

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 14 (11)

November 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/141120211445>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1445>



Atributos físicos do solo e produtividade da pastagem em sistema de manejo de integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Soil physical attributes and pasture productivity in an integrated Crop-Livestock-Forest management system

Corresponding author

Larissa da Luz Silva

Universidade Estadual de Goiás - Campus Oeste São Luís de Montes Belos

larissaetebg@gmail.com

Adriana Aparecida Ribon

Universidade Estadual de Goiás - Campus Palmeiras de Goiás

Clarice Backes

Universidade Estadual de Goiás - Campus Oeste São Luís de Montes Belos

Luciana Christina Alves Lopes

Universidade Estadual de Goiás - Campus Oeste São Luís de Montes Belos

Ângelo Ferreira Magalhães

Universidade Estadual de Goiás - Campus Oeste São Luís de Montes Belos

Resumo. O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) é uma das práticas de produção agrícola sustentável, que integraliza atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais desenvolvidas em uma mesma área, sob cultivo consorciado em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos coletivos entre os componentes do agroecossistema. O entendimento da dinâmica do sistema de iLPF sob os atributos físicos do solo é de extrema importância, haja visto seu impacto sob as propriedades físicas do solo, uma vez que pode inferir na produtividade das culturas empregadas neste sistema. O objetivou-se com o presente estudo realizar uma revisão literária sobre as principais interações decorrentes do sistema de manejo iLPF, sob os atributos físicos de solo. Vários são os estudos que atestam os benefícios do sistema de iLPF, em detrimento a manejos agrícolas com uma única cultura, e ainda sob forma convencional de produção. A iLPF, atua positivamente na recuperação de áreas de pastagem degradadas uma vez que promovem melhoria da qualidade física do solo.

Palavras-chave Agrossilvipastoril. Atributos físicos. Forrageira. Sistema integrado.

Abstract. The Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) integration system is one of the sustainable agricultural production practices, which integrates agricultural, livestock and / or forestry activities developed in the same area, under intercropping in succession or rotation, and seeks collective effects between the components of the agroecosystem. The understanding of the dynamics of the Crop-Livestock-Forest integration system under the physical attributes of the soil is extremely important, as it has seen its impact on the physical properties of the soil, since it can infer on the productivity of the crops used in this system. The objective of this study was to carry out a literary review on the main interactions resulting from the iLPF management system, under the physical attributes of the soil. There are several studies that attest to the benefits of the Lavoura-Pecuária-Floresta integration system, to the detriment of agricultural managements with a single crop, and still in conventional form of production. The Lavoura-Pecuária-Floresta integration acts positively in the recovery of degraded pasture areas since they promote improvement of the physical quality of the soil.

Keywords: Agroforestry. Physical attributes. Forage. Integrated system.

Contextualização e análise

As formas de manejo empregadas sob o solo geram modificações em seus atributos físicos, químicos e biológicos, tornando acentuada a perda da qualidade e prejudicando a sustentabilidade

ambiental e econômica da atividade agrícola (NIERO, 2010).

O elevado índice de degradação dos solos tem induzido a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, as quais oportunizam aliar a produção agropecuária a preservação do solo, da água e da biodiversidade (GARCIA e ROSOLEM, 2010).

Neste contexto, a utilização de sistemas de produção que viabilizem e potencializem a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é uma prática que permitirá atingir formas de manejo mais sustentáveis e sobretudo, menos nocivas ao meio ambiente como um todo (SALES, et al., 2015).

Os sistemas conservacionistas de manejo de solo, como a integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), estão vinculados a produção sustentável de alimentos, uma vez que, apresenta resultados positivos no que diz respeito a viabilidade econômica, social e ambiental (ASSIS, et al., 2015).

A diversificação do que se tem produzido sob sistemas integrados, resultam em um sinergismo entre os componentes florestal, pecuário e agrícola. Deste modo, é potencializado o uso da terra, minimizando a necessidade de abertura de novas áreas de cultivo. E ainda, há uma elevação da biodiversidade local, que impede organismos antagonísticos à produção agrícola, pecuária e florestal, como pragas e doenças (CORDEIRO et al., 2015).

O sistema iLPF vem sendo considerado uma alternativa inovadora, e ainda uma solução com alto potencial na recuperação de áreas degradadas, contudo o impacto da qualidade do solo ainda necessita de maiores estudos, sendo indispensável determinar indicadores adequados para descobrir as variações da qualidade do solo sob o uso de sistemas iLPF (ASSIS, et al., 2015).

O monitoramento da qualidade do solo através dos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Diversos atributos físicos vêm sendo utilizados para determinar alterações provocadas pelas diferentes práticas de manejo, como indicadores da qualidade do solo, entre eles a densidade do solo, a porosidade total e suas frações granulométricas, que estão diretamente associados à produtividade de culturas (SALES, et al., 2015).

Bonini et al. (2011) notaram o aumento dos níveis de matéria orgânica e a otimização da qualidade física do solo pela prática de manejo do sistema iLPF, em áreas agrícolas com teores ideais de fertilidade do solo, demonstrando o potencial desta prática de manejo em diminuir não só o efeito ambiental das atividades produtivas, quanto minimizar as emissões de gases do efeito estufa, potencializando o uso da água e nutrientes do solo. Com efeito, tem-se observado que nas áreas com sistemas integrados de cultivo a qualidade do solo é superior em relação às áreas com monocultivo (LOSS et al., 2012).

No que diz respeito a produtividade da pastagem a biomassa produzida é resultado da oferta disponível de elementos do meio como radiação e a temperatura, que variam conforme disponibilidade elementos manejáveis, que são essencialmente água e nutrientes. A nutrição do pasto sob sistema de iLPF é frequentemente influenciada pela presença das árvores essencialmente em razão de ajustes morfofisiológicos. É possível também, que em situação de sombreamento moderado, ocorra elevação do teor de nitrogênio na folha podendo inferir no aumento do teor proteico da forragem (BARUCH e GUENNI, 2007; KALLENBACH et al., 2006; PACIULLO et al., 2007; SOUSA, 2007).

Diante do exposto, o objetivou-se com o presente estudo realizar uma revisão literária sobre as principais interações decorrentes do sistema de manejo iLPF, sob os atributos físicos de solo.

Sistemas integrados de produção agrícola

A prática de manejo de sistemas integrados de produção como a integração-Lavoura-Pecuária (iLP), teve início no Brasil nos anos 90, período em que estudos direcionada a física do solo, atestavam relevantes problemas ambientais oriundos do uso intensivo de máquinas (CORREA e REICHARDT, 1995).

Por definição, o manejo sob sistema de iLP se fundamenta pela alternância entre a produção de grãos e pastejo de animais em uma mesma área, esta forma de manejo oportuniza a diversificação da produção, levando a rotação de culturas e ciclagem de nutrientes (KUNZ et al., 2013).

