

Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo na região do Cerrado



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gado de Corte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 285

Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo na região do Cerrado

*Luan Silva do Nascimento
Alexandre Romeiro de Araújo
André Dominghetti Ferreira
Bianca Obes Corrêa
Manuel Cláudio Motta Macedo
José Antônio Maior Bono
Ademir Hugo Zimmer*

Embrapa Gado de Corte
Campo Grande, MS
2020

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Corte
Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural, Campo Grande, MS,
79106-550, Campo Grande, MS
Fone: (67) 3368 2000
Fax: (67) 3368 2150
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Gado de Corte

Presidente
Lucimara Chiari

Secretário-Executivo
Rodrigo Carvalho Alva

Membros
Alexandre Romeiro de Araújo, Davi José
Bungenstab, Fabiane Siqueira, Gilberto
Romeiro de Oliveira Menezes, Marcelo Castro
Pereira, Mariane de Mendonça Vilela, Marta
Pereira da Silva, Mateus Figueiredo Santos,
Vanessa Felipe de Souza

Supervisão editorial
Rodrigo Carvalho Alva

Revisão de texto
Rodrigo Carvalho Alva

Tratamento das ilustrações
Rodrigo Carvalho Alva

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Rodrigo Carvalho Alva

Foto da capa
Alexandre Romeiro de Araújo

1ª edição
Publicação digitalizada (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Gado de Corte

Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo na região
do Cerrado / Luan Silva do Nascimento ... [et al.]. – Campo Grande, MS : Embrapa
Gado de Corte, 2020.
PDF (32 p.) : il. – (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1983-974X ; 285).

1. Cerrado. 2. Compactação do solo. 3. Latossolo vermelho escuro. 4. Manejo do
solo. 5. Subsolação. I. Nascimento, Luan Silva do. II. Araújo, Alexandre Romeiro de.
III. Ferreira, André Dominghetti. IV. Corrêa, Bianca Obes. V. Macedo, Manuel Cláudio
Motta. VI. Bono, José Antônio Maior. VII. Zimmer, Ademir Hugo. VIII. Série.

Autores

Luan Silva do Nascimento

Engenheiro-agrônomo, mestre em Produção e Gestão Agroindustrial, Campo Grande, MS

Alexandre Romeiro de Araújo

Zootecnista, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

André Dominghetti Ferreira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Café, Brasília, DF

Bianca Obes Corrêa

Bióloga, doutora em Fitossanidade, professora titular da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, MS

Manuel Cláudio Motta Macedo

Engenheiro-agrônomo, PhD em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

José Antônio Maior Bono

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor titular da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, MS

Ademir Hugo Zimmer

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Sumário

Introdução.....	7
Material e métodos.....	9
Resultados e discussão.....	13
Conclusões.....	29
Agradecimentos.....	29
Referências	29

Introdução

O solo é um dos principais recursos naturais envolvidos nos sistemas de produção agropecuário. Segundo Beck *et al.* (2000), o solo é constituído de material mineral e orgânico resultante das interações dos fatores de formação (clima, organismos vivos, material de origem, relevo e ações antrópicas) através do tempo, capaz de sustentar plantas, reter água, armazenar e transformar resíduos e suportar edificações.

Além disso, de acordo com Lopes e Guilherme (2007), o solo é o principal meio para o crescimento das plantas e é resultante de complexas transformações que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Os autores relatam que um solo de boa qualidade, além de ter sua importância ligada diretamente a produção de alimentos, também exerce papel fundamental na preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos.

A região do Cerrado Brasileiro possui grandes extensões territoriais com solos que, naturalmente, possuem elevada acidez e saturação por Al, baixos teores de nutrientes e alta adsorção de fósforo (P). Por esses motivos, a presença de nutrientes no solo ou a adição de fertilizantes em níveis adequados para a cultura e produção almejada, torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas nessa região.

No entanto, em uma visão holística, um solo fértil não necessariamente pode ser considerado um solo produtivo. Diversos outros fatores, que não sejam diretamente relacionados à parte química do solo, podem influenciar a capacidade produtiva de um solo. De acordo com Meurer (2007), além de fatores químicos, climáticos, biológicos, fatores relacionados à planta e fatores de natureza física podem tanto estimular como inibir o crescimento das plantas.

A pujança da agropecuária brasileira, cada vez mais empresarial, com uso de máquinas e implementos agrícolas cada vez maiores e mais pesados, aliados à antecipação de plantios cada vez mais frequentes para a implantação da segunda safra no final do período de verão, tem trazido preocupações quanto à piora da qualidade física do solo, principalmente os mais argilosos da região central do país.

A qualidade física do solo pode ser avaliada por diversas formas: pela estabilidade de agregados, densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), e mais recentemente o DRES (diagnóstico rápido da estrutura do solo), entre outros.

Mesmo sendo uma medida indireta da compactação do solo, a RP tem sido utilizada para inferir a qualidade do solo em diferentes sistemas de produção agropecuários. Pela facilidade de operação e uso do método, nota-se que o uso da RP tem aumentado consideravelmente para avaliação da qualidade física do solo, uma vez que essa pode auxiliar na detecção de camadas compactadas e conseqüentemente na escolha de alternativas mais sustentáveis de uso e manejo do solo para minimizar os efeitos maléficos da compactação.

Ampoorter *et al.* (2010) descrevem que a compactação pode resultar diretamente no aumento da densidade do solo, diminuição do teor de umidade e aumento da RP. Nesse contexto, cabe ainda ressaltar que esta altera a porosidade do solo, além de interferir na microbiota do solo e no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Reichert *et al.* (2007) a compactação pode atingir diferentes camadas do solo, em áreas agrícolas e em pastagens ocorre, geralmente, nos primeiros 20 cm da camada de solo, enquanto, em áreas florestais, a compactação pode atingir maiores profundidades.

De acordo com Letey (1985) a RP é um atributo físico do solo, e possui relação com crescimento das plantas e os valores de densidade do solo, além de ser muito influenciada pelos sistemas de uso e preparo do solo. A RP, além da dependência de fatores intrínsecos ao solo (textura, estrutura e mineralogia) a RP é altamente dependente da umidade do solo. De acordo com Libardi & Jong van Lier (1999), em solos com umidade muito baixa, a água encontra-se retida com maior tensão nos poros, e a essa tensão somam-se as forças existentes entre seus sólidos, fazendo com que em solos com menores teores de umidade a RP seja maior. Por esses motivos, todas as avaliações de RP apresentadas nesse estudo foram realizadas entre os meses de fevereiro a abril e, além disso, os valores obtidos foram corrigidos em função do teor de umidade do solo, de acordo com Busscher *et al.* (1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa, da Região do Cerrado, por meio da RP em diferentes sistemas de uso e manejo do solo ao longo de quatro anos agrícolas: 2013, 2014, 2016 e 2017.

Material e métodos

A área experimental utilizada nestas avaliações está localizada na Embrapa Gado de Corte, no município de Campo Grande/MS, nas coordenadas 20° 24' 59.60"S e 54° 42' 34.60"W. O padrão climático da região é descrito, segundo Köppen, como pertencente à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido. A precipitação pluvial média anual é de 1.560 mm, e o período considerado de seca compreende os meses de maio a setembro. O solo do local foi classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2013), com valores de argila variando de 36 a 41% na camada de 0-20 cm.

