



## Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas integrados e de uso do solo<sup>(1)</sup>

Alexandre Romeiro de Araújo<sup>(2)</sup>  
Manuel Cláudio Motta Macedo<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Trabalho com apoio financeiro da Embrapa, Fundect e CNPq.

<sup>(2)</sup> Zootecnista; CRMV/MS 00732/Z, Dr., Pesquisador da Embrapa Gado de Corte. Av. Radio Maia, 830- Vila Popular. CEP 79106-550 Campo Grande-MS. E-mail: [araujo.ar@cnpqc.embrapa.br](mailto:araujo.ar@cnpqc.embrapa.br)

<sup>(3)</sup> Eng. Agr., PhD, CREA N.º 31.309/D- Visto 3.400/MS; Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Bolsista do CNPq.

### Resumo

A degradação das pastagens é o fator mais importante, na atualidade, que compromete a sustentabilidade da produção animal. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo através da resistência à penetração, em diferentes sistemas de manejo. O experimento foi instalado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. O solo local é um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso. Os tratamentos constituem cinco sistemas de produção: Pastagem Contínua; Lavoura Contínua; Pastagem 4 anos- Lavoura 4 anos; Lavoura 4 anos - Pastagem 4 anos ; Lavoura 1 ano- Pastagem 3 anos. Avaliações foram também realizadas em uma área de Cerrado Nativo bem como em uma Pastagem em Degradação. As parcelas experimentais foram constituídas de piquetes de 50 x 140 metros. Os resultados das avaliações de RP indicaram que, independentemente do sistema de produção, os valores de RP foram maiores nas camadas superficiais do solo, excetuando-se a vegetação nativa, onde houve inversão desta tendência. De maneira geral, os valores de RP foram maiores nas áreas de ILP e ILPF. Nas áreas de ILPF observou-se que os valores de RP foram em média maiores quando próximos a linhas de eucalipto se comparados aos valores da entrelinha. Este fato, ilustra de maneira contundente que apesar do pouco tempo de plantio do eucalipto, de 2 e 3 anos, no espaçamento de 14 x 2 m, estes influenciam significativamente no aumento da RP e na diminuição do teor de umidade, alterando a qualidade física do solo.

Palavras chave: características físicas, qualidade do solo, sistemas de produção.

### Introdução

Os solos ocupados por pastagens em geral são marginais quando comparados àqueles usados pela agricultura de grãos. Estes apresentam problemas de fertilidade natural, acidez, topografia, pedregosidade ou limitações de drenagem (Adamoli et al., 1986). Os solos de melhor aptidão agrícola são ocupados pelas lavouras anuais de grãos ou as de grande valor industrial para a produção de óleo, fibras, resinas, açúcar, etc. Dessa forma, é de se esperar que as áreas de exploração para os bovinos de corte apresentem problemas de produtividade e de sustentabilidade de produção.

Dexter & Youngs (1992) argumentam que a quantificação e a compreensão das alterações físicas do solo devidas ao seu uso e manejo são fundamentais para o estabelecimento de sistemas agrícolas sustentáveis. As avaliações destas alterações deveriam ser feitas submetendo um solo sob vegetação nativa às explorações agrícolas desejadas (uso e manejo) e analisando suas propriedades físicas periodicamente.

A degradação das pastagens é o fator mais importante, na atualidade, que compromete a sustentabilidade da produção animal, e pode ser explicada como um processo dinâmico de degeneração ou de queda relativa da produtividade (Zimmer et al. 1994; Macedo, 1999, 2000). A reversão desse quadro tem sido realizada pela utilização de várias tecnologias importantes, tais como: o sistema de plantio direto (SPD), que contempla não só o preparo mínimo do solo, mas também a prática de rotação de culturas, e os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILPs).

Neste contexto, a Embrapa vem atuando no desenvolvimento e na transferência de tecnologias para aumentar a eficiência de utilização de pastagens e do SPD em áreas de Cerrado.



Entretanto, pesquisas de longa duração, avaliando o impacto do manejo do solo, associado a práticas de cultivo, sobre a pastagem são raras no Centro-Oeste do Brasil. Desta forma, no presente trabalho avaliou-se a qualidade do solo através da resistência do solo à penetração, em diferentes sistemas de manejo, em pastejo contínuo, lavoura contínua e sistemas integrados e rotacionados de lavoura-pecuária-floresta.

## Material e Métodos

O experimento instalado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, situa-se nas coordenadas: 20°24'57" S, e 54°42'32" W. O padrão climático da região é descrito, segundo Köppen, como pertencente à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido. A precipitação média anual é de 1.560 mm, e o período considerado de seca compreende os meses de maio a setembro.