Diante disto, o uso de forrageiras perenes em sistemas de produção agrícolas conduzidos de modo rotacionado pode gerar benefícios a qualidade física do solo (MARCHÃO et al., 2007), e deste modo, recuperar áreas de pastagens degradadas, justamente por oferecer maior contribuição de resíduos vegetais, elevado teor de água no solo e diversidade microbológica (SANTOS et al., 2011).

A integração iLPF também é uma prática de produção agrícola sustentável, que integraliza atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais desenvolvidas em uma mesma área, sob cultivo consorciado em rotação ou sucessão, e busca efeitos coletivos entre os componentes do agroecossistema (BRASIL, 2012).

Conforme Brasil (2012) a iLPF e os Sistemas Agroflorestais (SAFs) operam como recuperadores de áreas degradadas, mantem e recompõe a cobertura florestal, promove incremento de emprego e renda, otimização das práticas agropecuárias, e o enquadramento das unidades produtivas a legislação ambiental.

Os benefícios da iLPF sobre diferentes atributos do solo têm sido mostrados em vários estudos (BONINI et al. 2011; LOSS et al., 2014; SILVA et al., 2016).

Contudo, quando áreas são agrupadas no processo produtivo, os atributos físicos e químicos

do solo sofrem alterações, cuja intensidade varia conforme as condições climáticas, natureza do solo, uso e manejo aplicado, como o tráfego de máquinas, sendo este responsável pela compactação, modificando significativamente a qualidade estrutural do solo (OLIVEIRA et al., 2013).

Neste contexto, manter a qualidade do solo, ou mesmo obter benefícios através de sistemas de produção sustentáveis, torna-se essencial para aumentar a segurança alimentar e nutricional sem comprometer o equilíbrio entre as condições químicas, físicas e biológicas do solo (SANTOS et al., 2019; COSTA e DRESCHER, 2018).

Entretanto, permanecem dúvidas e questionamentos sobre os possíveis impactos negativos associados à degradação ambiental sob o sistema de manejo de iLPF, em particular na degradação física dos solos devido ao uso, manejo aplicado e pastejo dos animais (SALES, et al., 2015). Para, Assis et al. (2015) o efeito interativo entre os componentes dos sistemas iLPF nos atributos físicos do solo requer maior compreensão. Ainda há dúvidas sobre os possíveis impactos ao meio ambiente.

No Brasil, estudos sobre as alterações nas propriedades físicas dos solos em sistema de iLPF, vêm sendo realizados na em diversas regiões do país. No entanto, os estudos não são uniformes nas principais regiões produtoras (SILVA et al., 2016).

Pastagem

A escolha da forragem para implantação nos sistemas iLPF centraliza-se na capacidade de adaptação as situações de sombreamento que podem alterar sua morfofisiológica. A luminosidade baixa gera alterações morfológicas no dossel forrageiro devido ao aumento da área foliar específica (BURIN, 2017). São consideradas tolerantes e com satisfatória produção de forragem em iLPF as seguintes gramíneas *Urochloa brizantha* (Hochst.) Stapf. (syn. *Urochloa brizantha*) cvs. marandu, xaraés e piatã, *Urochloa. Decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cvs. Aruana, Mombaça e Tanzânia e *Panicum ssp.* cv. Massai (ALMEIDA et al., 2012).

Gramíneas do gênero *Urochloa ssp.* são tidas como excelentes forrageiras tropicais, uma vez que possui fácil estabelecimento, multiplicação por sementes, boa cobertura do solo, boa qualidade de forragem, bom desempenho na sombra, e ainda bom suporte de capacidade de carga animal. Diante destes amplos aspectos as forrageiras do gênero *Urochloa ssp.* tem sido amplamente empregadas em sistemas integrados de produção (MARTUSCELLO et al., 2009).

A quantidade e qualidade da forragem é favorecida conforme seleção de espécie a ser implantada em uma área (SILVA et al., 2008). Neste sentido, o componente florestal pode gerar vantagens aos sistemas integrados pelo incremento no conteúdo de nitrogênio da gramínea forrageira sombreada oportunizando maiores ganhos por

animal. Contudo o crescimento da pastagem pode ser limitado não somente pela condição elevada de sombreamento, mas ainda como em sistemas tradicionais pelo menor teor de umidade do solo e disponibilidade de nutrientes, essencialmente o nitrogênio (ALMEIDA, 2012).

O sombreamento acarreta alterações morfológicas nas plantas entres quais se destacam a parte área, comprimento, espessura e orientação da lâmina foliar, comprimento de colmo, número de folhas e relação folha/colmo (GARCIA et al., 2010).

As gramíneas forrageiras em situações de sombreamento favorecem o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular com baixo acúmulo de carboidratos de reserva, reduzindo a produção de biomassa aérea e atrasando o início do florescimento. A reduzida luminosidade promove modificações no dossel forrageiro, permitindo que eleve a interceptação com baixo índice de área foliar, pelo aumento da área foliar específica, beneficiando, com essas mudanças no sistema, maior eficiência na absorção de energia solar para compensar a limitação da radiação fotossinteticamente ativa em ambientes sombreados (SANTOS et al., 2015).

Santos (2011) estudando sistemas de iLPF com dois arranjos espaciais 14 e 22 m e densidade de 357 e 227 árvores de eucalipto ha⁻¹, respectivamente, após 12 meses de instalação no primeiro ciclo de pastejo, não foi observado redução na massa seca de pastagem com até 43% de sombreamento. Contudo Beling Neto (2012) na mesma área, experimental, após 24 meses de implantação, observou que os locais próximos as fileiras das arvores apresentaram menor altura de dossel e disponibilidade de pastagem com menor valor nutritivo.

Souza et al. (2019) avaliando os tratamentos integração lavoura-pecuária (ILP); sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto (iLPF 1L); sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto (iLPF 3L); e plantio exclusivo de eucalipto (bosque) observou que os tratamentos mostraram diferenças estatísticas para produção de forragem, sendo a maior produção verificada no tratamento ILP.

Reis et al. (2013), estudando a produção do capim marandu sob distintas porcentagens (0, 47, 53 e 66%) de sombreamento (por meio de tela de náilon), concluíram que a produção de capim respondeu negativamente ao sombreamento igualmente a qualidade e a quantidade de proteína na pastagem.

Componente Arbóreo

O Brasil possui vasto potencial para aplicação de Sistema iLPF, que integra a produção de árvores com outras culturas, assim como os sistemas silvipastoris, que integra a produção animal com o cultivo da Floresta. Ambos os sistemas fazem parte do conceito amplo de sistema de produção agrícola em integração, uma vez que,

os mesmos princípios e tecnologias aplicadas aos mesmos são facilmente aplicáveis aos sistemas mais complexos de iLPF (MELOTTO et al., 2012).