Medidas de RP e de umidade do solo, foram tomadas em um experimento de longa duração, instalado em 1993/94, com diferentes combinações de sistemas e subsistemas de manejo e uso do solo, com pastagens e lavoura de uso contínuo, pastagens e lavouras em sistemas integrados, de ciclos de quatro anos de rotação. Foram avaliados cinco sistemas, tendo como tratamentos referencia uma pastagem degradada e uma vegetação nativa de Cerrado.

A descrição dos sistemas de uso e manejo do solo, em 2013, e subsistemas, eram as seguintes:

- Sistema S1 (Pastagem Contínua) – pastagem contínua de *Urochloa decumbens*. Sistema composto apenas por pastagem e possui três subsistemas: PCSA (Pastagem Contínua Sem Adubação) adubado apenas quando da implantação da área - Safra 1993/94; PCCA (Pastagem Contínua Com Adubação) com adubação de implantação em 1993/94 e adubação de manutenção periódica ao longo do tempo e PCAL (Pastagem Contínua Com Adubação e Leguminosa) idem PCCA, no entanto, o PCAL não possui adubação nitrogenada de manutenção, mas consórcio com espécies leguminosas, como estilosantes e calopogônio. Em todos os sistemas que são ou estão na fase de pastagem (caso de alguns sistemas

integrados) o método de pastejo utilizado é o de lotação contínua com taxa variável, ou seja, ajusta-se a taxa de lotação animal de acordo com a oferta de forragem para a respectiva espécie de gramínea pastejada.

- Sistema S2 (Lavoura Contínua) – Sistema sem presença do componente animal, somente lavouras. Nesse caso, as forrageiras fazem parte do sistema somente como cobertura do solo e formação de palhada para o próximo cultivo de plantio direto de soja no verão. Assim como o anterior, esse sistema possui três subsistemas: LCCV (Lavoura Contínua com Cultivo Convencional) – soja no verão, sem cobertura vegetal ou cultivo de outono-inverno, onde o solo é mantido em alqueive, e preparado anualmente com grade aradora e niveladora, operações realizadas desde 1993; LCCS (Lavoura Contínua Cultivo Conservacionista) – soja no verão, com diferentes rotações de outono-inverno (gandu com piatã, sorgo consorciado com piatã, braquiária, etc.), além de a cada quatro anos ser realizado uma subsolagem (efetuadas em novembro de 2009 e novembro de 2013) e LCPD (Lavoura Contínua Plantio Direto), soja no verão com diferentes rotações de outono-inverno (idem LCCS), sem nenhum preparo de solo, situação mantida desde 1993/94.

- Sistema S3 (Sistema de Integração Lavoura-Pecuária e Lavoura-Pecuária-Floresta) – 4 (quatro) anos de pastagem seguidos por quatro anos de lavoura, com a presença ou não do componente florestal, no espaçamento de 14 x 2 metros (ILP e/ou ILPF), nesse caso existem dois subsistemas: P4L4 (pastagem quatro anos seguidos por quatro anos de lavoura de soja no verão com diferentes rotações de outono-inverno). Como se trata de um sistema de ILP ou ILPF, os sistemas podem estar na fase pastagem ou fase lavoura, dependendo do ano avaliado. Em 2013 (ano da primeira avaliação) estava no último ano de pastagem (*Panicum maximum* cv. Massai) com adubação periódica de manutenção e taxa de lotação variável. O subsistema P4L4F é semelhante ao anterior, todavia possui a presença do componente arbóreo, eucalipto *Urograndis* (Clone H13) implantado em janeiro de 2009.

- Sistema S4 (Sistema de Integração Lavoura-Pecuária e Lavoura-Pecuária-Floresta) representa um espelhamento do anterior. A diferenciação se dá quando a pastagem está sendo cultivada no S3, o S4 possui lavoura no mesmo período. Nesse sentido os subsistemas são, L4P4 que,

em 2013, foi cultivado soja no verão pelo quarto ano consecutivo, com diferentes rotações de outono-inverno e L4P4F com a presença de soja, além do componente arbóreo eucalipto *Urograndis* (Clone H13) implantado em janeiro de 2010.

- Sistema S5 (Sistema de Integração Lavoura-Pecuária) L1P3 – é composto por 1 (um) ano de lavoura (soja) seguido por 3 (três) anos de pastagem. Em 2013 este sistema encontrava-se no último ano de pastagem (*Urochloa brizantha* BRS Piatã) quando da avaliação da RP.

Nos anos de 2014, 2016 e 2017, em que foram realizadas demais avaliações de RP, os sistemas mantiveram as características conforme descrito para o ano de 2013, com algumas modificações descritas a seguir:

Em 2014 os sistemas S1 e S2 continuaram da mesma forma, lembrando que no subsistema LCCS do S2 foi realizada subsolagem em novembro de 2013. Nos sistemas S3, S4 e S5 (sistemas de produção integrados), houve mudança no uso e manejo do solo. O S3 estava, em 2013, no último ano de pastagem e, em 2014, passou a ser cultivado com lavoura de soja no verão, com diferentes rotações de outono-inverno. O inverso aconteceu com o S4 que passou a ser cultivado com pastagem. Para o sistema S5 (L1P3), que em 2013 estava no último ano de pastagem, em 2014 a avaliação de RP foi realizada em área de lavoura de soja.

Quanto ao ano de 2016 as condições são semelhantes ao ano de 2014, todavia no sistema S3 estava instalado o terceiro ano de lavoura, assim como no S4 o terceiro ano de pastagem e o S5 com o segundo ano de pastagem.

As características dos sistemas se mantiveram em 2017, apenas houve mudança em decorrência do tempo, onde o sistema S3 encontrava-se no último ano de lavoura, o S4 no último ano de pastagem e no sistema S5 estava inserido o terceiro e último ano de pastagem, antes de nova mudança de uso e manejo do solo.

Além dos sistemas acima mencionados, ressalta-se que o experimento possui ainda dois tratamentos referência (REF), a saber: um tratamento testemunha (TEST) composto por *Urochloa decumbens* degradada e uma área de vegetação natural de Cerrado (CERR), anexo a área experimental, a qual serviu de parâmetro das condições naturais do solo.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos/sistemas de manejos da área experimental.

Tratamentos	Sistema de manejos
CERR	Cerrado natural
PCSA	Pastagem contínua sem adubação
PCCA	Pastagem contínua com adubação
PCAL	Pastagem contínua com adubação e leguminosa
LCCV	Lavoura contínua com cultivo convencional
LCCS	Lavoura contínua cultivo conservacionista
LCPD	Lavoura contínua plantio direto
P4L4	4 anos pastagem / 4 anos lavoura
P4L4F	4 anos pastagem / 4 anos lavoura com presença do eucalipto
L4P4	4 anos lavoura / 4 anos pastagem
L4P4F	4 anos lavoura / 4 anos pastagem com presença do eucalipto
L1P3	1 ano de lavoura / 3 anos de pastagem
TEST	<i>Urochloa decumbens</i> em degradação

As avaliações aconteceram em quatro anos, onde em 2013 avaliou-se à RP entre 27/03 e 10/04/2013, em 2014 entre os dias 24/02 e 13/03/2014, em 2016 entre 24/02 e 16/03/2016 e 2017 entre os dias 31/01 e 03/02/2017. Todas as determinações de RP e coletas de amostras de umidade de solo foram realizadas, portanto, no período chuvoso.

