



Revista  
Técnico-Científica



## COMPACTAÇÃO DO SOLO: EFEITOS NA NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS FORRAGEIRAS

Antonio Leandro Chaves Gurgel<sup>1</sup>, Juliana Carolina Santos Santana<sup>1</sup>, Gustavo de Faria Theodoro<sup>2</sup>, Gelson dos Santos Difante<sup>2</sup>, Emizael Menezes de Almeida<sup>1</sup>, Angelo Herbet Moreira Arcanjo<sup>1</sup>, Carolina Marques Costa<sup>1</sup>, Ana Beatriz Graciano da Costa<sup>1</sup>, Patrick Bezerra Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; <sup>2</sup>Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

**RESUMO:** A maioria dos estudos com plantas forrageiras tem como objetivo avaliar a produção primária e secundária. No entanto, qualquer interferência no ecossistema pastagem (manejo do pasto, adubação e época do ano) que modifique o nível de pisoteio exercido pelo animal irá modificar a estrutura do solo com reflexo na produção vegetal e animal. O manejo do pasto é fator primordial para controle das características físicas do solo independentemente do nível de intensificação. Portanto, o objetivo dessa revisão foi discutir o efeito da compactação do solo na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras, discutir resultados obtidos em diferentes situações, a importância de avaliar as características físicas do solo e pontuar as causas e efeitos da compactação do solo em sistemas de produção em pastos tropicais. Além disso, descrever resultados e práticas capazes de garantir a sustentabilidade de áreas implantadas com pastos cultivados e de minimizar os efeitos do pisoteio na física do solo.

Palavras-chave: física do solo, pastos tropicais, pisoteio animal, sustentabilidade.

## SOIL COMPACTION: EFFECTS ON MINERAL NUTRITION AND PRODUCTIVITY OF FORAGE PLANTS

**ABSTRACT:** Most studies with forage plants aim to evaluate primary and secondary production. However, any interference in the pasture ecosystem (pasture management, fertilization and time of year) that changes the level of trampling exerted by the animal will modify the soil structure with a reflection on plant and animal production. Pasture management is a key factor for controlling the physical characteristics of the soil and the root system of forage grasses regardless of the level of intensification. Therefore, the objective of this review was to discuss the effect of soil

*compaction on mineral nutrition and productivity of forage plants, to discuss results obtained in different situations, the importance of assessing the physical characteristics of the soil and to score the causes and effects of soil compaction. In production systems in tropical pastures. In addition, describe results and practices capable of guaranteeing the sustainability of areas implanted with cultivated pastures and minimizing the effects of trampling on soil physics.*

*Keywords: animal trampling, tropic pastures, soil physics, sustainability.*

## INTRODUÇÃO

A presença de nutrientes essenciais no solo em quantidades equilibradas, aliados às características biológicas (microfauna), são fundamentais para o desenvolvimento dos agroecossistemas. Entretanto, além da química e biologia, as características físicas que indicam o grau de compactação devem ser levadas em consideração para que um solo seja considerado produtivo (HAYNES; GRAHAM, 2004). O estudo dos atributos físicos do solo pode ser considerado um fator chave na avaliação da qualidade do solo nos sistemas pecuários devido a influência direta do pisoteio dos animais (STAVI et al., 2012).

Estudos sobre sistemas de produção animal baseados em pastagens buscam formas de aumentar a produtividade a fim de otimizar os recursos financeiros e ambientais. Esses objetivos podem ser alcançados com a intensificação dos sistemas de produção por meio de práticas de gestão, uso estratégico da suplementação (FERNANDES et al., 2020a), escolha de cultivares mais produtivas (VALLE et al., 2013) e o uso de fertilização como a do nitrogênio (BERNARDI et al., 2018). Essas práticas, além de possibilitar maior intensificação do sistema de produção, também aumentam os riscos de compactação do solo em virtude da elevação na taxa de lotação e do pisoteio (LANZANOVA et al., 2007; FIDALSKI et al., 2008; TORRES et al., 2013).

