

## Capítulo 3

# Água no solo em sistemas pecuários

Leandro Bochi da Silva Volk  
José Pedro Pereira Trindade

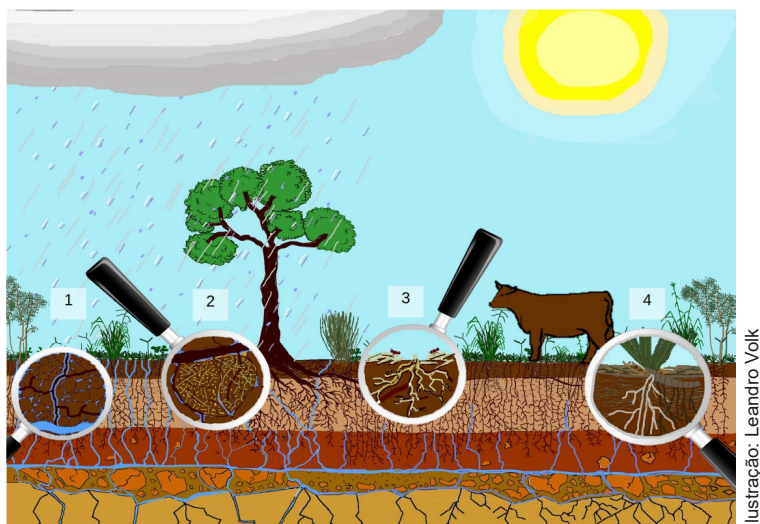
### Sistema edáfico e a água

A água é um dos recursos naturais que sustenta a vida. Como o solo é um sistema que contém vida, ele também depende da água.

O solo é definido como um sistema natural organizado (Vezzani; Mielnickuk, 2009). Tem sua origem na alteração lenta de rochas por elementos do clima ao longo de milhões de anos. Por consequência dos processos de gênese, o solo se apresenta organizado em distintas camadas, conhecidas por horizontes. De modo geral, o horizonte mais superficial é rico em material orgânico e os mais profundos acumulam características da sua formação e da rocha de origem. Estes horizontes são responsáveis pela manutenção de processos químicos, físicos e biológicos de ocorrência natural.

Um solo só é saudável se tiver diversidade biológica, desde os microrganismos, passando pela meso e macrofauna, até as plantas superiores. Todos esses organismos dependem, em maior ou menor grau, da água do solo para sua sobrevivência ao mesmo tempo que interferem na capacidade do solo em “ter” água. Assim posto, fica evidente que um solo precisa da água para “ser solo”, além da dependência da vegetação e dos organismos que contém e dá suporte.

Por causa dessa forte relação de interdependência entre água, atividade biológica e solo, propomos tratá-los como sistema edáfico. O termo “edáfico” se refere ao que pertence, se relaciona ou que está contido nos limites da definição de solo. O sistema edáfico, portanto, vai além do solo e engloba o seu funcionamento a partir da relação dele com a água, com a vegetação e com a fauna edáfica. Uma exemplificação gráfica e simplificada do sistema edáfico está na Figura 11. Nesta figura, percebe-se que a entrada e armazenamento da água (lupa 1) depende da estruturação do solo (lupa 2) que é promovida pela atividade biológica de organismos vivos (lupa 3) e pelas raízes e suas associações (lupa 4).



**Figura 11.** Representação gráfica do sistema edáfico que resulta da relação de interdependência entre água, atividade biológica e solo. (1 - Detalhe da água que infiltrou e está armazenada nos espaços vazios criados pelos agregados e raízes; 2 - Agregado formado pelas raízes e microrganismos no sistema edáfico; 3 - Atividade biológica da macro e mesofauna edáfica; 4 - Microrganismos - fungos, bactérias e actinomicetos - associados à rizosfera das plantas.)

O sistema edáfico representado na Figura 11 regula e é regulado pelo ciclo hidrológico. A água entra, é armazenada e sai deste sistema num circuito mais lento ou mais rápido de acordo com o estado de funcionamento do solo e da vegetação. Por outro lado, o estado de funcionamento do solo e da vegetação depende da mesma água que entra, é armazenada e sai desse sistema.

