

CAPÍTULO 10

CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Gustavo Henrique Silva Camargos

RESUMO

Nas últimas décadas, observou-se um expressivo crescimento de produtividade da agropecuária nacional. Entretanto, sabe-se que a maior parte dos solos brasileiros ainda apresentam baixa capacidade de uso. Os sistemas de produção integrados representam uma alternativa sustentável para elevar essa capacidade. A fertilidade do solo é um processo altamente dinâmico e é determinada por um conjunto de fatores químicos físicos e biológicos. Considerando-se esses fatores, a maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural. Com isso, a implementação de práticas de manejo adequadas e o uso de tecnologias relacionadas ao aumento da fertilidade dos solos são imprescindíveis. Os sistemas integrados baseiam-se em diversos fatores relacionados ao aumento dessa fertilidade. Entre esses, citam-se o plantio direto, a rotação de culturas e o sinergismo entre os diferentes componentes do sistema. Ressalta-se que a atuação dessas práticas ou a interação entre cada componente no sistema são variáveis. Compreender as causas dessas variações é fundamental para elevar a capacidade de uso dos solos manejados em sistemas integrados.

INTRODUÇÃO

Estima-se que, entre 1977 e 2017, a produção total das principais culturas agrícolas do país cresceu mais de cinco vezes, enquanto a área plantada aumentou apenas 60% (Conab, 2020). Com isso, constata-se que a maior parte do crescimento agropecuário nacional ocorreu devido a um aumento expressivo da capacidade de uso dos solos. Os dados publicados por Gasques (2017) corroboram essa constatação e evidenciaram que a produtividade média da terra no país aumentou cerca de 4,4 vezes nos últimos 40 anos.

Apesar do aumento da capacidade de uso do solo, sabe-se que a maior parte das pastagens do país encontram-se em algum nível de degradação (Dias filho *et al.*, 2014). Dessa forma, o Brasil ainda possui um elevado potencial de crescimento produtivo no setor agropecuário, sem a necessidade de abertura de novas áreas. Esse potencial assume

uma relevância ainda maior no contexto atual, considerando-se as pressões cada vez maiores para a preservação ambiental e para a redução do desmatamento. Além disso, as preocupações relacionadas com a qualidade dos solos agrícolas também têm aumentado nos últimos anos. A justificativa dessas preocupações relaciona-se à crescente demanda por alimentos e à redução gradativa da fertilidade dos solos, que, muitas vezes, são usados de forma inadequada.

Os sistemas de produção integrados representam uma alternativa sustentável para elevar a capacidade de uso dos solos. Nesses sistemas, o sinergismo entre os componentes pode resultar em aumento de produtividade tanto das culturas quanto dos animais mantidos na área. Nota-se ainda um melhor aproveitamento da aplicação de corretivos e fertilizantes e um aumento da deposição de matéria orgânica e da atividade de microrganismos no solo (Salton *et al.*, 2014). Assim, diversos estudos demonstraram que, nos sistemas integrados, ocorrem importantes melhorias em diversos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, de forma sustentável. Portanto, objetivou-se revisar os aspectos básicos relacionados à fertilidade dos solos e demonstrar os principais impactos dos sistemas integrados sobre a qualidade dos solos.

1. Fertilidade dos solos: aspectos gerais

O solo representa um material biologicamente ativo, proveniente das transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas, a ciclagem de nutrientes, a produção e a decomposição de biomassa (Lopes e Guilherme, 2016). Desse modo, o solo é composto por uma coleção de corpos minerais e orgânicos, constituídos por partes tridimensionais, que podem ser sólidas, líquidas ou gasosas (Santos *et al.*, 2018).

Um fator determinante na capacidade de uso do solo refere-se ao seu nível de fertilidade. Segundo Ronquim (2010), o solo fértil é aquele que contém os nutrientes essenciais em quantidades suficientes e balanceadas para o desenvolvimento adequado das plantas cultivadas. De forma semelhante, Braga (1983) conceitua a fertilidade do solo como "a capacidade do solo de ceder elementos essenciais às plantas". É importante destacar que os aspectos físicos do solo são fundamentais na avaliação da fertilidade, pois relacionam-se com a disponibilidade, com o aproveitamento e com a manutenção dos nutrientes no solo. Além disso, diversos estudos demonstraram a importância dos fatores bióticos, como microrganismos e pequenos invertebrados nos solos (Vilela *et al.*, 2011;

Salton *et al.*, 2014). Assim, o solo fértil é aquele que apresenta características físicas, químicas e biológicas adequadas (Ronquim, 2010).

A fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada pela interferência humana durante o cultivo. Portanto, não se trata de uma característica estática, e sim de um processo altamente dinâmico (Lopes e Guilherme, 2015). Para facilitar o entendimento do conceito de fertilidade do solo, didaticamente, utilizam-se os termos "fertilidade natural", "fertilidade potencial" e "fertilidade atual" (Buol *et al.*, 1974).

A fertilidade natural é definida como a fertilidade inerente ao solo, oriunda do seu processo de formação. Representa um termo utilizado para se avaliarem os solos que não sofreram interferência antrópica e implica a capacidade original dos solos em ceder nutrientes para as culturas. Por outro lado, a fertilidade atual é usada para avaliar os solos que foram modificados pela atuação humana. Logo, é comumente empregada na avaliação dos solos que foram submetidos a manejos agrícolas, como revolvimento, plantio, correção e adubação mineral ou orgânica. Já a fertilidade potencial é utilizada quando se constata a presença de algum elemento ou característica que impede o solo de mostrar sua real capacidade de ceder nutrientes. Assim, nesses solos, a capacidade de uso geralmente é pequena, ainda que a fertilidade potencial seja alta. Um exemplo de solos com elevada fertilidade potencial são os ácidos e ricos em nutrientes. As causas da elevada fertilidade potencial desses solos serão discutidas posteriormente.

2. Classificação e uso dos solos brasileiros

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), os solos brasileiros podem ser divididos em 14 classificações, levando-se em consideração os seus atributos físico-químicos. Nessa divisão, os solos classificados como Latossolos e Argissolos ocupam cerca de 58% do território nacional. Esses solos geralmente são profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio. Além disso, existem os solos de média a alta fertilidade no Brasil, em geral pouco profundos devido ao baixo grau de intemperismo. Esses solos, por sua vez, enquadram-se nas classes dos Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos e, juntos, representam cerca de 30% do território nacional. Portanto, a maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural.

Entretanto, o uso gradativo de tecnologias, como aplicação de corretivos e fertilizantes, e de práticas de manejo mais eficientes aumentou a capacidade de uso dos

solos do país (Embrapa, 2018). Esse aumento ocorreu principalmente no Cerrado, segundo maior bioma da América do Sul, que ocupa cerca de 22% do território nacional (MMA, 2015). O cerrado é tipicamente constituído por solos de baixa fertilidade natural (Silva, 2019) e possui diversos aspectos frequentemente observados em solos de regiões tropicais. Entre esses aspectos, cita-se a elevada concentração de óxidos, principalmente de alumínio e de ferro, e as elevadas perdas de bases por lixiviação (Silva, 2019).

Conforme Erisman (2008), o uso de práticas relacionadas ao aumento da fertilidade dos solos agrícolas foi o responsável por grande parte do aumento de produtividade das culturas constatado recentemente no país. No entanto, é importante considerar que a fertilidade do solo é apenas um entre os vários fatores que determinam a produtividade agrícola. Fatores como clima, relevo, fotoperíodo, disponibilidade hídrica e características intrínsecas da cultura (espécie e cultivar) também são determinantes. Assim, é importante considerar que um solo pode ser fértil sem necessariamente ser produtivo (Ronquim, 2010). Considerando-se a complexidade e o número de variáveis que determinam a fertilidade final dos solos, a seguir serão apresentados os conceitos básicos de maior uso e relevância nesse contexto.