As avaliações da resistência à penetração (RP) foram realizadas no período de 26 a 30/03/2012. A precipitação durante esse mês foi de aproximadamente 94 mm, sendo que o último volume de chuva significativo ocorrido na área foi no período de 16 a 19/03/2012 onde a precipitação acumulada foi de 46 mm.

O solo do local é um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (Embrapa, 2006), com valores de argila variando de 40 a 45%. O histórico da área é conhecido desde 1979, com análises químicas e físicas. As parcelas estudadas vêm sendo utilizadas desde 1993/94, com diferentes combinações de rotações.

Os tratamentos principais foram constituídos por cinco sistemas de produção: Pastagem Contínua (PCCA); Lavoura Contínua (LCPD); Pastagem 4 anos- Lavoura 4 anos (P4LS, P4LM); Lavoura 4 anos - Pastagem 4 anos (L4PS, L4PM); Lavoura 1 ano- Pastagem 3 anos (L1PS, L1PM). Avaliações foram também realizadas em uma área de Cerrado Nativo (VN) bem como em uma Pastagem em Degradação (PD).

As parcelas experimentais foram constituídas de piquetes de 50 x 140 metros. A RP foi avaliada em 10 posições, em duas linhas paralelas dentro do piquete, distanciadas de vinte metros, com uma bordadura de no mínimo 15 metros em cada lado. Nas áreas de iLPF, a avaliação da RP foi ligeiramente modificada. Com intuito de avaliar a influência do componente florestal na qualidade do solo, além de avaliações na entrelinha do eucalipto, também foi realizada avaliação próxima a linha de plantio (1,5 m). A fim de relacionar a RP com o teor de umidade do solo, foram retiradas amostras para determinação da umidade em cada piquete, nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm.

A resistência à penetração foi medida com um penetrógrafo modelo SC60 da Soil Control. Os resultados originais obtidos em  $\text{kgf.cm}^{-2}$  foram posteriormente convertidos em MPa. Para minimizar os efeitos da umidade nos valores da RP, foi realizada uma correção desta de acordo com o proposto por Busscher et al.(1997).

Os dados foram submetidos à aplicação do teste F, na análise da variância, com utilização do software SAS 9.2, procedimento GLM. Quando da significância do teste F, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias, ambos com 5% de significância.

## Resultados e Discussão

Os resultados das avaliações de Resistência à Penetração (RP) indicaram que, independentemente do sistema de produção, os valores de RP tendem a ser mais elevados nas camadas superficiais do solo, excetuando-se a Vegetação Nativa, aqui representada pelo Cerrado, onde houve inversão desta tendência (**Tabela 1**). De maneira geral, observa-se nesta tabela que, apesar do rigoroso controle da lotação animal e do tráfego de maquinário (caso da Lavoura Contínua em Plantio Direto), que os valores de RP são consideravelmente maiores onde houve algum tipo de intervenção antrópica. Nos tratamentos onde a pastagem contínua é o principal sistema, Pastagem em Degradação e Pastagem Contínua com Adubação de Manutenção, observa-se

que os valores de RP foram maiores neste último. Muito provavelmente, esta diferença pode ser explicada em função da taxa de lotação animal, visto que, na pastagem adubada a taxa de lotação foi pelo menos duas vezes maior que na Pastagem em Degradação. Nos tratamentos onde o sistema de produção foi integração lavoura-pecuária (ILP), os valores de RP foram em média os mais elevados. Os tratamentos Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos implantada com milho e Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos implantada soleira os valores mostraram-se elevados, inclusive em profundidade. Esta tendência também ocorreu no tratamento Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos, com cultura de inverno – sorgo forrageiro. O tratamento do sistema ILP que apresenta os melhores resultados de qualidade do solo avaliado pela RP é o Lavoura 4 anos e Pastagem 4 anos, com cultura de inverno. Neste sentido, pode-se inferir que o maior tempo de pastagem nas áreas de ILP tem minimizado os efeitos adversos da RP. Outro ponto interessante e que vale ressaltar ao observar a Tabela 1 é que os valores de RP, apesar da tendência em diminuir com a profundidade, aumentaram ao redor de 20 cm de profundidade em quase todos os tratamentos, e depois tendem a diminuir. Esta profundidade coincide aproximadamente à profundidade de trabalho do maquinário agrícola e pode estar relacionada a este fato.

Quando da avaliação dos valores de RP nos tratamentos, foram retiradas amostras de umidade do solo para tentar correlacionar os efeitos da RP com a umidade. Os valores médios de umidade para cada tratamento podem ser observados na **Tabela 2**. Nota-se nesta que houve diferenças significativas para esta avaliação em todos os tratamentos, sendo que a Vegetação Nativa foi o tratamento que apresentou maior umidade e o tratamento Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos, com cultura de inverno – sorgo forrageiro, o menor. Observa-se ainda que os valores de umidade foram menores nas áreas de SILPs. Estima-se que este efeito pode ter sido causado pela maior evapotranspiração nestas áreas, visto que as pastagens nesses piquetes (*P. maximum* cv. Massai) possuíam substancialmente maior área foliar e mais espaços abertos entre touceiras, quando comparadas as demais pastagens nos outros sistemas de produção.

