10.30612/agrarian.v12i43.8520

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

Physical, chemical and biological soil attributes in integrated crop-livestock-forestry systems

Paula Camylla Ramos Assis[1], Luís Fernando Stone[2], Janaína de Moura Oliveira[2], Flávio Jesus Wruck[3], Beáta Emöke Madari[2], Alexandre Bryan Heinemann[2]

[1]TecnoSolo - Soluções Agrícolas e Ambientais, Rua Ana Dias, Setor Hermosa, 75803-320 Jataí, GO. E-mail: paulacamyllaramos@gmail.com
[2]Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.
[3]Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.

Recebido em: 02/08/2018 Aceito em:01/04/2019

Resumo: Sistemas integrados vêm se tornando comuns em várias regiões do Brasil e estudos sobre os efeitos desses sistemas nos atributos do solo têm-se intensificado. Contudo, ainda há dúvidas sobre seus impactos no ambiente, devido ao uso e manejos aplicados, como o tráfego de máquinas e pisoteio animal. Este trabalho foi realizado com objetivo de detectar alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo após implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e identificar aqueles adequados para a detecção na mudança da qualidade do solo. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,10 m em Nova Canãa do Norte, MT, e em Cachoeira Dourada, GO, em áreas sob iLPF com uma (iLPF1) ou três (iLPF3) linhas de eucalipto por renque e em áreas de pastagem recuperada e degradada. Nas áreas sob iLPF, as amostragens foram feitas em diversas posições em relação à linha de árvores. A maior qualidade física do solo sob iLPF1 e sob pastagem recuperada foi responsável pela sua discriminação dos demais ambientes. O teor de potássio, o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana e a respiração basal do solo foram eficientes em discriminar a pastagem degradada dos sistemas integrados e da pastagem recuperada. Os sistemas integrados, com três ou quatro anos de implantação, contribuíram para melhorar a qualidade física do solo, mas ainda não foram capazes de interferir marcadamente na sua qualidade biológica em relação à pastagem degradada.

Palavras-chave: carbono da biomassa microbiana, manejo, pastagem degradada, respiração basal do solo

Abstract: Integrated systems have become common in several regions of Brazil and studies on the effects of these systems on soil attributes have intensified. However, there are still doubts about their impacts on the environment due to the use and applied management, such as machine traffic and animal trampling. This study aimed to detect changes in physical, chemical and biological soil attributes caused by the implantation of integrated crop-livestock-forestry systems (iCLF) and to identify those attributes that are suitable for detecting changes in soil quality. Soil samples were collected in the 0-0.10 m layers in Nova Canaã do Norte, MT, and Cachoeira Dourada, GO, in areas of iCLF with one (iCLF1) or three (iCLF3) eucalyptus rows in each tree set and in areas of recovered and degraded pasture. In areas under iCLF, the samplings were carried out on several positions in relation to the tree rows. The higher soil physical quality under iCLF1 and recovered pasture was responsible for its discrimination from the other environments. Potassium content, soil microbial biomass carbon and nitrogen as well as soil basal respiration were efficient in discriminating degraded pasture from integrated systems and recovered pasture. The integrated systems, with three or four years of implantation, have contributed to improving the soil physical quality, but have not yet been able to interfere markedly on its biological quality in relation to the degraded pasture.

Keywords: management, degraded pasture, microbial biomass carbon, soil basal respiration

Introdução

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Atualmente, a humanidade enfrenta desafios cada vez maiores para produzir alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros de forma compatível com a disponibilidade de recursos naturais, em especial solo e água. Nesse contexto, são intensos os apelos para que seja difundida, em todo o mundo, a concepção da agricultura sustentável. Os sistemas de produção integrados, com e sem componente florestal, propiciam diversos benefícios agronômicos, econômicos, sociais e ambientais. Esses sistemas têm como objetivo a intensificação sustentável do uso do solo, pois fundamentam-se na integração espacial e temporal dos componentes do sistema produtivo, para atingir patamares cada vez mais elevados de qualidade ambiental e de competitividade, reduzindo a pressão sobre ecossistemas naturais (Cordeiro et al., 2015).

Sistemas integrados, como a integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), são sistemas conservacionistas e sustentáveis que ganham destaque no cenário nacional uma vez que reduzem o risco financeiro e produtivo no setor agropecuário e causam menores danos a natureza. A intensificação do uso da terra em áreas agrícolas e o aumento da eficiência dos sistemas de produção integrados podem contribuir para aumento da produtividade do rebanho, encurtar o ciclo de produção, por meio da diversificação e rotação das atividades de agricultura, pecuária e floresta, com benefícios para ambas, como melhoria nos atributos físicos do solo, quebra do ciclo de pragas e doenças, redução dos riscos econômicos pela diversificação das atividades, redução de custos na preparação e na renovação de pastagens em processo de degradação, além de contribuir para uma parcela significativa da mitigação de gases do efeito estufa no Brasil (Barbosa et al., 2015).

Em razão desses benefícios, os sistemas integrados desempenham papel importante no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), que é um mecanismo de política para reduzir as emissões agrícolas apoiado por uma iniciativa de crédito (Programa ABC), que oferece empréstimos a juros baixos para agricultores que desejam implementar práticas agrícolas sustentáveis, como parte da política nacional do Brasil sobre mudanças climáticas (Cordeiro et al., 2015).

Os benefícios da iLPF sobre diferentes atributos do solo têm sido mostrados em vários estudos (Loss et al., 2014; Silva et al., 2016). A deposição de biomassa das árvores e das gramíneas na superfície do solo consiste num meio importante de ciclagem de nutrientes. Além disso, a disponibilidade de grande quantidade de resíduos orgânicos, em constante renovação pelas árvores e pela pastagem, aumenta os teores de carbono e melhora as condições de agregação e porosidade do solo (Loss et al., 2014). Ainda assim, o efeito de interação entre os componentes dos sistemas iLPF sobre os atributos do solo demanda maior entendimento. Ainda há dúvidas sobre possíveis impactos no ambiente, devido ao uso e manejos aplicados, como o tráfego de máquinas e pisoteio animal.

Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar as alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo como resultado da implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e identificar aqueles adequados para a detecção na mudança da qualidade do solo.

Material e Métodos

Foram estudadas duas áreas, uma na fazenda Gamada, em Nova Canaã do Norte, MT (10º 38’ 13” S, 55º 42’ 32” W), e outra na fazenda Boa Vereda, em Cachoeira Dourada, GO (18º 27’ 43” S, 49º 35’ 58” W). Em Nova Canaã do Norte foram avaliados os sistemas iLPF com uma (iLPF1) e três (iLPF3) linhas de eucalipto por renque e, como referência, uma pastagem convencional contígua com certo grau de degradação química e física, pela não aplicação de corretivos e fertilizantes há cerca de oito anos e pelo pisoteio animal, denominada pastagem degradada. Em Cachoeira Dourada, foi avaliado um sistema iLPF3 e uma pastagem recuperada, tendo como referência também uma pastagem degradada pelo uso contínuo há 30 anos. Ambas as pastagens são contíguas ao sistema iLPF (Figura 1).

