

Capítulo 7

Evolução dos teores de matéria orgânica do solo em sistema de integração lavoura-pecuária

João Herbert Moreira Viana
Ramon Costa Alvarenga
Manoel Ricardo Albuquerque Filho
Adriana Monteiro da Costa
Maíse Soares de Moura



Foto: João Herbert Moreira Viana

Introdução

Sistemas inadequados de produção agrícola podem acarretar danos ambientais, refletidos nos atributos do solo, sendo este um componente essencial para uma produção sustentável (Muniz et al., 2011). Para atenuar esses efeitos indesejados, são propostos sistemas agrícolas mais sustentáveis (Dias et al., 2019), sendo que no cerrado brasileiro, estas proposições englobam manejos que visem recuperar os estoques de carbono orgânico e manter a alta produtividade (Corbeels et al., 2016; Dias et al., 2019). De modo geral, a utilização de práticas sustentáveis de manejo do solo nos sistemas produtivos, tem reflexos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Olibone et al., 2010; Cecagno et al., 2016). Destaca-se que, para o sucesso dessas práticas, é fundamental o entendimento dos processos que afetam a qualidade do solo (Olibone et al., 2010), além de propostas metodológicas que permitam avaliar estes processos e os fatores que os compõem.

Deste modo, para aferição da eficácia dos sistemas ditos sustentáveis, são necessários parâmetros, capazes de avaliá-los quanto a sua efetividade em promover benefícios e, assim, subsidiar a escolha dos manejos a serem adotados (Rodrigues et al., 2010). Dentre esses parâmetros, a matéria orgânica do solo tem sido considerada como um indicador sensível de mudanças no uso da terra (Conceição et al., 2005; Baldotto et al., 2015; Niaz et al., 2017), além de ter sido destacada como um indicador-chave da qualidade do solo, considerando amplitude de sua influência nos demais atributos essenciais para que o solo desempenhe suas funções (Conceição et al., 2005).

A utilização da matéria orgânica e seus componentes para a avaliação de sistemas de cultivo, é relatada na literatura para analisar a conversão de sistemas degradados, em sistemas sustentáveis. Em um estudo que avaliou a conversão de pastagens degradadas em um sistema de Integração lavoura-pecuária (ILP), foi relatado que os componentes biológicos do solo melhoraram durante o desenvolvimento da pastagem, no sistema ILP e que neste sistema os níveis de carbono orgânico foram mais elevados, quando comparados com uma pastagem degradada (Muniz et al., 2011). Já em outro trabalho, foi investigada a associação da ILP, com sistema de plantio direto (SPD). Observou-se que, após 3 anos de implantação, mesmo com alta exportação de nutrientes e tráfego de máquinas, esta associação foi eficiente para manutenção e até melhoria da fertilidade e dos

estoques de carbono do solo. Este sistema proporcionou a redução da compactação, o incremento da macroporosidade e da porosidade total, dentre outras melhorias, nos atributos do solo (Costa et al., 2015a). Assim, a utilização de sistemas ILP tem sido relatada como eficiente estratégia de manejo, ao promover benefícios para o solo, aferidos através de seus atributos físicos, químicos e biológicos.

Tendo em vista a sensibilidade da matéria orgânica como indicador de qualidade do solo, é aqui apresentada a evolução dos teores de matéria orgânica no solo do sistema de integração lavoura-pecuária de corte, após 14 anos da sua instalação, e discutida sua relação com os teores da área de referência (Cerrado).

Matéria orgânica do solo

Foram coletadas amostras de solo nas quatro glebas do sistema ILP. A área de cerrado nativo, logo ao lado da área experimental, foi usada como referência (Figura 7.1).

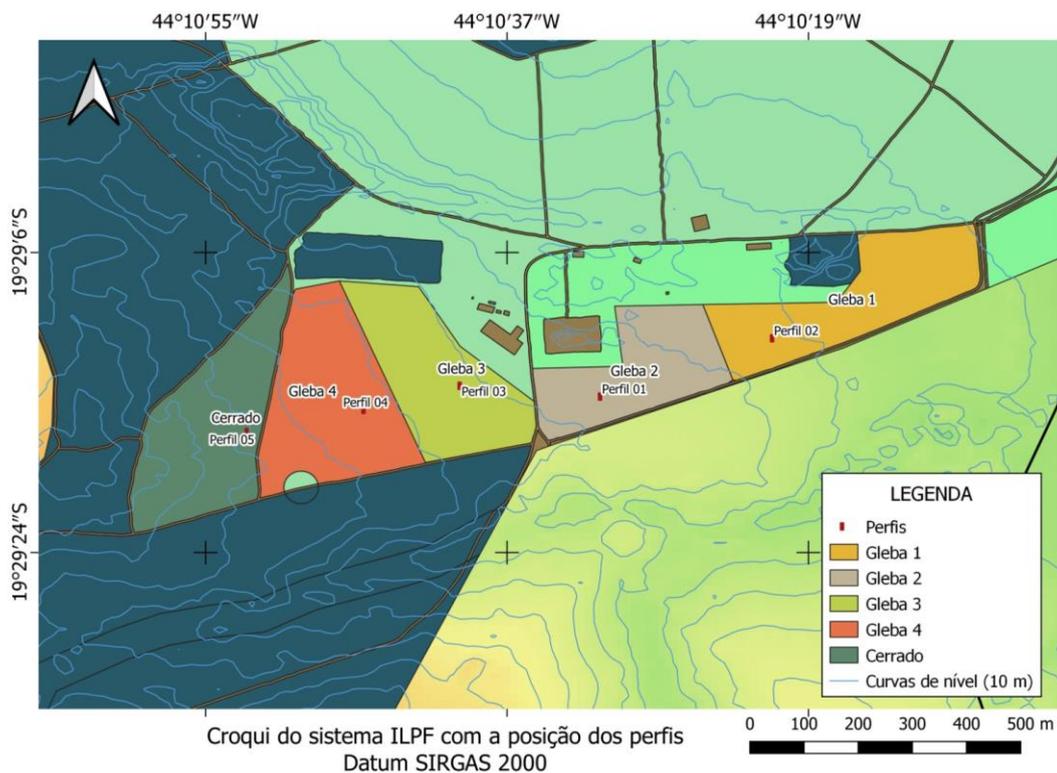


Figura 7.1. Croqui com a localização dos perfis nas glebas no sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado, em 2019. No Cerrado está georreferenciado apenas o perfil descrito em 2019. Em anos anteriores, as amostragens nessa área foram identificadas como “Cerrado 1, 2 e 3”, cuja localização não consta na imagem.

Elaboração: João Herbert Moreira Viana.

Nas glebas, as amostragens de solo foram realizadas em 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2017, 2018 e 2019. A coleta foi feita por meio de gradagem, em caminhamento aleatório, retirando-se 20 amostras simples para compor uma amostra composta. Em 2005, as amostragens foram realizadas nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. Em 2006, 2009, 2010 e 2012, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm. Em 2008, as amostragens foram realizadas nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, porém, nas linhas e entrelinhas da cultura anterior e analisadas separadamente, sendo os resultados apresentados e discutidos separadamente dos demais. Em 2014 e 2015, as amostragens foram realizadas nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm. De 2017 a 2019, as amostragens foram realizadas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm.

Foram descritos, analisados e classificados cinco perfis de solo em uma topossequência na área de estudo, sendo um perfil descrito cada gleba e um na área do Cerrado, conforme os procedimentos normatizados em Santos et al. (2013).

A análise dos teores de C foi feita pelos métodos de digestão via úmida e por calcinação, por analisador de C total (Teixeira et al., 2017). As análises de N foram feitas em analisador de N total por calcinação.