No entanto, a maioria dos estudos com plantas forrageiras não enfocam as alterações nas características físicas do solo promovidas pelo pisoteio dos animais. Assim, esta revisão de literatura propõe examinar o efeito da compactação do solo na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras e descrever os resultados

obtidos em diferentes situações, a importância de avaliar as características físicas do solo e pontuar as causas e efeitos da compactação do solo em sistemas de produção em pastos tropicais. Além disso, descrever resultados e práticas capazes de garantir a sustentabilidade de áreas implantadas com pastos cultivados e de minimizar os efeitos do pisoteio na física do solo.

### Compactação do solo

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada. Esse fenômeno pode ser causada por diversos fatores (RICHART et al., 2005), no caso específico dos solos implantados com pastos o principal responsável é o pisoteio dos animais. A pressão exercida por bovinos durante o pastejo pode chegar a 0,21 MPa para bovinos de 500 kg, enquanto que um trator de esteira exerce somente 0,01 a 0,02 MPa de pressão (TORRES et al., 2012).

O processo de compactação é ocasionado por dois fatores (i) fatores externos: caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência de pastejo (EMERENCIANO NETO, 2015; GURGEL, 2019); (ii) fatores internos: histórico da tensão, umidade, textura, estrutura, densidade inicial do solo e teor de carbono (RICHART et al., 2005).

Os impactos do pisoteio animal na qualidade física do solo têm sido quantificados por meio de diferentes avaliações relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como: compactação do solo, resistência do solo à penetração das raízes (RP), estrutura, porosidade total, tamanho e continuidade dos poros, adsorção e absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular (BERTOL et al., 2000; ISHAQ et al., 2001; LANZANOVA et al., 2007; FIDALSKI et al., 2008; TORRES et al., 2013; EMERENCIANO NETO, 2015; GURGEL, 2019).

As modificações nestas características ocasionadas pelo manejo inadequado resultam em alterações nos padrões de absorção de nutrientes e produção das plantas forrageiras. Portanto antes de abordar o efeito da compactação do solo na nutrição e na produtividade da planta, será abordado alguns aspectos referentes a estes assuntos.

## Nutrição mineral em plantas forrageiras

As plantas forrageiras, de maneira geral absorvem, sem distinção do tipo de solo, os elementos que são vitais para elas, assim como os considerados úteis e os tóxicos. Além do carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H), os elementos essenciais são divididos em dois grupos que levam em consideração o grau de exigência das plantas: os macronutrientes – nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e os micronutrientes – boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibidênio (Mo) e zinco (Zn) (NOVAIS et al., 2007).

A análise elementar da matéria seca da planta mostra que cerca de 90% do total de elementos corresponde ao C, O e H (HOPKINS; HOPKINS, 2018). O restante corresponde à fração mineral, e o solo é o responsável por fornecer todos esses outros elementos. Portanto, do ponto de vista quantitativo, o solo é o meio de menor importância no fornecimento de elementos às plantas; entretanto, é o mais facilmente modificável pelo homem, tanto no aspecto físico (aração, gradagem, drenagem) quanto no químico (calagem e adubação).

Para que os íons que se encontram na solução do solo sejam absorvidos pela planta é necessário que este entre em contato com o sistema radicular, que pode ocorrer de três formas: interceptação radicular – à medida que a raiz se desenvolve, entra em contato com os elementos da fase líquida e sólida do solo. A contribuição deste processo é muito pequena e a quantidade é proporcional à relação existente entre a superfície das raízes e a superfície das partículas do solo (MALAVOLTA, 2006), quanto maior a compactação do solo, menor será essa relação (BONELLI et al., 2011); fluxo de massa – é o movimento do íon em uma fase aquosa móvel, essa forma de contato é importante para o N, Ca, Mg, S e micronutrientes (MALAVOLTA, 2006); difusão – é o movimento do íon em uma fase aquosa estacionária a curtas distâncias. A difusão é o principal processo de contato do P e K do solo com as raízes, portanto a aplicação de adubos potássicos e fosfatados deve ser localizada para facilitar o contato do elemento com o sistema radicular (NOVAIS et al., 2007). Para que o contato íon-raiz seja estabelecido, através da difusão e do fluxo de massa é essencial que a condutividade hidráulica do solo, que é a facilidade com que a água se movimenta no solo, esteja em condições adequada (GONÇALVES; LIBARDI,

2013), essa característica é influenciada negativamente pelo aumento no pisoteio animal que acarretará em redução na porosidade do solo.