A regulação dos ciclos geoquímicos do sistema edáfico depende do solo, da atividade biológica e da água. Os ciclos do carbono, do nitrogênio ou do enxofre, ao passarem pelo solo, dependem da atividade biológica para ocorrerem e, portanto, dependem da água.

Os sistemas agrícolas, da horta à lavoura, das florestas às pastagens, dependem das incontáveis funções que o sistema edáfico entrega. Portanto, a contribuição deste capítulo é entender a relação entre o solo e a água é a base para sistemas agrícolas produtivos.

O sistema edáfico, com suas propriedades físicas, químicas e biológicas, intermedia diversos processos naturais, que garantem seu funcionamento e o permitem entregar serviços ecossistêmicos. Tal abordagem ganha em importância se entendermos que podemos interferir nesses processos naturais (e, portanto, nas funções ecológicas e nos serviços ecossistêmicos) via manejo.

Os manejos dirigidos ao solo, à vegetação ou aos animais (via manejo do pastejo) interferem na qualidade do sistema edáfico e na qualidade dos serviços que ele entrega. Essa qualidade (ou sua capacidade de entregar seus serviços que aqui propomos) pode se manter no tempo (indicando uma estabilização), pode aumentar (indicando melhoria), ou pode diminuir (indicando degradação) (Seybold et al., 1997). Ao mesmo tempo, naturalmente a qualidade do sistema edáfico pode oscilar ao longo do tempo, tanto por características inerentes quanto por variações de externalidades (manejo e clima, por exemplo) (Karlen et al., 2001).

Como manejadores, devemos buscar a estabilidade do sistema por meio de manejos adequados do solo, das plantas ou dos animais. Que essas oscilações naturais e inerentes sejam menores e que o sistema edáfico possa manter e melhorar sua qualidade. O pecuarista, consciente do papel destes recursos naturais no seu sistema produtivo, precisa tomar sua decisão de manejo levando em consideração o impacto que ela terá nos processos naturais (bem como nas funções e serviços) pelos quais o sistema edáfico é responsável.

Alguns dos processos naturais pelos quais o sistema edáfico é responsável incluem a infiltração (em destaque nas lupas 1 e 3 da Figura 11), armazenamento e aproveitamento (em destaque nas lupas 2 e 4 da Figura 11) de água pelas plantas e animais. Tais processos naturais regulam o ciclo hidrológico e essa é uma função importante do sistema edáfico. É uma das funções que permitem seu uso em sistemas agropecuários.

A dinâmica da água no sistema edáfico, do ponto de vista da relação solo-planta, pode ser arbitrariamente separada em processos distintos, como a infiltração, o armazenamento e a disponibilização (ou acesso pelas plantas). A Figura 12 traz uma representação esquemática destes processos.

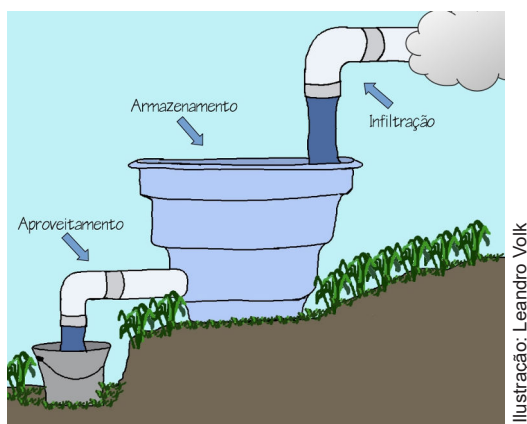


Ilustração: Leandro Volk

**Figura 12.** Representação dos processos de infiltração, armazenamento e aproveitamento da água no solo.

Fonte: Adaptado de Volk e Trindade (2020)

Na Figura 12, o processo de infiltração é representado por uma entrada de água que abastece o sistema. O armazenamento de água no sistema edáfico é apresentado como um grande reservatório. O aproveitamento da água pelas plantas ou organismos vivos do sistema edáfico é representado por uma saída de água do sistema.

A intenção dessa representação é a percepção de que, por meio de manejos, é possível aumentar o “cano” de entrada de água no sistema (aumentar a infiltração), aumentar o tamanho da “caixa d’água” (aumentar o armazenamento), bem como aumentar o “cano” que permite a saída de água do sistema (disponibilizada ou acessada pelas plantas).