As parcelas (piquetes) representam uma área de 0,7 hectares, exceto as áreas de lavoura contínua e a pastagem testemunha, que possuem 0,18 e 0,4 ha, respectivamente.

A RP foi medida com um penetrógrafo digital modelo PLG1020 (cone tipo 2) da Falker®, em dez posições dentro de cada piquete, com distâncias de aproximadamente oito metros, respeitando uma bordadura de no mínimo 15 m de cada lado. Os valores de RP foram medidos no perfil do solo até 60 cm, e registrados a cada cinco centímetros de profundidade.

Amostras para determinação da umidade foram retiradas em cada piquete, nas profundidades de 0-15, 15-30; 30-45 e 45-60 cm, utilizando-se de um trado tipo sonda, latas de alumínio para armazenamento das amostras, as quais foram

posteriormente pesadas, e levadas a estufa para secagem. Determinou-se a umidade do solo pelo método gravimétrico conforme EMBRAPA (2017), a qual teve por finalidade relacioná-la a resistência à penetração, e proceder a uma correção dos valores de RP, conforme proposto por Busscher *et al.* (1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas no tempo, e nas profundidades, com quatro repetições. Nas análises estatísticas foi utilizado o procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS 9.2. Como pressuposto do modelo, o efeito de blocos foi considerado como aleatório, sistemas, profundidades e anos efeitos fixos, assim como suas interações. O teste de média aplicado foi o de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A análise de variância dos dados foi realizada pelo procedimento PROC MIXED, do aplicativo SAS 9.2, e mostrou efeito significativo para sistemas de produção e uso ($P < 0,05$). Para profundidade e interação profundidade x sistemas os efeitos foram significativos a $P < 0,01$. O efeito de ano de avaliação, assim como suas interações, com sistemas e profundidades, também foi altamente significativo ($P < 0,01$). A média geral de RP, considerando-se sistemas, profundidades e anos foi de 1,45 Mpa.

Observando-se as médias de resistência do solo à penetração dos quatro anos e de todas as profundidades avaliadas, nota-se que os valores encontrados em função dos sistemas de produção estudados foram inferiores a 2 Mpa, os quais não foram restritivos ao desenvolvimento das plantas (Tabela 2). Além disso, foi possível verificar diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os sistemas avaliados, assim como, que os menores valores de RP foram registrados nas áreas de CERR e PCSA, com valores médios (0 a 60 cm) de 1,09 e 1,17 MPa, respectivamente. Tais resultados corroboram com Benedetti *et al.* (2010) que também encontraram valores semelhantes para áreas de vegetação natural. Por outro lado, o maior valor de RP = 1,96 Mpa, foi constatado no tratamento L4P4F. Destaca-se também que não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os subsistemas de lavoura contínua, os quais apresentaram valores de 1,26 MPa no LCCS e LCCV, e 1,34 Mpa no LCPD.

Tabela 2. Médias de resistência do solo à penetração (RP) em função dos sistemas de produção estudados, considerando todas as profundidades.

Sistemas de produção	RP (Mpa)
CERR	1,09 a
L1P3	1,67 d
L4P4	1,47 c
L4P4F	1,96 e
LCCS	1,26 b
LCCV	1,26 b
LCPD	1,34 b
P4L4	1,47 c
P4L4F	1,65 d
PCAL	1,48 c
PCCA	1,47 c
PCSA	1,17 a
TEST	1,54 c
Média	1,45

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A Tabela 3 mostra as médias das RPs nos anos estudados, em cada sistema de uso e manejo do solo. Nota-se, que os valores médios de RP da maioria dos sistemas foram menores em 2014, quando comparados a 2013, independentemente se houve, ou não, alguma mudança no uso e manejo do solo. Além disso, é possível se observar tendência de aumento dos valores de RP nos anos de 2016 e 2017, em todos os sistemas.

Apesar da tendência de incremento na RP com o avanço nos anos de atividades de lavoura e pecuária, os valores médios observados na Tabela 3 demonstram também a existência de interação entre sistemas e anos, independentemente da profundidade.

Tabela 3. Médias de resistência do solo à penetração (RP) em função da interação entre sistemas de produção, profundidades e ano de avaliação.

Sistemas de produção	Anos			
	2013	2014	2015	2016
RP (Mpa)				
CERR	1,19 aC	1,09 aB	0,80 aA	1,25 aC
L1P3	1,91 dC	1,32 cA	1,75 eB	1,71 dB
L4P4	1,44 bA	1,34 cA	1,54 dB	1,56 cB
L4P4F	1,89 dA	2,00 eB	1,92 fA	2,04 eB
LCCS	1,25 aB	1,02 aA	1,36 cC	1,42 bC
LCCV	1,43 bB	1,15 bA	1,15 bA	1,33 bB
LCPD	1,45 bB	1,17 bA	1,54 dB	1,21 aA
P4L4	1,66 cB	1,29 cA	1,39 cA	1,57 cB
P4L4F	1,65 cA	1,65 dA	1,55 dA	1,75 dB
PCAL	1,67 cB	1,35 cA	1,37 cA	1,55 cB
PCCA	1,50 bB	1,31 cA	1,53 dB	1,56 cB
PCSA	1,15 aA	1,04 aA	1,34 cB	1,17 aA
TEST	1,84 dB	1,37 cA	1,45 cA	1,50 cA
Médias	1,54	1,32	1,44	1,51

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A Tabela 4 apresenta os valores médios de RP durante o período de avaliação, de 2013 a 2017, para os diferentes sistemas nas diferentes profundidades. Nota-se, que as médias de RP na maioria dos sistemas de uso e manejo do solo, são inferiores aos considerados críticos para o desenvolvimento das plantas, com exceção dos subsistemas L4P4F e L1P3, no intervalo das profundidades de 10 a 25, e de 10 a 15 cm, respectivamente. Essa interpretação é válida se adotados os critérios descritos por Nesmith (1987), Taylor *et al.* (1966), Lapen *et al.* (2004) e Arshad *et al.* (1996) que consideram o valor de 2,0 MPa como alto, e conseqüentemente limitante para o desenvolvimento das plantas, o que não foi observado no presente estudo.

Notam-se ainda nas Tabelas 2 e 4 que nos subsistemas: PCSA, PCCA e PCAL do Sistema 1 (S1), menores valores de RP no tratamento PCSA, fato que pode ser atribuído a menor pressão animal exercida nesse sistema, uma vez que a taxa de lotação, e a respectiva produção animal tem sido superior em PCCA e PCAL, conforme Macedo e Araújo (2019).