Além de fornecer madeira, o componente arbóreo tem uma ampla gama de aplicações no sistema iLPF, servindo de tanto na recuperação de áreas degradadas em solos de baixa fertilidade quanto para criação extensiva de bovinos, de corte para produção de forrageiras de inverno em bacias leiteiras de alta produtividade. Entre as outras formas de uso estão, por exemplo, a formação de cercas vivas, banco de proteínas, sombreamento para os animais em qualquer tipo de estabelecimento rural, produção de frutos, sementes, resinas látex, e ainda proteção do solo. Contudo, a produção de madeira tem sido a principal justificativa para o plantio das árvores nas propriedades (MELOTTO et al., 2012).

Em sistema de iLPF, outras características do componente florestal são importantes de serem consideradas tais como: copa de menor tamanho e densidade e boa desrama natural. É importante ressaltar que o componente florestal deve apresentar rápido crescimento inicial, com vistas a diminuir o intervalo de tempo entre a implantação do sistema e a presença dos animais (OLIVEIRA NETO e PAIVA, 2010).

Geralmente o componente florestal mais empregado em sistemas de iLPF são espécies e híbridos de eucalipto (*Eucalyptus* spp), pela grande disponibilidade em número de espécies, permitindo a seleção de árvores com características específicas para cada região. (FERREIRA et al., 2015).

Contudo outras espécies florestais tem sido empregadas na composição dos sistemas integrados, são elas: *Pinus elliottii* Engelm., *Tectona grandis* L.f., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. entre outras que apresentem características ideais (TRAZZI et al., 2014).

O arranjo especial das plantas em faixas/renques (linhas simples ou múltiplas) é modulada conforme o perfil e os objetivos da unidade rural e levando em conta o produto principal para o produtor rural seja a carne, recomenda-se espaçamentos amplos entre os renques de árvores, intencionando aumentar a área de pasto, diminuir o sombreamento nas faixas de plantios e permitir o tráfego de maquinário. Mas se a intenção é produzir madeira (estacas, escoras, lenha ou carvão, mourões) as distâncias entre os arranjos espaciais são menores (ALVARENGA et al., 2012).

Qualidade física do solo

Considerada a principal resposta das mudanças ocorridas nos atributos do solo a qualidade física (ALVES et al., 2007) desempenha grande influência sobre os processos químicos e biológicos do solo, exercendo papel central nas avaliações de sua qualidade (DEXTER, 2004).

A qualidade física do solo é atestada por meio de atributos que determinam o nível de

qualidade, sendo estes: ideais, ótimos ou intervalos preferidos. Estes indicadores dizem respeito a atributos mensuráveis de solo, que desempenham influência sobre a aptidão do solo em suportar a atividade agrícola ou outras funções ambientais, ressaltando-se os atributos mais sensíveis as modificações pelo manejo de solo. Dentre os atributos que mensuram a qualidade física do solo estão: densidade do solo, resistência do solo à penetração, porosidade total, diagnóstico rápido da estrutura do solo, matéria orgânica do solo e umidade gravimétrica (NASCIMENTO et al., 2017).

Densidade do solo

A densidade (D_s) é um atributo físico de grande importância, conhecido ainda como densidade aparente, e tem associação com a estrutura do solo, visto que, esta é uma função do arranjo e orientação do solo, bem como da quantidade e geometria dos espaços porosos. A textura do solo é outro atributo que se relaciona com a D_s , contudo ainda não há consenso sobre nível crítico, no qual o solo é tido como compactado. Os elevados níveis de densidade no solo afetam o desenvolvimento dos vegetais, gerando o aumento da resistência mecânica à penetração das raízes, limitando a translocação da água, nutrientes e gases (SANCHEZ et al., 2014).

Conforme Klein (2014) a definição de valores críticos de densidade do solo para o desenvolvimento das plantas é muito complexa, visto que é dependente da textura e teor de matéria orgânica, onde a densidade relativa, que é a relação entre a densidade do solo obtida pelo ensaio de Proctor, determinam um parâmetro capaz de padronizar e balizar os limites críticos.

Os valores críticos observados para solos arenosos que frequentemente tem sido relatado são entre 1,35 a 1,85 Mg m⁻³, já para solos argilosos os valores encontrados estão na faixa de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ (SALES et al. 2015; SILVA et al., 2011; REICHERT et al., 2009) e entre 1,40 a 1,50 Mg m⁻³ para os solos franco-argilosos (REICHERT et al. 2003).

Estudo realizado por Silva et al. (2016) afirmam que uma área de LATOSSOLO AMARELO de textura argilosa sob sistema de integração iLPF com a componente arbóreo Paricá (*Schizolobium amazonicum*), sob dois anos de cultivo não afetou negativamente a D_s , sendo os valores observados nas camadas de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-50cm, foram de 1,05 kg m⁻³, 1,17 kg m⁻³, 1,25 kg m⁻³ e 1,21 kg m⁻³, respectivamente, a ponto de não tornar superior ao nível crítico de 1,40 a 1,80 kg m⁻³ sugerido por Reichert, et al. (2009), e ainda observaram acréscimo de carbono orgânico do solo, quando correlacionado com mata nativa, sendo assim recomendado esta prática de manejo na recuperação de áreas degradadas.

Enquanto que, Souza et al. (2019) ao avaliarem solo de textura média arenosa sob sistema de iLP, iLPF com 1 e 3 linhas de eucalipto e bosque com exclusivo plantio de eucalipto,

identificaram que o sistema de iLPF com uma linha de eucalipto, sob distâncias de coletas de amostra de solo de: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 metros, apresentaram densidade de 1,57 kg.dm⁻³, 1,55 kg.dm⁻³, 1,45 kg.dm⁻³, 1,54 kg.dm⁻³, 1,61 kg.dm⁻³, e 1,65 kg.dm⁻³ respectivamente, estes resultados se mostraram acima do considerado ideal por Kiehl (1979) para densidade do solo, sendo este na faixa de 1,25 a 1,40 kg.dm⁻³ para solos com textura média arenosa.

Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) é um dos atributos físicos do solo que revela o grau de compactação e, por consequência, a capacidade de penetração das raízes no solo (RIBON et al., 2003). Neste sentido, a resistência a penetração constitui uma das variáveis mais consideradas na mensuração da compactação do solo (BOTTEGA et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2011; MION et al., 2012).

Ressalta-se ainda, que a umidade do solo, teor de matéria orgânica e textura apresentam relação direta com a resistência do solo à penetração (OLIVEIRA et al., 2015).

No que diz respeito a umidade do solo, esta mostra-se como um importante parâmetro na determinação da resistência à penetração, visto que há uma grande dependência dos resultados observados relacionando-se ao conteúdo de água presente no solo (RIBON et al., 2003). Neste sentido, a avaliação da umidade no momento da determinação da RP é essencial para realizar adequadamente a análise dos resultados (BONINI e ALVES, 2012).

Estudos apresentam, valor crítico da resistência à penetração, de 2 MPa (TORMENA et al., 1999; IMHOFF et al., 2000; MORAES et al., 2014) inferindo no crescimento das plantas, em diferentes sistemas de manejo. Contudo, Lipiec e Hatano (2003) observaram que valores de RP variando de 1 a 1,7 MPa começam a limitar o crescimento do sistema radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam paralisação do crescimento das raízes. Canarache (1990) sugeriu que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas.