Em Nova Canaã do Norte, os sistemas iLPF foram implantados em 2009, sobre a pastagem degradada, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distroférrico (Santos et al., 2013), textura argilosa e, em Cachoeira Dourada, o iLPF3 foi implantado em 2008, também sobre a pastagem degradada, em um LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico (Santos et al., 2013),

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

textura argilosa. Em ambas as áreas, a espécie de eucalipto usada foi *Eucalyptus urograndis*, no espaçamento de 2 m entre plantas na linha e 3 m entre linhas no conjunto de linhas triplas (renques), sendo de 20 m o espaçamento entre renques em Nova Canaã e de 14 m em Cachoeira Dourada. Em Nova Canaã, a abertura da área foi feita em 1998, primeiramente com o cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.), depois com o de soja (*Glycine max* L.) e, posteriormente, sendo implantada a pastagem com *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. Na implantação dos sistemas iLPF, no primeiro ano de plantio do eucalipto foi cultivado o arroz em plantio direto e, no segundo e terceiro anos, soja precoce e arroz precoce. No terceiro ano, após essas culturas, foi cultivado o milho (*Zea mays* L.) consorciado com forrageira (*Urochloa spp* ou *Panicum spp*), o que também foi feito no quarto ano, quando foi introduzida a pecuária de corte, com F1 resultante do cruzamento industrial da raça espanhola Rúbia Gallega x Nelore.

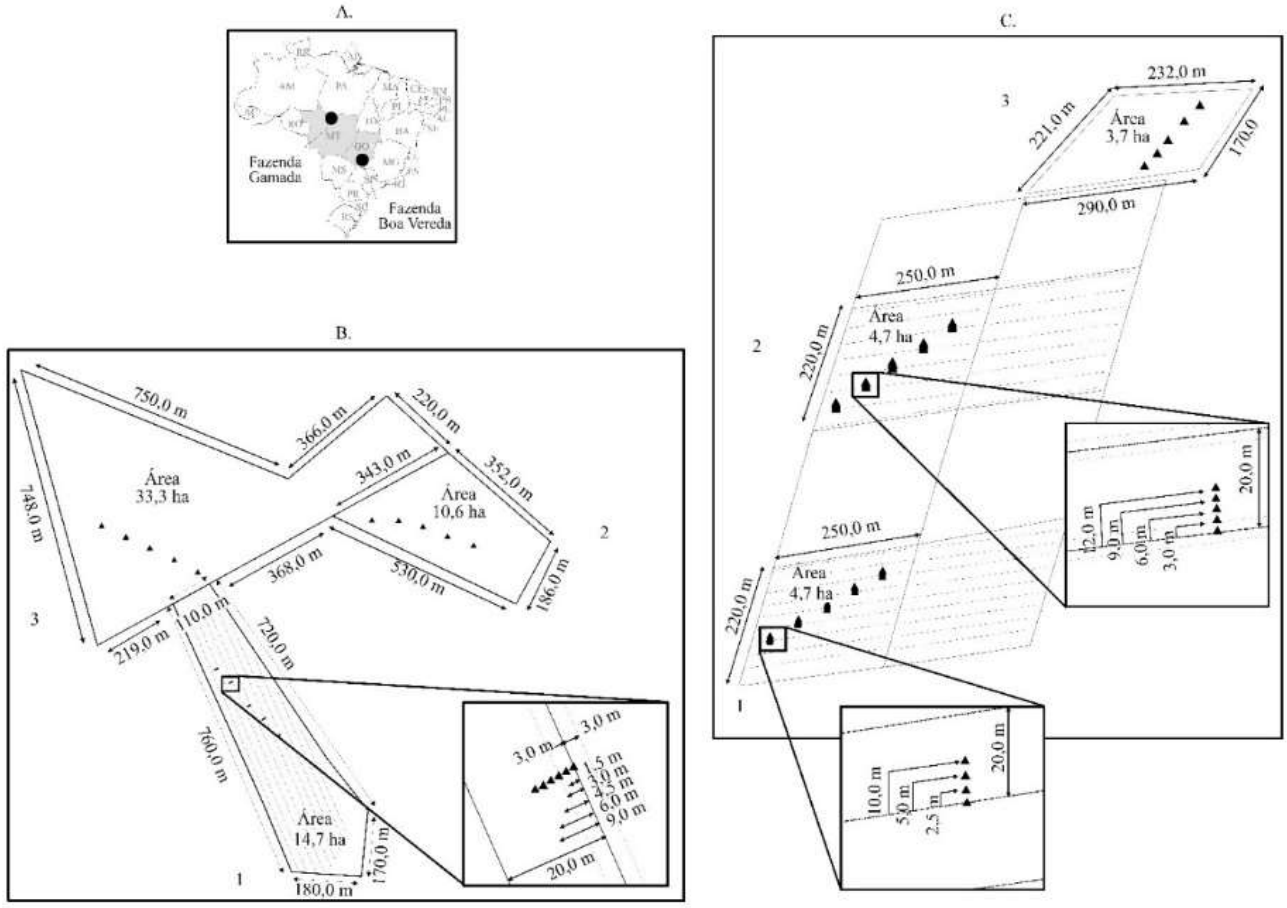

Figura 1. A. Localização das áreas estudadas; B. Fazenda Boa Vereda: 1. área sob ILPF com três linhas de eucalipto, 2. área sob pastagem degradada, 3. área sob pastagem recuperada; C. Fazenda Gamada: 1. área sob ILPF com uma linha de eucalipto, 2. área sob ILPF com três linhas de eucalipto, 3. área sob pastagem degradada. Fonte: Alessandra Cunha Moraes, Embrapa Arroz e Feijão (Assis et al., 2015)

No primeiro ano de implantação dos sistemas iLPF, as mudas de eucalipto foram adubadas com 210 kg ha^{-1} da fórmula 01-18-18 (N, P_2O_5, K_2O) e o arroz cultivado nas entrelinhas foi adubado com 370 kg ha^{-1} dessa mesma fórmula mais 130 kg ha^{-1} de ureia em cobertura. No segundo ano, o eucalipto foi adubado com 300 kg ha^{-1} da fórmula 01-18-18, a soja cultivada nas entrelinhas com 318 kg ha^{-1} de superfosfato simples mais 105 kg ha^{-1} de KCl em cobertura e o arroz em sucessão à soja com 324 kg ha^{-1} da fórmula 05-22-10 mais 86 kg ha^{-1} de ureia e 11 kg ha^{-1} de KCl em cobertura.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

No terceiro ano, foram aplicadas 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico e a soja foi adubada com 400 kg ha^{-1} de superfosfato simples mais 69 kg ha^{-1} de KCl em cobertura.

Em Cachoeira Dourada, o iLPF3 foi implantado em área de pastagem com cerca de 30 anos mediante o preparo do solo com grades aradora e niveladora, calagem com 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico e plantio de eucalipto e soja. No segundo ano, foi cultivado o milho consorciado com *U. brizantha* cv. BRS Piatã e cv. Marandú e introduzida a pecuária de corte, com cruzamentos de Nelore. A soja foi adubada com 300 kg ha^{-1} da fórmula 04-30-10 + Zn, o milho com 300 kg ha^{-1} da fórmula 08-30-10 + Zn e as mudas de eucalipto com 150 e 10 g $planta^{-1}$ da fórmula 08-30-10 + Zn e ácido bórico, respectivamente. Como adubação de manutenção, anualmente o eucalipto recebeu 200 kg ha^{-1} de superfosfato simples e 15 g ha^{-1} de ácido bórico, e a pastagem entre as linhas de eucalipto 100 kg ha^{-1} de ureia e 100 kg ha^{-1} de fosfato monoamônico.

A área de pastagem recuperada foi composta por capim-quicuio (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov) e *U. brizantha*. Nessa área também foi feita a calagem em 2008 e o solo foi preparado da mesma maneira que no iLPF3 para implantação da U. brizantha. A área de pastagem degradada, onde não houve calagem, foi composta por capim-quicuio e *U. decumbens*.