Santos *et al.* (2015) em estudo correlacionando a compactação do solo com a resistência mecânica à penetração, em uma área cultivada com pastagem do gênero *Urochloa*, comprovaram que o efeito da pressão exercida pelo pisoteio dos animais, promove a compactação do solo. Essa situação não foi observada nesse estudo. Apesar de mensurável, a maior RP nos tratamentos PCCA e PCAL, quando comparadas ao tratamento PCSA não foi suficiente para diminuir a disponibilidade forrageira. Esse fato pode ser atribuído ao correto manejo do pastejo da forrageira com aumentos e diminuições das taxas de lotação animal em função da disponibilidade. Essa foi uma das justificativas afirmadas por Gurgel (2019) que trabalhando com altas taxas de lotação animal em sistemas de pastejo rotacionado de capim-mombaça, atribuiu o correto manejo da forrageira, respeitando a altura de resíduo do capim e a cobertura do solo como sendo um dos principais fatores para minimizar os possíveis efeitos negativos de altas taxas de lotação animal, quando avaliados por meio da RP.

Os resultados apresentados na Tabela 4 comparam todos os sistemas avaliados nas diferentes profundidades. O comportamento da RP dentro de cada sistema, nas profundidades de 5 a 60 cm, é demonstrado graficamente nas Figuras de 1 a 4, ilustrando as variações em profundidade de cada sistema de uso e manejo do solo.

Para elaboração da Figura 1 foram utilizadas as médias dos quatro anos de avaliação de diferentes subsistemas de pastagem contínua, dos tratamentos de referência: Cerrado nativo (CERR) e da pastagem degradada (TEST). As variações gráficas observadas nessa figura demonstram que nas áreas onde o uso foi somente pastagem, independentemente de ter sido realizada ou não a adubação de manutenção, existe uma tendência da RP ser maior no intervalo de 10 a 20 cm de profundidade. Fato que também foi observado por Torres *et al.* (2012) em trabalho desenvolvido com dois tratamentos compostos por Tifton 85, assim como por Ralisch *et al.* (2007) que verificaram índices elevados de RP na camada superior do solo, alcançando valores em torno de 3,5 MPa.

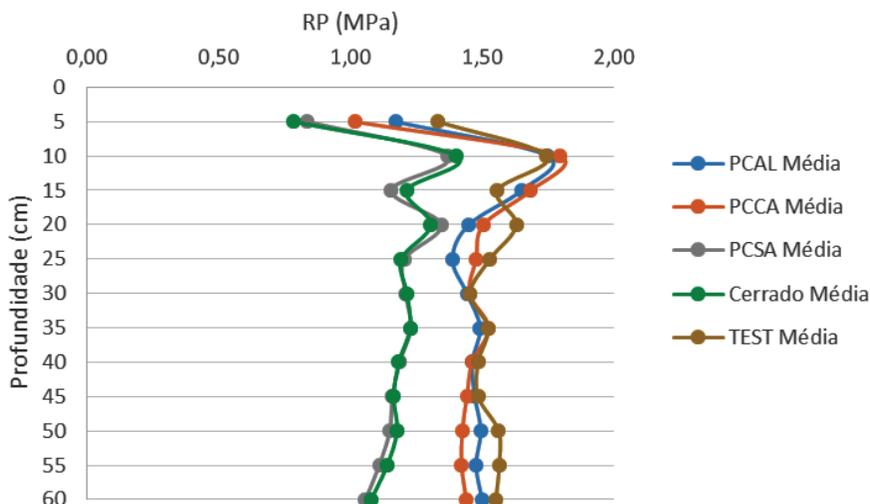


Figura 1. Resistência do solo a penetração (MPa) relacionada com a profundidade (cm), comparando as médias dos 4 anos avaliados dos sistemas (S1), utilizando como referência o Cerrado natural e a pastagem degradada (Testemunha).

Outro ponto a ser destacado na Figura 1 está relacionado com o subsistema PCSA, que apresentou os menores valores de RP entre os três tratamentos. Pondera-se que, além da menor taxa de lotação animal ao longo dos anos, isso pode também estar relacionado com o menor transito de máquinas e implementos agrícolas, pois neste tratamento não foi realizada adubação de manutenção. Ressalta-se ainda, que apesar de maiores, os valores de RP em PCCA e PCAL não foram impeditivos para a produção de forragem, e conseqüentemente, à produção animal nos sistemas (Macedo e Araujo, 2019).

Nota-se ainda na Figura 1 que os valores de RP observados para a testemunha (pastagem degradada) estão bem próximos aos obtidos para os tratamentos PCCA e PCAL, indicando que, mesmo degradado (perda de vigor, produtividade, presença de invasoras, pragas e doenças), este tratamento ainda não havia chegado a um estágio muito avançado de degradação das pastagens que culminaria na degradação do solo, conforme descrito por Macedo (1999).

Para o sistema lavoura contínua (S2), nota-se na Tabela 4, que na média de quatro anos de avaliação, o sistema LCCV apresenta valores menores para RP entre 0 e 15 cm de profundidade, quando comparados aos sistemas LCCS e LCPD. Essa situação pode estar associada ao revolvimento anual do solo com grade aradora e niveladora no LCCV. Todavia, em maiores profundidades, mais especificamente após os 20 cm, essa situação tende a ser inversa, e posteriormente, a se igualar. Esse aumento da RP em torno de 20 cm de profundidade, apesar de não restritivo neste trabalho, é popularmente denominado como “pé de grade”, pois é a profundidade em que o aumento da RP coincide com a faixa final de trabalho desse implemento agrícola. Situação semelhante foi observado por Araújo *et al.* (2013) que verificou este mesmo efeito na faixa de 20 a 35 cm de profundidade.

Ainda em relação ao S2, estudos demonstram que lavouras manejadas sob sistema de plantio direto (SPD) tendem a apresentar maior compactação nas primeiras camadas do solo. Nesse sentido, Filho *et al.* (2001) descreveram que na avaliação da RP (0-60 cm) no desenvolvimento do milho em sistemas de manejo convencional e plantio direto, a maior RP até 15 cm de profundidade foi observada no SPD, com valores atingindo 3,54 MPa. Situação semelhante a essa também foi constatada por Araújo *et al.* (2013) em trabalho que avaliou a RP em áreas de lavoura de soja sob diferentes formas de cultivo. Esse fato também foi observado no presente estudo, todavia os valores de RP se mantiveram menores que 2 MPa, isso mostra que ao longo dos anos, o plantio, os tratos culturais, e a colheita da soja no final do verão foram realizados, provavelmente, em condições de umidade de solo adequadas. Além disso, o cultivo de outono-inverno com gramíneas forrageiras, consorciadas ou não com guandu ou crotalária, pode ter influenciado positivamente na não ocorrência de camadas compactadas.