Dedecek e Gava (2005) consideram, por exemplo, RP acima de 3 MPa como valor crítico para o sistema radicular do eucalipto, valor que corrobora com ensaios realizados com espécies florestais por Greacen e Sands (1980). Como se pode verificar, é notório uma grande amplitude de valores de resistência mecânica do solo à penetração os quais consideram críticos ao desenvolvimento de raízes; então, o valor de 2,0 MPa tem sido aceito como o limite crítico de resistência mecânica do solo à penetração (TAYLOR et al., 1966; NESMITH et al., 1987; TORMENA et al., 1999; IMHOFF et al., 2000; ARSHAD et al., 1996; MORAES et al., 2014).

Santos et al. (2015) ao estudarem a resistência do solo à penetração em diferentes tipos de cultura (Forragem, Girassol, Milho e Sorgo) e mata nativa nas condições do bioma cerrado, considerando como 2,0 MPa o limite crítico para a resistência do solo à penetração, observaram que as camadas 0-10 até 30-40 cm apresentaram valores superiores ao limite crítico, portanto sendo considerado impeditivo ao sistema radicular das culturas avaliadas.

Santana et al. (2018) observaram que as camadas superficiais do solo até a profundidade de 40 cm sob pastagem convencional apresentou valores de RP abaixo do valor crítico de 2 MPa, quando comparado ao sistema de iLPF, isso é justificado pela maior umidade presente neste sistema de manejo, já que no sistema integrado essa propriedade física do solo, nessas camadas, tende a ser menor devido ao consumo de água pelas plantas, resultados semelhantes foram encontrados avaliando sistema iLPF, atestando que quando há uma baixa umidade no solo a resistência do solo à penetração é maior (LIMA et al., 2010).

Bayat et al. (2017) afirmam que, além da dependência de fatores intrínsecos do solo, como textura, estrutura, mineralogia, a RP é diretamente influenciada pela umidade do solo.

Porosidade total

Uma das propriedades físicas mais significativas a ser usada na avaliação da qualidade do solo é a porosidade total, devido à sua relação com a atividade microbiana e o armazenamento de CO₂ oriundo da atmosfera (KRAVCHENKO et al., 2019).

Analisando a forma de condução da atividade produtiva é permitido avaliar as diversas alterações na estrutura do solo, fundamentalmente aquelas advindas da compactação, modificando diferentes características do sistema poroso, inferindo no tamanho, distribuição, continuidade, volume e geometria dos poros (LIMA et al., 2005).

Amaro Filho et al. (2008) definem a porosidade pelo total de espaços vazios do solo preenchido pelo ar e pela água. É um indicador de grande relevância para o entendimento das variáveis ambientais do solo no processo de condução e produção de vegetais.

Ressalta-se que além de aspectos intrínsecos ao solo como matéria orgânica, mineralogia e textura, o manejo dado ao solo é capaz de influenciar na quantidade e distribuição do tamanho de poros (STRECK et al., 2004).

Vários pesquisadores indicam que valores de macroporosidade superiores a 0,10 m³ m⁻³ são fundamentais para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes (BAVER, 1949; VOMOCIL e FLOCKER, 1961; GRABLE e SIEMER, 1968; TAYLOR e ASHCROFT 1972; KIEHL, 1979; GUPTA e ALLMARAS, 1987; REICHERT et al., 2007; REICHERT et al., 2009).

Assis et al. (2015) estudando variações nos atributos do solo em áreas com iLPF com 1 e 3

linhas de eucalipto e área de pastagens, detectaram valores elevados de porosidade total e macroporosidade, e baixos valores de densidade do solo no sistema de iLPF com 1 linha de eucalipto quando comparado com à pastagem degradada.

Silva et al. (2016) em estudo de solos em área de vegetação da Amazônia legal com tratamentos de iLPF, monocultivo de eucalipto e mata nativa notaram que o monocultivo de eucalipto gerou impacto negativo à densidade do solo na profundidade de 10-20 e 20-30 cm, porém não apresentou perda da porosidade total do solo.

Entretanto, Souza et al. (2019) ao avaliarem o solo sob sistema de iLP, iLPF com 1 e 3 linhas de eucalipto e bosque com exclusivo plantio de eucalipto observaram que a macroporosidade foi maior no tratamento bosque (camada 0,05-0,10m e 0,10-0,20m), sendo que para os demais tratamentos foi detectado macroporosidade abaixo do limite ideal, indicando que este atributo do solo foi influenciado pela forma de manejo adotada.

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

O Diagnóstico Rápido da Estrutura do solo (DRES) compreende em um teste para avaliar a estrutura em relação às características visuais, essa metodologia se refere a um processo de caracterização do horizonte superficial do solo, até 25cm de profundidade, tendo como ponto de partida a avaliação visual do tamanho dos torrões ou agregações, assim como outros atributos presentes, são eles, atividade biológica, tamanho das raízes pivotantes, entre outros (RALISCH et al., 2017).

Conforme as variações dessas características, podem ser identificadas de uma a três camadas diferentes em cada amostra de solo. Cada camada, recebe notas de qualidade estrutural (Qec), que podem variar de 1 (estrutura totalmente degradada) a 6 (melhor condição estrutural), seguindo dois critérios, conservação/recuperação da estrutura da camada de solo ou ocorrência de feições de degradação, e tamanho e volume visual dos diferentes agregados após a amostra ser manipulada (RALISCH et al., 2017).

À qualidade estrutural de cada camada (Qec) recebera atribuição de notas, e estas servirão de base para o cálculo e definição do índice qualidade estrutural dessa amostra (IQEA), que corresponde à média das notas atribuídas às camadas, ponderada pela espessura das mesmas. O índice qualidade estrutural do solo (IQES) refere-se a média das notas de IQEA das amostras individuais de uma área ou gleba. A partir do IQES definido para uma área/gleba, é possível propor mudanças de manejo, com vistas a recuperação, manutenção ou otimização da qualidade estrutural do solo (RALISCH et al., 2017).

Conforme metodologia indicada por Ralisch et al. (2017) o índice de qualidade estrutural do solo é dado em uma escala que varia de 1 a 6, sendo: 1,0-1,9; 2,0-2,9; 3,0-3,9; 4,0-4,9; e 5,0-6,0, apresentado qualidade estrutural como: muito ruim; ruim; regular; boa; e muito boa, respectivamente.

Diante do exposto o DRES é uma opção viável e rápida de avaliação estrutural do solo, com intervenção mínima no local e elevada sensibilidade para verificar diferenças de manejo do solo (RALISCH et al., 2017; VALANI et al., 2020).