Foram feitas coletas de amostras de solo com estrutura deformada e não deformada nas áreas, em março de 2012, na camada de 0-0,10 m, com cinco repetições, para análise dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. As amostras relativas aos atributos biológicos foram armazenadas em refrigeração a 4º C até a realização das análises. No iLPF1, em Nova Canaã do Norte, as amostragens foram feitas na linha de árvores e a 2,5; 5,0 e 10,0 m dessa linha. No iLPF3, também em Nova Canaã do Norte, as amostragens foram feitas na linha central do renque e a 3,0 (linha mais externa), 6,0; 9,0 e 12,0 m da linha central e, em Cachoeira Dourada, na linha central do renque e a 1,5, 3,0 (linha mais externa), 4,5; 6,0 e 9,0 m da linha central (Figura 1).

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta e a densidade de partículas (DP) pelo método do balão volumétrico. As amostras não deformadas, coletadas em cilindros de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura, foram usadas para determinação da condutividade hidráulica saturada (Ko) em permeâmetro de carga constante, curva de retenção de água do solo e densidade do solo (DS). A porosidade total (PT) foi calculada pela equação: PTt = (1-DS/DP), a microporosidade (MIP) pelo conteúdo de água retida na tensão de 6 kPa e a macroporosidade (MAP) obtida pela diferença entre a PT e a MIP (Claessen, 1997). A determinação das curvas de retenção de água foi feita pelo método da centrífuga e elas foram ajustadas por meio de regressão não-linear utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), dado por:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res})\left[1 + (\alpha h)^{n}\right]^{-m} + \theta_{res} \quad (1)$$

Em que: θ, θ_{sat} e θ_{res} são, respectivamente, os conteúdos de água do solo correspondentes à tensão h, à saturação e à umidade residual, em kg kg^{-1}; h é a tensão matricial da água do solo, em kPa, n e m (m = 1-1/n) são parâmetros empíricos adimensionais de ajuste e α é um parâmetro expresso em kPa^{-1}.

Com base nos parâmetros obtidos, o índice S, tangente à curva característica de água no solo no ponto de inflexão, foi determinado segundo a equação (Dexter, 2004):

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res})\left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (2)$$

Foi calculada a capacidade de aeração do solo (CAS) segundo a relação (Reynolds et al., 2002):

$$CAS = (PT - CC)/PT \quad (3)$$

Em que: CC é a capacidade de campo, considerada igual ao conteúdo de água no solo a tensão de 8 kPa, expressa em $m^3\ m^{-3}$.

A capacidade de água disponível (CAD) foi calculada pela diferença entre a CC e o conteúdo de água na tensão de 1500 kPa, considerado como o ponto de murcha permanente (PMP), multiplicada pela espessura da camada considerada.

Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo e os teores de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, P, K^{+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, além de calculadas a capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC) e a saturação por bases (V). O pH foi determinado em água (1:2,5).

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

O fósforo e o potássio foram extraídos com a solução de Mehlich 1 (HCl a 0,5 N + H_2SO4 a 0,025 N) e determinados em colorímetro e fotômetro de chama, respectivamente. O Ca^{2+} e o Mg^{2+} foram extraídos em KCl a 1N e determinados por titulação de EDTA. Os micronutrientes foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando-se o extrator Mehlich 1. A acidez potencial (H^+ + Al^{3+}) foi determinada por titulometria, usando-se solução de acetato de cálcio 1N a pH 7 para sua extração. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com Claessen (1997).

Foi realizada a determinação do carbono orgânico do solo (CO) pelo método de Walkley & Black modificado (Claessen, 1997). O carbono (CBM) e o nitrogênio microbiano (NBM) foram determinados pelo método da fumigação-extração e pelo método de Kjeldhal, respectivamente. As amostras para respiração basal do solo (RBS) foram incubadas durante 10 dias em uma sala climatizada à 28°C para estabilização dos microrganismos e, após esse período, foram montados frascos herméticos com as amostras e novamente incubados durante 7 dias à 28° C, para posterior leitura do CO_2 liberado. O quociente metabólico (qCO_2) foi obtido pela razão entre RBS e CBM e, o quociente microbiano (qMIC), pela relação entre CBM e CO (Lourente et al, 2011).

Calcularam-se a média e o desvio-padrão dos atributos estudados e foram realizadas análises de correlação de Pearson entre eles. Foi utilizada também a técnica multivariada por meio da análise de componentes principais, envolvendo todos os ambientes e posições de amostragem, e, posteriormente, procedeu-se a análise de agrupamento dos tratamentos. O método hierárquico de agrupamento foi aplicado, utilizando-se o quadrado da distância euclidiana como medida de dissimilaridade e o incremento da soma dos quadrados como critério de fusão (método de Ward). As análises foram feitas com o auxílio do Programa R versão 3.5.0 (R development core team, 2018).

Resultados e Discussão

Nova Canaã do Norte

A análise de componentes principais mostrou que a variância acumulada nos dois primeiros componentes foi de 68,9%, tendo o primeiro componente explicado 43,7% da variância total e o segundo 25,2% (Figuras 2A e 2B). Pelo diagrama de ordenação (Figura 2A), foram formados quatro grupos, um pela pastagem degradada, outro formado pelo sistema iLPF1 nas posições de amostragem 2,5; 5,0 e 10,0 m da linha de árvores, outro pelo sistema iLPF3 nas posições de amostragem 6,0; 9,0 e 12,0 m da linha de árvores mais externa do renque, e o último pelas posições relativas à linha de árvores no iLPF1 e às linhas central e mais externa do renque de árvores no iLPF3. Observa-se que as amostragens feitas nas posições situadas entre os renques de árvores resultaram, em geral, em valores semelhantes dos atributos do solo, permitindo, em cada sistema iLPF, o agrupamento dessas posições. Assim, em futuras coletas, a amostragem em apenas uma posição entre os renques de árvores seria suficiente para acompanhar a mudança temporal nos atributos do solo.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