**Tabela 1.** Resistência do solo à penetração (MPa) em diferentes profundidades e sistemas de uso e manejo.<sup>(1)</sup>

PROF. (cm)	Sistemas								MÉDIA
	VN	PASTAGEM		LAVOURA		-----ILP-----			
	CERRADO	PD	PCCA	LCPD	L1PM	L1PS	L4PM	P4LM	
	-----MPa-----								
5	1,73 C	2,74 B	3,70 A	2,44 BC	4,06 A	3,76 A	2,76 B	3,68 A	<b>3,11</b>
10	1,84 E	2,31 DE	2,97 BCD	2,46 CDE	3,81 A	3,62 AB	2,68 CD	3,13 ABC	<b>2,85</b>
15	2,02 C	2,15 C	2,97 AB	2,35 BC	3,47 A	3,38 A	2,39 BC	2,88 AB	<b>2,70</b>
20	2,22 D	2,53 DC	2,96 BC	2,25 D	3,51 AB	3,48 AB	2,46 DC	3,71 A	<b>2,89</b>
25	2,22 C	2,52 BC	2,96 BA	2,11 C	3,31 A	3,33 A	2,29 C	3,17 A	<b>2,74</b>
30	2,17 C	2,41 BC	2,92 AB	2,04 C	3,13 A	3,18 A	2,18 C	3,02 A	<b>2,63</b>
35	2,30 BC	2,40 BC	2,80 AB	2,10 C	3,06 A	3,23 A	2,13 C	3,29 A	<b>2,66</b>
40	2,20 C	2,31 BC	2,76 BA	1,90 C	3,03 A	3,05 A	2,06 C	3,10 A	<b>2,55</b>
45	2,11 BC	2,24 BC	2,64 BA	1,80 C	2,97 A	2,96 A	1,82 C	3,18 A	<b>2,47</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>2,09 E</b>	<b>2,40 C</b>	<b>2,96 B</b>	<b>2,16 DE</b>	<b>3,37 A</b>	<b>3,33 A</b>	<b>2,31 CD</b>	<b>3,24 A</b>	<b>2,73</b>

(1) Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Onde: VN (Vegetação Nativa), PD (Pastagem em Degradação), PCCA (Pastagem Contínua com Adubação), LCPD (Lavoura Contínua em Plantio Direto), L1PM (Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos – implantada com milho), L1PS (Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos – implantada solteira), L4PM (Lavoura 4 anos e Pastagem 4 anos com cultura de inverno) e P4LM (Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos – com cultura de inverno – sorgo forrageiro).

Neste estudo, os valores de RP aqui apresentados foram corrigidos em função da umidade do solo. Os valores de RP medidos foram ajustados através de funções matemáticas (Busscher et al., 1997). Apesar dos valores de RP corrigidos terem sido satisfatórios, notou-se que as equações propostas pelos pesquisadores melhor se comportam quando os teores de umidade estão próximos ou maiores que 0,20 g.g<sup>-1</sup>. Nesta faixa as avaliações de RP poderão ser melhor interpretadas dentro do contexto de intervalo hídrico ótimo, como avaliado por Leão et. al (2004).

O valor de RP = 2 MPa tem sido utilizado como crítico para o desenvolvimento das plantas (Lapen et al., 2004). Ainda que 2,5 MPa tenha sido utilizado em solos sob pastagem (Leão et al., 2004) e 3,0 MPa em solos sob florestas (Zou et al., 2000). O valor de 3,5 MPa foi utilizado por

Tormena et al. (2007) em solo cultivado em longo prazo sob plantio direto, justificado pela presença de bioporos contínuos e efetivos no solo sob plantio direto, o que corrobora com os resultados obtidos neste ensaio.

**Tabela 2.** Valores médios de umidade nos diferentes tratamentos quando das avaliações de RP.<sup>(2)</sup>

Sistemas								
VN	PASTAGEM		LAVOURA		-----ILP-----			
CERRADO	PD	PCCA	LCPD	L1PM	L1PS	L4PM	P4LM	MÉDIA
-----g.g <sup>-1</sup> -----								
0,226 A	0,175 G	0,197 C	0,188 D	0,182 F	0,200 B	0,185 E	0,154 H	<b>0,188</b>

(2) Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Onde: VN (Vegetação Nativa), PD (Pastagem em Degradação), PCCA (Pastagem Contínua com Adubação), LCPD (Lavoura Contínua em Plantio Direto), L1PM (Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos – implantada com milho), L1PS (Lavoura 1 ano e Pastagem 3 anos – implantada solteira), L4PM (Lavoura 4 anos e Pastagem 4 anos com cultura de inverno) e P4LM (Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos – com cultura de inverno – sorgo forrageiro).