O estoque de carbono em cada camada de solo estudada foi calculado pela Equação 7.1 (Freixos et al., 2002):

$$EstC = \frac{(CO_{total} Ds e)}{10} \quad (7.1)$$

em que

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha⁻¹).

CO_{total} = carbono orgânico total (g kg⁻¹).

Ds=densidade do solo da camada estudada (kg dm⁻³).

e = espessura da camada estudada (cm).

Resultados

Os trabalhos mais detalhados já publicados, visando a comparação do sistema ILP com o Cerrado de referência, indicaram que, em 2009 os maiores valores de matéria orgânica foram observados para a camada superficial do solo (0–10 cm) no tratamento com pastagem plantada (Costa et al., 2010). Segundo os autores, os maiores teores se justificam pelo fato da pastagem cultivada ter permanecido na área desde março de 2008, após a ensilagem do sorgo, levando à deposição de um grande volume de material vegetal morto da parte aérea e de raízes e proporcionando um acúmulo de carbono orgânico total (COT) nesta camada. Os valores observados foram muito próximos aos do Cerrado nativo. Para todos os sistemas avaliados, houve uma tendência à redução do teor de carbono com a profundidade, devido à menor deposição e, conseqüentemente, acúmulo nesta profundidade. Contudo os tratamentos não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

Para as coletas de 2010, observou-se que houve uma redução do estoque de carbono do solo nas camadas superficiais (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), em relação ao cerrado nativo (Costa et al., 2011a). Os menores teores, nestes tratamentos estavam relacionados à cultura agrícola presente no ano da amostragem, ou seja, no ano de 2010 a gleba cuja cultura era a soja apresentou os menores teores de estoque de carbono no solo. Isto decorre, provavelmente devido à pequena incorporação de material orgânico à superfície do solo bem como ao sistema ser fornecedor de N, importante nutriente aos microrganismos na mineralização do material orgânico do solo e degradação da MOS (Costa et al., 2011b). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a camada subsuperficial (20 a 40 cm), indicando, segundo os autores, a maior influência dos sistemas de uso e manejo que ocorre nas camadas mais superficiais do solo (0 a 20 cm).

Para a coleta de 2011, os resultados de estoque de carbono no solo apontaram que houve diferença entre as glebas do ILP e o cerrado, mas não entre as glebas (Costa et al., 2015b). Observou-se uma redução no estoque de carbono do solo com o aumento da profundidade, sendo os maiores valores obtidos para a profundidade 0–10 cm no sob Cerrado nativo, com acúmulo de 26,1 Mg ha⁻¹. Na profundidade de 10–20 cm, o maior estoque foi de 18,20 Mg ha⁻¹ também para o Cerrado nativo e o menor valor (9,9 Mg ha⁻¹) na gleba 3, cuja

cultura implantada no ano agrícola anterior à amostragem foi a soja. Para a profundidade de 20 a 40 cm, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Costa et al., 2015b).

Os trabalhos de Costa et al. (2010, 2011a, 2011b, 2015a, 2015b) destacam que, para todos os tratamentos avaliados, os teores e estoque de carbono foram superiores na camada superficial do solo (0–10 cm), estando estes relacionados ao maior aporte de matéria orgânica em superfície, decrescendo com a profundidade. Os tratamentos de ILP apresentaram tendência a se aproximar dos valores das áreas de Cerrado nativo, estando relacionados à cultura agrícola presente no ano da coleta das amostras. Nos anos em que a cultura presente no ano agrícola foi uma gramínea, com maior relação C/N, ocorreu uma tendência a maiores teores de matéria orgânica, sendo, em alguns casos, superiores aos do Cerrado nativo. Nos anos em que a cultura foi uma leguminosa, os teores de carbono no solo foram reduzidos, independentemente do tempo referente à implementação do sistema.

Silva et al. (1994) mostraram que os teores de matéria orgânica do solo decrescem drasticamente nos primeiros anos de conversão da vegetação nativa para culturas, principalmente pelo revolvimento do solo e pela correção da fertilidade, que proporcionam aumento da mineralização da matéria orgânica até um ponto de estabilidade. Santos et al. (2014) mostraram que a dinâmica de decomposição da palhada depende tanto da qualidade do material vegetal, quanto de fatores edafoclimáticos, como temperatura, umidade e textura do solo. Em sistemas ILP, há uma variação entre 70 e 150 dias após a dessecação da palhada de milho e braquiária para a liberação quase que completa dos nutrientes, com a decomposição de mais de 80% da palhada. O acúmulo de matéria orgânica no solo foi proporcionado principalmente pelo sistema radicular, o que explica os maiores teores de acúmulo de C abaixo de 10 cm de profundidade enquanto houve redução na superfície, em relação ao cerrado nativo, nos estágios iniciais de implementação do sistema ILP.

Com a adoção do sistema de plantio direto desde o início do ILP e a consolidação do sistema, o aporte de matéria orgânica se estabilizou e os resultados mostraram que a distribuição em profundidade da matéria orgânica nas parcelas seguiu o padrão usual de decréscimo em profundidade (Figura 7.2), com teores considerados “bons” em superfície e ainda relativamente elevados

a 50 cm (Ribeiro et al., 1999), e sem diferença perceptível entre os cerrados e as glebas. Também não houve diferença significativa entre os teores médios globais entre o cerrado e as glebas (Figura 7.3).

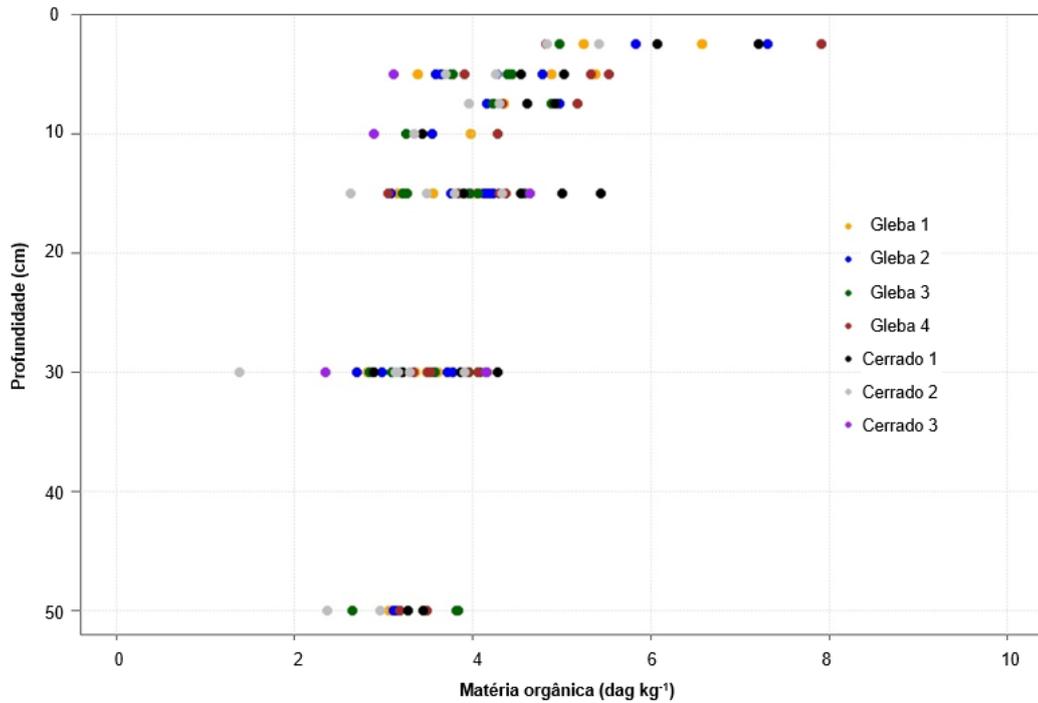


Figura 7.2. Distribuição do teor de matéria orgânica em profundidade, considerando todas as amostras coletadas nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