Após o contato íon-raiz estabelecido, a absorção ocorre de maneira passiva, onde o elemento entra sem que a célula necessite gastar energia, deslocando-se de uma região de maior concentração, a solução externa, para outra de menor concentração, que corresponde à parede celular, espaços intercelulares e superfície externa do plasmalema (espaço livre aparente). Já o mecanismo de absorção ativo, ocorre a ocupação do simplasto, fazendo com que o elemento atravesse a barreira lipídica da plasmalema, atingindo o citoplasma. Para isso, a célula tem que gastar energia oriunda da respiração (NOVAIS et al., 2007).

#### Produtividade de plantas forrageiras

Em regiões tropicais, as pastagens nativas foram substituídas por gramíneas forrageiras de origem africana com metabolismo C4. Essas plantas apresentam grande potencial em acumular forragem, principalmente as dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon* (PONTES et al., 2016; EUCLIDES et al., 2017; EUCLIDES et al., 2019). Essas gramíneas são altamente responsivas a luz, temperatura (LARCHER, 2000), disponibilidade de água no solo (RAVEN et al., 2001) e nutrientes (BERNARDI et al., 2018).

Essas características deixam clara a importância da fertilidade do solo, dos requerimentos nutricionais das plantas e das práticas de correção e adubação por meio da utilização de calcário, gesso e fertilizantes. No entanto, uma vez supridas as necessidades básicas de nutrientes, é o nitrogênio que determina a velocidade de crescimento e produção de forragem (DA SILVA et al., 2008) e, por essa razão, este nutriente será priorizado neste trabalho.

O nitrogênio afeta diretamente os processos fotossintéticos; estimula a atividade enzimática e a síntese de enzimas responsáveis pela fixação de CO<sub>2</sub>, Rubisco em plantas C3 e fosfoenolpiruvato carboxilase em plantas C4, melhorando a eficiência da captura atmosférica de CO<sub>2</sub> e influenciando diretamente as fases fotoquímica e bioquímica. Na fase fotoquímica, atua na síntese da clorofila, responsável pela captura da luz, um processo essencial para os demais estágios da fotossíntese. Na

fase bioquímica, por sua vez, está associada à biossíntese de proteínas/enzimas, que estão ligadas à fotossíntese (TAIZ; ZEIGUER, 2006).

Todos esses processos fisiológicos são facilmente observados macroscopicamente nas características da planta forrageira. A maior disponibilidade de N no solo e, conseqüentemente, na célula potencializa todos esses processos, principalmente alterações na estrutura foliar e do perfilho (PONTES et al., 2016); tamanho, peso, taxa de aparecimento (BASSO et al., 2010) e densidade populacional (PITMAN, 2012), o que resulta em maiores taxas de acúmulo de forragem (LOPES et al., 2013), e massa de lâmina foliar (PONTES et al., 2016). Esses fatores proporcionam um aumento quantitativo e qualitativo na oferta de forragem (LIU et al., 2011).

#### Efeitos da compactação do solo na nutrição mineral de plantas forrageiras

A produtividade de uma planta forrageira é resultado da soma de diversos fatores, e quando um desses fatores se encontra em situação de baixa disponibilidade, a produção de forragem tende a ser limitada por esse fator. Desta forma é imprescindível o conhecimento das propriedades físicas do solo que podem limitar a nutrição da planta forrageira (BONELLI et al., 2011). Por outro lado, níveis leves de compactação do solo podem ter efeitos benéficos em virtude da melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos (PINHEIRO et al., 2018).

No entanto, a compactação excessiva pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção de forragem (TIECHER, 2016). As raízes das plantas forrageiras são capazes de promover a descompactação do solo, mas quando a capacidade de suporte da área não é respeitada essa ação das raízes é limitada. Áreas com alta taxa de lotação por longos períodos, além de exercer alta pressão no solo (LEÃO et al., 2000), promove maior desfolhação (DIFANTE et al., 2009), e a rebrota das plantas inibe o crescimento radicular, pois ocorre translocação de nutrientes da raiz para folhas, com intuito de aumentar o índice de área foliar e a taxa de fotossintética.