Se considerarmos que todo o sistema agrícola é dependente de água, e que a maior parte dessa água vem da chuva, os três processos são muito importantes. Mas essa dinâmica começa pela infiltração. A infiltração da água no sistema edáfico é um processo natural, definido como a entrada da água no solo através de sua superfície (Brandão et al., 2003).

A infiltração é fortemente influenciada por características intrínsecas ao sistema edáfico, como sua mineralogia, textura e gênese, e por outras características extrínsecas que podem ser modificadas pelo ser humano e são ligadas ao uso da terra e ao manejo (Horton, 1941; Hillel, 1980).

As características intrínsecas que afetam a infiltração são as mesmas que determinam a sua porosidade, ou seja, os espaços vazios por onde a água irá entrar e se distribuir no sistema edáfico. Como regra geral, a maior porosidade (notadamente a macroporosidade) permite a maior infiltração. Solos de textura mais arenosa possuem proporcionalmente mais macroporosidade que solos argilosos, portanto a infiltração neles também é maior.

Quanto às características extrínsecas ou as características ligadas ao uso da terra e ao manejo, temos aquelas ligadas às condições da superfície e da estrutura do sistema edáfico: presença de cobertura do solo (seja por palha, mantilho ou serrapilheira, seja por vegetação), o tipo de vegetação (prostrada, cespitosa ou florestal) e a estruturação do solo (dada pela atividade das raízes das plantas, da fauna e microbiota edáfica e matéria orgânica), como já exemplificado na Figura 11.

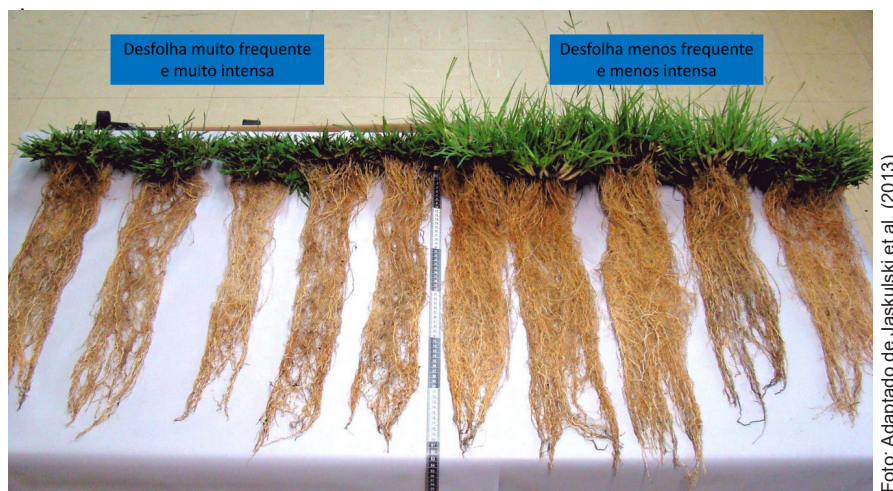
Nesse sentido, o sistema edáfico precisa estar apto para que a água entre pela sua superfície. A situação que se deve evitar é o solo exposto ou descoberto, sem qualquer cobertura. Essa situação leva ao selamento superficial do solo, causado pelas gotas de chuva, e à degradação da estrutura, a qual impede a infiltração da água.

A estrutura do solo também é fortemente influenciada pelo bom desenvolvimento da vegetação, principalmente pelo desenvolvimento de suas raízes (Tisdall; Oades, 1982), o que se reflete na quantidade e qualidade da macroporosidade do solo. Podemos simplificar separando a influência do

desenvolvimento das raízes em dois processos: a melhoria da estruturação e a criação de bioporos. Os bioporos merecem nossa atenção, pois se refletem na qualidade da macroporosidade devido ao aspecto de continuidade. Os bioporos funcionam como “canos” com elevada eficiência para a passagem da água (Allaire et al., 2002). Nesse sentido, fica fácil o entendimento da importância do correto manejo das pastagens para aumentar o desenvolvimento de suas raízes (Volk; Trindade, 2017; Trindade et al., 2018).