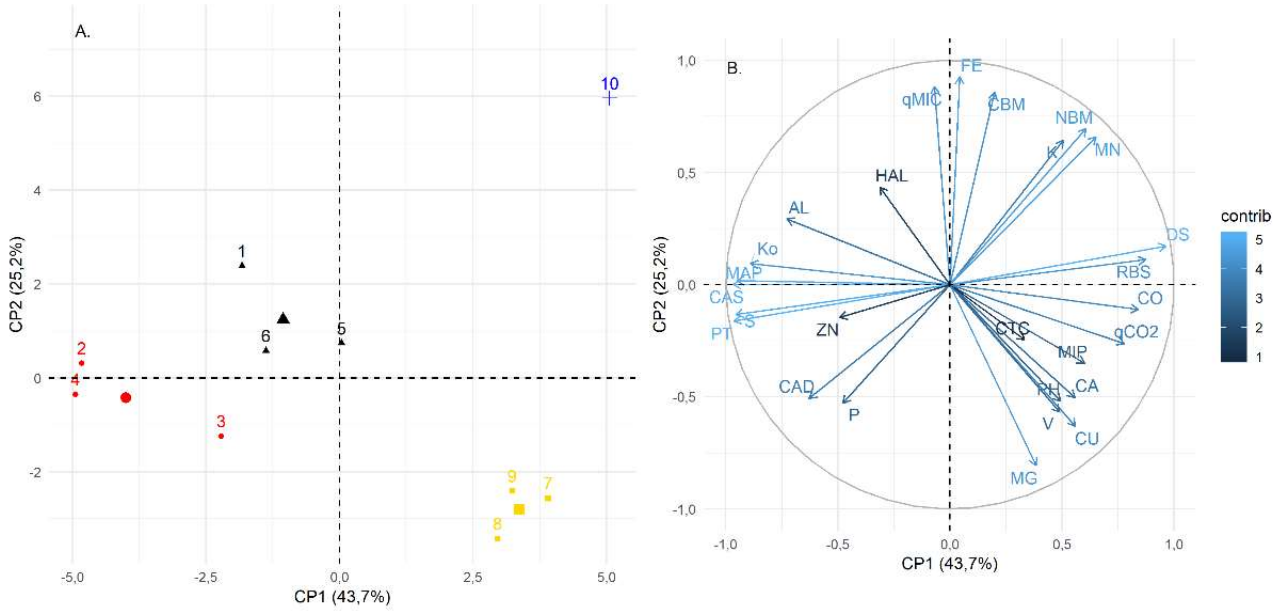

Figura 2. Diagrama de ordenação (A.) e autovetores (B.) dos atributos físicos, químicos e biológicos da camada 0-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO distroférrico submetido a diferentes usos, em Nova Canaã do Norte, MT. 1, 2, 3 e 4: iLPF1 e amostragem na linha de árvores e a 2,5; 5,0 e 10,0 m dessa linha, respectivamente; 5, 6, 7, 8 e 9: iLPF3 e amostragem na linha central do renque e a 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 m dessa linha, respectivamente; 10: pastagem degradada. Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; PHH2O: potencial hidrogeniônico; CA: cálcio; MG: magnésio; AL: alumínio; HAL: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; CU: cobre; ZN: zinco; FE: ferro; MN: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO2: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano. CP1 = primeiro componente principal, CP2 = segundo componente principal

Comparando as Figuras 2A e 2B, observa-se que a pastagem degradada está associada à DS, K, Fe, Mn, CBM, NBM, RBS e qMIC, que apresentaram maiores médias nessa área (Tabela 1) e foram os principais responsáveis por discriminá-la dos sistemas de integração.

A maior Ds no solo sob pastagem degradada foi devida, provavelmente, à compactação que ocorre pelo pisoteio animal e a ausência de revolvimento do solo. Nos sistemas integrados, essa compactação pode ser revertida quando da semeadura das lavouras. Loss et al. (2014) relataram que os sistemas integrados aumentaram a estabilidade dos agregados e a porosidade e diminuíram a densidade do solo em relação a sistemas exclusivos, corroborando os resultados deste trabalho.

O maior teor de K no solo sob pastagem degradada em comparação com os sistemas integrados pode ser devido a que nesses últimos ocorre imobilização do K na biomassa das árvores e exportação pelas culturas de grão. Na pastagem, o não revolvimento do solo e a adição de resíduos (vegetais e animais) proporcionam maior concentração de K na camada superficial do solo. Os animais influenciam a redistribuição de nutrientes pelo consumo, via desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção.

Tabela 1. Valores médios dos atributos do solo da camada 0-0,10 m de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a diferentes usos em Nova Canaã do Norte, MT

Atributos[1]	Posição de amostragem[2] (m)	Pastagem

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

	iLPF1				iLPF3					
	0	2,5	5,0	10,0	0	3,0	6,0	9,0	12,0	
Ko (cm h^{-1})	6,0	15,3	10,6	10,2	3,7	4,8	1,5	1,3	0,9	2,3
	(2,3)[3]	(2,6)	(3,1)	(3,2)	(0,8)	(1,2)	(0,6)	(0,3)	(0,2)	(1,1)
DS (Mg m^{-3})	1,26	1,14	1,21	1,17	1,25	1,24	1,35	1,29	1,32	1,39
	(0,04)	(0,02)	(0,05)	(0,03)	(0,03)	(0,03)	(0,02)	(0,01)	(0,03)	(0,03)
PT (m^3 m^{-3})	0,524	0,569	0,545	0,557	0,528	0,533	0,490	0,512	0,503	0,477
	(0,015)	(0,009	(0,019)	(0,010)	(0,011)	(0,012)	(0,008)	(0,006)	(0,012)	(0,010)
S	0,035	0,049	0,046	0,048	0,037	0,042	0,028	0,030	0,031	0,024
	(0,004)	(0,003)	(0,006)	(0,004)	(0,005)	(0,005)	(0,002)	(0,001)	(0,002)	(0,002)
MIP (m^3 m^{-3})	0,410	0,394	0,397	0,394	0,435	0,418	0,422	0,431	0,424	0,404
	(0,008)	(0,015)	(0,014)	(0,013)	(0,007)	(0,019)	(0,012)	(0,006)	(0,010)	(0,009)
MAP (m^3 m^{-3})	0,115	0,176	0,149	0,163	0,093	0,116	0,068	0,081	0,079	0,073
	(0,013)	(0,018)	(0,028)	(0,020)	(0,013)	(0,022)	(0,008)	(0,008)	(0,009)	(0,012)
CAS	0,24	0,33	0,28	0,31	0,20	0,24	0,16	0,18	0,18	0,16
	(0,02)	(0,03)	(0,04)	(0,03)	(0,02)	(0,04)	(0,02)	(0,01)	(0,02)	(0,02)
CAD (mm)	9,6	10,5	9,9	10,9	10,5	10,9	9,9	10,2	10,0	8,7
	(0,5)	(0,7)	(1,0)	(0,9)	(0,8)	(0,8)	(0,4)	(0,3)	(0,6)	(0,2)
pH em água	5,0	5,2	5,6	5,3	5,1	4,9	5,6	5,7	5,5	5,4
	(0,1)	(0,1)	(0,3)	(0,1)	(0,1)	(0,2)	(0,2)	(0,2)	(0,1)	(0,1)
Ca ($mmol_c$ dm^{-3})	9,4	14,6	17,4	12,3	9,8	11,1	19,0	19,2	18,2	16,1
	(2,4)	(3,2)	(4,5)	(3,1)	(1,3)	(2,4)	(4,0)	(2,7)	(2,6)	(2,1)
Mg ($mmol_c$ dm^{-3})	5,4	8,0	11,1	7,2	6,0	5,4	12,7	13,5	10,9	6,0
	(1,1)	(1,0)	(2,4)	(1,7)	(0,4)	(0,8)	(1,8)	(1,9)	(1,7)	(0,4)
Al ($mmol_c$ dm^{-3})	4,1	2,8	2,8	3,1	3,3	3,8	1,6	1,9	1,4	1,7
	(0,9)	(0,7)	(1,7)	(1,0)	(0,7)	(1,4)	(0,6)	(0,7)	(0,5)	(0,5)
H+Al ($mmol_c$ dm^{-3})	66,6	53,1	50,8	50,3	64,7	62,1	49,7	44,8	50,7	50,8
	(2,5)	(2,5)	(9,7)	(3,1)	(2,2)	(3,6)	(5,0)	(3,7)	(5,0)	(3,1)
P (mg dm^{-3})	5,5	5,2	10,1	7,9	2,6	2,5	4,2	6,3	5,3	1,3
	(0,4)	(1,0)	(1,9)	(0,9)	(0,3)	(0,2)	(0,7)	(1,0)	(0,9)	(0,1)
K (mg dm^{-3})	67,4	38,1	68,1	42,9	88,3	49,7	52,4	51,6	60,0	102,2
	(6,9)	(4,7)	(21,4)	(5,4)	(13,1)	(7,2)	(4,9)	(12,9)	(6,5)	(16,6)
Cu (mg dm^{-3})	0,8	0,6	0,8	0,7	1,2	1,3	1,3	1,7	1,4	0,7
	(0,1)	(0,1)	(0,2)	(0,1)	(0,4)	(0,6)	(0,5)	(0,6)	(0,5)	(0,1)
Zn (mg dm^{-3})	4,9	2,2	3,0	2,5	2,6	4,3	2,2	2,6	1,9	0,4
	(1,7)	(0,3)	(0,8)	(0,3)	(0,6)	(1,8)	(0,5)	(0,5)	(0,6)	(0,02)
Fe (mg dm^{-3})	89,2	83,4	89,1	78,0	81,2	75,4	63,3	54,7	56,3	136,8
	(8,6)	(10,8)	(15,7)	(7,3)	(16,0)	(9,6)	(8,3)	(7,5)	(4,8)	(12,9)
Mn (mg dm^{-3})	14,4	6,6	10,1	4,9	9,0	9,0	11,2	9,8	9,9	20,6
	(3,3)	(1,8)	(3,4)	(1,7)	(2,5)	(3,2)	(3,3)	(2,6)	(2,5)	(1,9)
CTC ($mmol_c$ dm^{-3})	83,1	76,7	81,1	71,0	82,7	79,8	82,8	78,9	81,4	75,5
	(4,0)	(2,4)	(3,9)	(3,6)	(1,8)	(2,9)	(1,0)	(2,9)	(2,8)	(2,5)
V (%)	19,4	30,3	38,4	28,5	21,8	22,2	39,7	42,9	37,8	32,8
	(3,5)	(4,6)	(9,3)	(5,5)	(1,4)	(3,8)	(6,4)	(5,1)	(5,1)	(2,9)
CO (g kg^{-1})	17,3	15,6	17,3	14,9	15,8	16,8	18,8	17,5	18,7	18,2
	(1,0)	(0,9)	(0,6)	(1,1)	(1,0)	(1,4)	(0,8)	(0,7)	(1,2)	(0,4)
CBM (mg kg^{-1})	439,0	441,8	390,4	389,2	328,4	376,2	329,4	350,2	334,6	702,0
	(41,9)	(47,9)	(8,5)	(12,1)	(42,2)	(35,4)	(45,8)	(27,6)	(26,9)	(38,3)
NMB (mg kg^{-1})	11,6	11,6	5,0	5,6	12,8	19,4	11,8	15,2	13,6	40,0
	(4,0)	(4,8)	(2,2)	(1,9)	(5,8)	(4,2)	(4,2)	(4,4)	(5,0)	(5,5)
RBS (mg kg^{-1} h^{-1} CO_2)	0,55	0,40	0,48	0,39	3,63	3,60	3,64	3,66	3,67	5,07
	(0,19)	(0,13)	(0,17)	(0,07)	(0,86)	(0,83)	(0,84)	(0,86)	(0,79)	(0,07)
qCO_2 (mg CO_2 kg^{-1} C-BM h^{-1})	1,25	0,94	1,20	1,02	10,61	9,30	11,08	9,88	10,73	7,29
	(0,42)	(0,33)	(0,43)	(0,20)	(2,66)	(2,19)	(2,82)	(2,27)	(2,30)	(0,33)
qMIC (%)	2,54	2,85	2,27	2,67	2,20	2,29	1,77	2,01	1,84	3,86
	(0,20)	(0,25)	(0,05)	(0,20)	(0,47)	(0,27)	(0,27)	(0,17)	(0,23)	(0,17)