A compactação do solo reduz o volume de macroporos enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados (MEDEIROS et al., 2005). Assim, o desenvolvimento das raízes é afetado negativamente pela redução dos macroporos, pelo aumento da resistência à penetração das raízes, pela diminuição da concentração de oxigênio, pela menor taxa de mineralização da matéria orgânica e difusão lenta de nutrientes e de oxigênio no solo (MEDEIROS et al., 2005).

A redução na absorção de N, P e K em gramíneas e culturas anuais foi observada por Medeiros et al. (2005) à medida que se elevou a densidade do solo. Segundo Medeiros et al. (2005), isso deve-se à redução da porosidade total do solo, que conseqüentemente, diminuiu a taxa de infiltração, a condutividade hidráulica e o fluxo de água no solo, que são essenciais para a absorção de água e de nutrientes pelas raízes, principalmente no caso do N, em que o contato íon-raiz ocorre predominantemente por fluxo de massa.

A compactação do solo, aumenta a energia de retenção da água no solo, elevando sua viscosidade e a interação dos íons de fosfato e de potássio com a superfície dos coloides ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que os mesmos tenham que se movimentar cada vez mais próximo de superfícies positivamente carregadas, principalmente, em solos argilosos com baixa umidade (MEDEIROS et al., 2005).

#### Efeitos da compactação do solo na produtividade de plantas forrageiras

As plantas forrageiras tropicais têm sido estudadas intensivamente nas últimas décadas, principalmente em busca de cultivares mais produtivas (EUCLIDES et al., 2010; VALLE et al., 2013), com o uso técnicas que permitem alta eficiência de utilização da forragem produzida e possibilitem elevada produção animal individual e por área (EUCLIDES et al., 2017; EUCLIDES et al., 2019), esses fatores são alguns dos responsáveis por tornar a produção de ruminantes brasileira competitiva em nível mundial. No entanto, a literatura é escassa no que se refere ao comportamento das cultivares forrageiras diante de uma condição de compactação do solo ou a resposta do solo em função do manejo adotado no pasto.

As respostas produtivas das plantas forrageiras a compactação do solo relatadas nas pesquisas são bem variáveis e parecem depender de alguns fatores, com observações distintas a depender da planta forrageira, da classe de solo e do teor de água no solo, espécie animal (MEDEIROS et al., 2005; EMERENCIANO NETO, 2015; GURGEL, 2019). Santos et al. (2008), quando estudaram as respostas de forrageira à compactação do solo, não verificaram diferença na massa de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* entre as densidades do solo de 1,0 a 1,6 Mg m<sup>-3</sup>. Foloni et al. (2006), concluíram que a massa de forragem das forrageiras *Mucuna pruriens* (mucuna preta) e do *Lablab purpureus* (lab-lab) reduziu linearmente em função do aumento da impedância mecânica do solo de zero para 2,0 MPa. Severiano et al. (2003), observaram que a produção de forragem da *Brachiaria decumbens* reduziu com o aumento da resistência a penetração e densidade do solo, o menor resultado foi observado para os valores de 2,4 MPa e 1,37 Mg m<sup>-3</sup>.

Dessa forma pode-se inferir que a depender da cultivar forrageira ela pode ser mais ou menos tolerante a compactação do solo. Bonelli et al. (2011) avaliaram as características produtivas e morfológicas das gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça, sob níveis de compactação de um Latossolo Vermelho Amarelo (1,0; 1,2; 1,4 e 1,6 Mg m<sup>-3</sup>), concluíram que o capim-mombaça se mostrou mais tolerante que o capim-piatã aos níveis de compactação, tendo em vista que este respondeu apenas em massa de colmo e o capim-piatã demonstrou sensibilidade por meio das variáveis número de perfilhos e massas de forragem de folha e de colmo. Gonçalves et al. (2006) na busca por espécies que tenham capacidade de romper camadas compactadas (0,12 a 0,45 MPa), obtiveram bons resultados com o milho ADR500. Severiano et al. (2010) apontaram o capim-tifton 85 como uma forrageira capaz de promover descompactação, ao estudá-lo cultivado em Argissolo submetido a diferentes graus de compactação (66; 83; 88 92 e 98%).