As plantas tendem a manter uma razão estável entre o desenvolvimento do seu dossel (folhas, caule, bainhas, colmos...) e de suas raízes (Taiz; Zeiger, 2013). A relação entre dossel e raízes será gerenciada pela parte da planta que tem seu desenvolvimento limitado. É comum as raízes terem seu desenvolvimento restringido por alguma limitação química (como a acidez ativa ou falta de nutrientes na solução do solo), física (compactação, pouca profundidade, má drenagem ou baixa permeabilidade) ou biológica (ausência de simbioses ou presença de fungos e insetos fitófagos, por exemplo). Contudo, o mesmo raciocínio vale para o inverso. Se limitarmos o desenvolvimento das plantas pelo excesso de retirada de suas folhas, estamos limitando o desenvolvimento das raízes também.

A Figura 13 apresenta o desenvolvimento de raízes de grama-forquilha (*Paspalum notatum*) em dois manejos distintos: um mais intenso, com cortes a cada 5 dias e resíduo de 5 cm de altura, e outro menos intenso, com cortes a cada 15 dias e resíduo de 15 cm. É visível que a massa de raízes diminui na medida em que o pastejo (retirada de folhas) se intensifica.



**Figura 13.** Diferença no desenvolvimento de raízes de grama forquilha (*Paspalum notatum*) em função de diferentes intensidades e frequências de remoção das folhas.

A estrutura do solo no sistema edáfico também está associada à atividade da fauna e microbiota edáfica. É uma vantagem do serviço prestado pela diversidade de espécies forrageiras (Figura 14). Assim, pastagens pluriespecíficas apresentam algumas vantagens (Weigelt et al., 2009). A diversidade de raízes com morfologias distintas (fasciculadas e pivotantes, mais grossas e mais finas, mais curtas e mais compridas, elevada ou baixa relação C:N) auxiliam muito, tanto na estruturação do solo quanto na atividade de uma maior diversidade de organismos edáficos (Baretta et al., 2011). Nessa lógica, percebe-se que é possível a adoção de estratégias de manejo que maximizem a infiltração de água no solo em pastagens.



Ilustração: Leandro Volk

**Figura 14.** Representação da diversidade de sistema radicular associada à diversidade de espécies da vegetação campestre.

O armazenamento da água no sistema edáfico é uma função ecológica muito importante. O armazenamento pode ser definido como a quantidade de água contida no solo (Reichardt; Timm, 2004) e que pode ser disponibilizada aos sistemas agrícolas, entre eles os sistemas pecuários.

O armazenamento de água, assim como para a infiltração, depende de características intrínsecas e extrínsecas ao sistema edáfico. Contudo, diferentemente da infiltração, o armazenamento tem maior relação com a microporosidade do solo (Silva et al., 2005). É nos espaços vazios de menor diâmetro que a água fica armazenada.

Solos com textura arenosa, apesar da maior velocidade de infiltração, possuem menor microporosidade e armazenam menos água. No outro extremo, os solos com textura argilosa, cuja velocidade de infiltração é menor, possuem maior microporosidade, o que determina maior armazenamento e retenção de água. Salienta-se que a questão não é qual solo é melhor ou pior, mas sim entender como suas características interferem nessas funções ecossistêmicas.

O armazenamento da água é fortemente relacionado com a área superficial específica (ASE) das partículas sólidas do solo, sendo a argila e a matéria orgânica as que possuem maior ASE. O resultado interessante dessa relação é que a matéria orgânica pode melhorar o armazenamento de água em solos arenosos e em solos muito argilosos (Grohmann; Camargo, 1973). Ou seja, é possível modificar (para melhor, obviamente) o armazenamento de água no solo por meio de ações de manejo.

Seguindo a mesma lógica da infiltração, o armazenamento de água tem forte influência da estrutura do solo e, portanto, da vegetação e do seu manejo (Figura 15).

Considerando o que foi apresentado e discutido em relação à Figura 13, é possível inferir que o sistema radicular das plantas forrageiras e não forrageiras devem ganhar nossa atenção. Pastagens cujo manejo permite o maior desenvolvimento do seu sistema radicular, também permitem maior retenção e armazenamento de água a ser disponibilizada para as plantas.

O manejador, no desejo de aumentar o armazenamento de água em seu sistema e diminuir o risco de perdas com um período de estiagem, pode manejar o pastejo dos animais para permitir a ocorrência tanto de áreas pastejadas quanto de áreas pouco pastejadas. Para tal, existem distintas ferramentas à disposição, como o ajuste de oferta de forragem, régua para altura, ajuste de carga, cujos detalhes variam com o tipo de forrageira. O mesmo princípio é válido para os campos, que são pluriespecíficos por natureza.