A RP também foi avaliada em áreas de SILPFs (Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta) a fim de mostrar o efeito do componente florestal na qualidade física do solo. Na **Tabela 3** observa-se que os valores de RP foram em média maiores quando próximos a linhas de eucalipto quando comparados aos valores da entrelinha. Este fato é observado no tratamento Lavoura 4 anos e pastagem 4 anos, onde a diferença dos valores médios de RP, em MPa, saltaram na média de 2,68 na entrelinha para 4,15 nas proximidades da linha de eucalipto. Resultados semelhantes, apesar de menos expressivos também podem ser verificados no tratamento Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos. Este fato, ilustra de maneira contundente que apesar do pouco tempo de plantio do eucalipto, de 2 e 3 anos respectivamente, no espaçamento de 14 x 2 m, estes influenciam significativamente no aumento da RP, no teor de umidade e consequentemente na qualidade física do solo.

**Tabela 3.** Resistência do solo à penetração (MPa) em diferentes profundidades em áreas de ILPF, em diferentes locais de avaliação: C (entrelinha) e E (próximo a linha de eucalipto).<sup>(3)</sup>

Sistemas						
	VN	-----ILPF-----				
	CERRADO	L4PS	L4PS	P4LS	P4LS	
PROF.		C	E	C	E	MÉDIA
-----MPa-----						
5	1,73	2,88	4,35	3,02	3,73	<b>3,14</b>
10	1,84	2,88	4,66	2,93	3,35	<b>3,13</b>
15	2,02	2,63	4,41	2,63	3,52	<b>3,04</b>
20	2,22	2,86	4,06	2,94	3,31	<b>3,08</b>
25	2,22	2,63	3,93	2,96	3,53	<b>3,05</b>
30	2,17	2,48	3,84	3,07	3,32	<b>2,98</b>
35	2,30	2,61	3,94	2,97	3,21	<b>3,01</b>
40	2,20	2,45	3,98	3,33	3,00	<b>2,99</b>
45	2,11	2,32	3,84	3,37	3,10	<b>2,95</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>2,09<sup>(4)</sup></b>	<b>2,68a</b>	<b>4,15b</b>	<b>2,98a</b>	<b>3,37b</b>	<b>3,04</b>

(3) Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

(4) Tratamento referência, não incluído nas análises estatísticas.

Onde: VN (Vegetação Nativa), L4PS (Lavoura 4 anos e Pastagem em 4 anos), P4LS (Pastagem 4 anos e Lavoura 4 anos).

## Conclusões

- A umidade do solo afeta diretamente os valores de RP, e, portanto, para este solo recomenda-se tomar medidas de RP quando o solo apresentar valores de umidade em torno de 0,20 g.g<sup>-1</sup> de solo;
- Ações antrópicas afetam de maneira negativa a qualidade física do solo, quando avaliadas por meio da RP, tomando-se como referência áreas de vegetação natural;
- O componente florestal nas áreas de ILPF tende a maximizar os valores da RP, tanto nas proximidades da linha de eucalipto, quanto na entrelinha, quando o espaçamento adotado for o de 14 x 2 m.



## Bibliografia Citada

- ADAMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, J.G.; NETTO, J.M. 1986. Caracterização da região dos Cerrados. In: **Solos dos Cerrados: Tecnologias e Estratégia de Manejo**. EMBRAPA/CPAC. São Paulo – Brasil. Nobel, p.-33-74.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Till. Res.**, 43:205-217.
- DEXTER, A.R. & YOUNGS, I.M. 1992. Soil physic toward 2000. **Soil Till. Res.**, 24:101-106.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro – Brasil. 2ª Ed., 306 p.
- LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil Till. Res.**, 78:151-170.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. 2004. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:415-423.
- REUNIÃO LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, 16, 2000, Montevideu, 2000. Sistemas de produção animal em pasto nas Savanas Tropicais da América: Limitações à Sustentabilidade. MACEDO, M. C. M. Montevideu – Uruguai: Alpa. Delmercosur.com . CD-ROM.
- SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL. 1999. **Degradação de Pastagens: Conceitos e Métodos de Recuperação**. MACEDO, M. C. M. Embrapa Gado de Leite. p.137-150.
- TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J. & COSTA, J.M. 2007. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:211-219.
- XI SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM. 1994, Piracicaba. 1994. Estabelecimento e recuperação de pastagens de Brachiaria. ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; BARCELLOS, A. O.; KICHEL, A. N. Piracicaba – Brasil. FEALQ, p. 153-208.
- ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G. & HUDSON, I. 2000. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Aust. J. Soil Res.**, 28:947-958.