Na Figura 2 são apresentados dados de RP para os sistemas de lavoura contínua por ano de avaliação, tendo em vista ações de manejo de subsolagem no subsistema LCCS, a qual é realizada a cada quatro anos. Assim, é importante ressaltar que os valores obtidos para esse subsistema em 2013 refletem os efeitos da subsolagem realizada em 2009, relativos ao último ano desse ciclo. Já os valores de 2014 foram obtidos

no ano seguinte da subsolagem realizada em novembro de 2013. Como resultado dessa interação, a Figura 2 (a, b, c e d) é representada por ano de avaliação, e mostra o comportamento da dinâmica da RP ao longo dos anos no sistema de lavoura contínua (S2). Nota-se que em nenhum dos subsistemas avaliados os valores de RP foram considerados restritivos ao desenvolvimento da soja. Ressalta-se ainda, que os menores valores de RP nos três manejos do solo com lavoura contínua, foram observados em 2013 e 2014.

Na Figura 2 (a, b, c e d) nota-se claramente o efeito da subsolagem quando se compara as avaliações entre anos, principalmente para o tratamento LCCS. Observa-se na Figura 2 (a), ano 2013, que os valores de RP para os três subsistemas: LCCS, LCCV e LCPD estão bem próximos ao longo do perfil. Já em 2014, Figura 2 (b), aproximadamente quatro meses após a realização da subsolagem, realizada em novembro de 2013, nota-se que os valores de RP do subsistema LCCS ficaram bem próximos aos observados na vegetação natural de Cerrado, mostrando efeito marcante da subsolagem. No entanto, ao observarmos a Figura 2 (c e d) nota-se que esse efeito observado anteriormente em 2014 não estava presente nos anos subsequentes, mostrando, em princípio, que a subsolagem teve efeito pouco consistente.

Nota-se ainda nessa Figura e corroborando com os valores observados na Tabela 4 que os valores de RP no subsistema LCPD são maiores desde os primeiros centímetros avaliados, o que não acontece com o subsistema LCCV, com preparo anual do solo, onde observa-se aumento da RP a partir de 20 cm de profundidade.

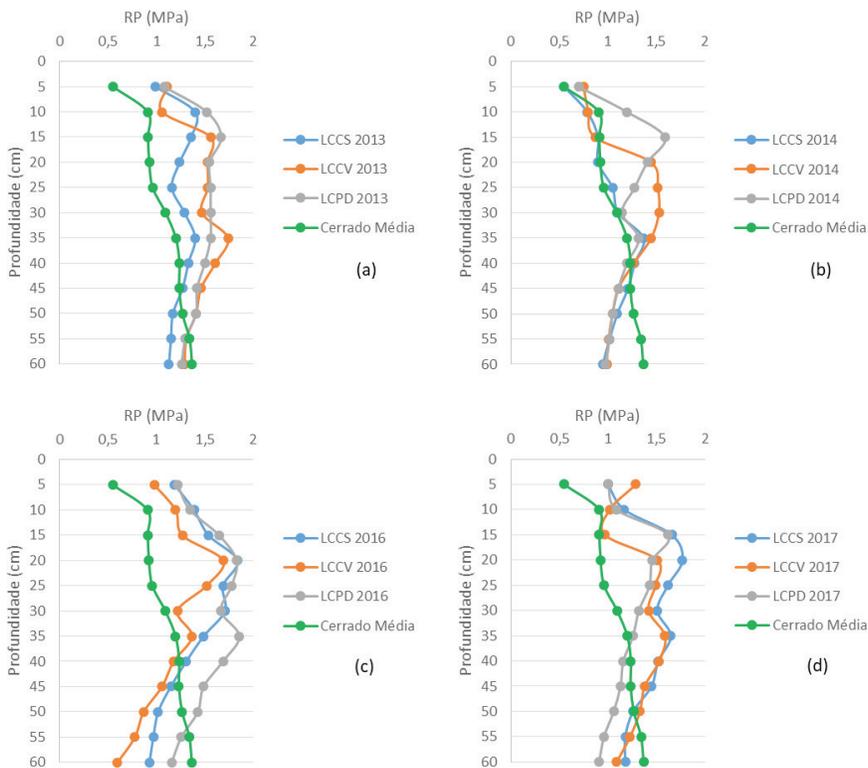


Figura 2. Resistência do solo a penetração (MPa) relacionada com a profundidade (cm), comparando os sistemas (S2) dentro do mesmo ano de avaliação, utilizando como referência a média dos quatro anos do Cerrado natural. 2013 (a), 2014 (b), 2016 (c) e 2017 (d).

Os tratamentos P4L4, P4L4F, L4P4 e L4P4F são discutidos em conjunto, pois são, de certa forma, complementares. Como já relatado, esses sistemas são muito semelhantes, diferindo apenas a fase de uso, ou seja, enquanto um se encontra na fase pastagem por 4 anos, o outro encontra-se na fase lavoura, pelo mesmo período. Nota-se que os tratamentos que possuem o componente florestal (F) apresentaram valores médios maiores para RP quando comparados ao seus pares, sem a floresta, inde-

pendentemente de estarem na fase pastagem ou lavoura (Tabela 4). Tais resultados podem ser explicados pelo fato das amostragens nos tratamentos com o componente florestal terem sido realizadas da seguinte forma: cinco delas foram coletadas próximas às linhas de árvores há 1,5 m, e as outras cinco foram realizadas entre os renques de árvores distantes há 7 m das árvores. Os dados apresentados referem-se a média dessas 10 avaliações.

Outra possível explicação para os maiores valores de RP nos sistemas com árvores pode estar no fato dos animais concentrarem o pastejo na sombra das árvores durante as épocas mais quentes do ano, buscando melhor conforto ambiental, o qual também coincide com a época das avaliações de RP. Por outro lado, as áreas na fase lavoura, tiveram tráfego do maquinário agrícola na condução da lavoura de soja, o qual pode ter influenciado esses maiores valores de RP nos sistemas com a presença do componente florestal. Adicione-se a essa explicação que o rodado do trator tende a seguir quase sempre o mesmo caminho quando próximo das linhas de árvores, ao passo que, no entre renque das árvores o trajeto pode alternado quanto a passagem dos pneus.

Sartor *et al.* (2020) avaliando a RP em um sistema silvipastoril cultivado com grevilea (*Grevillea robusta*) e o capim Tifton 85, em manejo rotacionado, com bovinos leiteiros, observaram os maiores valores de RP na faixa de 10 a 20 cm, próximo a linha das árvores, devido os animais buscarem conforto térmico nas áreas de maior sombreamento. Fato que corrobora com os resultados deste estudo.

A Figura 3, mostra a comparação entre os sistemas S3 e S4 ao longo dos quatro anos de avaliações. Importante lembrar que tais tratamentos são sistemas de ILP ou ILPF, e que em 2013, ano da primeira avaliação, o sistema S3 (P4L4 e P4L4F) estava no último ano (do ciclo de quatro anos) da pastagem, enquanto que o S4 (L4P4 e L4P4F) no último ano do ciclo de lavoura. Em 2014, ano da segunda avaliação, houve a inversão dos sistemas e o S3 passou a ser cultivado com lavoura de soja no verão, e diferentes rotações de outono-inverno, e o S4 com capim-massai.