A água que infiltrou e está armazenada no solo não garante o acesso pelas plantas. É necessário ainda permitir que as plantas tenham acesso a ela.

As plantas forrageiras absorvem água e nutrientes do solo por meio das raízes. Assim, para uma planta crescer, se desenvolver e produzir, ela necessita que o seu sistema radicular também tenha condições para seu crescimento e desenvolvimento. Essa condição permitirá que as raízes se aprofundem no solo e tenham acesso à água e nutrientes.

O excesso de pastejo limitará o desenvolvimento do dossel das plantas, portanto, limitará o desenvolvimento das raízes também (Figura 16). Vários autores já exemplificaram esse comportamento fisiológico em distintas forrageiras e, essencialmente, quanto mais intenso o pastejo, menor é o desenvolvimento das raízes (Stanton, 1988; Rodrigues; Cadima-Zevallos, 1991; Ryser; Lambers, 1995; Thornton; Millard, 1996; Giacomini et al., 2005).

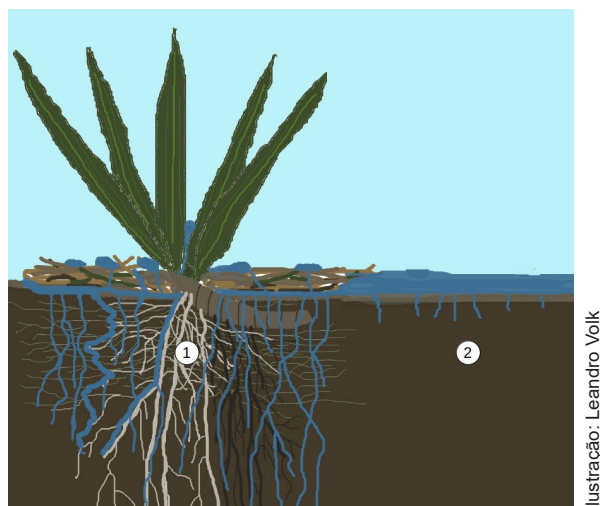


Ilustração: Leandro Volk

**Figura 15.** Ilustração do efeito da cobertura por palhada, da vegetação e da estruturação do sistema edáfico no processo de infiltração e armazenamento de água. (1 - Maior infiltração de água no sistema edáfico pelo efeito benéfico da cobertura superficial, do sistema radicular e da estruturação; 2 - Água acumulada na superfície pela menor infiltração de água). Destaque recuperado da lupa 4 da Figura 11.

O princípio, portanto, é que o manejo adotado permita tanto o correto desenvolvimento do dossel da planta (afinal é dele que os animais dependem para sua alimentação) quanto o correto desenvolvimento das raízes. É o crescimento das raízes que permite às plantas o acesso à água e aos nutrientes armazenados no solo. O manejo do pastejo tem uma influência muito forte na vegetação (Thornton; Millard, 1996; Carvalho et al., 2009; Trindade et al., 2011). É do entendimento do impacto do pastejo no desenvolvimento das plantas e de suas raízes que vem as premissas do correto manejo das pastagens visando a melhoria do uso da água.



**Figura 16.** Efeito do pastejo na relação entre as folhas e as raízes, bem como na diversidade estrutural da vegetação campestre. Fonte: Adaptado de Trindade et al. (2018).



## Princípios de manejo do sistema edáfico

Na pecuária se estabelecem relações complexas, de forma direta e indireta, entre os animais, as plantas e o sistema edáfico. Algumas dessas relações diretas são óbvias, nas quais os animais herbívoros se alimentam das plantas, têm o solo como seu piso e ciclam nutrientes via esterco e urina; e organismos e plantas retiram nutrientes e água para seu crescimento e devolvem matéria orgânica, usufruindo e interferindo no solo e nas suas funções.

Na ideia de entender os processos para controlá-los e transformar a realidade, o manejador tem papel fundamental. Ao entender essas relações, ele pode interferir nas mesmas por meio das ações de manejo do sistema edáfico (Volk; Trindade, 2020).