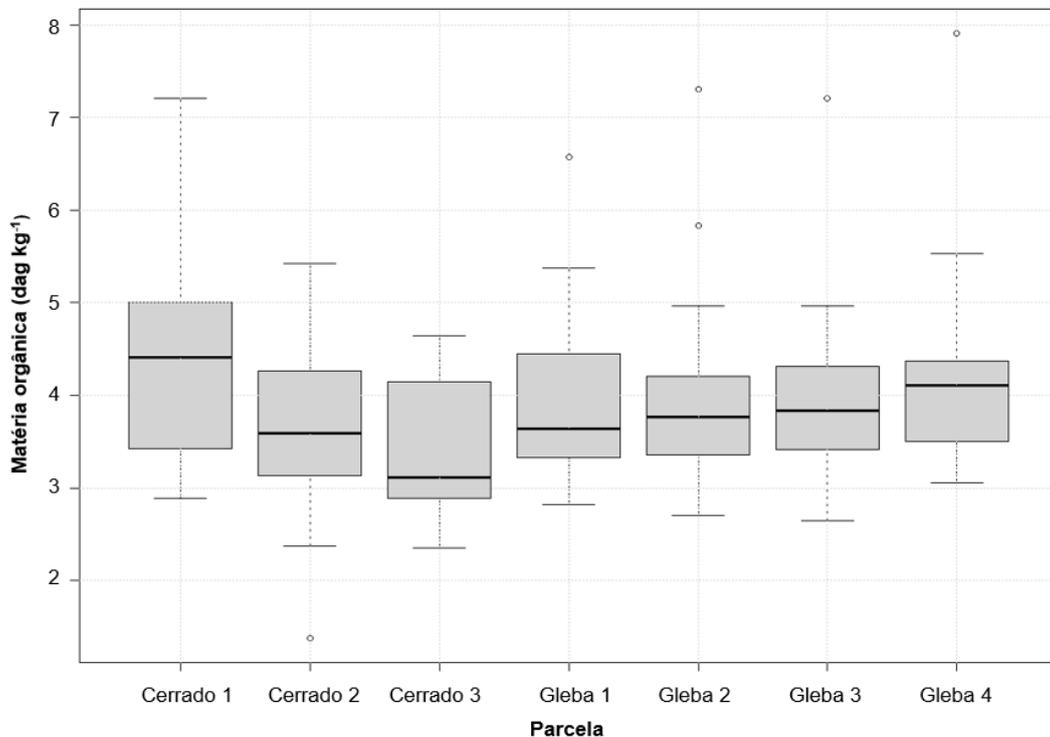


Figura 7.3. Médias gerais totais para os valores de matéria orgânica das glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e do Cerrado.

A análise temporal do teor de matéria orgânica nas glebas indica a tendência geral de incremento anual do teor de carbono orgânico total no sistema ILP, e um resultado inconclusivo com relação aos cerrados, pois o Cerrado 1 apresenta tendência de aumento e o Cerrado 2, de decréscimo dos teores (Figura 7.4). Aparentemente, há uma estabilização dos teores após o ano de 2012, na faixa de 4 dag kg⁻¹ de matéria orgânica. Estes resultados do ILP mostram o potencial deste sistema em aumentar a fixação do carbono no solo, quando manejado adequadamente. Isso contribui para a melhoria da qualidade do solo como um todo, visto que a MO é um fator chave nos processos físicos, químicos e biológicos sendo usado como indicador naquele quesito.

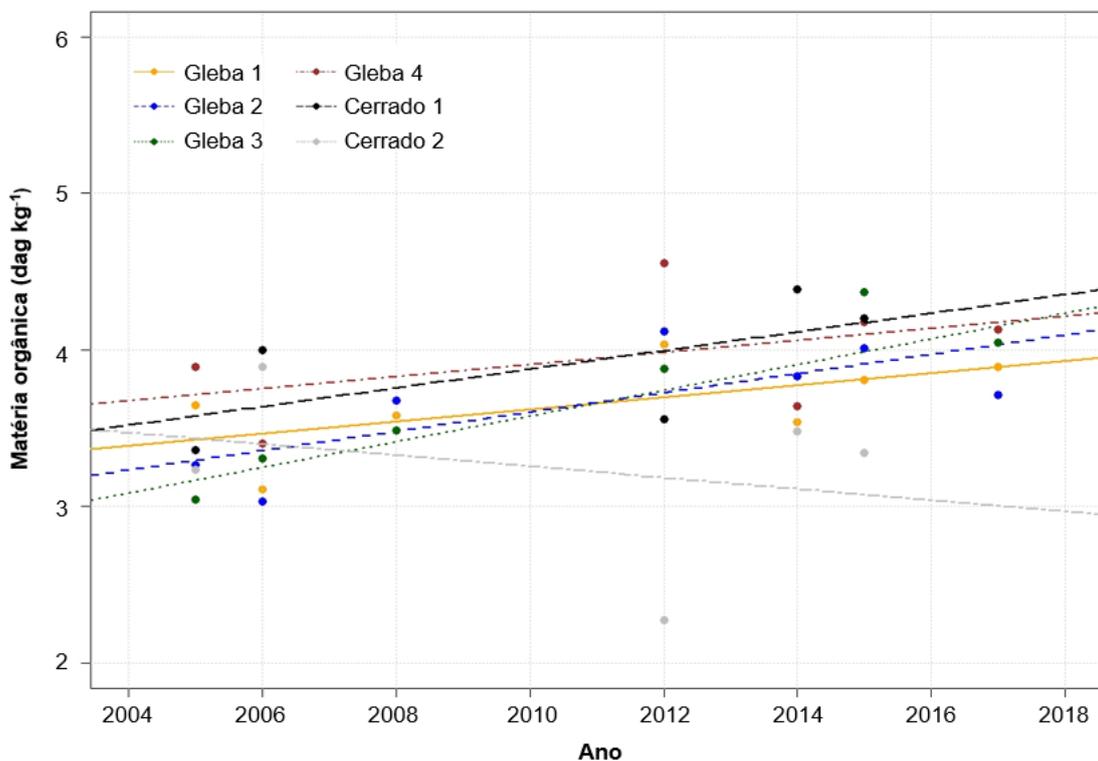


Figura 7.4. Modelos de regressão linear com as tendências gerais de variação para os valores de matéria orgânica das glebas amostradas no sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

A comparação entre anos indica que há diferença de comportamento entre as glebas, mas o Cerrado não apresenta variações com tendência evidente, e a variação de resultados pode refletir apenas a variabilidade natural nos teores de carbono no solo, entre os anos (Figura 7.5). A gleba 3 apresenta a tendência mais clara de elevação de teores, ao passo que a gleba 4 é similar aos cerrados, sem tendência aparente, o que está coerente com sua proximidade física com estas

glebas, e com os resultados dos perfis, descritos mais adiante. Além da variabilidade espacial natural entre os solos, os resultados indicam o efeito acumulado dos manejos dos solos nos teores de matéria orgânica, antes da implantação do atual sistema ILP.