Gomes et al. (2018), estudaram um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO com área agroflorestal, pastagem e reserva legal e observaram que o IQES do tratamento com agrofloresta foi de 2. Considerando a metodologia de Ralisch et al. (2017) onde discrimina que o solo apresenta qualidade estrutural ruim, evidenciando a necessidade de avaliação das condições químicas e físicas do perfil do solo, recomendando utilizar cultura recuperadoras, assim como evitar operações de preparo do solo, mesmo as realizadas esporadicamente. Este resultado pode ser atribuído a recente queima da área, que acaba gerando a médio e longo prazo à degradação das propriedades físicas e químicas do solo, e por consequência redução de seu potencial produtivo e estrutural.

Santi et al. (2019) ao estudarem um DRES amostrado em um experimento de longa duração, instalado em 1980, na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, com quatro tratamentos sendo uma sucessão de cultura e três rotações, observaram que os resultados do IQES variaram de 3,4 a 3,8, não demonstrando diferença entre os tratamentos. Nesta situação, as rotações não interferiram na qualidade estrutural do solo. Estes resultados atestam qualidade estrutural "Regular", conforme classificação apresentada por Ralisch et al. (2017).

Assim sendo, para melhorar a qualidade estrutural do solo é necessário aumentar e utilizar diferentes culturas e introduzir modelos de produção integrados, preconizando o uso de culturas com sistemas radiculares fasciculados, de crescimento intensivo (SANTI et al., 2019).

Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS), tem sido frequentemente utilizada como um indicador da qualidade do solo, devido à sua suscetibilidade a mudanças em relação às práticas de manejo do solo e por se correlacionar com a maioria das características do solo. A MOS é um componente importante e se refere a todo material orgânico, presente no solo incluindo resíduos, fração leve, biomassa microbiana, substâncias orgânicas solúveis em água e matéria orgânica estabilizada, mais conhecido como húmus (STEVENSON, 1994).

A MOS possui em média 58% de carbono (C) (STOCKMANN et al., 2013). A maioria deste carbono está presente em compostos biodegradáveis. Deste modo, as modificações no uso e manejo do solo irá promover a perda deste para atmosfera (TONUCCI et al., 2011).

Segundo Assmann et al. (2014), a quantidade de carbono orgânico do solo é influenciada por uma combinação de fatores que afetam a relação solo-planta-animal-atmosfera. Situações climáticas, como índice pluviométrico,

distribuição de chuvas, bem como tipo de solo, quantidade e qualidade de resíduos de plantas e animais aportados no solo atuam na dinâmica da matéria orgânica.

Neste sentido, estudos afirmam que o maior e principal benefício da MOS é o sequestro de C, deste modo, o solo se incrementa a matéria orgânica e expõe grupos funcionais eletricamente carregados, que elevam a capacidade de troca catiônica (CTC) e reduz a absorção específica de fósforo (P), disponibiliza nutrientes e tem a habilidade de complexar íons de alumínio, diminuindo sua toxidez e estabilizando a estrutura do solo (COSTA JUNIOR et al., 2012; BALDOTTO, et al., 2015).

Diante disso, sistemas que permitem alto acúmulo ou manutenção dos estoques de carbono orgânico do solo devem ser priorizados, visando sustentabilidade da produção agrícola, pecuária e florestal (TORRES et al., 2018).

Neste contexto, os sistemas integrados tem se destacado. Conforme Torres et al. (2014), os estoques de carbono do solo estão intrinsicamente relacionados à quantidade de material vegetal acumulado no solo. Estes pesquisadores afirmaram que os sistemas integrados de produção podem gerar aumentos no conteúdo de carbono orgânico do solo, visto que há uma maior diversificação e produção de resíduos vegetais.

Outros estudos corroboram em afirmar a capacidade dos sistemas de iLPF, em aumentar os teores de matéria orgânica do solo (ASSMANN et al., 2014; BALDOTTO et al., 2015; CALIL et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017; COSER et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; SACRAMENTO et al., 2013; SILVA et al., 2016).

Sacramento et al. (2013) estudaram os estoques de carbono orgânico do solo sob sistema convencional, silvipastoril e agrossilvipastoril. A avaliação foi realizada sob condição semiárida em região de predominância da Caatinga, no estado do Ceará. O sistema agrossilvipastoril apresentava arranjo com linhas de *Leucena*, plantio de milho na estação chuvosa e criação de ovelhas no período de estiagem. Após treze anos de condução, o sistema agrossilvipastoril demonstrou melhor desempenho quanto ao armazenamento de carbono orgânico do solo, quando comparado aos sistemas convencional e silvipastoril. Foi detectado, no sistema convencional (cultivo de milho), diminuição de 58,87 Mg ha⁻¹ no estoque de carbono nas profundidades do solo de 0-60 cm, evidenciando a insustentabilidade deste sistema, para a região de estudo.

Segundo Silva et al. (2015) o sistema da iLPF possui papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, visto que, além de gerar acréscimos nos níveis de matéria orgânica preservam a estrutura do solo.

Silva et al. (2016) detectaram otimização dos atributos físicos do solo como densidade e porosidade, assim como maior estoque de carbono orgânico do solo em sistema de iLPF com dois anos

de idade, localizados do estado do Pará. Estes pesquisadores observaram maior acúmulo de carbono orgânico próximo aos renques de eucalipto, evidenciando a contribuição favorável do componente arbóreo no acréscimo de matéria orgânica do solo em iLPF.

De acordo Colil et al. (2016) o componente arbóreo eleva a deposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, uma vez que possuem sistema radicular profundo que facilitam a reabsorção de nutrientes lixiviados no perfil do solo. Estudo verificou absorção de nutrientes por eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) localizados a uma profundidade de 8 m, e a uma distância horizontal de até 5m (PINHEIRO et al., 2019), além de, diminuir a quantidade de lixiviação de cátions (BORDRON et al., 2018). Pinheiro et al. (2016) verificam profundidade de sistema radicular de eucalipto de 11,5 m, no segundo ano de cultivo no estado de São Paulo.

Sob sistema de iLPF com eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) apresentando cinco anos de idade, localizado no estado de Goiás, Silva et al. (2018) obtiveram 11,16 e 12,66 Mg ha⁻¹ de serapilheira acumulada em época chuvosa e seca, respectivamente, justificando o potencial de produção de resíduo orgânico pela espécie mencionada. Elevado acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo favorecem a ciclagem de nutrientes e contribui para aumento dos teores de carbono orgânico do solo (CALIL et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017).

Estudo realizado no estado de Minas Gerais, verificou que sistemas de iLPF promovem o aumento no aporte de carbono orgânico do solo, e ainda elevação da estabilidade da matéria orgânica do solo. Evidenciou-se, que a adoção dos sistemas integrados de produção, possibilita por meio da conservação do solo, a proteção da matéria orgânica. Ainda conforme o estudo, o sistema de iLPF oportuniza melhoria concomitante das características físicas, químicas e biológicas do solo, e este estudo conclui que os sistemas integrados de produção permitem obtenção de maiores níveis de matéria orgânica do solo, corroborando para seu armazenamento (BALDOTTO e BALDOTTO, 2018).