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

[1]Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO_2: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano. [2]Em relação à linha de árvores, no caso do sistema iLPF1, e em relação a linha central do renque de árvores, no caso do sistema iLPF3. [3]Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média (n = 5).

Do total do K retornado pelos animais (até 90 % do ingerido) para o solo, a maioria (70–90 %) é excretada na urina, na forma iônica, solúvel em água e prontamente disponível para absorção pelas plantas (Ferreira et al., 2009). Esses autores, em um sistema de integração lavoura-pecuária, constataram que os teores de K disponível, que eram originalmente altos sob pastagem, se mantiveram assim ao longo do tempo, independentemente do tratamento de pastejo. Em todas as situações, houve a formação de um gradiente decrescente de concentração de K a partir da superfície, sendo maior após pastagem que após soja.

O solo sob pastagem degradada apresentou maiores valores de CBM e NBM em relação aos sistemas integrados, provavelmente devido ao não revolvimento da pastagem para transformação em área agrícola, o que consegue preservar as hifas fúngicas e grande quantidade de raízes finas, que aumentam a entrada de substratos orgânicos no sistema, via exsudatos radiculares (Reis Júnior & Mendes, 2007). O sistema radicular fasciculado da gramínea, bastante concentrado nos primeiros 0,10 m de profundidade, resulta em maior entrada de carbono no solo, através da rizosfera e necromassa, ambas ativando a atuação da microbiota no solo (Carneiro et al., 2009). Perez et al. (2004) e Perez et al. (2005) constataram que o manejo do solo interfere nos teores de CBM e NBM, promovendo sua diminuição em preparo intensivo do solo. Para formar os sistemas integrados, a área sob pastagem passou por intensa transformação e condições favoráveis a microbiota provavelmente se perderam. Considerados sensíveis aos manejos, CBM e NBM expressaram bem essa mudança e apresentaram alta correlação (Figura 3) positiva ($r= 0,80$, $p< 0,01$).

As alterações provocadas na comunidade microbiana do solo quando da implantação dos sistemas integrados e da condução das culturas podem ter interferido na decomposição/ mineralização da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. Uma vez que uma das principais fontes de Mn e Fe é a matéria orgânica, as condições mais propícias à atuação da microbiota no solo sob pastagem degradada pode ser a causa dos maiores teores desses micronutrientes, uma vez que foram observadas correlações positivas (Figura 3) entre os teores de Mn e Fe com CBM ($r= 0,75$, $p< 0,05$) e ($r= 0,92$, $p< 0,01$), respectivamente, e com NBM ($r = 0,79$, $p< 0,01$) e ($r = 0,67$, $p< 0,05$), respectivamente, o que também foi verificado por Perez et al. (2004) e Perez et al. (2005).

Áreas de pastagens podem apresentar altas taxas respiratórias devido à presença de animais e à adição de excrementos no solo promovendo aumento da biomassa de microrganismos, fato importante pois o substrato adicional tem papel importante para o metabolismo e crescimento microbiano, alterando a disponibilidade de nutrientes no solo (Assis Júnior et al., 2003). Mazzetto et al. (2016) verificaram alta respiração basal em pastagens degradadas e inferiram que ela pode estar relacionada à diversidade de plantas invasoras, que possuem sistemas radiculares diversificados, promovendo maior aeração e oxigenação do solo, além de aumentarem a entrada de nutrientes por meio da liteira e exsudatos produzidos por diferentes espécies vegetais.