3. Conceitos básicos relacionados à avaliação da fertilidade

3.1 Elementos químicos essenciais

O uso do conceito de fertilidade do solo, como a já citada “capacidade de ceder elementos essenciais às plantas”, requer o entendimento dos aspectos que conferem o caráter essencial de um nutriente no solo. Conforme Epstein (1975), o elemento essencial é aquele que faz parte da molécula de um constituinte essencial à planta. Com isso, a ausência desse tipo de elemento impede que a planta complete o seu ciclo de forma direta. Além disso, a deficiência de um nutriente dessa natureza desencadeia sinais específicos e pode ser prevenida ou corrigida somente mediante seu fornecimento. Um exemplo clássico de um elemento que satisfaz esse critério é o magnésio (Mg), constituinte da molécula de clorofila (Lopes e Guilherme, 2007).

Cerca de 90% da matéria seca de uma planta é composta pelo carbono (C), pelo hidrogênio (H) e pelo oxigênio (O) (Lopes e Guilherme, 2007). Assim, a essencialidade desses elementos é evidente. Contudo, o C, o H e o O são fixados nos tecidos vegetais pela absorção de água e pela transformação do CO₂, via fotossíntese. Dessa forma, nos estudos de fertilidade do solo, esses três elementos não são considerados.

Juntamente com o C, o H e o O, outros seis componentes são absorvidos e exigidos em quantidades superiores aos demais. Esses nutrientes são referidos como os macronutrientes ou nutrientes principais e são constituídos pelo nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Existem ainda outros componentes, referidos como micronutrientes ou elementos-traço, que também são essenciais ao desenvolvimento das plantas, porém são exigidos em menores quantidades. Esses nutrientes são: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (Furtuni Neto *et al.*, 2001).

Destaca-se que muitas vezes os nutrientes podem estar presentes no solo, mas não necessariamente disponíveis para a absorção vegetal. Entre os diversos aspectos que interferem na disponibilidade dos nutrientes, cita-se a textura do solo. Nesse sentido, um importante elemento que tem sua disponibilidade afetada pela textura é o P, cuja disponibilidade é tão menor quanto maior for o teor de argila. Portanto, a interpretação da disponibilidade de P no solo deve levar em consideração a textura.

A maior parte dos macros e dos micronutrientes encontram-se adsorvidos nas frações minerais e orgânicas do solo. Essas frações organizam-se como coloides, que representam partículas do solo de tamanho reduzido (Ronquim, 2010). Parte dos nutrientes também se encontram dissolvidos na solução do solo. Contudo, a quantidade de nutrientes em solução geralmente é baixa (Furtuni Neto *et al.*, 2001).

3.2 Capacidade de troca de cátions e saturação por bases

Os principais componentes dos coloides dos solos tropicais são as argilas coloidais, as substâncias húmicas e os sesquióxidos de ferro e de alumínio (Ronquim, 2010). Esses componentes geralmente apresentam superfície eletricamente carregada, que pode reter íons de forma trocável (reversível) ou não e com diferentes intensidades. Ressalta-se que, sem essa condição, os nutrientes do solo seriam intensamente perdidos por percolação da água (lixiviação). Portanto, as cargas elétricas coloidais conferem a capacidade de reter ânions e cátions (nutrientes ou não) que foram liberados pelo intemperismo dos minerais primários ou pela decomposição da matéria orgânica (Baldotto e Velloso, 2014).

Devido ao maior número de cargas negativas do que positivas nos coloides, a adsorção é principalmente de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+}). A quantidade total de cátions retidos na superfície coloidal em condição permutável representa a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo (Ronquim, 2010). Logo, a CTC dos solos representa a

gradação da capacidade de liberação de vários nutrientes, o que favorece a manutenção da fertilidade por um prolongado período (quando elevada).

Entretanto, é importante considerar a natureza dos cátions adsorvidos para se prever a fertilidade dos solos. Quando a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions como o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o K^+ , pode-se dizer que esse solo é favorável ao desenvolvimento das culturas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como o H^+ e o Al^{3+} , o solo é considerado pobre. Destaca-se que os íons H^+ são retirados da superfície de adsorção apenas por reação direta com hidroxilas (OH^-) (Furtini Neto *et al.*, 2001). Portanto, a sua presença reduz a CTC do solo (CTC efetiva).

Com a determinação da CTC, é possível estimar a fertilidade potencial dos solos, a partir do cálculo de saturação por bases (V%). A saturação por bases representa a soma das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), expressa em porcentagem de CTC ou T [$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$] (Ribeiro *et al.*, 1999). Com isso, baixos valores de V indicam que há pequenas quantidades de cátions adsorvidos aos colóides e que a maior parte dessas bases está neutralizada por H^+ e/ou Al^{3+} . Sabe-se que a concentração de H^+ , medida pelos valores de pH, representa os níveis de acidez do solo. Assim, os solos com baixo V geralmente são ácidos e podem apresentar concentrações de alumínio em níveis tóxicos (Ribeiro *et al.*, 1999).

Os solos de maior fertilidade, com valores de V maiores ou iguais a 50%, são classificados como eutróficos. Já os solos de menor fertilidade, com valores de V menores do que 50%, são classificados como distróficos. Ressalta-se que alguns solos distróficos podem ser muito pobres em Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado. Nas situações em que a concentração de alumínio é superior a 50%, os solos são classificados como álicos (muito pobres).

3.3 Toxicidade e acidez dos solos

Resumidamente, a toxicidade pela presença dos íons de H^+ e de Al^{3+} pode ocorrer de forma direta sobre o metabolismo das plantas (Echart e Cavalli-Molina, 2001) ou de forma indireta. Um importante exemplo de impactos indiretos refere-se à redução da disponibilidade de P. Essa redução ocorre devido a uma forte interação eletrostática entre o fosfato (PO_3^-) e o Al^{3+} , que é de difícil separação em meio ácido. Dessa forma, nos solos álicos, mesmo que a concentração de P seja elevada, uma pequena fração desse nutriente será efetivamente absorvida pelas plantas. Conforme Bot *et al.* (2000), a toxidez causada

por Al^{3+} afeta cerca de 63% de toda a área de solos do Brasil, e cerca de 25% do território brasileiro apresenta solos com elevada capacidade de fixação de P.

Em relação à acidificação dos solos, destaca-se que se trata de um processo químico que ocorre naturalmente (Goulding, 2016). Esse processo advém principalmente da intensa percolação de bases, provenientes do intemperismo das rochas pela água das chuvas. Assim, em regiões de clima tropical, em que a ação das chuvas e das altas temperaturas é mais intensa, os solos geralmente são mais velhos e, portanto, mais ácidos. A acidificação também pode acontecer como consequência da adubação, especialmente em virtude do uso dos adubos nitrogenados. De forma simplificada, esse processo ocorre pela liberação de íons H^+ , por meio da transformação dos resíduos no solo. Tal condição assume grande importância no cenário atual, em que os sistemas produtivos estão cada vez mais intensificados (Yan *et al.*, 2020). O controle da acidez dos solos é fundamental, pois interfere de forma negativa e direta no desenvolvimento vegetal e na disponibilidade de nutrientes, como o cálcio e o magnésio (Ribeiro *et al.*, 1999).

3.4 Equilíbrio entre nutrientes no solo

A proporção entre os nutrientes disponíveis no solo é um fator determinante no sucesso das culturas. Nesse sentido, Liebig (1843) estabeleceu um importante princípio para o entendimento da fertilidade dos solos conhecido como a Lei dos Mínimos. Essa lei é extensamente usada na orientação dos programas de adubação e no manejo geral dos solos. Nela, define-se que o crescimento vegetal é limitado por aquele nutriente que se encontra em menor proporção no solo em relação à necessidade das plantas. Assim, mesmo que os demais nutrientes estejam em teores suficientes no solo, o desenvolvimento das culturas será limitado pelo elemento essencial de menor disponibilidade. Esse aspecto evidencia a importância de se analisarem os solos a serem trabalhados e de se realizarem adubações adequadas e manejos que minimizem as perdas de nutrientes.