Lana et al. (2018) analisaram um sistema de integração de 20 anos de estabelecimento no estado de MG. A composição do sistema era constituída por Eucalipto *grandis*, com densidade de 150 árvores ha⁻¹, consorciado com *Urochloa brizantha*. Observou-se aumento do estoque de carbono no sistema integrado com eucalipto. Este resultado foi atribuído, as baixas taxas de mineralização, justificadas pela composição química da camada de serapilheira gerada pelo componente arbóreo (eucalipto). Adicionalmente, foi observado acréscimo da fertilidade do solo, com destaque para P, Ca, Mg, e K. O aumento da fertilidade do solo foi correlato aos acréscimos obtidos no conteúdo de matéria orgânica do solo, confirmando o uso e manejo sustentável, por meio do sistema estudado.

Deste modo, a determinação do teor de matéria orgânica do solo e seus constituintes torna-se uma ferramenta indispensável para a avaliação da qualidade do solo (ROLDFIELD, et al., 2018).

Umidade gravimétrica

A umidade gravimétrica do solo é atributo de extrema importância, pois é capaz de influenciar outras propriedades. De acordo com Figueiredo et al. (2000) este é um agente controlador da compactação do solo, isto significa que há uma umidade ideal para o preparo do solo, que resulta em menor compactação deste. Para Kiehl (1979) a umidade do solo também atua sobre a coleta de amostras para obtenção de densidade do solo, por exemplo, em solos muito secos a amostra pode destorrear facilmente ou em situação em que solo está muito úmido a amostra é capaz de gerar maior compactação do solo, levando os estudos ao erro.

Normalmente o manejo impróprio dos solos nos cultivos agrícolas acarretam resistência à penetração e densidade do solo, e desse modo a diminuição da porosidade e quantidade de água disponível às plantas (RIBON e TAVARES FILHO, 2008). Marchão et al. (2007) demonstraram que o atributo umidade possui relação inversamente

Conclusão

Diante do exposto, se pode concluir que o entendimento da dinâmica do sistema de iLPF, sob os atributos físicos do solo é de extrema importância, haja visto seu impacto sob as propriedades físicas do solo, uma vez que pode inferir na produtividade das culturas empregadas neste sistema.

Outro aspecto a ser considerado é a implicação direta do manejo de solo adotado, este pode afetar negativamente ou positivamente as características físicas do solo. Como exposto vários são os estudos que atestam os benefícios do sistema de iLPF, em detrimento a manejos agrícolas com uma única cultura, e ainda sob forma convencional de produção.

A iLPF, atua positivamente na recuperação de áreas de pastagem degradadas uma vez que promovem melhoria da qualidade física do solo.

Referências

ALMEIDA, R.G.; BARBOSA, R.A.; ZIMMER, A.H; KICHEL, A.N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D.J. 2º Ed. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Brasília, 2012. p.88-94.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. Inovações tecnológicas nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta-iLPF. In: Simpósio internacional de produção de gado de corte, Viçosa, 2012. p. 267-276.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como

proporcional aos valores de resistência à penetração obtidos em condições de campo.

Santana et al. (2014) detectaram que até 40 cm de profundidade a pastagem convencional apresentou menor valor de resistência à penetração em relação ao sistema de iLPF, isto é justificado, visto que em iLPF, a umidade é menor nessas camadas devido ao alto consumo água pelas plantas.

Souza et al. (2020) ao estudarem áreas com integração lavoura-pecuária; sistema agrossilvipastoril com uma linha de eucalipto; sistema agrossilvipastoril com três linhas de eucalipto; e plantio exclusivo de eucalipto (bosque), observaram que a umidade do solo em sistema de iLPF com três linhas de eucalipto foi superior na camada de 0,05-0,10 m, e também os valores foram superiores para o atributo de resistência a penetração nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, este resultado difere do encontrado por Lima et al. (2010), que verificaram que quando há baixa umidade do solo a resistência a penetração é maior. Contudo, na camada superficial avaliada no tratamento bosque, onde a maior densidade de eucalipto comparado aos demais tratamentos, apresentou teor de umidade menor. indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em Recuperação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 617-625, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400002>.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Física do Solo: Conceitos e Aplicações. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2008. 290 p.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c7>.

ASSIS, P. C.; STONE, L. F., MEDEIROS; J. C., MADARI; B. E., OLIVEIRA; J. D. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração Lavoura- Pecuária-Floresta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.4, p. 309-316, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.

ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A.P.; ANDRADE, S.E.V.G.; CECAGNO, D.; CARLOS, F.S.; CARVALHO, P.C.F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. Agriculture, ecosystems and environment, v.190, p.52-59, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. de O.; BALDOTTO L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta,

- agricultura e pecuária. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>.
- BALDOTTO, M.A.; BALDOTTO, L.E.B. Relationships between soil quality indicators, redox properties, and bioactivity of humic substances of soils under integrated farming, livestock, and forestry. *Revista Ceres*, v. 65, p.373-380, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865040010>.
- BALDOTTO, M.A.; VIEIRA, E.M.; SOUZA, D.O.; BALDOTTO, L.E.B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. *Revista Ceres*, v. 62, p.301-309, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>.
- BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. *Tropical Grasslands*, v.41, p.269-276, 2007.
- BAVER, L. D.; FARWOETH; R. B.; Soil structure, effects in the growth of sugar beets. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.5, p.45-48, 1972. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1941.036159950005000C0008x>.
- BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. *Geoderma*, v.303, p.150-164, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.003>.
- BEHLING NETO, A. Caracterização da forragem de capim-Piatã e do microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com dois arranjos de árvores de eucalipto. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Federal do Mato Grosso –Cuiabá.
- BLAINSKI, É; TORMENA, C. A; GUIMARÃES, R. M. L; NANNI, M. R. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.79-87, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100009>.
- BONINI, C. S.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400001>.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.4, p.1263-1270, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400019>.
- BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; Nouvellona, Y.; ABREU-JUNIOR, C.H.; TRIVELINE, P.C.O.; GONÇALVES, J.L.M.; PLASSARD, C.; BOUILLET, J.P. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. *Forest Ecology and Management*, v. 431, p.6-16, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.018>.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. *Agrária*, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i2a882>.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) /Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012.173 p. ISBN 978-85-7991-062-0.
- BURIN, P.C. Principais forrageiras e taxa de semeadura em integração lavoura pecuária. *Revista eletrônica de veterinária*, v. 18, n. 9, p. 1-24, 2017. Doi: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090917.htm>.
- CALIL, F.N.; LIMA, N.L.; SILVA, R.T.; MORAES, M.D.; BARBOSA, P.V.G.; LIMA, P.A.F.; BRANDÃO, D.C.; SILVA-NETO, C.M.; CARVALHO, H.C.S.; NASCIMENTO, A.D.R. Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p.3701-3709, 2016. Doi: 10.5897/AJAR2016.11369.
- CANARACHE, A. Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 16, p. 56-70, 1990. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90021-5).
- CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; MÜLLER, M. D.; JÚNIOR, É. R. N. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvopastoril. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 60, p. 19, 2010.
- CONCEIÇÃO, M.C.; MATOS, E.D.S.; BIDONE, E.D.; RODRIGUES, R.; CORDEIRO, R.C. Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. *Agricultural Sciences*, v. 8, p.904-913, 2017. Doi:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1078539>.