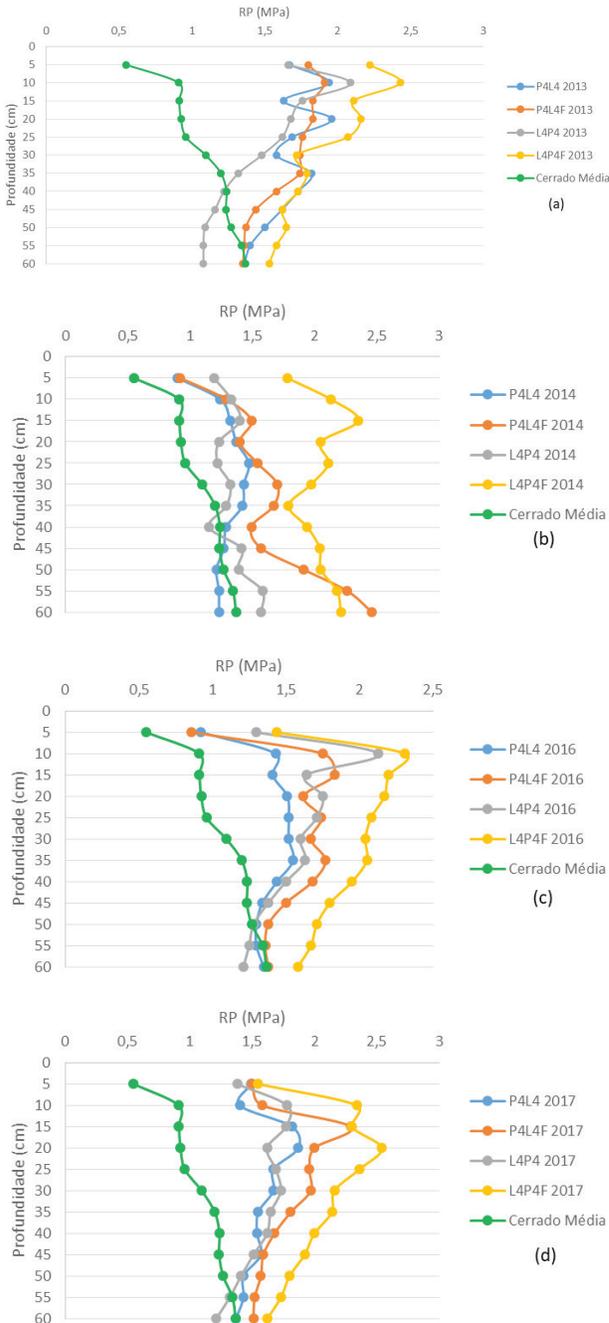


Figura 3. Resistência do solo a penetração (MPa) relacionada com a profundidade (cm), comparando os sistemas (S3 e S4) dentro do mesmo ano de avaliação. 2013 (a), 2014 (b), 2016 (c) e 2017 (d). Utilizando como referência a média dos quatro anos do Cerrado natural.

Dos quatro subsistemas avaliados, o que apresentou os maiores valores de RP foi o L4P4F. Este subsistema possui o componente florestal, no arranjo espacial de 14 x 2 m, o que pode ter influenciado no aumento da RP. Nesse sentido, Vogel e Fey (2016) observaram os maiores índices de RP em sistema silvipastoril (eucalipto e *Urochloa decumbens*) a partir dos 20 cm de profundidade, fato esse que foi atribuído ao crescimento radicular mais pronunciado, o que tende a comprimir o solo entre as raízes, conseqüentemente aumentando a compactação.

Importante destacar também que nos tratamentos dos sistemas S3 e S4, quando na fase anterior de pastagem, as áreas foram cultivadas com capim-massai, forrageira que apresenta hábito de crescimento cespitoso, formando touceiras, com vários espaços de solo descoberto. Este fato, contribui para que o animal pise diretamente no solo, o que não acontece com pastagens do gênero *Urochloa*, de hábito decumbente, que apresenta uma camada quase continua de forragem, acompanhada muitas vezes de material morto, que cobre o terreno e forma uma barreira entre o casco animal e o solo, o que contribui para diminuir o pisoteio animal sobre o solo.

A Figura 4 mostra os valores de RP no S5 (L1P3) ao longo do período experimental de 2013 a 2017. Nota-se que os menores valores de RP ocorreram no ano 2014. Nesse ano, por a ocasião da obtenção dos resultados o S5 estava sob lavoura de soja. Importante lembrar que de 2013 para 2014 houve uma diminuição geral nos valores de RP, para quase todos os sistemas avaliados (Tabela 3). Por outro lado, os maiores valores observados de RP foram no ano de 2013, que representa o último ano, dos quatro previstos a cada ciclo, sendo o terceiro com pastagens no sistema S5. Cabe destacar ainda, que nos anos de 2016 e 2017, houve uma tendência de aumento nos valores de RP, se aproximando dos valores observados em 2013.

Outro ponto que chama atenção está relacionado à magnitude dos efeitos em profundidade. Observa-se na Figura 4 que os maiores valores de RP foram obtidos até a camada de 20 cm de profundidade. Isso corrobora com Bono *et al.* (2013) que observaram esse mesmo efeito na faixa superior do solo, quando avaliou um sistema de manejo conduzido com 1 ano de lavoura seguido por 3 anos de pastagem, e Reichert *et al.* (2007) que descrevem que a compactação em áreas agrícolas, e em pastagens ocorre, geralmente, nos primeiros 20 cm da camada de solo, enquanto, em áreas florestais, a compactação do solo pode atingir maiores profundidades.

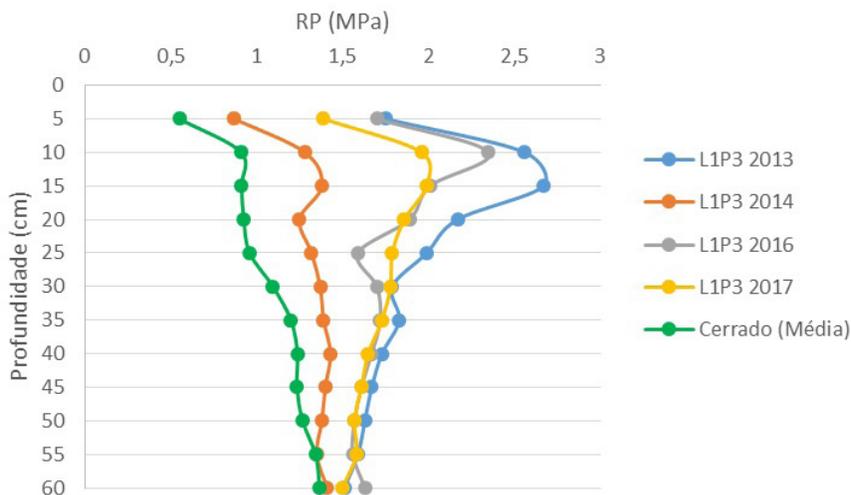


Figura 4. Valores de resistência do solo a penetração (MPa) relacionados com a profundidade (cm), comparando os quatro anos do sistema L1P3 (S5), utilizando o Cerrado nativo como referência (média 4 anos).