É relevante destacar também que os nutrientes do solo interagem entre si, ou seja, um ou mais elementos exercem influência mútua ou recíproca. Essa interação é denominada como positiva/sinérgica quando a presença de dois ou mais nutrientes no solo potencializa a produtividade das culturas (Grohskopf *et al.*, 2019). Por outro lado, essa interação também pode ser negativa/antagônica, isto é, quando a presença de um determinado elemento limita a ação do outro. Um exemplo desse tipo de interação é a redução da disponibilidade de P em solos ricos em Al^{3+} .

3.5 Matéria orgânica e fertilidade dos solos

A matéria orgânica (MO) do solo representa toda substância morta que tenha origem em resíduos animais ou vegetais, em diversos estágios de decomposição. A matéria orgânica apresenta um papel relevante no equilíbrio dos estoques de carbono do planeta, pois contém mais carbono do que toda a vegetação mundial e na atmosfera em conjunto (Lehamann e Kleber, 2015). Em relação à qualidade dos solos, a MO possui uma considerável capacidade condicionante, com diversos impactos positivos sobre os atributos físicos do solo. Nota-se ainda que a MO contém praticamente os macros e os micronutrientes e, além disso, confere maior disponibilidade dos nutrientes no solo. Porém, o impacto desses benefícios é variável, devido à diversidade de componentes presentes na matéria orgânica, com pesos moleculares, grupos funcionais e polaridades distintos (Bejger *et al.*, 2018; Weber *et al.*, 2018). A seguir, serão detalhados os principais aspectos relacionados a esses benefícios.

O aumento da disponibilidade de nutrientes no solo decorre do desencadeamento de diferentes processos. Entre esses processos, cita-se a mineralização, que consiste na transformação dos elementos presentes em moléculas orgânicas para a forma inorgânica. Esse processo ocorre em etapas específicas dos ciclos biogeoquímicos, como o do carbono e o do nitrogênio, com a atividade de microrganismos, como as bactérias e os fungos (Moreira e Siqueira, 2006). Sabe-se que os nutrientes são absorvidos pelas plantas na forma inorgânica. Desse modo, a mineralização eleva a disponibilidade de nutrientes no solo de maneira direta (disponibilização dos nutrientes da própria matéria orgânica) (Pellitier e Donald, 2017).

Durante o processo de decomposição da matéria orgânica, ocorre a formação de ácidos orgânicos, também relacionados ao aumento da disponibilidade de nutrientes. Os ácidos orgânicos competem com os elementos pela ocupação dos sítios de troca da fase sólida do solo, e, com isso, há um aumento da disponibilidade dos nutrientes. Esses ácidos também podem se complexar com íons indesejáveis, como o H^+ e Al^{3+} , o que eleva os valores de pH e aumenta a disponibilidade de bases, como o Ca, o Mg e o K, e de ânions fosfato no solo (Pavinato e Rosolem, 2008).

A matéria orgânica também atua como um fator condicionante. Um exemplo dessa atuação é o aumento da CTC do solo. Esse aumento ocorre devido à elevada capacidade eletrostática das substâncias húmicas, que são as substâncias orgânicas remanescentes após a transformação (decomposição) da biomassa (Ukalska-Jaruga *et al.*,

2018). Assim, considera-se que as substâncias húmicas possuam CTC até 10 vezes maiores do que as argilas minerais, como a montmorilonita. Em comparação com os coloides formados pelos óxidos de Fe e Al, essa diferença pode ser de até 100 vezes, conforme demonstrado por Mello *et al.* (1983).

Tabela 1. Capacidade de troca de cátions dos principais coloides do solo sob condições tropicais

Coloide	CTC - mmol _c /dm ³
Caolinita	50 - 150
Montmorilonita	500 - 1000
Ilita	100 - 500
Vermiculita	1000 - 1500
Alofana	250 - 700
Óxidos de Fe e Al	20 - 50
Substâncias húmicas	1500 - 5000

Adaptado de Mello *et al.* (1983).

Dessa forma, a manutenção da matéria orgânica pode ser uma importante ferramenta para o aumento da fertilidade dos solos, principalmente os altamente intemperizados (maior parte dos solos brasileiros) (Santos *et al.*, 2018). Entretanto, deve se considerar que as cargas negativas das substâncias húmicas são provenientes da dissociação de íons H⁺ de radicais carboxílicos e fenólicos. Portanto, a CTC da matéria orgânica é efetiva somente quando os valores de pH forem elevados, devido à neutralização dos íons de H⁺ pelas hidroxilas. Assim, maiores concentrações de matéria orgânica levam a um aumento da CTC em solos que foram previamente corrigidos ou que são naturalmente pouco ácidos.

As substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados que diferem de outros polímeros por sua estrutura molecular e elevada persistência no solo (Baldotto e Baldotto, 2014). São divididas em três frações coloidais distintas: os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas. A formação dessas substâncias depende das condições climáticas, das propriedades químico-biológicas dos solos (Post, King e Wullschleger, 1996) e das propriedades da matéria orgânica em si. Os mecanismos específicos da formação das substâncias húmicas ainda não são um consenso na literatura (Baldotto *et al.*, 2010). Contudo, de um modo geral, sabe-se que a “humificação” da matéria orgânica ocorre pela ação oxidante de microrganismos, como bactérias e fungos, em meio aeróbico (Thurman, 1985; Baldotto e Baldotto, 2014).

3.6 Matéria orgânica e estrutura dos solos

A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na melhoria dos aspectos estruturais do solo. Conforme Bronick e Lal (2005), a estrutura do solo refere-se ao tamanho, à forma e ao arranjo das partículas sólidas e dos espaços vazios, a capacidade de reter e transmitir fluidos e a habilidade de suportar o desenvolvimento das raízes. A organização estrutural dos solos é variável e ocorre com a formação de unidades básicas denominadas como agregados do solo, que variam em tamanho, forma e estabilidade (Six *et al.*, 2004).

Os agregados são formados pela união entre as partículas do solo que se aderem de tal modo que se comportam mecanicamente como uma só unidade. Assim, os agregados são formados pela interação entre minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes das plantas vivas, fragmentos de plantas e de microrganismos (Vezanni e Mielniczuk, 2011). Com base em seu tamanho, os agregados são divididos em dois tipos distintos: os macros e os microagregados. Os macroagregados são maiores ($> 0,25$ mm) e mais estáveis e resultam da atividade biológica no solo, como o crescimento de raízes e hifas fúngicas e a presença de resíduos de plantas, insetos e outros organismos (Salton *et al.*, 2014). Já os microagregados representam estruturas mais simples, de menor tamanho ($< 0,25$ mm) e menor estabilidade, formados essencialmente pela união entre cátions polivalentes e partículas minerais da fração argila, como a caulinita e os óxidos de Fe (Vezanni e Mielniczuk, 2011).

Dessa forma, a presença da matéria orgânica no solo favorece a formação dos macroagregados. Segundo Campos *et al.* (1995), o material orgânico é fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização. Além disso, a estrutura complexa da matéria orgânica, com longas cadeias de carbono, agrega partículas minerais (Gerke, 2018). Sabe-se que os solos mais agregados são considerados de melhor qualidade (Vezanni e Mielniczuk, 2009). Esses solos são menos densos e possuem maior porosidade, o que favorece a infiltração e a retenção da água no perfil. A maior agregação do solo também aumenta a resistência ao impacto direto das gotas de chuva. Assim, solos mais agregados e, portanto, ricos em matéria orgânica, possuem maior resistência aos processos erosivos.

A presença de raízes vivas também favorece a agregação dos solos, uma vez que os exsudatos liberados por esses tecidos representam uma importante fonte de energia aos microrganismos. Nesse sentido, gramíneas com maior densidade e maior distribuição

radicular no solo podem ser utilizadas com o objetivo de melhorar a qualidade dos solos em áreas degradadas (Silva e Mielniczuk, 1998).