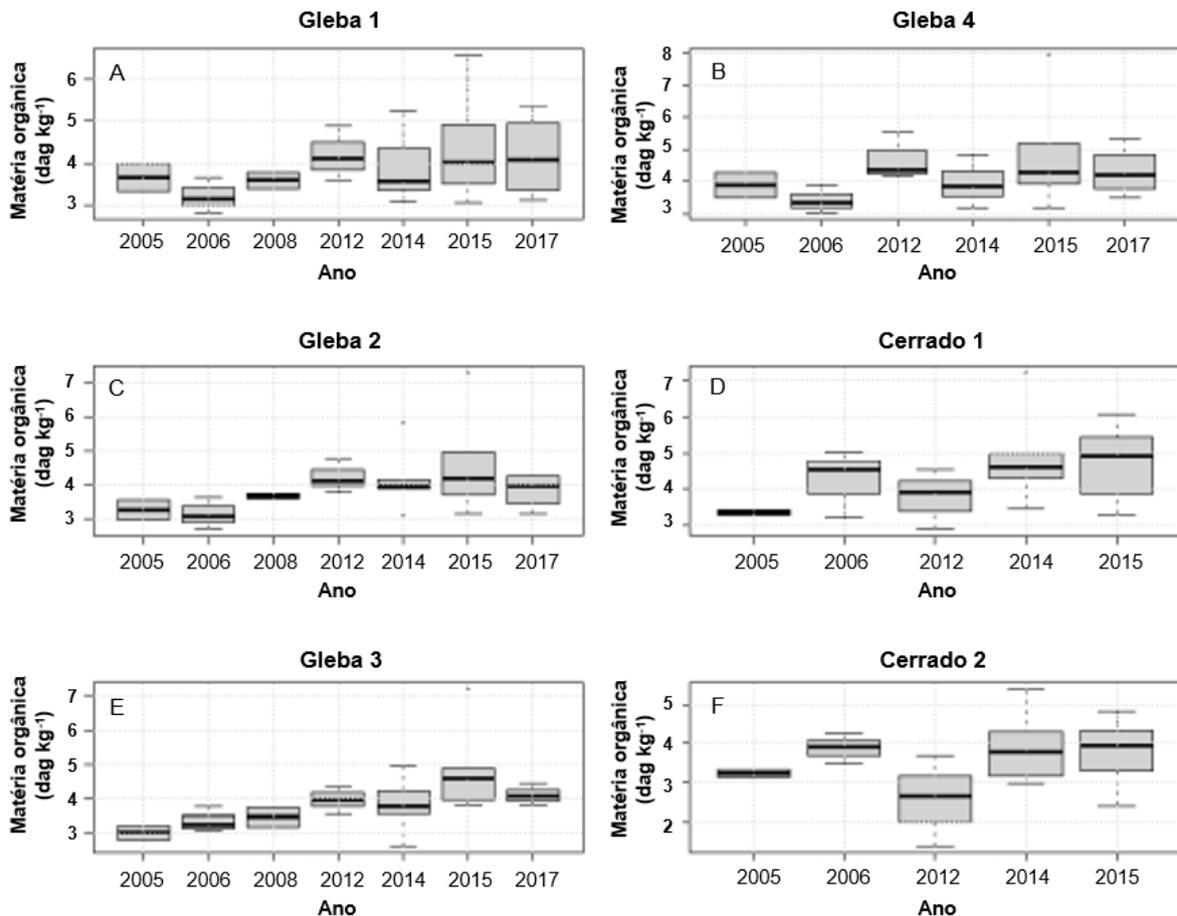


Figura 7.5. Tendência de variação anual para os valores de matéria orgânica das parcelas amostradas no sistema de integração lavoura-pecuária e Cerrado: (A) Gleba 1, (B) Gleba 2, (C) Gleba 3, (D) Gleba 4, (E) Cerrado 1, (F) Cerrado 2.

Nas glebas do ILP foram analisados quatro perfis do solo para fins de classificação e amostragens de solo e mais um no Cerrado: a) perfil 1 (gleba 2); b) perfil 2 (gleba 1); c) perfil 3 (gleba 3); d) perfil 4 (gleba 4); e) perfil 5 (Cerrado). Os cinco perfis foram classificados como Latossolo Vermelho Amarelo, com base na descrição e nas análises químicas (Figura 7.6). A classificação está de acordo com o mapa de solos da bacia do Ribeirão Marinho, que abrange a maior parte da área do sistema ILP (Oliveira, 2016). Nota-se, entretanto, que os perfis 4 e 5 apresentam horizonte superficial húmico, conforme descrito no SisBCS (Santos et al., 2013), o que os enquadraria em outra subclasse, em relação aos demais

perfis, e indica que a parte mais elevada da área já tem originalmente um teor mais elevado de matéria orgânica, e, por conseguinte, um maior estoque de carbono, como será discutido. A presença de Latossolos húmicos em torno da área do sistema ILP, também foi constatada no trabalho de Oliveira (2016).

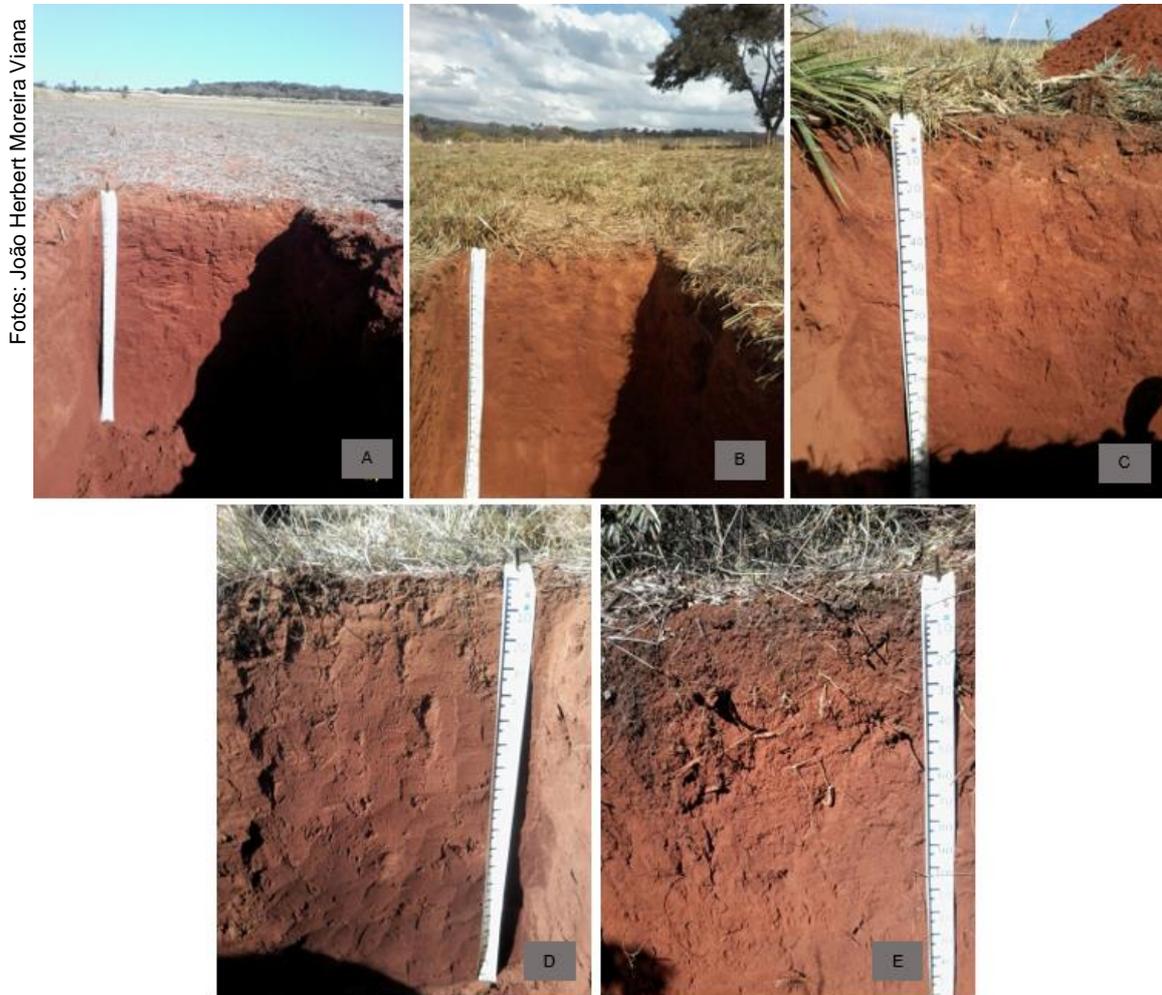


Figura 7.6. Perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado: (A) Gleba 2, (B) Gleba 1, (C) Gleba 3, (D) Gleba 4 e (E) Cerrado

O padrão observado de distribuição em profundidade dos teores de carbono (Figura 7.7) e nitrogênio (Figura 7.8) indica que a diferença de teores no horizonte superficial se mantém em profundidade, indicando que fatores pedogenéticos são responsáveis por este padrão, já que ele se propaga para além das camadas usualmente afetadas pelo manejo do solo (~50 cm). As diferenças são mais evidentes quando se compara a relação C/N em profundidade (Figura 7.9).