O qMIC evidencia o comportamento dos microrganismos na imobilização do carbono, podendo apresentar tendência inversamente proporcional a intensidade de manejo em um solo (Silva et al., 2010). O solo foi manejado intensamente durante a transformação da área de pastagem em sistemas iLPF, resultando em menor qMIC nos sistemas integrados em relação à pastagem, sugerindo que menor intensidade de manejo reflete em maior relação CBM/CO. A qMIC apresentou correlação positiva com CBM e NBM, $r=0,95$, $p<0,01$ e $r = 0,67$, $p<0,05$, respectivamente (Figura 3). Perez et al. (2004) também constataram correlação positiva entre qMIC e CBM.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

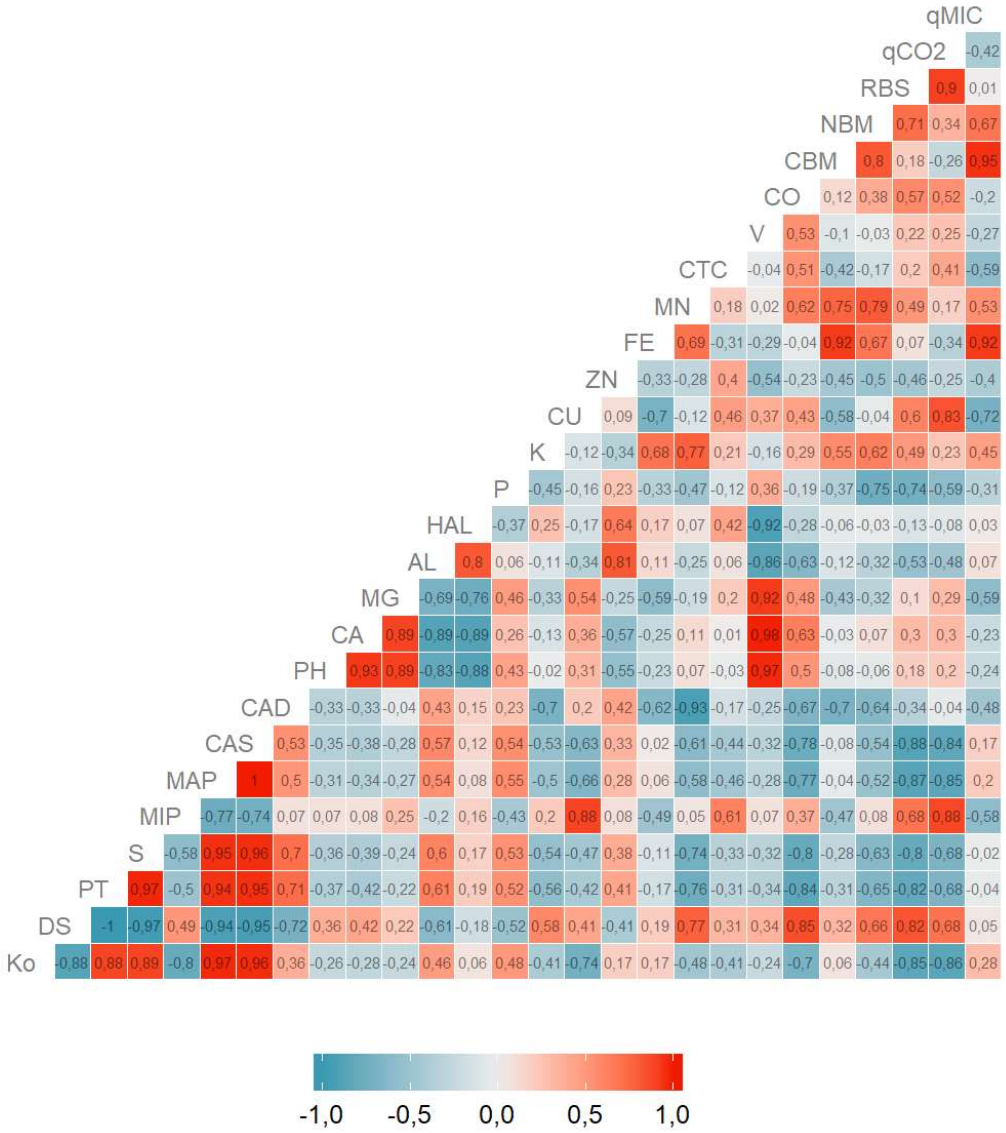

Figura 3. Coeficiente de correlação (r) entre atributos do solo nas camadas de 0-0,10 m, em Nova Canãa do Norte, MT. Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; HAl: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO2: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano

O grupo formado pelo sistema iLPF1 nas posições de amostragem 2,5; 5,0 e 10,0 m da linha de árvores está associado principalmente com atributos relacionados ao arranjo poroso do solo, Ko, S, PT, MAP e CAS (Figuras 2A e 2B), apresentando as maiores médias para esses atributos (Tabela 1), que foram os principais responsáveis pela sua separação do sistema iLPF3, em todas as posições de amostragem, e da posição de amostragem na linha de árvores, no iLPF1. Silva et al. (2016) constataram que, no sistema iLPF, a posição de amostragem em relação ao renque de árvores resulta em diferenças nos atributos físicos do solo.

As maiores médias de Ko, S, PT, MAP e CAS podem estar relacionadas com a rotação entre lavouras e pastagem. A compactação do solo que ocorre pelo pisoteio animal durante a fase de

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

pastagem na rotação pode ser revertida quando da semeadura das lavouras, o que não ocorre na pastagem degradada. Esses resultados condicionaram maior qualidade física do solo no sistema iLPF1, naquelas posições de amostragem. Contudo, os valores da CAS se situaram abaixo de 0,34, que é considerado o valor que reflete boa qualidade física do solo de acordo com Reynolds et al. (2002). Por outro lado, considerando S = 0,045 como limítrofe entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendência a se tornar degradado (Andrade e Stone, 2009) verifica-se que naquelas posições de amostragem no iLPF1 os valores de S foram maiores que 0,045.

O grupo formado pelo sistema iLPF3 nas posições de amostragem 6,0; 9,0 e 12,0 m da linha de árvores mais externa está associado principalmente aos atributos Mg, Cu, CO e qCO_2 (Figuras 2A e B), apresentando, de maneira geral, maiores médias para esses atributos (Tabela 1). Os maiores valores de qCO_2 no solo sob o sistema iLPF3 nessas posições de amostragem sugerem que nesses ambientes pode ter ocorrido um desequilíbrio. Sistemas que promovam menores índices de qCO_2 são considerados melhores do ponto de vista biológico, por evitar perdas de CO_2 pela respiração da microbiota. O aumento de CO_2 resultaria em menor incorporação de C à biomassa microbiana (Silva et al., 2010), o que pode ocorrer pela baixa eficiência da comunidade microbiana ou por algum tipo de estresse. Comparando diferentes sistemas de produção, Santos et al. (2015) constataram maiores valores de qCO_2 na entressafra, com baixa umidade no solo e temperaturas altas, do que na safra, com maior umidade e temperaturas mais amenas. Em ambientes com algum tipo de estresse, a população microbiana oxida mais carbono para sua manutenção, refletindo em valores elevados, principalmente em ambientes recentemente alterados e não consolidados. Esse resultado evidencia que são encontradas diferenças nos atributos do solo quando ele se encontra sob pastagem e é convertido em sistema iLPF, porém, o número de linhas adotadas em um sistema integrado também pode influenciar na dinâmica dos microrganismos no solo e na qualidade desses atributos.

Os altos valores de qCO_2 não parecem ter prejudicado, em um primeiro momento, o acúmulo de CO no solo sob iLPF3, naquelas posições de amostragem, uma vez que ele foi maior ou não diferiu dos observados nos demais ambientes.