Nota-se ainda que a matéria orgânica reduz a coesão e a plasticidade dos solos, o que favorece as operações de preparo e plantio. Ela também confere maior resistência à elevação da temperatura, principalmente quando há presença de cobertura na camada superficial do solo (palhada ou liteira). Essa camada superficial também representa uma importante proteção da superfície do solo contra o impacto das chuvas e a insolação. Por fim, a matéria orgânica representa a principal fonte de nutrientes e energia para os microrganismos do solo (Ribeiro *et al.*, 1999). Os microrganismos apresentam participação relevante na construção da fertilidade dos solos, por meio da fixação de nutrientes e da produção de compostos relacionados ao aumento da estabilidade estrutural dos solos (Moreira e Siqueira, 2006).

Portanto, a matéria orgânica é um importante condicionador biofísico que potencializa a capacidade de uso dos solos (Lopes e Guilherme, 2007). É relevante destacar que a maioria dos solos cultivados no mundo encontram-se esgotados em matéria orgânica (Ondrasek *et al.*, 2019). Essa condição é atribuída principalmente ao uso contínuo de práticas pouco conservadoras em sistemas de monocultivo e extrativistas. Nesses sistemas, a permanência da fração húmica pode ser muito curta, devido à maior atividade microbiana e enzimática, especialmente em solos tropicais e com baixos teores de argila (Siqueira e Franco, 1988). Sabe-se que a textura se relaciona com a retenção da matéria orgânica no solo. Conforme Ebeling *et al.* (2011), solos mais argilosos apresentam maior capacidade de retenção de ácidos fúlvicos (componentes das substâncias húmicas) e de carbono em comparação com solos de textura arenosa.

A redução gradativa da concentração de C orgânico no solo favorece o rompimento dos macroagregados em microagregados (Loss *et al.*, 2020). De acordo com Freitas *et al.* (2018), tal processo é acelerado pelo revolvimento excessivo dos solos. Essas operações pulverizam e desestabilizam os agregados do solo. Embora ocorra um aumento da macroporosidade na camada superficial, observa-se um adensamento das partículas imediatamente abaixo dessa camada, devido ao tráfego excessivo de máquinas e equipamentos. Além disso, a macroporosidade superficial é rapidamente perdida pela acomodação das partículas de solo desagregadas, o que diminui a aeração e o crescimento das raízes.

Segundo Wendling *et al.* (2012), a redução da porosidade do solo e o aumento da densidade representam o nível de compactação dos solos. A compactação do solo implica

restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas e menor disponibilidade de água e de nutrientes. Essa menor disponibilidade é causada principalmente pela diminuição dos macro/microporos, o que dificulta a aeração e a manutenção do equilíbrio biológico no solo e da respiração das raízes (Brady e Weil, 2002).

Dessa forma, a manutenção da produtividade dos solos tropicais requer a implementação de práticas de cultivo alternativas que minimizem as perdas de MO (Primavesi, 2006). Esse objetivo pode ser atingido pela adoção de práticas conservacionistas, baseadas no mínimo revolvimento, na inclusão de gramíneas perenes e na rotação/integração entre culturas e/ou animais. Com isso, verifica-se uma menor degradação da matéria orgânica (Bayer *et al.*, 2006) e a manutenção ou a recuperação da estrutura do solo (Haynes e Beare, 1996).

4. Impactos dos componentes dos sistemas integrados sobre a fertilidade do solo

Os sistemas integrados baseiam-se na coexistência espacial e/ou temporal de diferentes componentes produtivos do setor agropecuário em uma mesma área. Recentemente, esses sistemas têm recebido maior enfoque, devido à associação com o conceito de intensificação ecológica e sustentável. Essa associação advém da possibilidade de se aumentar a eficiência de uso dos solos, devido às interações sinérgicas entre os componentes vegetais, animais e do próprio solo, com a menor necessidade de abertura de novas áreas. Além disso, observa-se aumento da produtividade e da resiliência do sistema como um todo, tanto às perturbações do clima quanto do mercado. Portanto, o uso dos sistemas integrados minimiza a pressão sobre os ecossistemas naturais e, ao mesmo tempo, reduz o risco financeiro e produtivo nos sistemas agropecuários (Cordeiro *et al.*, 2015; Assis *et al.*, 2019).

Um dos principais responsáveis pelo caráter sustentável dos sistemas integrados refere-se ao aumento da fertilidade do solo (Loss *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020). Nesse sentido, a rotação de culturas pode melhorar importantes atributos do solo, devido ao maior aporte de biomassa (parte aérea e raízes) e de matéria orgânica ao solo (Loss *et al.*, 2014). O uso da mesma área de forma consecutiva e/ou concomitante também aumenta a eficiência de uso dos corretivos e dos fertilizantes (Paciullo *et al.*, 2017) e pode elevar a diversidade e a atividade dos microrganismos no solo (Salton *et al.*, 2014).

A intensidade e as consequências das alterações citadas dependem do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas. Essa intensidade também

depende dos aspectos climáticos (como a pluviosidade e as temperaturas médias) e edáficos (como a textura e a composição original dos solos). Ainda assim, existe um consenso na literatura em relação ao potencial dos sistemas integrados sobre a qualidade dos solos (Lemaire *et al.*, 2014; Sarto *et al.*, 2020). A seguir, será abordado como os principais componentes e práticas de manejo, usualmente presentes nos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), atuam nesse contexto.

4.1 Plantio direto

O sistema de plantio direto (SPD) representa uma prática de manejo conservacionista, presente nos diferentes modelos de ILP e de ILPF. O plantio direto consiste em realizar a semeadura das culturas sem revolver o solo e diretamente sobre a matéria orgânica oriunda das culturas de cobertura (geralmente gramíneas), somadas aos resíduos das lavouras (geralmente leguminosas ou cereais). Conforme a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação – FEBRAPDP (2020), a área manejada sob o sistema de plantio direto no país aumentou de 180 ha, na safra de 1972/73, para quase 33 milhões de ha, em 2018. Esse aumento expressivo demonstra o potencial agrícola da técnica, que demanda um menor número de operações e, ao mesmo tempo, pode elevar ou manter a fertilidade do solo.

Segundo Briedis *et al.* (2018), a conversão das áreas de vegetação nativa para os sistemas baseados em áreas agrícolas geralmente resulta em perdas de C orgânico na camada superficial do solo. Essas perdas podem atingir valores entre 72 e 90% em sistemas baseados nas práticas tradicionais de cultivo. Por outro lado, a implementação do SPD nessas áreas pode restaurar a fração de C lábil em até 89%, ainda nos primeiros anos. Dessa forma, observa-se que os solos dos sistemas integrados com uso do SPD apresentam maior estabilidade dos agregados, porosidade/aeração (Loss *et al.*, 2014) e CTC (Galindo *et al.*, 2020), associados a uma menor densidade, em comparação com os sistemas tradicionais baseados no monocultivo (Marchão *et al.*, 2007). O aumento da proporção de matéria orgânica no solo advém das raízes e da liteira provenientes principalmente da cultura de cobertura/pastagem.

Além dos efeitos condicionantes devido à adição de matéria orgânica, observa-se ainda uma tendência de acúmulo de nutrientes, especialmente de Ca, Mg, K e P, nas camadas superficiais do solo. Esse acúmulo é decorrente da decomposição e da liberação dos nutrientes presentes nos tecidos vegetais das culturas remanescentes. Como não há o

revolvimento do solo, esses nutrientes permanecem concentrados nas camadas superficiais (Ferreira *et al.*, 2009). O não revolvimento do solo também favorece o desenvolvimento de microrganismos, principalmente dos fungos.

É importante citar que o grau de perturbação, a umidade e a presença de resíduos são fatores determinantes na proporção de biomassas bacteriana e fúngica presentes nos agroecossistemas (Zhao *et al.*, 2015). Dessa forma, observa-se que a diversificação das espécies vegetais nos sistemas integrados com SPD pode elevar a diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (Miranda e Miranda, 2007) e de grupos da macrofauna invertebrada do solo (Marchão *et al.*, 2009; Salton *et al.*, 2014). A macrofauna invertebrada do solo desempenha papel-chave nos ecossistemas por participar em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar. Esses invertebrados alteram as populações e a atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação da MO, além de alterarem a disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas (Salton *et al.*, 2014). Os fungos micorrízicos arbusculares, por sua vez, podem aumentar a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, como o fósforo, deficiente na maioria dos solos do Cerrado.