Além das respostas distintas entre as plantas forrageiras, o manejo do pasto pode alterar a taxa de lotação com reflexo direto no pisoteio exercido pelos animais. Sarmiento et al. (2008) avaliaram a resistência à penetração em Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação intermitente, em função



de diferentes doses de N (0, 150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>) e observaram maior valor no solo fertilizado com 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup> do elemento. Os autores atribuíram esse achado à maior taxa de lotação observada nessas doses (SARMENTO et al., 2008). Da mesma forma, Bertol et al. (2000) relataram um aumento na densidade do solo de 1,1 para 1,4 kg dm<sup>-3</sup>, na camada de 0-5 cm, após o aumento da taxa de lotação de 2,7 para 5,0 UA ha<sup>-1</sup>.

#### Práticas voltadas para mitigação do efeito do pisoteio

O acompanhamento das condições físicas, químicas e biológicas do solo devem ser um dos pilares para manter o adequado funcionamento do sistema produtivo. Deve-se utilizar aplicação de doses de fertilizantes adequadas para manutenção da fertilidade do solo. Prezar pela conservação do solo e da água e deposição de matéria orgânica, pois contribuem para o equilíbrio nutricional das plantas e da microbiota do solo. O ajuste da taxa de lotação é um procedimento essencial para a perenidade do pasto. Esse procedimento é imprescindível para o controle do pastejo, por meio da manutenção das condições estruturais do dossel (BRISKE et al., 2008), evitando pastejos intensos e com uma alta frequência.

O efeito do pisoteio na compactação do solo pode ser minimizado com a adoção de um período de descanso adequado para o solo restabelecer sua condição normal. Ao avaliar pastagem consorciada composta de aveia preta (*Avena sativa*) e azevém (*Lolium multiflorum Lam*) submetida a dois períodos de descanso (14 e 28 dias) e sem pastejo, Lanzanova et al. (2007) verificaram um incremento de 36,4% na resistência a penetração de raízes do sistema sem pastejo para o sistema com 14 dias de descanso, enquanto que para o sistema com 28 dias de descanso esse incremento foi apenas de 30%. Nesse mesmo estudo a redução do intervalo de pastejo de 28 para 14 dias diminuíram significativamente a macroporosidade e a porosidade total na camada superficial (0–5 cm), passando de 0,11 para 0,07 e de 0,56 para 0,51 m<sup>3</sup>, respectivamente (LANZANOVA et al., 2007).

O efeito residual da adubação nitrogenada na densidade e resistência a penetração do solo plantado com *Panicum maximum cv. Mombaça* pastejado por bovinos de corte foi avaliado por Gurgel (2019), que observou maiores valores para

densidade e resistência a penetração nas camadas superiores (0-10 e 10-20 cm) independentemente da dose residual de N. Mesmo com um aumento de 33% na taxa de lotação da dose residual mais baixa para a mais alta (100 a 300 kg ha<sup>-1</sup>), o autor não observou efeito da adubação residual de N nas características físicas do solo. Esta resposta foi atribuída ao período de descanso de 25 dias, suficiente para descompactar o solo.

As pesquisas com manejo de plantas forrageiras passaram por evoluções que contribuíram para a diminuição do impacto do pisoteio nas características físicas solo. Na década de 1990 era comum adotar manejos do pastejo em que não havia ajuste na taxa de lotação e adotava-se períodos de ocupação e descanso fixos (EUCLIDES et al., 2010). Com base nos resultados publicados (CARNEVALLI et al., 2006; BARBOSA et al., 2007; ECHEVERRIA et al., 2016), recomendações de manejo do pasto foram produzidas, geralmente, levando-se em consideração o conceito do índice de área foliar crítico (IAF), condição na qual o pasto intercepta 95% da luz incidente, Desenvolvido para pastos temperados e validado e aplicado em gramíneas tropicais (CARNEVALLI et al., 2006; BARBOSA et al., 2007; ECHEVERRIA et al., 2016). Esse é, portanto, o melhor momento para interromper o processo de crescimento, que garante alta utilização da forragem produzida e evita a degradação do pasto com baixo acúmulo de colmo e material morto.