Os princípios envolvidos na relação da pecuária com a água do sistema edáfico se resumem em melhorar o estado de funcionamento do sistema edáfico e são listadas como: a) manter a cobertura do solo o ano todo; b) manter e melhorar a estrutura do solo; c) aumentar a biodiversidade no sistema edáfico; d) manter raízes vivas o ano todo; e e) assumir o manejo do pastejo dos animais (Volk; Trindade, 2020).

a) Manter a cobertura do solo tem o sentido de manter o sistema edáfico pronto para receber o rebanho, seu pastejo e seu pisoteio, bem como a água. A completa cobertura (seja por resíduos ou palhada seja pelas plantas forrageiras) evita que o solo fique exposto ao aumento excessivo de temperatura, ao impacto negativo da chuva e aos danos causados pelo pisoteio dos animais. A temperatura adequada maximiza a atividade da microbiota e fauna (atividade de decompositores, mineralização e fixação biológica de N, e biodisponibilização de P por fungos micorrízicos), além de manter mais água no solo (evita a perda de água por evaporação). A chuva, quando atinge o solo coberto e protegido por palha ou pelas folhas das plantas, chega sem velocidade (menor energia) ao solo e pode infiltrar, sem ocorrer o selamento superficial, a formação de crosta.

b) Estruturar o solo implica melhorar a formação de agregados. A formação de agregados ocorre pelo desenvolvimento das plantas e dos organismos que ocorrem no solo e na sua rizosfera. Passa a ser desejável a elevada produção de raízes e seu maior aprofundamento, associada com a maior atividade dos organismos. A boa estruturação é um indicativo do seu estado de saúde e conservação. Bem estruturado, o solo permite maior infiltração e disponibilização de água para as plantas e resiste mais ao pisoteio dos animais, dando melhor “piso”. O preparo do solo e o excesso de pisoteio são as principais causas de perda de cobertura e de desestruturação. Minimizar a desestruturação do solo é muito importante para não degradar as funções associadas a sua estrutura.

c) Aumentar a diversidade de plantas nas pastagens traz consigo vários benefícios, entre eles o melhor aproveitamento da fertilidade do sistema edáfico,

menor estacionalidade da produção forrageira e maior resiliência a eventos climáticos extremos (falta ou excesso de chuva e geada, por exemplo). As plantas possuem raízes com estrutura e fisiologia diferentes e com isso acessam nichos distintos do solo e associam-se a diferentes organismos edáficos, liberam diferentes exsudatos e absorvem água e nutrientes de modos diferentes. A maior diversidade pode ser promovida via semeadura (ou por consórcio ou por rotação), no caso de pastagens cultivadas, e pode ser induzida via manejo (até mesmo por roçada), no caso de pastagens naturais.

d) Manter raízes vivas no solo o tempo todo é o grande diferencial que a pecuária pode ter na conservação do solo. As raízes vivas mantêm os organismos de solo ativos e são eficientes na estruturação, principalmente pelo enredamento dos agregados, e na ciclagem de água e nutrientes. São fortemente associadas ao manejo do pastejo, pois plantas com mais folhas, possuem raízes em maior quantidade e mais profundas (buscando água e nutrientes de maneira mais eficiente). As raízes mortas vão fornecer matéria orgânica ao solo (que também é importante), mas as vivas é que ajudam no seu funcionamento.

e) Manejo do pastejo dos animais é chave para que os outros princípios funcionem. O grande desafio na pecuária é equilibrar entre o que o gado deve comer e o que a planta necessita para ela. O pastejo é um distúrbio nas plantas e cabe ao manejador decidir qual o impacto desse distúrbio. O desenvolvimento de novas folhas depende de quantas sobraram. É nesse momento que as ferramentas de manejo (ajuste de carga ou de oferta de forragem, diferimento, pastejo rotativo, roçada e até a suplementação mineral dos animais) ganham em importância na conservação da água e do solo na pecuária.

### **Considerações finais**

O sistema edáfico é base para a pecuária e depende da água para seu funcionamento. O pecuarista tem papel fundamental na gestão do seu sistema produtivo. Portanto, entender como o sistema edáfico funciona e como ele regula seus processos é chave para adoção de práticas de manejos eficazes e eficientes.