Portanto, o SPD é considerado um marco no que se refere à conservação e à preservação dos solos no Brasil (Andrade *et al.*, 2018). Contudo, a implantação desse sistema, em muitas situações, não foi adequadamente planejada e ocorreu sem a adoção das recomendações técnicas necessárias. Dessa forma, alguns empreendimentos agropecuários ainda são resistentes ao uso dessa técnica. Conforme Andrade *et al.* (2018), as principais causas de insucesso e desafios do SPD são a dificuldade de manutenção de uma cobertura permanente sobre a superfície do solo e o monocultivo.

A cobertura adequada do solo é um grande desafio do SPD, especialmente em regiões que apresentam período de chuvas irregular e/ou curto, como no Cerrado (Andrade *et al.*, 2018). Nesses locais, as culturas podem deixar quantidades insuficientes de palha para o recobrimento do solo, devido ao baixo acúmulo de biomassa e à elevada velocidade de decomposição. Em tais situações, podem-se observar impactos negativos sobre determinados atributos do solo, como o aumento da compactação da camada superficial.

Entretanto, em condições de manejo adequadas, a maior parte dos trabalhos constataram uma redução da compactação dos solos manejados com o SPD em sistemas integrados, em comparação com os solos manejados nos sistemas tradicionais de cultivo (Loss *et al.*, 2014; Assis *et al.*, 2019). Os principais fatores responsáveis por essa redução

referem-se ao desenvolvimento do sistema radicular das gramíneas usadas como culturas de cobertura/pastagem e ao menor tráfego de máquinas e equipamentos sobre a área cultivada (Debiasi *et al.*, 2008). Sabe-se que solos menos compactados favorecem a atividade biológica, pois a aeração é fundamental para o desenvolvimento de importantes microrganismos no solo, como os fungos micorrízicos.

A compactação do solo é mensurada pela densidade aparente, que corresponde à massa do solo seco por unidade de volume, incluindo o espaço poroso. Em geral, admite-se que solos com valores de densidade acima dos $1,4 \text{ kg/m}^3$ estão compactados, a não ser que se trate de um solo argiloso. Além da densidade aparente, a compactação dos solos também pode ser avaliada pela resistência mecânica à penetração (Hillel, 1998). Franchini *et al.* (2009) determinaram a resistência do solo à penetração (RP) em um sistema de produção de soja em ILP e SPD implementado após sete anos de cultivo tradicional em comparação com o sistema tradicional de cultivo. No local em que foi utilizado o cultivo tradicional, os autores encontraram valores de RP superiores ao considerado limitante ao desenvolvimento da soja. Por outro lado, nas áreas em que houve a introdução da pastagem em SPD, os valores de RP permaneceram abaixo desses limites logo no primeiro ano após implantação.

Os autores atribuíram os resultados principalmente à ação do sistema radicular da *Urochloa brizantha* que, devido a sua agressividade e vigor, foi capaz de romper as camadas compactadas. Além disso, a biomassa produzida na parte aérea e nas raízes das pastagens aumenta o aporte de matéria orgânica, o que também pode proporcionar melhor estrutura ao solo (Debiasi *et al.*, 2008). Ainda no trabalho conduzido por Franchini *et al.* (2009), os autores também observaram um pequeno aumento, porém significativo, dos valores de RP nos sistemas de ILP no segundo ano após implantação, especialmente na camada de 10 a 20 cm do solo. Esse aumento foi associado ao efeito cumulativo do pisoteio animal na área.

4.2 Componente animal e qualidade dos solos

O pisoteio dos animais representa um dos principais pontos negativos geralmente citados em relação aos sistemas de ILP e de ILPF. Lanzasova *et al.* (2007) avaliaram os atributos físicos dos solos de duas áreas de ILP com ou sem pastejo. Como resultado, os autores constataram uma redução da macroporosidade e da porosidade total na camada superficial do solo nas áreas pastejadas. Apesar desses resultados, deve-se considerar que diversos aspectos interferem na magnitude dos danos causados pelo pisoteio dos animais

no sistema. Ressalta-se ainda que, quando os impactos negativos do pisoteio animal ocorrem, geralmente ficam limitados às camadas superficiais e podem ser temporários e reversíveis (Ambus *et al.*, 2018).

Marchão *et al.* (2007), em um experimento com 13 anos de duração, avaliaram a qualidade dos solos de sistemas de ILP no Cerrado brasileiro, formados com diferentes espécies forrageiras. Nesse sistema, a alternância entre pastagem e lavoura ocorreu a cada quatro anos. Os autores demonstraram que o pisoteio animal durante a fase de pastagem não atingiu valores limitantes ao crescimento vegetal. Também constataram maior compactação de solo nas áreas formadas com gramíneas de crescimento cespitoso (*Megathyrsus maximum*). Esse tipo de crescimento vegetal oferece menor capacidade de distribuir a pressão imposta pelo pisoteio em comparação com as plantas que cobrem melhor o solo (Torres *et al.*, 2012).

Além da espécie forrageira, a taxa de lotação e a massa de forragem são fatores determinantes na atuação do pisoteio sobre a densidade do solo. Moreira *et al.* (2014), em um estudo com sete anos de duração, avaliaram os atributos físicos do solo manejado em sistemas de ILP. Os tratamentos avaliados consistiram em quatro alturas de pastejo (7, 14, 21 e 28 cm) e um tratamento controle (testemunha) em pastagens formadas com aveia e azevém durante o inverno. No verão, a área foi cultivada com soja ou milho. A intensificação do pastejo reduziu a aeração e aumentou a densidade dos solos de forma gradativa, especialmente nas camadas superiores.

Outros trabalhos também evidenciaram a importância do adequado ajuste na taxa de lotação para se garantir a longevidade produtiva e a qualidade física dos solos manejados em sistemas de ILP (Ortigara *et al.*, 2014). Contudo, observa-se que a utilização de intensidades de pastejo moderadas, conforme a capacidade de suporte da área, promove pouco ou nenhum dano à compactação do solo (Bortolini *et al.*, 2016; Ambus *et al.*, 2018; Mattei *et al.*, 2020). É importante ressaltar que outros aspectos, como a classe textural (Bortolini *et al.*, 2016), o teor de umidade, (Marchão *et al.*, 2007) e a categoria animal, também interferem nos efeitos do pisoteio sobre a qualidade física dos solos.

A presença dos animais também tem sido relacionada ao aumento da estabilidade e ao tamanho dos agregados do solo. Souza *et al.* (2010) avaliaram esses aspectos nos solos manejados em sistema ILP pastejados no período de inverno (aveia e azevém) em rotação com o cultivo de soja no verão. Os autores compararam três intensidades de pastejo (leve, moderada e intensa) com um grupo controle (sem pastejo). Os resultados

encontrados apontaram que o pastejo promoveu maior agregação do solo em relação às áreas não pastejadas e os maiores valores foram observados nas intensidades de pastejo moderadas. Os resultados foram justificados, principalmente, pelo maior estímulo ao desenvolvimento das pastagens após a desfolha (rebrote após o pastejo). Com isso, ocorre um aumento do acúmulo de resíduos vegetais, sobretudo nas raízes. Além disso, a maior produção de exsudatos pelas raízes (estimulada pelo pastejo), associada à deposição de urina e fezes, pode elevar a atividade microbiana no solo (fonte de energia e nutrientes) (Moraes *et al.*, 2014). Essa condição é positivamente relacionada com a formação de macroagregados. Porém, tal efeito positivo ocorreria apenas até o ponto em que a intensidade do pastejo começa a causar compactação do solo e um consequente declínio na macroporosidade e no fornecimento de oxigênio.