CORDEIRO, L. A.; VILELA, L.; MARCHÃO, R.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração Lavoura-pecuária e integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégias para intensificação sustentável do Uso do Solo. Caderno de Ciência Tecnologia. v.32, p.1015-1024, 2015. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1039619>.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.30, p.107-114, 1995. Doi: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4281>.

COSER, T.R.; FIGUEIREDO, C.C.; JOVANOVIĆ, B.; MOREIRA, T.N.; LEITE, G.G.; CABRAL FILHO, S.L.S.; KATO, E.; MALAQUIAS, J.V.; MARCHÃO, R.L. Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. Agricultural systems, v. 166, p.184-195, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.030>.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLLO, de C. M.; NETO, S. M.; CAMARGO, B. P.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. Revista Brasileira da Ciência do Solo, v.36, p.1311-1321, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025>.

COSTA, L. M.; DRESCHER, M. S. Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of clayey oxisol. Revista Ceres, Viçosa, v. 65, n. 5, p. 443-449, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865050009>.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T. D.; OLIVEIRA, M. S. D. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8351>.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300005>.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, v. 120, p. 201-214, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>.

dos SANTOS, M. H. F., RIBON, A. A., LOURENÇO, F., DA SILVA, O. C. C., DE OLIVEIRA, C. L., & DA SILVA, A. A. Estimativa da compactação através da resistência do solo a penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 27, p. 49-62, 2015.

FERREIRA, G. A.; OLIVEIRA, P. S. R.; ALVES, S. J.; COSTA, A. C. T. Soybean productivity under different grazing heights of Brachiaria ruziziensis in an integrated crop-livestock system. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 4, p. 755-763, 2015.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um LATOSSOLO VERMELHO sob sistemas de manejo e cerrado nativo. Bioscience Journal, Uberlândia, v.24, n.3, p.24-30, 2008. Doi: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/7750>.

GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; GOBBI, K.F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S.N. VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR; ASSIS, J.B. (Ed.). Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta, Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 189p.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.12, p.1489-1498, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200021>.

GOMES, T. O.; MATOS, T. S.; BRITO, J. S. S.; FERREIRA, S. Aplicação do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) no projeto de assentamento nossa senhora do perpétuo socorro. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2018, Ceará. Anais... Ceará, 2018. Doi: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00030>.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. Soil Science Society of America Journal, v. 32, n. 2, p. 180-186, 1968. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x>.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of Forest soils. A review. Australian Journal of Soil Research, v.18, n.2, p.163-89, 1980. Doi: <https://doi.org/10.1071/SR9800163>.

GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. Advances in Soil Science, v.6, p.65-100, 1987.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem.

- Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000700025>.
- K. L.; SANTOS, A. J.; BARROS, L. R. Indicadores físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso em sistemas de integração na região do cerrado. Revista ESPACIOS, v. 38, n. 16, 2017. Doi: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n16/17381603.html>.
- KALLENBACH, R.L.; KERLEY, R.L.; BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine-Walnut silvopasture. Agroforestry Systems, v.66, p.43-53, 2006.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V.A. Física do Solo. 3 ed. Passo Fundo: UPF, 2014. 240p.
- KRAVCHENKO, A. N., A. K.; GUBER, B. S.; RASAVI, J.; KOESTEL, M. Y.; QUIGLEY, G. P.; ROBERTSON, A. Y. K. Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. Nature Communications, n.10, p.3121, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11057-4>.
- KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo Argiloso com semeadura direta e escarificação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37:1699-1708, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600026>.
- LANA, Â.M.Q.; LANA, R.M.Q.; LEMES, E.M.; REIS, G.L.; MOREIRA, G.H.F.A. Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome. Agroforestry systems, v. 92, p.415-424, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9998-8>.
- LIMA, C. G. D. R.; CARVALHO, M. D. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. D.; QUEIROZ, H. A. D. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100017>.
- LIMA, H. V de; SILVA, A. P. de; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um Argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 29 n.1. pág. 33- 40jan/fev. 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100004>.
- LIMA, R. P; LEÓN, M. J. D; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. Revista Ceres, v. 60 p.577-581, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400018>.
- LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, v.116, p.107-136, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1).
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Revista Ciências Agrárias, v.55, p.260-268, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.066>.
- LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoreil em Santa Teresa, ES. Bioscience Journal, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014. Doi: <http://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/477/264>.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura pecuária no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.873 882, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600015>.
- MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A.; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero Brachiaria sob níveis de sombreamento. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.7, p.1183-1190, 2009.
- MELO FILHO, J. F; SOUZA, A. L.V; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1599-1608, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600036>.
- MELOTTO, A.M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D.J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável, 2 ed. Brasília –DF: Embrapa, 2012. p. 95 –119.
- MENEZES, J. A. L.; SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R. L. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. Water Resources and

- Irrigation Management, v. 2, n. 1, p. 45–51, 2013. Doi: <https://core.ac.uk/download/pdf/270268129.pdf>.
- MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2057>.
- MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical Limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>.
- NASCIMENTO, V. N., ALMEIDA, G. L. P., BATISTA, P. H. D., & COUTINHO, A. S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. *Boletim de Indústria Animal*, v. 74, n. 3, p. 169-175, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17523/bia.v74n3p169>.
- NESMITH, D. S.; RADCLIFFE, D. E.; HARGROVE, W. L.; CLARK, R. L.; TOLLNER, E. W. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, n. 1, p. 183-186, 1987. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100010038x>.
- NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo Viçosa*, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400025>.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; PAIVA, H.N. Implantação e manejo do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril. In: OLIVEIRA NETO, S. N.; VALE, A. B.; NACIF, A. P.; VILAR, M. B.; ASSIS, J.B., Eds. *Sistema Agrossilvipastoril: Integração Lavoura, Pecuária e Floresta*. Viçosa, MG: Embrapa gado de corte, 2010. p. 15-68.
- OLIVEIRA, B., CARVALHO, M. A., LANGE, A., DALLACORT, R., & SILVA, V. Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, 2015. Doi: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_255.
- OLIVEIRA, J.M.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.T.M.; ASSIS, P.C.R.; SILVEIRA, A.L.R.; LIMA, M.L.; WRUCK, F.J.; MEDEIROS, J.C.; MACHADO, P.L.O.A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Regional environmental change*, v. 18, p.105-116, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1146-0>.
- OLIVEIRA, P. R; CENTURION, J. F; CENTURION, M. A. P. C; ROSSETI, K. V. FERRAUDO, A. S; FRANCO, H. B. J; PEREIRA, F. S; BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37 p.604-612, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300006>.
- OLIVEIRA, T. D.; MACEDO, R. L. G.; SANTOS, I. D.; HIGASHIKAWA, E. M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 3, p. 74 8-757, 2007.
- PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. D.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.
- PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.917-923, 2008.
- PINHEIRO, R.C.; BOUILLET, J.P.; BORDRON, B.; ALÓ, L.L.; COSTA, V.E.; ALVARES, C.A.; KAREL MEERSCHKE, V.D.; STAPE, J.L.; GUERRIN, I.A.; LACLAU, J.P. Distance from the trunk and depth of uptake of labelled nitrate for dominant and suppressed trees in Brazilian Eucalyptus plantations: Consequences for fertilization practices. *Forest Ecology and Management*, V. 447, p.95-104, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.011>.
- PINHEIRO, R.C.; DEUS JR, J.C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; ALÓ, L.L.; GUERRINI, I.A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J.P. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 366, p.143-152, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.012>.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo –DRES. Londrina: Embrapa Soja, 2017, 64 f. Doi: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107195>.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.3, p.310-309, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.49-134. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, p. 49-134, 2003.