A estabilidade do sistema de produção pecuária é uma das virtudes que devemos buscar. Os sistemas pecuários dependem dos processos de infiltração, armazenamento e disponibilização de água pelo sistema edáfico. Os manejos dirigidos ao sistema edáfico, à vegetação ou aos animais interferem no seu estado de funcionamento, bem como na qualidade do sistema edáfico e na qualidade dos serviços que ele entrega.

O manejo da vegetação e o manejo do pastejo pelos animais têm papel fundamental na dinâmica da água no sistema edáfico. A partir do apresentado, elencamos 5 princípios a serem considerados pelo pecuarista na escolha de

práticas de manejo a serem adotadas na busca da melhoria do estado de funcionamento do sistema edáfico, aliando conservação e produção: a) manter a cobertura do solo o ano todo; b) manter e melhorar a estrutura do solo; c) aumentar a biodiversidade no sistema edáfico; d) manter raízes vivas o ano todo; e e) assumir o manejo do pastejo dos animais.

## Referências

- ALLAIRE, S. E.; GUPTA, S. C.; NIEBER, J.; MONCRIEF, J. F. Role of macropore continuity and tortuosity on solute transport in soils. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 58, n. 3-4, p. 299-321, Oct. 2002.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBSCS, 2011. v. 7, p. 119-170.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 98 p.
- CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 109-122, jul. 2009. Suplemento especial.
- GIACOMINI, A. A.; MATTOS, W. T.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; CUNHA, E. A.; CARVALHO, D. D. Crescimento de raízes dos capins aruana e tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1109-1120, ago. 2005.
- GROHMANN, F.; CAMARGO, O. A. Influência dos óxidos de ferro livres e da matéria orgânica na adsorção da água pelo solo. **Bragantia**, v. 32, p. 203-222, 1973.
- HILLEL, D. General physical characteristics of soils. In: HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. San Diego: Academic Press, 1980. p. 6-20.
- HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 5, p. 399-417, 1941.
- JASKULSKI, G. F.; DUTRA, J. G.; SOARES, T. R.; VOLK, L. B. da S.; TRENTIN, G.; TRINDADE, J. P. P.; PINHEIRO, C. L. Massa seca de raízes de *Paspalum notatum* e *Axonopus argentinus* com três manejos distintos. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA PECUÁRIA SUL, 3., 2013, Bagé. **Resumos...** Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2013. p. 14.
- KARLEN, D. L.; ANDREW S, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 1-40, 2001.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.
- RODRIGUES, A. C. G.; CADIMA-ZEVALLLOS, A. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 439-445, mar. 1991.
- RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast and slow growing grasses at different nutrient supply. **Plant and Soil**, v. 170, n. 2, p. 251-265, Mar. 1995.

SEYBOLD, C. A.; MAUSBACH, M. J.; KARLEN, D. L.; ROGERS, H. H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 387-404.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. B.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um argissolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544-552, jun. 2005.

STANTON, N. L. The underground in grasslands. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 19, p. 573-589, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

THORNTON, B.; MILLARD, P. Effects os severity of defoliation on root functioning in grasses. **Journal of Range Management**, v. 49, n. 5, p. 443-447, Sept. 1996.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TRINDADE, J. P. P.; BORBA, M. F. S.; VOLK, L. B. da S. **Pastejo e a estabilidade de pastagens naturais**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2011. 17 p. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos, 125).

TRINDADE, J. P. P.; VOLK, L. B. da S.; ROCHA, D. S. da; COELHO, A. **Preservar para produzir: recomendações de manejo para os campos da Campanha, Fronteira Oeste e Missões do Rio Grande do Sul**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2018. 29 p. (Embrapa Pecuária Sul. Circular técnica, 50).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, ago. 2009.

VOLK, L. B. da S.; TRINDADE, J. P. P. **A pecuária e a conservação do solo**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2017. 16 p. (Abc agricultura baixa emissão de carbono).

VOLK, L. B. da S.; TRINDADE, J. P. P. **Princípios técnicos de manejo de sistemas pecuários para maior disponibilidade de água no solo**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2020. 26 p. (Embrapa Pecuária Sul. Comunicado técnico, 104).

WEIGELT, A.; WEISSER, W.W.; BUCHMANN, N.; SCHERER-LORENZEN, M. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. **Biogeosciences**, v. 6, n. 8, p. 3187-3214, 2009.