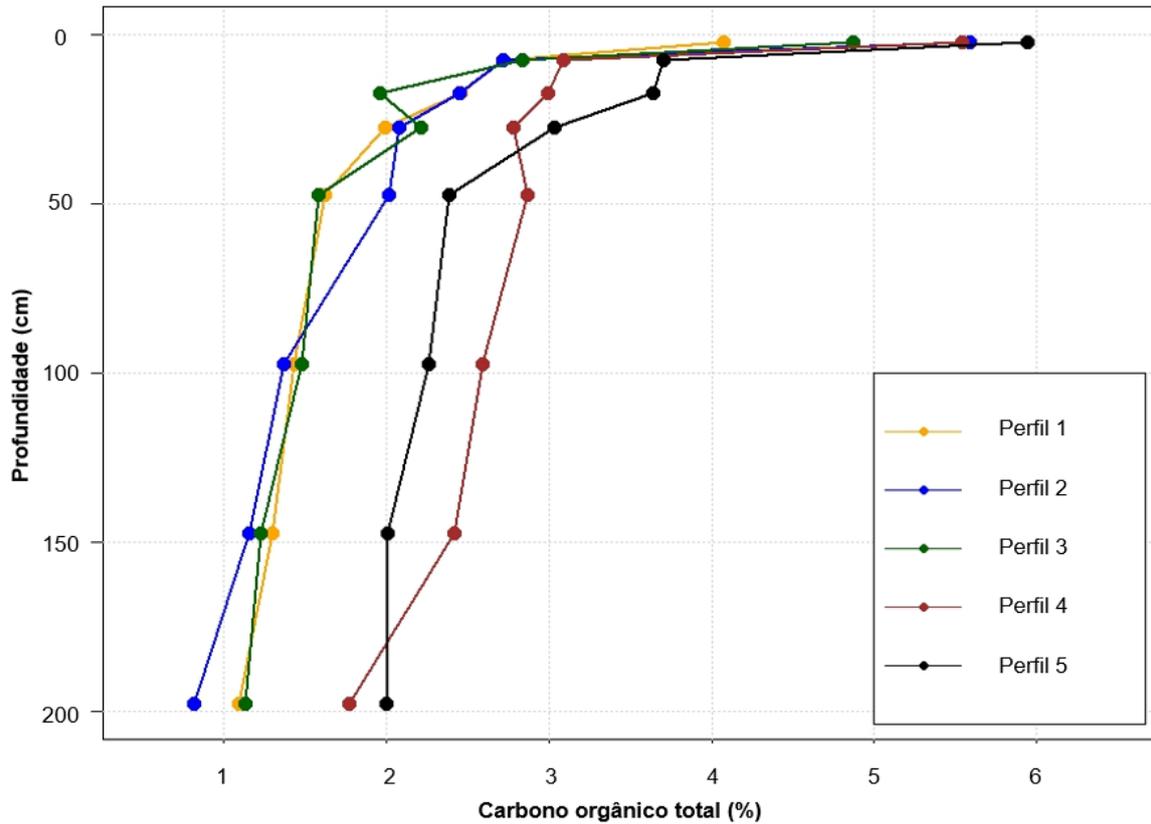


Figura 7.7. Distribuição do teor de carbono orgânico total nos perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

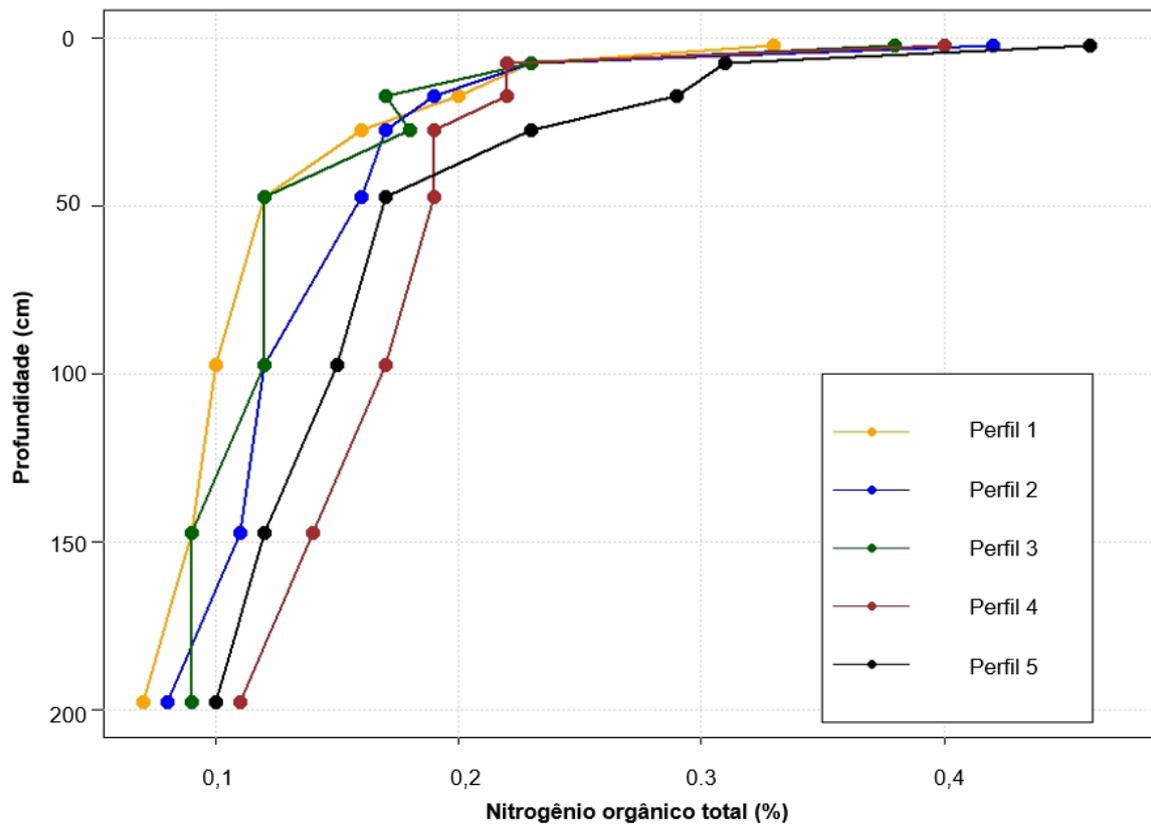


Figura 7.8. Distribuição do teor de nitrogênio total nos perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