Além das modificações físicas, a inclusão do componente animal leva a uma redistribuição de nutrientes no sistema, no processo de consumo da pastagem e na excreção. Portanto, os animais são agentes intensificadores da ciclagem de nutrientes. Nota-se ainda que os animais podem reduzir a disponibilidade de nutrientes no sistema, via exportação de elementos fixados nos produtos, como a carne e o leite. Essa exportação varia conforme a quantidade de produtos formados por área (Carvalho *et al.*, 2010). Contudo, conforme demonstrado por Souza *et al.* (2010), essa redução de nutrientes é minimizada quando há um uso adequado da área, com ajustes na taxa de lotação.

Alguns trabalhos citaram ainda um aumento da disponibilidade de nutrientes no solo com a introdução do componente animal no sistema. Deiss *et al.* (2016) qualificaram e quantificaram os compostos orgânicos e inorgânicos de P no solo em sistemas de ILP, pastejados de forma moderada no inverno. Os autores não observaram diferenças no teor total de P no solo. Porém, houve um aumento das formas de maior biodisponibilidade nos solos que foram pastejados. Esse aumento de biodisponibilidade foi constatado pelo aumento proporcional da forma orgânica em comparação com a inorgânica. Portanto, os autores concluíram que os sistemas de cultivo que integram a pecuária podem ser uma alternativa sustentável para melhorar o uso de P.

Conforme discutido anteriormente, a presença da matéria orgânica eleva a disponibilidade dos nutrientes no solo, e o pastejo moderado pode aumentar a adição de resíduos vegetais e de matéria orgânica ao solo (maior massa e exsudação das raízes das gramíneas). Logo, o aumento da disponibilidade de P constatado por Deiss *et al.* (2016) poderia ser justificado pelo maior aporte de matéria orgânica ao solo. Contudo, é

importante ressaltar que fatores diretamente ligados à presença dos animais também podem atuar no aumento de disponibilidade dos nutrientes.

De acordo com Davinic *et al.* (2013), a atuação direta dos microrganismos oriundos do trato digestivo dos animais no solo pode elevar a taxa de mineralização da matéria orgânica. Além disso, em relação ao P especificamente, sabe-se que os ruminantes são capazes de hidrolisar o ácido fítico (Humer e Zebeli, 2015), o qual representa um complexo formado pela interação entre o fosfato e o inositol que reduz a disponibilidade do fósforo. Desse modo, a maior parte do P ingerido pelos ruminantes é eliminada sob a forma de ortofosfato, que é prontamente disponível para plantas.

Apesar dos benefícios diretos e indiretos sobre o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, é importante ressaltar que as adubações de reposição são fundamentais para se garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção em longo prazo (exportação de nutrientes).

4.3 Componente arbóreo e qualidade dos solos

Assim como nos sistemas de ILP, nos sistemas de ILPF também se observa um aumento significativo da qualidade do solo, em comparação com os solos de pastagens manejados de forma convencional (Oliveira *et al.*, 2017). Entretanto, a presença das árvores no sistema desencadeia diferentes processos no solo, o que resulta em importantes diferenças entre os solos dos sistemas de ILPF e de ILP. As árvores atuam de forma direta sobre as perdas de nutrientes causadas por processos como a lixiviação e a erosão e aumentam a disponibilidade de nutrientes pela sua maior liberação na matéria orgânica do solo (Sarto *et al.*, 2020). Além disso, as raízes das árvores alcançam nutrientes em maiores profundidades, geralmente fora do alcance do sistema radicular das culturas (Franzluebbers *et al.*, 2017). Com isso, pode haver um aumento da concentração desses nutrientes na superfície, com a posterior decomposição e exsudação das raízes e de outros tecidos.

Outro aspecto único dos sistemas de ILPF diz respeito à atuação da sombra formada pela copa das árvores sobre as taxas de mineralização da matéria orgânica. Dessa forma, observa-se um aumento da disponibilidade de importantes macronutrientes no solo, como o nitrogênio. O aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica se deve a uma atividade microbiana mais eficiente nos solos sombreados (Wilson, 1998), devido à maior estabilidade térmica e à maior retenção de umidade (Bretas *et al.*, 2020).

Observa-se ainda que, nos sistemas de ILPF, as modificações sobre as propriedades físico-químicas do solo ocorrem de modo desuniforme na área (Borges *et al.*, 2019). Assim, constatam-se importantes diferenças nos solos situados sob a linha de plantio das árvores, em comparação com o solo presente nas entrelinhas.

Conforme Assis *et al.* (2015), as diferenças físico-químicas dentro de uma mesma área manejada sob sistema de ILPF ocorrem devido à atuação dos animais na área. Sabe-se que, principalmente nas regiões tropicais, os animais tendem a se reunir sob a copa das árvores, com o objetivo de reduzir o desconforto térmico. Esse comportamento pode alterar diversas propriedades físicas e químicas do solo, em razão do maior pisoteio e da maior deposição de fezes e urina nesses locais. Borges *et al.* (2019), corroborando essa teoria, constataram um aumento da compactação do solo e uma redução da estabilidade dos agregados na camada superior dos solos situados ao lado da linha das árvores. Outros fatores também têm sido apontados como causadores da desuniformidade dos solos com a inclusão do componente arbóreo.

Segundo Almeida *et al.* (2014), a menor concentração de nutrientes no solo no espaço entre as linhas das árvores ocorre devido à menor competição por água e luz entre as culturas consorciadas nesses locais. Essa condição favorece o crescimento e a fixação de nutrientes nas culturas em comparação com os locais de maior sombreamento. Como o retorno desses nutrientes ao sistema ocorre através das fezes e da urina, a desuniformidade se potencializa em decorrência do comportamento dos animais nesses sistemas. Deve-se considerar também a elevada absorção e fixação de nutrientes pelas árvores (Silva *et al.*, 2016).

Em relação aos aspectos biológicos, também se observa um padrão de heterogeneidade. Sarto *et al.* (2020) avaliaram a atividade microbiológica no solo, em sistema de ILPF com eucalipto, por oito anos. Os autores constataram maior atividade enzimática e maior volume de biomassa microbiana com o aumento da distância das linhas de eucalipto. Os autores justificaram os resultados devido a um efeito químico de inibição direta sobre a atividade dos microrganismos. Esse efeito tem sido explicado pela atuação de um processo aleloquímico com a atuação de compostos liberados pela serapilheira do eucalipto. Portanto, observa-se que existe uma ampla variação em diversos aspectos relacionados à fertilidade dos solos dentro de uma mesma área manejada em sistema de ILPF. Essa condição implica maior rigor quanto à interpretação das análises de fertilidade realizadas nesses sistemas e pode ser importante para orientar as projeções, as formas de manejo e de uso dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertilidade dos solos é determinada por um conjunto de fatores químicos, físicos e biológicos. Entre esses fatores, cita-se a importância da presença, da disponibilidade e do equilíbrio entre os nutrientes essenciais do solo, assim como da ausência de elementos tóxicos. Destaca-se ainda a relevância da matéria orgânica, considerando-se o seu papel condicionante e capacidade de promover diversas melhorias relacionadas à qualidade dos solos.

A maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural. Contudo, deve-se considerar o elevado potencial de aumento da capacidade de uso dos solos nacionais. A adoção dos sistemas de ILP e de ILPF é importante nesse contexto. Nesses sistemas, ocorre um aumento da qualidade geral e da capacidade de uso dos solos devido à adoção de práticas, como o plantio direto, e ao sinergismo entre os componentes. Deve-se considerar que o manejo e a forma como cada componente (vegetal, animal e florestal) é inserido no sistema interfere de modos específicos sobre a qualidade final dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. L.; Calonego, J. C.; Tiritan, C. S.; Araújo, F. F.; Silva, P. C. G. 2014. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. *Colloquium Agrariae*, v. 10, p. 33–44, doi: <https://doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n1.a098>
- Ambus, J. V.; Reichert, J. M.; Gubiani, P. I.; Carvalho, P. C. F. 2018. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. *Geoderma*, v. 330, p. 232-243.
- Andrade, A. T.; Torres, J. L. R.; Paes, J. M. V.; Teixeira, C. M.; Condé, A. B. T. 2018. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. Informe Agropecuário, v. 39, n. 302, p. 18 - 26 .
- Assis, P. C. R.; Stone, L. F.; Oliveira, J. M.; Wruck, F. J.; Madari, B. E.; Heinemann, A. B. 2019. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Agrarian*, v. 12, n. 43, p. 57-70, doi: 10.30612/agrarian.v12i43.8520
- Baldotto, M. A.; Baldotto, L. E. B. 2014. Ácidos húmicos. *Revista Ceres [online]*. v. 61, p.856-881, doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>.
- Baldotto, M. A.; Canela, M. C.; Canellas, L. P.; Dobbss, L. B.; Velloso, A. C. X. 2010. Redox index of soil carbon stability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1543-1551.
- Baldotto, M. A.; Velloso, A. C. X. 2014. Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais. *Revista Ceres*, v. 61, n. 6, doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060018>
- Bayer, C.; Lovato, T.; Dieckow, J.; Zanatta, J.A.; Mielniczuk, J. 2006. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research*, v. 91, p. 217-226
- Bejger, R.; Mielnik, L.; Włodarczyk, M.; Nicia, P. 2018. Studying the interaction between peat humic acid and metazachlor using spectroscopy methods. *Journal of Soils and Sediments*, v. 18, p. 2675–2681 doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1917-3>
- Borges, W. L. B.; Calonego, J. C.; Rosolen, C. A. 2018. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*, v. 93, p. 2111–2119.
- Bortolini, D.; Albuquerque, J. A.; Rech, C.; Mafra, A. L.; Ribeiro Filho, H. M. N; Pértile, P. 2016. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 15, n. 1, p. 60-67.
- Bot, A. J.; Nachtergaele, F. O.; Young, A. 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. *Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization*, 114p.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. 2002. The nature and properties of soils. *New Jersey: Prentice Hall*, 960 p.
- Braga, J. M. 1983. Avaliação da fertilidade do solo (ensaios de campo). *Universidade Federal Viçosa*, 101 p.
- Bretas, I. L.; Paciullo, D. S. C.; Alves, B. J. R.; Martins, M. R.; Cardoso, A. S.; Lima, M. A.; Rodrigues, R. A. R.; Silva, F. F. S.; Chizzottia, F. H. M. 2020. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 295, n. 106896, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>

Briedis, C.; Sá, J.C.M.; Lal, R.; Tivet, F.; Franchini, J. C.; Ferreira, A. O.; Hartman, D. C.; Schimiguel, R.; Bressan, P. T.; Inagaki, T. M.; Romaniw, J.; Gonçalves, D. R. P. 2018. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? *Catena*, v. 163, p. 13-23.

Bronick, C.J.; Lal, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v. 124, p. 3-22.

Buol, S. W.; Sanches, P. A.; Cate, R. B.; Granger, M. A. 1974. Classificação de solos em base a su fertilidade. In: Alvarado, A e Bornemisza, E. Manejo de solos en la America Tropical. *North Caroline State University*, p. 129 - 144

Campos, B.C.; Reinert, D.J.; Nicolodi, R.; Ruedell, J.; Petrere, C. 1995. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, n. 1, p.121-126.

Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Moraes, A.; Souza, E. D.; Sulc, R. M.; Lang, C. R.; Flores, J. P. C.; Lopes, M. L. T.; Silva, J. L. S.; Conte, O.; Wesp, C. L.; Levien, R.; Fontaneli, R. S. & Bayer, C. 2010. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 88, p. 259-273.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. 2020. Safras. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 4 de ago. 2020.

Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Kluthcouski, J.; Marchão, R. L. 2015. Integração lavoura-pecuária –floresta – O produtor pergunta, a Embrapa responde. *Embrapa cerrados*. 400 p.

da Silva, E. C.; Muraoka, T.; Bastos, A. V. S.; Franzin, V. I.; Buzetti, S.; Soares, F. A. L.; Teixeira, M. B.; Bendassolli, J. A. 2020. Biomass and Nutrient Accumulation by Cover Crops and Upland Rice Grown in Succession Under No-Tillage System as Affected by Nitrogen Fertilizer Rate. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, V. 23, n. 2, p. 117-126, doi:10.1007/s12892-019-0288-0

Davinic, M.; Moore-Kucera, J.; Acosta-Martínez V.; Zak, J.; Allen, V. 2013. Soil fungal distribution and functionality as affected by grazing and vegetation components of integrated crop–livestock agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, v. 66, p. 61-70.

Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Gonçalves, S. L. 2008. Manejo da compactação do solo em Sistemas de Produção de Soja sob semeadura direta. *Embrapa Soja*, ISSN 16167860, Londrina, PR 20 p.

Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Gonçalves, S. L. C. 2008. Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. *Embrapa Soja*, Londrina, PR, 20 p.

Deiss, L.; Moraes, A.; Dieckow, J.; Franzluebbbers, A. J.; Gatiboni, L. C.; Sasaki, L. G.; Carvalho, P. C. F. 2016 .Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. *Geoderma*, v. 274, p. 88-96

Dias-Filho, M. B. 2014. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Disponível em: www.cpatu.embrapa.br/publicacoesonline. Acesso em 30 de mar. 2020

Ebeling, A. G.; dos Anjos, L. H. C.; Pereira, M. G.; Pinheiro, E. F. M.; Valladare, G. S. 2011 Humic substances and relationship to soil attributes. *SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS ARTIGO*, v. 70 n. 1, p 157-165, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100022>

Echart, C. L.; Cavalli-Molina, S. 2001. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. *Cienc. Rural [online]*, v. 31, n. 3, p. 531-541, doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>.

Embrapa. 2018. Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira. *Embrapa*, 212 p, Brasília, DF

- Epstein, E. 1975. Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas. *São Paulo, Livros Técnicos e Científicos*. 341 p.
- Erismán, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarter, W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, v. 1, p. 636-639, doi: 10.1038/ngeo325.
- Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação – FEBRAPDP. 2020. Evolução Área sob Plantio Direto no Brasil. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 4 de ago. 2020.
- Ferreira, E. V. O.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Costa, S. E. V. G. A.; Cao, E. G. 2009. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1675-1684.
- Franchini, J. C.; Debiasi, H.; Carrara, R.; França, C. B.; Winck, N. M.; Caumo, A. L.; Wruck, F. J.; Skorupa, L. A. 2009. Benefícios da Integração Lavoura-Pecuária sobre a Qualidade Física do Solo Visando à Sustentabilidade da Produção de Soja no Nordeste Matogrossense. *Workshop Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta na Embrapa*.
- Franzluebbers, A.J.; Chappell, J. C.; Shi, W.; Cubbage, F. W. 2017. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 85-100.
- Freitas, L.; de Oliveira, I. A.; Casagrande, J. C.; Silva, L. S.; Campos, M. C. C. 2018. Estoque De Carbono De Latossolos Em Sistemas De Manejo Natural e Alterado. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 228-239.
- Furtuni Neto, A. E.; Vale, F. R.; Resende, A. V.; Guilherme, L. R. G.; Guedes, G. A. G. 2001. Fertilidade do solo. *Fundação de apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE*, 261 p.
- Galindo, F. S.; Delate, K.; Heins, B.; Phillips, H.; Smith, A.; Pagliari, P. H. 2020. Cropping System and Rotational Grazing Effects on Soil Fertility and Enzymatic Activity in an Integrated Organic Crop-Livestock System. *Agronomy*, v. 10, n. 803, doi:10.3390/agronomy10060803.
- Gasques, J. G. 2017. Sources of growth in Brazilian agriculture: total fator productivity. *EuroChoices*, v. 16, n. 1, p. 24-25. DOI: 10.1111/1746-692X.12146.
- Gerke, J. 2018. Concepts and Misconceptions of Humic Substances as the Stable Part of Soil Organic Matter: A Review. *Agronomy*, v. 8, n. 76 <https://doi.org/10.3390/agronomy8050076>
- Gomes, J. 2017. Mercado de alimentação saudável deve crescer 4,41% ao ano até 2021. *Diário Catarinense*.
- Goulding, K. W. T. 2016. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, v. 32, p. 390–399.
- Grohskopf, M. A.; Corrêa, J. C.; Fernandes, D. M.; Teixeira, P. C.; Cruz, C. V.; Mota, S. C. A. 2019. Interaction between Phosphorus and Nitrogen in Organomineral Fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 21, p. 2742-2755, doi: 10.1080/00103624.2019.1678632
- Haynes, R. J.; Beare, M. H. 1996. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: Carter, M. R. & Stewart, B. A. Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Boca Raton, CRC Press*, p.213-262.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. *San Diego: Academic Press*, 771 p.
- Humer, E.; Zebeli, Q. 2015. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, v. 209, p.1-15.

