://doi.org/10.1111/sum.12313>

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F. Use of s-index as a structural quality indicator for compacted latosols cultivated with maize. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 455-465, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n222rc>

SALES, A.; SILVA, A.R.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E.J.M.; MIRANDA, B.M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 01-15, 2018. <https://dx.doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n1.a185>

SCHLINDWEIN, J. A.; FIORELLI, E. C.; PEQUENO, P. L. L.; RUDNICK, V. A. S.; HENRIQUE, N. S.; MIKOS, A. R.; CAVALCANTE, N. C.; TEIXEIRA, O. S. **Diagnóstico de solos sob diferentes usos e manejos em Rondônia**. In: Salman, A. K. D.; Schlindwein, J. A.; Pfeifer, L. F. M. (Orgs) Avanços da pecuária na Amazônia: Pesquisas em Desenvolvimento Regional em Rondônia. In Porto Velho: Edufro, 2021. p. 38-72.

SCAPINELLI, A.; DEINA, F.R.; VALADÃO JUNIOR, D.D.; VALADÃO, F.C.A.; PEREIRA, L.B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.286>

SOUZA, F.R.; BERGAMIN, A.C.; VENTUROSO, L.R.; VIEIRA, M.C.; PELLIN, M.P.; MONTANARI, R. Estrutura de raízes de cana-de-açúcar cultivada em solo compactado. **Revista Agrarian**, v. 6, n. 22, p. 423-428, 2013.

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, n.12, p.1301–1309, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>

VALADÃO, F.C.A.; WEBER, O.L.S.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F.R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 243-255, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150144>