Os teores de Cu no solo sob iLPF3 foram maiores ou não diferiram dos observados nos demais ambientes, ocorrendo o mesmo com o teor de CO. A possível razão é que uma das principais fontes de Cu é a matéria orgânica. Por outro lado, teores elevados de cobre podem afetar negativamente os microrganismos do solo (Antoniolli et al., 2010) alterando sua funcionalidade e diversidade, bem como a produção de biomassa, o que pode ser a causa da correlação positiva (Figura 3) entre Cu e qCO_2 ($r= 0,83$, $p< 0,01$).

Os maiores teores de Mg no solo sob o sistema iLPF3 naquelas posições de amostragem se deve a calagem ter sido realizada apenas entre os renques de árvores, sendo evidenciado pela correlação positiva (Figura 3) do Mg com o pH ($r = 0,89$, $p< 0,01$).

O último grupo foi formado pelas posições relativas à linha de árvores no iLPF1 e às linhas central e mais externa do renque de árvores no iLPF3 (Figuras 2A e B) e está associado ao Al e à acidez potencial, que apresentaram maiores médias nesses ambientes (Tabela 1), explicadas pela calagem ter sido realizada apenas entre os renques de árvores.

Cachoeira Dourada

A análise de componentes principais mostrou que a variância acumulada nos primeiros dois componentes foi de 74,4%, com o primeiro componente explicando 43,3% da variância total e o segundo 31,1% (Figuras 4A e 4B). Pelo diagrama de ordenação (Figura 4A), foram formados três grupos, um pela pastagem degradada, outro pela pastagem recuperada e o último por todas as posições de amostragem do iLPF3.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

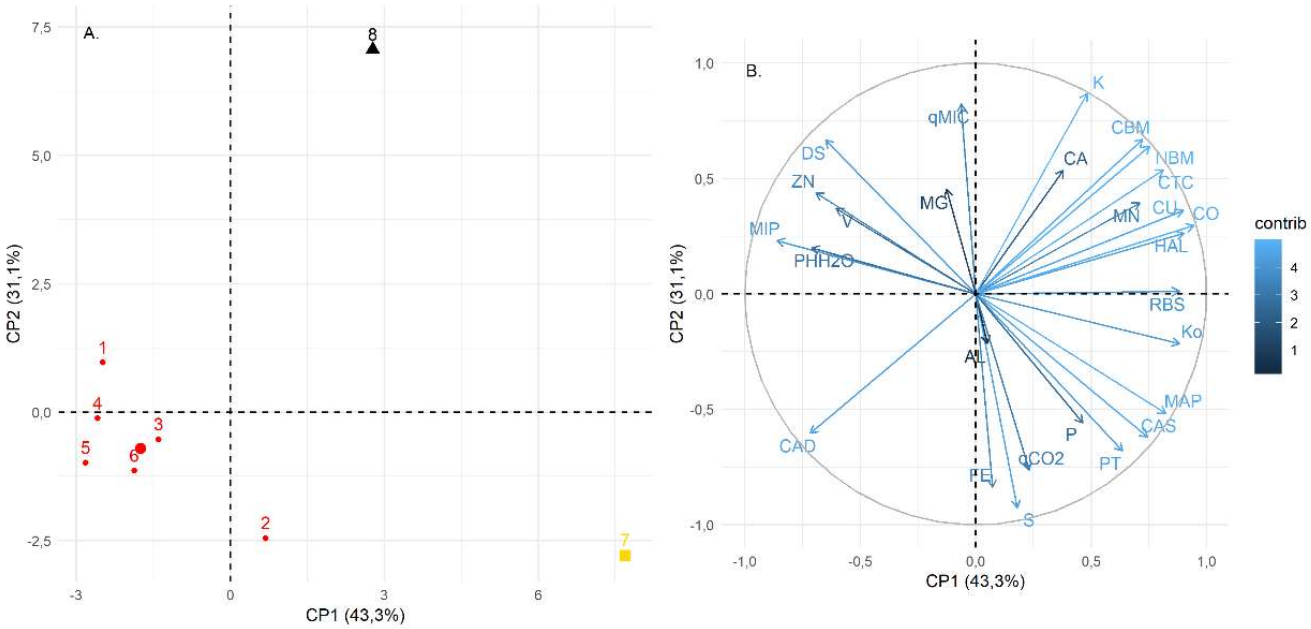

Figura 4. Diagrama de ordenação (A.) e autovetores (B.) dos atributos físicos, químicos e biológicos da camada 0-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO acriférrico submetido a diferentes usos, em Cachoeira Dourada, GO. 1, 2, 3, 4, 5 e 6: amostragem na linha central do renque e a 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 9,0 m dessa linha, respectivamente; 7: pastagem recuperada e 8: pastagem degradada. Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; PHH2O: potencial hidrogeniônico; CA: cálcio; MG: magnésio; AL: alumínio; HAL: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; CU: cobre; ZN: zinco; FE: ferro; MN: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO2: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano. CP1 = primeiro componente principal, CP2 = segundo componente principal

Comparando as Figuras 4A e 4B, observa-se que a pastagem degradada está associada principalmente ao $H^+ + Al^{3+}$, K^+, Cu^{2+}, CTC, CO, CBM, NBM e RBS. Os atributos K^+, CTC, CBM e NBM apresentaram maiores valores médios nessa área (Tabela 2) em relação aos demais ambientes (iLPF3 e pastagem recuperada) e os demais atributos foram, em média, superiores aos observados no sistema iLPF3.

O menor teor de CO no sistema iLPF3, possivelmente decorre de que a retirada de nutrientes pela exportação de grãos nos primeiros anos reduz os estoques orgânicos do solo antes que haja um ganho líquido de matéria orgânica em decorrência do manejo integrado.

Tabela 2. Valores médios dos atributos do solo da camada 0-0,10 m de um Latossolo Vermelho Acriférrico submetido a diferentes usos em Cachoeira Dourada, GO

Atributos[1]	Posição de amostragem[2] (m)						Pastagem recuperada	Pastagem degradada
	0	1,5	3,0	4,5	6,0	9,0		
Ko (cm h^{-1})	8,2	18,7	13,0	9,8	10,3	13,4	21,5	15,6
	(1,6)[3]	(5,5)	(3,5)	(2,1)	(1,6)	(2,9)	(3,6)	(2,8)
DS (Mg m^{-3})	1,23	1,18	1,18	1,20	1,18	1,18	1,11	1,22
	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,03)	(0,02)
PT (m^3 m^{-3})	0,536	0,554	0,556	0,546	0,554	0,555	0,582	0,538
	(0,008)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,006)	(0,008)	(0,010)	(0,009)
S	0,050	0,059	0,061	0,057	0,058	0,055	0,066	0,040