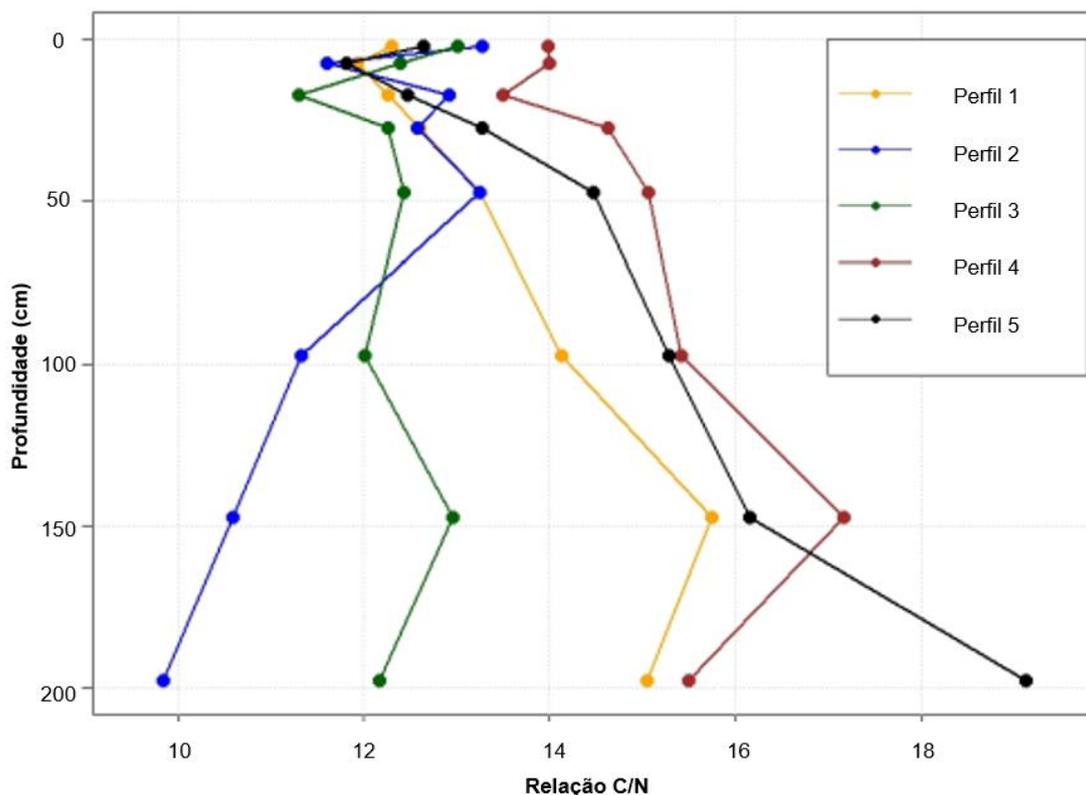


Figura 7.9. Distribuição da relação da C/N nos perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

A Tabela 7.1 mostra a sequência de rotação de culturas nos primeiros anos do sistema ILP e que antecederam as amostragens em 2009 para avaliação de atributos físicos do solo (Tabela 7.2) estudados por (Costa et al., 2009). A densidade de solo indicou efeito de tratamento na macroporosidade do solo, mas não na densidade de solo (Ds).

Tabela 7.1. Descrição da sequência de rotação das culturas nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária, da pastagem e do Cerrado, e que foram avaliados em 2009.

Sistema de uso e manejo	Ano agrícola			
	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
S1 (Gleba 1)	Soja	sorgo silagem + capim	pastagem	soja
S2 (Gleba 2)	milho grão + capim	pastagem	soja	milho grão + capim
S3 (Gleba 3)	pastagem	soja	milho grão + capim	sorgo silagem + capim
S4 (Gleba 4)	sorgo silagem + capim	milho grão + capim	sorgo silagem + capim	pastagem
S5 (Pastagem)	pastagem nativa	pastagem nativa	pastagem nativa	pastagem nativa
S6 (Cerrado)	Cerrado nativo	Cerrado nativo	Cerrado nativo	Cerrado nativo

Tabela 7.2. Densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, nas profundidades de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm de profundidade nas glebas, na pastagem e no Cerrado.

Tratamento	Densidade de partículas ⁽¹⁾	Densidade do solo ⁽¹⁾	Porosidade total ⁽¹⁾	Macroporosidade ⁽¹⁾	Microporosidade ⁽¹⁾
Profundidade 0–10 cm					
S1 (Gleba 1)	2,48 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,52 ab	0,06 a	0,45 ^{ns}
S2 (Gleba 2)	2,39	1,17	0,51 ab	0,06 a	0,43
S3 (Gleba 3)	2,47	1,10	0,56 ab	0,06 a	0,46
S4 (Gleba 4)	2,40	1,09	0,55 ab	0,09 a	0,46
S5 (Pastagem)	2,45	1,01	0,59 ab	0,13 b	0,41
S6 (Cerrado)	2,42	1,20	0,50 a	0,08 a	0,44
Profundidade 10–20 cm					
S1 (Gleba 1)	2,54 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,06 ab	0,45 abc
S2 (Gleba 2)	2,46	1,18	0,52	0,06 ab	0,42 ab
S3 (Gleba 3)	2,45	1,07	0,56	0,04 a	0,48 bc
S4 (Gleba 4)	2,45	1,07	0,56	0,09 b	0,44 abc
S5 (Pastagem)	2,55	1,11	0,57	0,04 a	0,49 c
S6 (Cerrado)	2,52	1,09	0,57	0,14 c	0,41 a
Profundidade 20–40 cm					
S1 (Gleba 1)	2,53 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,58 ab	0,09 a	0,45 ^{ns}
S2 (Gleba 2)	2,53	1,17	0,53 ab	0,10 a	0,43
S3 (Gleba 3)	2,44	1,19	0,51 a	0,07 a	0,47
S4 (Gleba 4)	2,50	1,01	0,60 b	0,07 a	0,46
S5 (Pastagem)	2,49	1,02	0,59 ab	0,16 b	0,39
S6 (Cerrado)	2,37	1,07	0,55 ab	0,16 b	0,41
C.V. (%)	6,30	7,32	6,15	17,67	5,74

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Os resultados também apontam para as diferenças de densidade de solo e porosidade, em profundidade, entre as glebas, bem como para o impacto do manejo nas camadas mais superficiais (Figuras 7.10 e 7.11). O cultivo intensivo para produção de silagem em sistema convencional, anterior à implantação do sistema ILP, certamente causou a redução da porosidade. As alterações físicas são de reversão lenta, e, a despeito do incremento observado na matéria orgânica das glebas, ainda não houve tempo suficiente para que a estrutura dos solos retornasse à condição anterior, ou similar ao cerrado não cultivado. Todavia, estes valores da D_s não causam impedimento ao crescimento das raízes das culturas ali cultivadas e não há evidências de erosão, de onde se conclui que o ILP confere sustentabilidade. Soma-se a isto os valores da porosidade total (Figura 7.11) que se situa, sempre, acima de 50%, tido como referência para representar um solo com adequada porosidade.

Os resultados de conteúdo de carbono e de densidade de solo permitem calcular os estoques de carbono nas glebas. O estoque de carbono acumulado até a profundidade de 2 metros está apresentado na Figura 7.12, e indica que as glebas 1, 2 e 3 são muito similares, e distintas da gleba 4 e Cerrado, com os resultados médios e dispersão mostrados na Figura 7.13 (ressaltando se tratar da soma do acumulado em cada camada avaliada, o que gera o formato crescente do estoque de C em profundidade). Este resultado torna as diferenças entre os dois grupos, já apontadas antes, mais explícitas e indica, também, que a área do cerrado a montante é uma referência adequada apenas para a área da gleba 4, uma vez que as diferenças pedológicas mascaram os efeitos de manejo pretérito e os benefícios provindos pelo atual sistema.