A partir da adoção do conceito de IAF crítico no início deste século, aumentou a preocupação com o manejo do pasto e do pastejo. Mesmo assim, as pesquisas recomendavam uma eficiência de utilização da forragem produzida de 90% (DIFANTE et al., 2009), o que possibilitava baixa reciclagem de nutrientes e deposição de matéria orgânica no solo, levando os pastos a exaustão após poucos ciclos de pastejo. Além disso, tal manejo levava a uma excessiva intensidade de pastejo que culminava em maiores impactos no solo, em função da maior taxa de lotação. Atualmente o enfoque das pesquisas com o manejo do pasto tem sinalizado para uma eficiência de utilização de 50%, nessa circunstância o pasto possui maiores massas de forragem e de folhas no pós pastejo (EUCLIDES et al., 2017), o que promove pouca mobilização de reservas para o restabelecimento da área foliar e maior deposição de matéria orgânica no solo (FERRNADES et al., 2020b).

A integração lavoura-pecuária é uma prática conservacionista promissora para preservar a qualidade do solo. Uma característica marcante desse sistema é a possibilidade de modular a intensidade de uso do solo por meio da alternância de atividades na mesma área, com o objetivo de minimizar os efeitos sobre a produtividade das culturas de grãos (ALMEIDA et al., 2019). Esta modulação geralmente se dá no sentido de reduzir a taxa de lotação nos pastos, para diminuir os níveis de compactação do solo e manter quantidades adequadas de resíduos vegetais para o plantio direto. Nestas situações, os índices de produção animal por hectare são reduzidos quando comparados a sistemas mais intensivos (TIECHE, 2016), devido redução na produção de forragem que é influenciada, práticas de manejo e dinâmica de competição acima e abaixo do nível do solo (ALMEIDA et al., 2019).

Um exemplo bem sucedido da utilização da integração lavoura-pecuária é o sistema São Mateus, indicado para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense, tendo como base a antecipação da correção química e física do solo e do cultivo de soja em plantio direto para amortizar os custos da recuperação da pastagem (SALTON et al., 2013). Após a implantação desse sistema foi possível verificar expressivo aumento na saturação de bases principalmente nas camadas mais superficiais, além de aumento no tamanho médio de agregados, em relação à área que foi implantada com pasto em sistema convencional (SALTON et al., 2013). Cabe ressaltar, que nesse sistema ocorre intensa deposição de matéria orgânica no solo através da palhada do pasto que pode dissipar a energia responsável por causar a compactação durante o pisoteio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compactação do solo em sistemas de produção animal exerce influência na nutrição e na produtividade de plantas forrageiras, além de ser uma das principais causas da degradação das pastagens, portanto é um dos fatores que mais influencia a perenidade dos pastos tropicais. O pisoteio dos animais é a principal causa da compactação do solo nesses sistemas, sendo agravado por pastejos intensos e com maior frequência. Nas últimas décadas, houve avanços nos conhecimentos sobre o manejo do pasto e do pastejo, sendo adotadas medidas mais conservacionistas que

possibilitaram maior proteção do solo. No entanto, pesquisas com plantas forrageiras que tem quantificado esses efeitos ainda são escassas e devem ser estimuladas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Estudos em Forragicultura da Universidade Federal de Mato Grosso do sul (GEFOR-UFMS), ao Programa de Pós graduação em Ciência Animal – UFMS, e ao CNPq pelo apoio a este estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M.; ALMEIDA, R. G.; MIYAGI, E. S.; FREITAS, P. V. D. X.; RIBEIRO, F. M.; FERNANDES, P. B.; GARCIA, E. C. Sistemas silvipastoris: uma abordagem sobre a interação dos componentes bióticos e abióticos. *Revista Científica Rural*, v.21, n.2, p.438-454, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.353>
- BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V. P. B.; DA SILVA, S. C.; ZIMMER, A. H.; TORRES JÚNIOR, R. A. A. Capim-tanzânia submetidos a combinações entre intensidades e frequência de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.5, p.329-340, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300005>
- BASSO, K. C.; CECATO, U.; LUGÃO, S. M. B.; GOMES, J. A. N.; BARBERO, L. M.; MOURÃO, G. B. Morfogênese e dinâmica do perfilhamento em pastos de *Panicum maximum Jacq.* cv. IPR-86 Milênio submetido a doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, n.4, p.976-989. 2010.
- BERNARDI, A.; SILVA, A. W. L.; BARETTA, D. Estudo metanalítico da resposta de gramíneas perenes de verão à adubação nitrogenada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.70, n.2 p.545-553, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9501>.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão

cv. Mott. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.5, 1047-1054, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000500024>