- Lanzanova, M. E.; Nicoloso, R. S.; Lovato, T.; Eltz, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. 2007. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1131-1140.
- Lehmann, J.; Kleber, M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, v. 528, p. 60-68, doi: 0.1038/nature16069
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; Carvalho, P. C. F.; Dedieu, B. 2014. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 4-8.
- Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G. 2007. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: Novais, R. F.; Alvarez, V.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade do Solo. *SBCS, Viçosa*, 1017 p.
- Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G. 2016. A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy*. 72 p., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>
- Loss, A.; Ferreira, G. W.; Comin, J. J.; Pereira, M. G.; Freo, V. A.; Piccolo, M. C.; Brunetto, G. 2020. Carbono Orgânico Total e Oxidável em Agregados de um Argissolo Adubado com Dejetos Suínos. *Ciencia Del Suelo*, v. 38, p. 12-2.
- Loss, A.; Ribeiro, E. C.; Pereira, M. G.; Costa, E. M. 2014. Physical and chemical attributes in systems of the consortium and succession of crops, pasture and silvopastoral in Santa Teresa, Espírito Santo, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5, p. 1347-1357.
- Marchão, R. L.; Balbino, L. C.; Silva, E. M.; Santos Junior, J. de D. G.; Sá, M. A. C. de; Vilela, L.; Becquer, T. 2007. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 873-82, doi: 10.1590/S0100-204X2007000600015.
- Mattei, E.; Oliveira, P. S. R. de; Rampim, L.; Rego, C. A. R. de M.; Bartzen, B. T. ; Vengen, A. P. 2020. Agronomic characteristics soybean exploitation in the crop-livestock integration system. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9114>
- Mello, F. de A.; Brasil Sobrinho, M. de O. C.; Arzolla, S.; Silveira, R. I.; Cobra Neto, A.; Kiehl, J. de C. 1983. Fertilidade do solo. *Nobel*, 400 p.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. 2015. O bioma Cerrado. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>. Acesso em 05 de ago 2020.
- Miranda, J. C. C.; Miranda, L. N. 2007. Impacto do sistema de plantio direto na diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solos de cerrado. *Embrapa Cerrados*, 4 p.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S. B. C.; Costa, S. E. V. G. A.; Kunrath, T. R. 2014. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4-9.
- Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. 2006. Microbiologia e Bioquímica do Solo. In: Ecologia do solo. *Editora UFLA*, p. 83-161.
- Moreira, W. H.; Tormena, C. A.; Junior, E. B.; Petean, L. P.; Alves, S. J. 2014. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v. 38, n. 4, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400027>
- Oliveira, P. P. A.; Pezzopane, J. R. M.; e Méo Filho, P.; Berndt, A.; Pedroso, A. F. Bernardi, A. C. C. 2017. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4. *Intensificação com sustentabilidade*. p. 23-32.

Ondrasek, G.; Begić, H. B.; Zovko, M.; Filipović, L.; Gergichevich, C. M.; Savić, R.; Zed Rengel, Z. 2019. Biogeochemistry of soil organic matter in agroecosystems & environmental implications. *Science of The Total Environment*, v. 658, n. 25, p.1559-1573.

Ortigara, C.; Koppe, E.; Luz, F. B.; Bertollo, A. M.; Kaiser, D. R.; Silva, V. R. 2014. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 619-626.

Paciullo, D. S. C.; Pires, M. F. A.; Müller, M. D. 2017. Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 25, p. 25-35.

Pavinato, P. S.; Rosolem, C. A. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>

Pellitier, P. T.; Donald R. Z. 2017. Ectomycorrhizal fungi and the enzymatic liberation of nitrogen from soil organic matter: why evolutionary history matters. *New Phytologist*, v. 217, n. 1, p. 68–73, doi: 10.1111/nph.14598

Post, W. M.; King, A. W.; Wullschleger, S. D. 1996. Soil organic matter models and global estimates of soil carbon. In: Powlson, D. S.; Smith, P.; Smith, J. U. Evaluation of soil organic matter models. *Springer-Verlag*, p. 201-224.

Primavesi, A. 2006. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. *Nobel*, 549 p.

Raij, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V. V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, Viçosa MG*, 359 p.

Ronquim, C. C. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais *Embrapa Monitoramento por Satélite*, ISSN. 1806-3322, Campinas, SP.

Salton, C. J.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Consenço, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>

Santos, H. G.; Tito, J. P. K.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F. Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C. Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Embrapa solos*, Brasília, DF.

Sarto, M. V. M.; Borges, W. L. B.; Sarto, J. R. W.; Pires, C. A. B.; Rice, C. W.; Rosolem, C. A. 2020. Soil microbial community and activity in a tropical integrated crop-livestock System. *Applied Soil Ecology*, v. 145, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.08.012>

Silva, A. R.; Sales, A.; Veloso, C. A. C. 2016. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *AGROTEC*, p. 96-104.

Silva, C. M. 2019. A face infértil do Brasil: ciência, recursos hídricos e o debate sobre (in)fertilidade dos solos do cerrado brasileiro, 1892-1942. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 26, n. 2, p.483-500.

- Silva, I.F.; Mielniczuk, J. 1998. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, p. 311-317.
- Siqueira, J.; Franco, A. A. 1988. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Ciências agrárias nos trópicos brasileiros. *MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS*, 235 p.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, v. 79, p. 7-31.
- Souza, E. D. de; Costa, S.E.V.G. de A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C. de F.; Oliveira, E.V.F. de; Martins, A.P.; Cao, E.; Andrighetti, M. 2010. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1362-1374.
- Thurman, E. M. 1985. Aquatic Humic Substances. In: Thurman, E. M. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. [S.l.]: Springer Netherlands, p. 273-362, doi:10.1007/978-94-009-5095-5
- Torres, J. L. R.; Rodrigues Junior; D. J.; Sene, G. A.; Jaime, D. G.; Vieira, D. M. S. 2012. Resistência à penetração em área de pastagem de capim-tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p.232-239.
- Ukalska-Jaruga, A.; Debaene, G.; Smreczak, B. 2018. Particle and structure characterization of fulvic acids from agricultural soils. *Journal of Soils and Sediments*, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2008-1>
- Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J. 2011. Agregação e Estoque De Carbono Em Argissolo Submetido a Diferentes Práticas De Manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 213-223.
- Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. 2009. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 743-755.
- Vilela, L.; Junior, G. B. M.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Júnior, R. G.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Integrated crop-livestock systems in the Cerrado region. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46 n. 10, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>
- Weber, J.; Chen, Y.; Jamroz, E.; Miano, T. 2018. Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments*, v. 18, p. 2665–2667, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2052-x>
- Wendling, B.; Vinhal-Freitas, I. C.; Oliveira, R. C.; Babata, M. M.; Borges, E. N. 2012. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Bioscience Journal*, v. 28, n 1.
- Wilson, J. R. 1998. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. *Tropical Grassland*, v. 32, p. 209-220.
- Yan, P.; Wu, L.; Wang, D.; Fu, J.; Shen, C.; Li, X.; Zhang, L. Zhang, L.; Fan, L.; Wenyan, H. 2020. Soil acidification in Chinese tea plantations. *Science of the Total Environment*, v. 715, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136963>
- Zhao, J.; Zeng, Z.; He, X.; Chen, H.; Wang, K. 2015. Effects of monoculture and mixed culture of grass and legume forage species on soil microbial community structure under different levels of nitrogen fertilization. *European Journal of Soil Biology*, v. 68, p. 61-68.