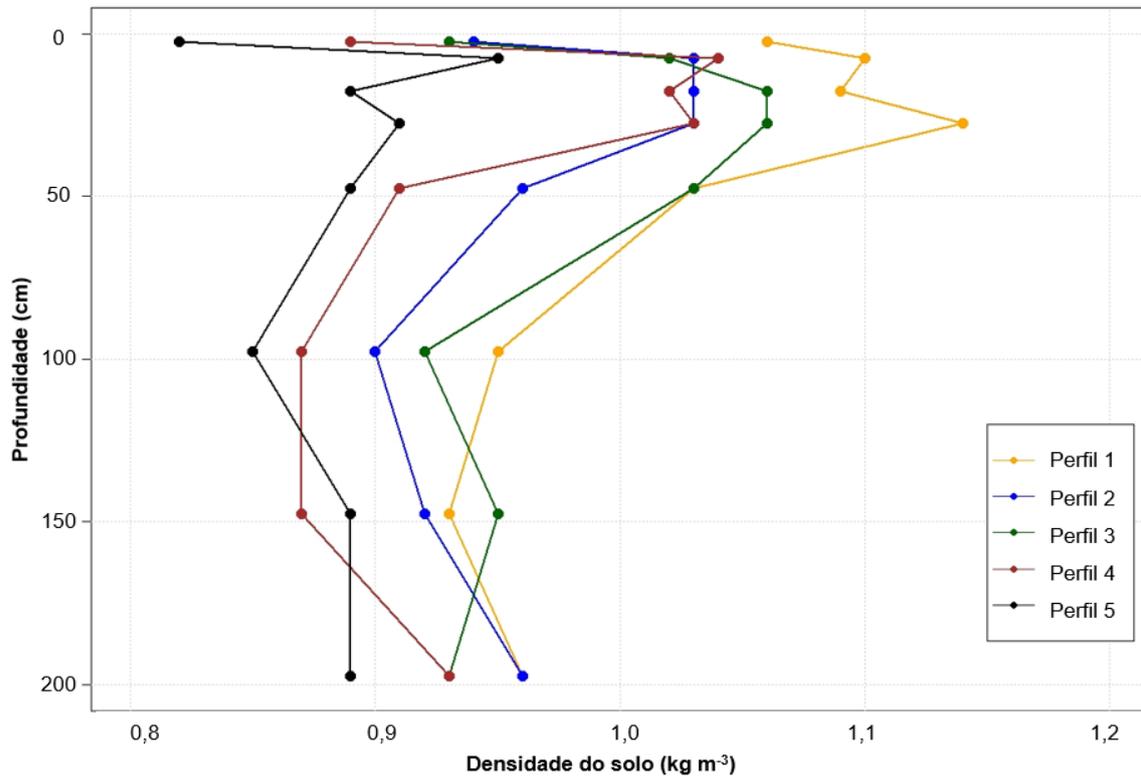


Figura 7.10. Distribuição da densidade de solo (Ds) nos perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

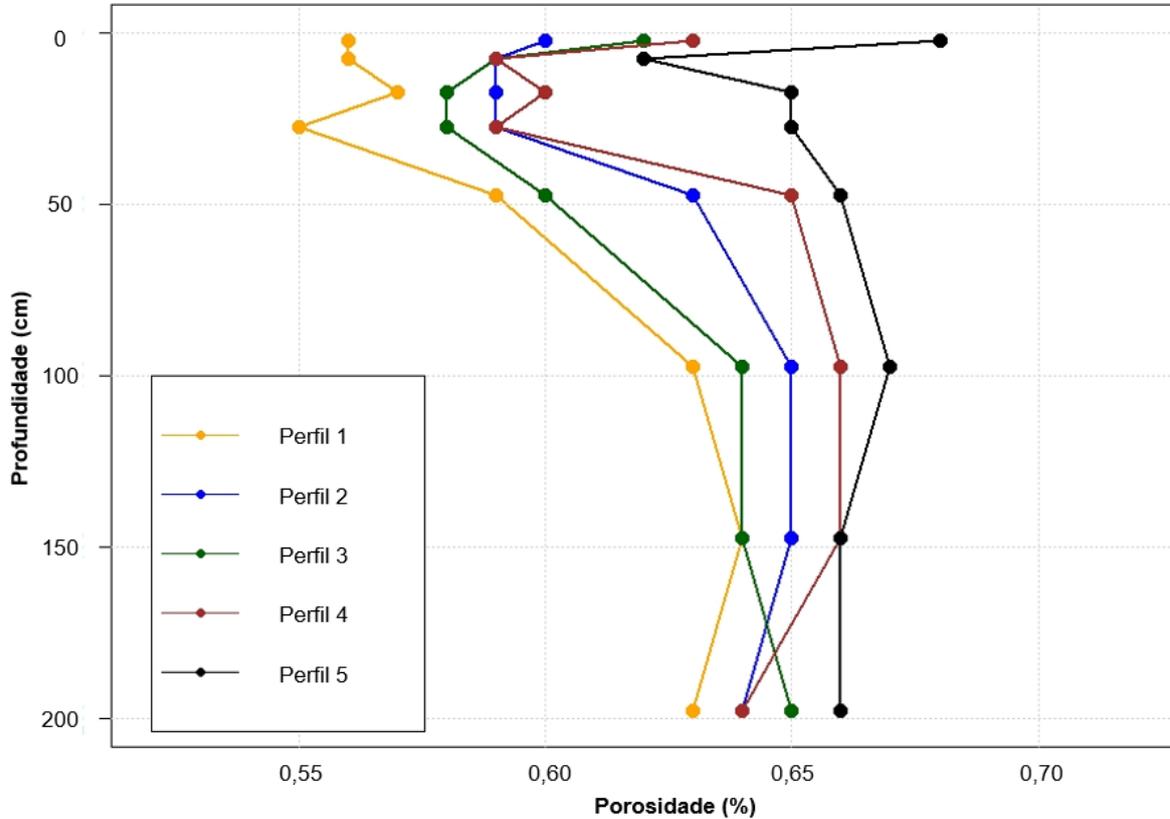


Figura 7.11. Distribuição da porosidade total nos perfis de solo amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e no Cerrado.

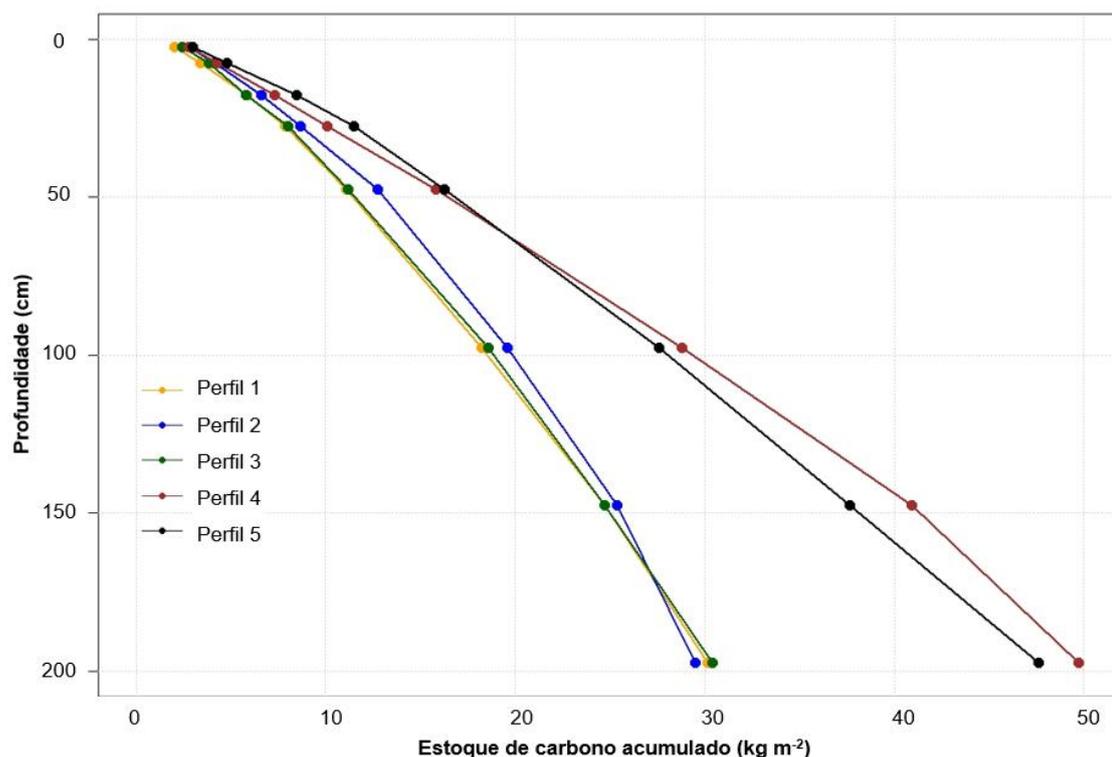


Figura 7.12. Distribuição do estoque de carbono acumulado até 200 cm de profundidade nos perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e Cerrado.