BONELLI, E. A.; SILVA, E. M. B.; CABRAL, C. E. A.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; POLIZE, A. C. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000300007>

BRISKE, D. D.; DERNER, J. D.; BROWN, J. R.; FUHLENDORF, S. D.; TEAGUE, W. R.; HAVSTAD, K. M.; GILLEN, R. L.; ASH, A. J.; WILLMS, W. D. Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology & Management*, v.61, n.1, p. 3-17, 2008. <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>

CARNEVALLI, R. A.; DA SILVA, S. C.; BUENO, A. A. O.; UEBELE, M. C.; BUENO, F. O.; HODGSON, J.; SILVA, G. N.; MORAIS, J. P. G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. *Tropical Grasslands*, v.40, n.3, p.165-176, 2006.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V.B.P. *Pastagens: Conceitos básicos, Produção e manejo*. Viçosa: Suprema, 2008. 115p.

DIFANTE, G.S.; EUCLIDES, V.P.B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; DA SILVA, S. C.; TORRES JÚNIOR, R. A. A.; SARMENTO, D. O. L. Comportamento ingestivo, consumo de forragem e eficiência de pastejo de novilhos de corte em capim-tanzânia submetidos a manejo rotativo de lotação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.6, p.33-41, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000600005>

ECHEVERRIA, J. R.; EUCLIDES, V. P. B.; SBRISSIA, A. F.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; NANTES, N. N. Forage accumulation and nutritive value of the *Urochloa* interspecific hybrid 'BRS RB331 Ipyporã' under intermittent grazing. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.7, p.880-889, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000700011>

EMERENCIANO NETO, J. V. *Produção vegetal e animal e composição química do solo em pastos de capim-massai manejado sob alturas de pré-pastejo*. 2015. 81f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

EUCLIDES V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R.; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. *Grass and Forage Science*, v.75, n.1, p.1-13, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12422>

EUCLIDES, V. B. P.; CARPEJANI G. C.; MONTAGNER, D. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; BARBOSA, R. A.; DIFANTE, G. S. Maintaining post-grazing sward height of *Panicum maximum* (cv. Mombaça) at 50 cm led to higher animal performance compared with post-grazing height of 30 cm. *Grass and Forage Science*, v.73, n.1 p.174-182, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12292>

EUCLIDES, V. P. B.; VALLE, C. B.; MACEDO, M. C. M.; ALMEIDA, R. G.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.(supl.spe), p.151-168, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300018>

FERNANDES, L. S.; DIFANTE, G. S.; COSTA, M. G.; EMERENCIANO NETO, J. V.; ARAÚJO, I. M. M.; SANTOS DANTAS, J. L.; GURGEL, A. L. C. Pasture structure and sheep performance supplemented on different tropical grasses in the dry season. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v.11, n.1, p.89-101, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.5083>

FERNANDES, P. B.; BARBOSA, R. A.; MORAIS, M. G.; MEDEIROS-NETO, C.; FERNANDES, H. J.; GURGEL, A. L. C.; DIFANTE, G. S.; COSTA, C. M.; SBRISSIA, A. F.; SANTANA, J. C. S.; SILVA, F. A. S. Tropical forage grasses intercropped under lenient grazing intensities promote greater soil cover. *Journal of Agricultural Studies*, v.8, n.2, p.213-223. 2020. DOI:<https://doi.org/10.5296/jas.v8i2.16121>

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. T.; CECATO, U.; BARBERO, L. M. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n. 11, p.1583-1590, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100018>

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n.1, p.49-57, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100006>

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.1, p.67-75, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100008>

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.37, n.5, p.1174-1184, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500007>