Observa-se também na Figura 4, que em nos anos 2013 e 2016, os valores de RP chegaram próximos a 2,5 MPa, o que, de acordo com Canarache (1990) são restritivos para o desenvolvimento radicular, prejudicando o desenvolvimento das plantas. No entanto, esse decréscimo na produção de forragem como um todo não foi observado, mostrando que tais valores, aparentemente, não foram restritivos ao desenvolvimento da forrageira. Além disso, o manejo animal no sistema, com ajuste da lotação animal, aumentando ou diminuindo o número de animais, em função da disponibilidade de forragem, aliado as adubações de manutenção anuais, podem ter contribuído para não prejudicar o desenvolvimento das plantas.

As avaliações de RP foram realizadas em quatro anos e em cinco grandes sistemas de produção: pastagens contínuas, lavouras contínuas e sistemas integrados de produção com ou sem a presença de árvores, e diferentes sistemas de rotação. Cada um desses grandes sistemas possuía subsistemas que já foram descritos anteriormente. Para a elaboração da Figura 5, os sis-

temas foram agrupados em três formatos: sistemas com pastagens (PCSA, PCCA, PCAL e TEST), sistemas com lavouras (LCCV, LCCS e LCPD) e sistemas integrados de produção (P4L4, P4L4F, L4P4, L4P4F e L1P3). Nessa figura, pode-se observar os valores médios de RP durante os quatro anos das avaliações.

Destaca-se que até 15 cm de profundidade as áreas de lavoura e de pastagens apresentaram comportamento semelhante, excetuando-se a profundidade de 10 cm, onde os valores de RP foram superiores para os sistemas com pastagens. A partir de 15 cm de profundidade, os valores de RP para esses dois sistemas foram bem semelhantes com tendência de diminuição, a partir dos 45 cm, para os sistemas com lavoura.

Os maiores valores de RP foram observados nas áreas com sistemas de integração (ILP e/ou ILPF), e esse fato está relacionado ao nível de intensificação dos sistemas, ao hábito das forrageiras, a maior lotação animal, e ao tráfego de máquinas.

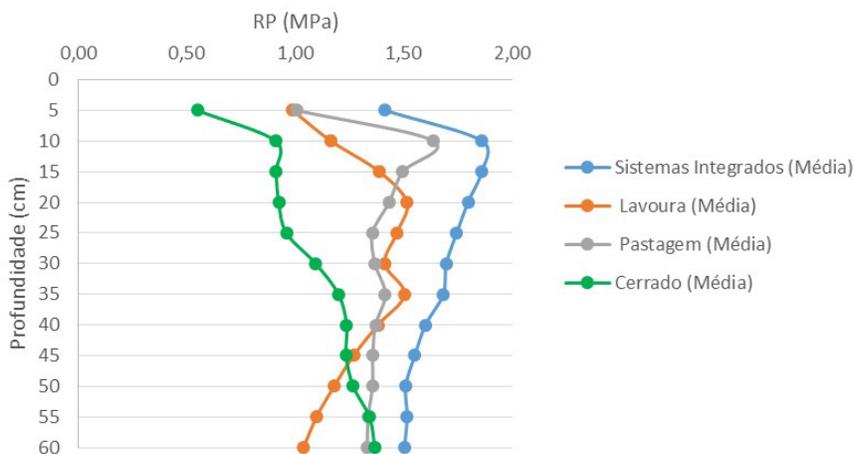


Figura 5. Valores de resistência do solo à penetração (MPa) relacionados com a profundidade (cm) dos quatro anos, comparando as médias dos sistemas integrados, pastagem e lavoura, utilizando o Cerrado nativo como referência.

Mesmo com a realização de ajustes de lotação animal, os sistemas integrados de produção são conduzidos com maior carga animal durante todo o ano, quando comparado com as áreas de pastagens contínuas de *Urochloa decumbens*. Além disso, o tráfego de maquinário agrícola seja para os tratos culturais da lavoura, para a realização das adubações de manutenção também colaboram para os aumentos detectados pelo penetrógrafo. Apesar disso, em nenhum dos sistemas avaliados, os valores de RP foram restritivos para o desenvolvimento das plantas, sejam elas forrageiras ou a culturas anuais.

Por outro lado, menores valores de RP nos primeiros 15 cm dos sistemas com lavouras contínuas podem estar relacionados ao período de outono-inverno, quando a área fica em pousio, com ou sem cobertura vegetal, o que minimiza os possíveis efeitos da compactação.

Tabela 4. Médias de resistência do solo à penetração (RP) em função da interação entre sistemas de produção e profundidades avaliadas no experimento (0 a 60 cm).

Sistemas de produção	Profundidade (cm)												
	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
	RP (Mpa)												
CERR	0,55 aA	0,91 aB	0,91 Ba	0,93 aB	0,96 aB	1,10 aC	1,20 aC	1,24 aC	1,24 aC	1,24 aC	1,27 bC	1,34 bD	1,37 cD
L1P3	1,43 eA	2,04 fD	2,02 fD	1,80 dC	1,68 eB	1,66 eB	1,67 cB	1,63 cB	1,58 bA	1,54 cA	1,53 cA	1,52 dA	1,52 dA
L4P4	1,39 eA	1,84 eC	1,64 dB	1,57 cB	1,56 dB	1,54 BB	1,48 bA	1,38 bA	1,37 aA	1,30 bA	1,31 bA	1,28 bA	1,28 bA
L4P4F	1,60 fA	2,31 gD	2,24 gD	2,24 eD	2,16 fD	1,98 dC	1,95 dC	1,91 dC	1,85 cC	1,81 dA	1,80 dA	1,80 dA	1,74 eA
LCCS	0,94 bA	1,19 bB	1,37 cC	1,44 bC	1,38 cC	1,41 bC	1,48 bC	1,37 bC	1,27 aC	1,14 aB	1,08 aB	1,08 aB	1,05 aB
LCCV	1,04 cA	1,02 aA	1,17 bB	1,55 cC	1,52 dC	1,42 bC	1,54 bC	1,40 bC	1,26 aB	1,17 aB	1,09 aA	1,09 aA	1,00 aA
LCPD	1,01 cA	1,30 bB	1,64 dD	1,57 cD	1,52 dD	1,43 bC	1,51 bD	1,39 bC	1,29 aB	1,24 aB	1,14 aA	1,14 aA	1,08 aA
P4L4	1,25 dA	1,51 cB	1,55 dB	1,68 dB	1,59 dB	1,55 bB	1,59 bB	1,51 bB	1,45 bB	1,36 bA	1,34 bA	1,34 bA	1,33 cA
P4L4F	1,28 dA	1,64 dB	1,86 eC	1,72 dC	1,76 eC	1,78 cC	1,75 cC	1,61 cB	1,53 bB	1,56 cB	1,63 cB	1,63 cB	1,68 eB
PCAL	1,18 dA	1,76 dC	1,65 dC	1,45 bB	1,39 cB	1,44 bB	1,50 bB	1,47 bB	1,48 bB	1,50 cB	1,48 cB	1,48 cB	1,50 dB
PCCA	1,02 cA	1,90 eD	1,75 eC	1,52 cB	1,49 dB	1,46 bB	1,55 bB	1,46 bB	1,43 bB	1,38 bB	1,36 bB	1,36 bB	1,40 cB
PCSA	0,84 bA	1,37 cC	1,16 bB	1,35 bC	1,21 bB	1,22 aB	1,24 aB	1,19 aB	1,16 aB	1,16 aB	1,11 aB	1,11 aB	1,06 aB
TEST	1,34 dA	1,75 dC	1,56 dB	1,63 dC	1,54 dB	1,46 bB	1,53 bB	1,49 bB	1,49 bB	1,57 cB	1,57 cB	1,57 cB	1,56 dB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Esquema 1. Esquema representativo dos sistemas de manejo e uso entre os anos de 2009/10 e 2016/17 com as respectivas culturas de primavera/verão e outono/inverno.