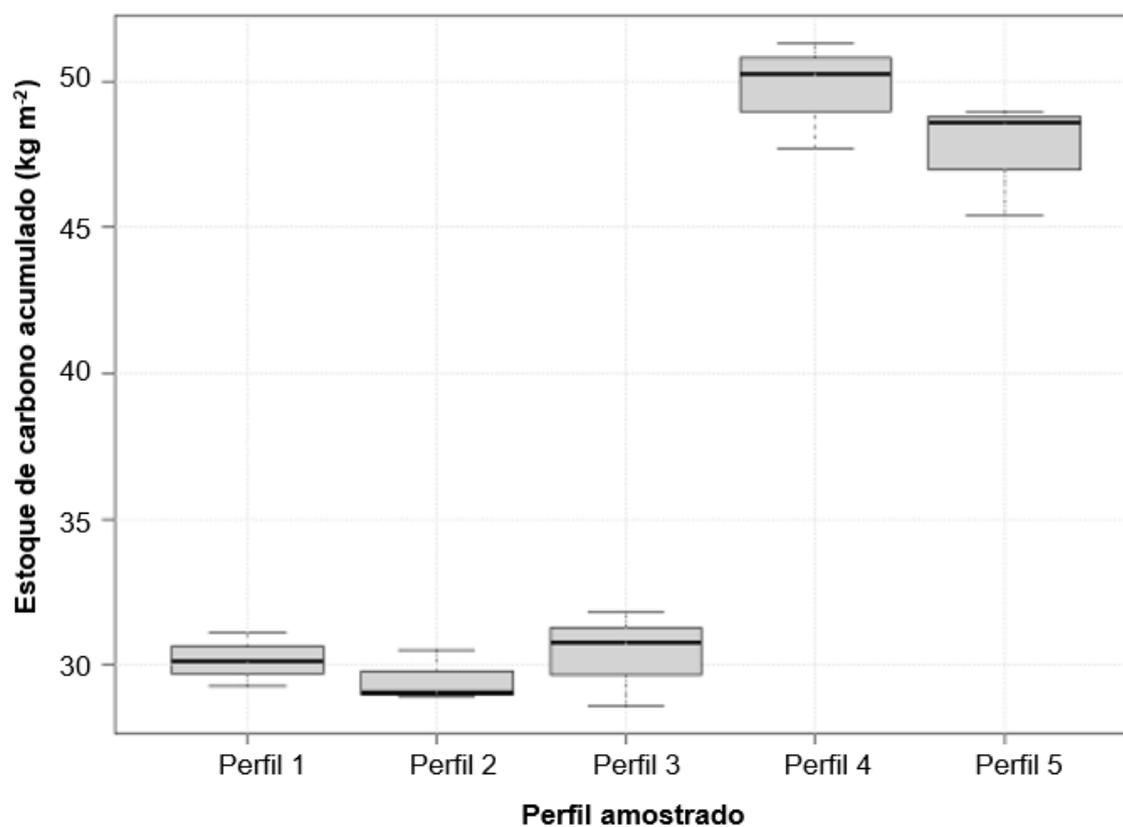


Figura 7.13. Comparação do estoque de carbono entre os perfis amostrados nas glebas do sistema de integração lavoura-pecuária e do Cerrado.

Considerações finais

O sistema ILP em estudo, instalado na Embrapa Milho e Sorgo e monitorado desde 2005, apresenta solos com teores de carbono relativamente elevados, mas com diferenças entre as glebas estudadas (tanto entre as diferentes glebas quanto entre estas e o cerrado) atribuídas a fatores pedogenéticos. Houve tendência geral ao acúmulo de carbono orgânico nas glebas em uso nos primeiros anos com sua estabilização posterior, indicando os benefícios da adoção do sistema ILP para aquelas parcelas. O monitoramento continuado da matéria orgânica neste trabalho mostra a importância de experimentos de longa duração, com amostragem e análise periódicas, para a adequada avaliação e validação de sistemas de produção intensificados como ferramentas de manejo sustentável e de cumprimento de metas ambientais, como o estoque de carbono.

Estes resultados demonstram a assertiva de inclusão de sistemas ILP no rol de estratégias de políticas públicas para a agricultura visando atender os compromissos assumidos na Conferência de Biodiversidade da ONU (COP) 15 para mitigação de mudanças climáticas (United Nations, 2015). Como parte desses compromissos, foram aprovados a Lei nº 12.187 e o Decreto nº 7.390 (Política Nacional para Mudanças Climáticas), e os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação, que incluem os sistemas ILPF como uma das seis opções a serem implementadas na agricultura, dentro do Programa ABC (Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura).

Referências

- BALDOTTO, M. A.; VIERA, M. E.; 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**, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>.
- CECAGNO, D.; ANDRADE, S. E. V. G. de; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; BALERINI, F.; FINK, J. R.; CARVALHO, P. C. de F. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, v. 156, p. 54-62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.005>.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>.
- CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, v. 6, article 21450, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep21450>.

COSTA, A. M.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; SANTANA, D. P. Estoque de carbono de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo na região do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011a.

COSTA, A. M.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; WILDA, L. R. M. Alterações no estoque de carbono do solo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária. In: CONGRESSO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 2., 2011, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA: NEFOR, 2011b.

COSTA, A. M.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; OLIVEIRA, J. L. Estoque de carbono de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções: anais**. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015a.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>.

COSTA, A. M.; VASCONCELOS, F. V.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; SANTANA, D. P. Estoque de carbono em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Sete Lagoas, MG, região do Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Atributos físicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Fortaleza: UFC: SBCS, 2009.

DIAS, F. P. M.; HÜBNER, R.; NUNES, F. de J.; LEANDRO, W. M.; XAVIER, F. A. da S. Effects of land-use change on chemical attributes of a Ferralsol in Brazilian Cerrado. **Catena**, v. 177, p. 180-188, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.016>.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200016>.

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO, J. B. de F.; CANTANHÊDE, I. S. de L.; MACHADO, P. L. O. de A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. F. de S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1262-1268, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000021>.

NIAZ, S.; IJAZ, S. S.; HASSAN, A.; SHARIF, M. Landuse impacts on soil organic carbon fractions in different rainfall areas of a subtropical dryland. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 10, p. 1337-1345, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1280727>.

OLIBONE, D.; ENCIDE-OLIBONE, A. P.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. **Soil Use and Management**, v. 26, n. 4, p. 485-493, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00301.x>.

OLIVEIRA, A. R. **Relações solo-paisagem e modelo de predição de solos da bacia do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas (MG)**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. A.; BARROS, I. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, n. 4, p. 229-239, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.10.002>.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob Integração Lavoura-Pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600020>.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, I. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

SILVA, J. E. da; LEMAINSKI, J.; RESK, D. V. S. Perda de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

UNITED NATIONS. **Framework convention on climate change**. Paris, 2015. Disponível em: <https://undocs.org/FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1>. Acesso em: 14 out. 2019.