- 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, 2019.
- HAYNES, R. J.; GRAHAM, M. H. Soil biology and biochemistry - a new direction for South African soil science. *South African Journal of Plant and Soil*, v.21, n.1, p.330-344, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/02571862.2004.10635068>
- HOPKINS, B. G.; HOPKINS, T. J. Carbon: the next frontier: in fertilization. *Crops & Soils magazine*, v.103, n.6, p.36-38. DOI: <https://doi.org/10.2134/cs2018.51.0307>
- ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M. Subsoil compaction effects on crop in Punjab, Pakistan: II root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil and Tillage Research*, v.59, n. 1-2, p.153-161, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00189-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00189-6)
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; Eltzl, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.131-140, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Editora RIMA Artes e Textos, 2000. 531p.
- LASSALETTA, L.; BILLEN, G.; GRIZZETTI B.; ANGLADE, J.; JOSETTE GARNIER, J. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*, v.9, n. 10, p.1-9, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105011>
- LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C.; IMHOFFI, S.; EUCLIDES, V. P. B. intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.3, p.415-423, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300002>
- LIU, K.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVEIRA, M. L.; VENDRAMINI, J. M. B. Distribution of nutrients among soil-plant pools in 'Tifton 85' bermudagrass pastures grazed at different intensities. *Crop Science*, v.51, n.4, p.1800-1807, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2010.04.0209>
- LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; CARVALHO, T. C. SOMBRAI, W. A.; MORAIS NETO, L. B.; PEIXOTO, M. J. A. Biomass flow in massai grass fertilized with nitrogen under intermittent stocking grazing with sheep. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.42, n.1, p.13-21, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982013000100003>

- MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Soil compaction and water management. I: effects upon uptake of N, P, K, root and shoot dry matter of rice plants. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n.5, p.940-947, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000500004>
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. BARROS, N. F. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 2006. 231p.
- PINHEIRO, V.; NASCENTE, A. S.; STONE, L. F. Compactação sobre o sulco de plantio e tratamento de sementes na produtividade do arroz de terras altas. *Revista Agrarian*, v.11, n.39, p.6-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.5267>
- PITMAN, W. D. Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge) management combining nitrogen fertilizer rate and defoliation frequency to enhance forage production efficiency. *Grass and Forage Science*, v.68, n.10, p.479-484, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12005>
- PONTES, L. S.; BALDISSERA, T. C.; GIOSTRI, A. F.; STAFIN, G.; SANTOS, B. R. C. CARVALHO, P. C. F. Effects of nitrogen fertilization and cutting intensity on the agronomic performance of warm-season grasses. *Grass and Forage Science*, v.72, n.1, p.663-675, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12267>
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2001. 906p.
- RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G.; Dry matter production and mineral content of tifton 85 bermudagrass on different nitrogen rates and regrowth age. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.4, p.811-816, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000400022>
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Soil compacting: causes and effects. *Semina: Ciências Agrárias*, v.26, n.3, p.321-344, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n3p321>
- SANTOS, L. C.; BONOMO, P.; SILVA, C. C. F.; PIRES, A. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens* submetidas a diferentes adubações. *Ciencia Animal Brasileira*, v.9, n.4, p.856-866, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/cab.v9i4.1118>
- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; LUGÃO, S. M. B.; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. C.; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação



rotacionada e adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.183-193, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100018>

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; ALMEIDA, R. G. Sistema São Mateus – Sistema de Integração Lavoura-Pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense. *Comunicado Técnico*, v. 189, p.1-6, 2013.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capimtifton 85. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.39-45, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000100006>

STAVI, I.; LAVEE, H.; UNGAR, E.; SARAH, P. Grazing-Induced Modification of a Semi-Arid Rangeland from a Two-Phase to a Three-Phase Mosaic Geo-Ecosystem. *Arid Land Research and Management*, v.26, n.1, p.79-83. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/15324982.2011.631691>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

TIECHE, T. Manejo e conservação do solo e água e em pequenas empresas rurais no sul do Brasil. Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS. 2016. 188p.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; VIEIRA, D. M. S. Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. *Irriga*, v.18, n.3, p.558-571, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p558>

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES 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*, v.28, n.1, p.232-239, 2012.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; VALÉRIO, J. R.; FERNANDES, C. D.; MACEDO, M. C. M.; VERZIGNASSI, J. R.; MACHADO, L. A. Z. BRS Paiaguás: A new *Brachiaria* (*Urochloa*) cultivar for tropical pastures in Brazil. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, v.1, n.1, p.121-122, 2013. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)121-122](https://doi.org/10.17138/tgft(1)121-122)