REIS, G.L.; LANA, A. M. Q.; EMERENCIANO NETO, J. V.; LEMOS FILHO, J. P.; BORGES, I.; LONGO, R. M. Produção e composição bromatológica do capim-marandu sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Revista Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, 2013.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; DA CRUZ CENTURION, M. A. P.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i1.2147>.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da Resistência Mecânica à Penetração de um LATOSSOLO VERMELHO sob Cultura Perene no Norte do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 1817-1825, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500003>.

ROLDFIELD, E. E.; WOOD, S. A.; BRADFORD, M. A. Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. *Plant and Soil*, Genève, v. 423, n.1-2, p. 363-373, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3513-5>.

SACRAMENTO, J.A.A.S.D.; ARAÚJO, A.C.D.M.; ESCOBAR, M.E.O.; XAVIER, F.A.D.S.; CAVALCANTE, A.C.R.; OLIVEIRA, T.S.D. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p.784-795, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300025>.

SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. IN: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 19., 2015, Belém. Anais... Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 18p. p.14. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1022627>.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L.; Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Magistra, Bahia*, v. 26, n. 3, p. 262-271, 2014. Doi: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/462>.

SANTANA, A. V. D., FERREIRA, E. D. M., GUIMARÃES, L. E., CALIL, F. N., & HO, M. T. Resistência à penetração em solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-florestal, pasto convencional e mata nativa do cerrado. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.18; p. 2014. Doi: <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/14388>.

SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; RIBEIRO, M. I. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. *Enciclopédia biosfera*, v. 15, n. 27, 2018. Doi: 10.18677/EnciBio_2018A26.

SANTI, A.; DE BONA, F. D.; DALMAGO, G. A. Índice de qualidade estrutural do solo em sistema plantio direto conduzido sob longa duração em Passo Fundo, RS. In: Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP DA REDE DE PESQUISA SOLO VIVO, 2018, Curitiba. Indicadores de qualidade da gestão de áreas com sistema plantio direto: palestras e resumos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019. E-book.(Embrapa Solos. Documentos, 212). p. 136-143., 2019.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.10, p.1339-1348, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000030>.

SANTOS, K. F.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; WOLSCHICK, N. H.; MOTA, J. M. Teores e estoque de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no planalto sul de Santa Catarina. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711812019222>.

SANTOS, L.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro

- sob diferentes níveis de adubação. *Revista Ceres*, v. 62, n.1, p. 107-116, 2015.
- SANTOS, V.A.C. Características morfológicas, estruturais e produtivas do capim-Piatã em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no cerrado. 2011. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) –Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- SILVA, A. R.; SALES, A.; ALBERTO, C.; VELOSO, C.; MAKLOUF, J. Efeito do cultivo de paricá em sistemas integração lavoura-pecuária-floresta sobre as propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um Latossolo Amarelo. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v.10, n.1, p.53-61, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711812019222>.
- SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. 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. *Agropecuária Técnica*, v. 37 p.96-104, 2016. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1052980>.
- SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um latossolo amarelo sob sistemas integração lavoura pecuária-floresta. *Journal of Agronomic Sciences*, v. 4, p.144-157, 2015. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1018716>.
- SILVA, B. P. P. C. da; SOARES, L. M.; SOUSA JUNIOR, A. N. J. I.; BARBOSA, I. C. C. Avaliação estrutural do solo em uma área de soja através de um diagnóstico rápido. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS, 3., 2017, Natal. Anais. Natal, 2017. p. 1 - 6.
- SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, N.M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>.
- SILVEIRA P.M.; SILVA J.H.; LOBO JUNIOR M.; CUNHA P.C.R. Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1170-1175, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000008>.
- SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizanthacv*. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, p.1029-1037, 2007.
- SOUZA, J. F. D.; BONINI, C. D. S. B.; MATEUS, G. P.; DE SOUZA, C. T.; PERUSSO, R. L. S.; PEDRO, F. G.; OLIVERIO, G. L. Compactação do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária floresta após cinco anos de implantação e uso. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 19, n. 3, p. 348-353, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711932020348>.
- SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de Capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 13, p.51-64, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2019v13n1p51-64>.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, n.4, p.1193-1200, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400023>.
- STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley, 1994. 496 p.
- STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORDA, J. W.; FIELDA, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNYA, B.; MCBRATNEYA, A. B.; COURCELLES, V. R.; SINGHA, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRDE, M.; BROOKES, P. C.; CHENUG, C.; JASTROWH, J. D.; LAL,R.; LEHMANNJ, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164:80-99, 2013. 164:80-99, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, v. 34, p. 755-760, 2004. Doi: [10.1590/S0103-84782004000300016](https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016).
- TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22, 1966.
- TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TONUCCI, R.G.; NAIR, P.K.; NAIR, V.D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F.S. Soil Carbon Storage in Silvopasture and Related Land-Use Systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of environmental quality*, v. 40 p.833-841, 2011. Doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0162>.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; OLIVEIRA NETO, S.N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E.B.B.M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, p.235-244, 2014. Doi: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/16996>.

TORRES, J.L.R.; ASSIS, R.L.; LOSS, A. Evolução entre os sistemas de produção agropecuária no Cerrado: convencional, Barreirão, Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária. *Informe Agropecuário*, v. 39 p.7-17, 2018.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M.; REIS, E. F.; SILVA, A. G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. *Cerne*, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.

VALANI, G. P.; VEZZANI, F. M.; CAVALIERIPOLIZELI, K. M. V. Soil quality: evaluation of onfarm assessments in relation to analytical index. *Soil and Tillage Research*, v.198, p. 104565, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104565>.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKE R, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Transactions of the ASAE*, v.4, p.242-246, 1961.