Trat.	Época	Ano 17		Ano 18		Ano 19		Ano 20		Ano 21		Ano 22		Ano 23		Ano 24		
		PV/OI	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out	CERR	Nov/Out
REF	CERR	PV/OI	CERR	2009/10	CERR	2010/11	CERR	2011/12	CERR	2012/13	CERR	2013/14	CERR	2014/15	CERR	2015/16	CERR	2016/17
REF	TEST	PV/OI	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh	BdB++Br+Bh
1	PCSA	PV/OI	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB
1	PCCA	PV/OI	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB	BdB
1	PCAL	PV/OI	BdB+Cal+EstB	BdB+Cal+EstB	BdB+Cal													
2	LCCV	PV/OI	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2	LCCS	PV/OI	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP
2	LCPD	PV/OI	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP	S/So+BbP
3	P4L4	PV/OI	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM	PmM
3	P4L4F	PV/OI	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E	PmM+E
4	L4P4	PV/OI	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So
4	L4P4F	PV/OI	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So	S/So
5	L1P3	PV/OI	S/So+BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP	BbP

Onde: REF – referência; Trat. – tratamentos; PV/OI – primavera-verão/outono-inverno; CERR – Vegetação natural de Cerrado; TEST – pasto degradado; PCSA – Pasto contínuo sem adubação; PCCA – Pasto contínuo com adubação de manutenção; PCAL – Pasto contínuo com adubação de manutenção + leguminosa; LCCV – Lavoura contínua convencional; LCCS – Lavoura contínua conservacionista (subsologem a cada 4 anos); LCPD – Lavoura contínua plantio direto; P4L4 – Pastagem 4 anos + Lavoura 4 anos; P4L4F – Pastagem 4 anos + Lavoura 4 anos + Eucalipto (14 x 2); L4P4 – Lavoura 4 anos + Pastagem 4 anos; L4P4F – Lavoura 4 anos + Pastagem 4 anos + Eucalipto (14 x 2); L1P3 – Lavoura 1 ano + Pastagem 3 anos; BdB – *Brachiaria decumbens* Basilisk; Br – *Brachiaria ruzizienses*; Bh – *Brachiaria humidicola*; BbM – *Brachiaria brizantha* Marandu; BbP – *Brachiaria brizantha* Piatã; Bbl – *Brachiaria brizantha* híbrida Ipyorã; PmM – *Panicum maximum* Massai; EstB – Estilosantes Bela; Cal – Calopogônio; S – soja; So – sorgo; Mi – milho; G – Guandu; E – eucalipto..

Conclusões

Alterações na qualidade física do solo, quando avaliadas por meio da RP, são significativas em relação ao sistema de uso e manejo do solo, sendo a vegetação nativa a que possui os menores valores, as pastagens contínuas e bem manejadas valores intermediários, e os sistemas integrados os mais elevados.

Valores mais elevados de RP observados nos sistemas ILP/ILPF podem estar relacionados ao nível de intensificação dos sistemas, seja pela maior lotação animal, hábito das forrageiras ou tráfego de máquinas.

A presença do componente arbóreo, e arranjo espacial de 14 x 2 m, nos sistemas integrados elevou os valores de RP, quando comparados aos sistemas similares, sem o componente arbóreo conduzidos a pleno sol.

Os valores de RP observados neste estudo, menores do que 2 Mpa, independentemente do sistema de manejo ou uso, não foram restritivos para o desenvolvimento das plantas.

Agradecimentos

À Embrapa Gado de Corte, à Universidade Anhanguera - UNIDERP, pela concessão de bolsa de estudo, à Associação Rede ILPF e à Fundect MS.

Referências

AMPOORTER, E.; VAN NEVEL, L.; DE VOS, B.; HERMY, M.; VERHEYEN, K. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. **Forest Ecology and Management**, v.260, n. 10, p. 1664-1676, 2010.

ARAUJO, A. R.; MACEDO, M. C. M.; FERREIRA, A. D.; GONÇALVES, A. A.; FRANÇA, A. N.; MALDONADO, E. C. Resistência a penetração em diferentes sistemas de cultivo e práticas de preparo do solo no Sudoeste do Cerrado. In: **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2013, Florianópolis.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. eds. Methods for assessing soil quality. Madison. **Soil Science Society**, 1996.

- BECK, F.L.; BOHNEN, H.; CABEDA, M.S.V.; CAMARGO, F.A.O.; KAMPF, N.; MEURER, E.J. Projeto pedagógico de ensino de graduação. **Boletim Técnico**. Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, n. 6, 2000. 26 p.
- BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; JUNIOR, H. B. M.; BORGES, E. N. Resistência do solo a penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-9, 2010.
- BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 743-753, 2013.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, 43:205-217, 1997.
- CANARACHE, A. Penetrometer - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 3ed, Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ed, Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p.
- FILHO, J. T.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 725-730, 2001.
- GURGEL, A. L. C. **Interação solo-planta-animal em pastos de capim-mombaça sob efeito residual do nitrogênio**. 2019. 56f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba - RN.
- JONG VAN LIER, Q.; LIBARDI, P. L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 1005-1014, 1999.
- LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada, **Soil Till. Res.**, v. 78, p. 151-170, 2004.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, Springer, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.
- MACEDO, M. C. M. Degradação de Pastagens: Conceitos e Métodos de Recuperação. In: Simpósio Sustentabilidade da Pecuária de Leite no Brasil. 1999, Goiania – GO. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite / Goiania, 1999. P. 137-150.
- MACEDO, M.C.M.; ARAÚJO, A.R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G.; LAURA,

V.A.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (Eds.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 295-317.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A. et al. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. V.5, p.49-134.

SANTOS, M. H. F.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. A. Estimativa da compactação através da resistência do solo à penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça – SP, n. 27, 2015.

SARTOR, L. R.; RAMÃO, J.; SILVA, V. P.; CASSOL, L. C.; BRUN, E. J. Resistência mecânica do solo à penetração em sistemas silvipastoris após onze anos de implantação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 231-241, 2020.

TAYLOR, H. M., ROBERTSON, G. M., PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, New York, v.102, p.18-22, 1966.

TORRES, J. L. R.; RODIGUES JUNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 232-239, 2012.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia- MS, v. 3, n. 1, p. 21–26

Embrapa

Gado de Corte



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