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

	(0,004)	(0,004)	(0,004)	(0,003)	(0,003)	(0,003)	(0,006)	(0,004)
MIP (m^3 m^{-3})	0,442	0,432	0,438	0,455	0,454	0,446	0,419	0,440
	(0,009)	(0,008)	0,011	(0,007)	(0,009)	(0,008)	(0,009)	(0,003)
MAP (m^3 m^{-3})	0,094	0,121	0,118	0,092	0,100	0,109	0,162	0,099
	(0,015)	(0,013)	0,018	(0,012)	(0,011)	(0,014)	(0,016)	(0,010)
CAS	0,20	0,25	0,24	0,20	0,21	0,23	0,30	0,20
	(0,03)	(0,02)	(0,03)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)
CAD (mm)	11,6	11,9	12,3	13,2	12,8	12,2	10,8	9,6
	(0,4)	(0,2)	(0,7)	(0,4)	(0,5)	(0,5)	(0,7)	(0,7)
pH em água	6,1	6,0	6,2	6,2	6,2	6,1	6,0	6,1
	(0,2)	(0,1)	(0,2)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
Ca ($mmol_c$ dm^{-3})	23,0	19,4	25,4	27,3	28,0	23,8	29,0	31,5
	(4,4)	(2,3)	(4,9)	(2,0)	(3,2)	(1,4)	(10,1)	(5,8)
Mg ($mmol_c$ dm^{-3})	14,9	12,5	15,3	15,4	13,7	13,2	14,1	14,8
	(2,4)	(1,1)	(2,3)	(0,6)	(0,8)	(0,6)	(1,2)	(1,0)
Al ($mmol_c$ dm^{-3})	0,9	0,6	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,1
	(0,7)	(0,2)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,2)	(0,1)
H+Al ($mmol_c$ dm^{-3})	60,1	61,8	53,6	54,5	49,6	53,5	72,5	69,0
	(9,2)	(4,4)	(6,4)	(1,2)	(3,0)	(2,6)	(2,9)	(2,0)
P (mg dm^{-3})	5,3	4,4	4,8	5,3	4,7	3,1	7,7	2,9
	(1,0)	(1,8)	(1,3)	(0,8)	(1,0)	(0,5)	(3,6)	(0,2)
K (mg dm^{-3})	65,7	45,1	41,8	36,7	25,5	36,2	85,2	257,4
	(20,5)	(9,3)	(8,8)	(6,6)	(2,3)	(6,9)	(14,3)	(49,9)
Cu (mg dm^{-3})	3,9	4,1	3,9	4,0	3,8	4,1	4,7	4,7
	(0,2)	(0,3)	(0,4)	(0,4)	(0,2)	(0,2)	(0,2)	(0,3)
Zn (mg dm^{-3})	1,8	1,0	1,3	1,3	1,3	1,2	0,8	1,3
	(0,4)	(0,1)	(0,2)	(0,2)	(0,5)	(0,3)	(0,1)	(0,1)
Fe (mg dm^{-3})	33,0	32,0	32,1	31,0	29,1	28,6	34,8	21,7
	(1,7)	(1,4)	(2,3)	(2,4)	(1,8)	(0,6)	(2,5)	(2,4)
Mn (mg dm^{-3})	50,5	52,0	54,5	57,1	59,0	53,1	65,5	66,2
	(8,2)	(7,4)	(8,3)	(5,3)	(6,2)	(6,9)	(5,0)	(6,4)
CTC ($mmol_c$ dm^{-3})	99,6	94,8	95,4	98,1	91,9	91,4	117,8	121,9
	(4,1)	(1,8)	(3,7)	(2,4)	(1,1)	(3,0)	(10,6)	(6,1)
V (%)	40,4	35,0	43,6	44,4	45,9	41,5	36,7	42,6
	(7,7)	(4,0)	(6,8)	(1,5)	(3,7)	(1,7)	(5,2)	(4,2)
CO (g kg^{-1})	20,4	21,0	19,9	19,9	19,8	19,9	27,2	25,8
	(0,7)	(1,7)	(1,3)	(1,2)	(1,0)	(0,6)	(2,1)	(1,3)
CBM (mg kg^{-1})	658,4	618,4	651,0	599,8	567,4	576,2	763,6	876,8
	(36,9)	(25,2)	(29,5)	(32,5)	(14,8)	(35,5)	(24,8)	(31,6)
NMB (mg kg^{-1})	7,8	10,2	9,6	8,8	7,2	5,4	21,6	32,0
	(2,6)	(3,1)	(2,1)	(5,2)	(3,6)	(2,7)	(5,8)	(4,5)
RBS (mg kg^{-1} h^{-1} CO_2)	1,33	1,27	1,31	1,40	1,29	1,17	1,90	1,51
	(0,14)	(0,10)	(0,08)	(0,18)	(0,16)	(0,12)	(0,13)	(0,11)
qCO_2 (mg CO_2 kg^{-1} C-BM h^{-1})	2,01	2,07	2,03	2,32	2,25	2,08	2,49	1,74
	(0,12)	(0,17)	(0,16)	(0,23)	(0,25)	(0,25)	(0,16)	(0,15)
qMIC (%)	3,24	2,98	3,30	3,04	2,89	2,90	2,87	3,46
	(0,20)	(0,14)	(0,18)	(0,20)	(0,11)	(0,16)	(0,21)	(0,30)

[1]Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO_2: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano. [2]Em relação à linha central do renque de árvores. [3]Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média (n = 5).

Nos Latossolos distróficos, a fração mineral é pobre e a maior parte de suas cargas é acrescentada ao solo pela matéria orgânica (Netto et al., 2009). De fato, o maior valor médio da CTC na pastagem degradada foi devido ao CO. Esses atributos apresentaram correlação positiva (Figura

5) e significativa (r=0,95, p< 0,001), concordando com Siqueira Neto et al. (2009) e Netto et al. (2009), o que mostra a importância do CO como condicionador de cargas em solos de clima tropical. A maior CTC promoveu a retenção de K, inferida pela correlação positiva (Figura 5) entre esses atributos (r = 0,84, p < 0,01), o que aliado à ausência de revolvimento e a adição de resíduos (vegetais e animais) favoreceu o acúmulo desse nutriente na profundidade amostrada, concordando com Lourente et al. (2011). Ademais, a imobilização na biomassa das árvores e a exportação pelas culturas de grão também podem explicar os menores teores de K nos sistemas integrados, o que também foi verificado em Nova Canaã do Norte.

Siqueira Neto et al. (2009) constataram que a decomposição dos resíduos vegetais promoveu a acidificação de um solo sob Cerrado. Observa-se, assim, que a matéria orgânica do solo se constitui em uma importante fonte de acidez potencial nos solos tropicais. Carvalho et al. (2015) constataram maiores teores de matéria orgânica e de acidez potencial em áreas de pastagem extensiva em comparação com um sistema iLPF. Realmente, observou-se correlação positiva (Figura 5) e significativa entre CO e acidez potencial (r = 0,93, p <0,001), o que também foi observado por Siqueira Neto et al. (2009), e entre acidez potencial e CTC (r = 0,89, p < 0,01), explicando os maiores valores desses atributos no solo sob pastagem degradada em relação aos sistemas integrados. A ausência de calagem também contribuiu para o maior valor de acidez potencial.

Os maiores teores de Cu em Cachoeira Dourada no solo sob pastagem degradada em relação aos sistemas integrados provavelmente estão relacionados ao teor de CO. Uma das principais fontes desse micronutriente é a matéria orgânica, e o teor de CO foi elevado na pastagem degradada, tendo sido observada correlação positiva (Figura 5) entre esses atributos (r = 0,96, p <0,001). Teixeira et al. (2003) também constataram correlação positiva entre os teores de carbono orgânico e de cobre.

Os maiores valores de CBM e NBM no solo sob pastagem degradada em relação aos sistemas integrados provavelmente foi devido ao não revolvimento da pastagem para transformação em área agrícola, como já discutido. Da mesma forma que em Nova Canaã do Norte, CBM e NBM apresentaram correlação (Figura 5) positiva (r = 0,97, p < 0,01), confirmando que a relação C:N é relativamente invariável na biomassa microbiana das áreas estudadas.

Como observado em Nova Canaã do Norte, os maiores valores de RBS no solo sob pastagem degradada podem estar relacionados à diversidade de plantas invasoras, que possuem sistemas radiculares diversificados, promovendo maior aeração e oxigenação do solo, além de aumentarem a entrada de nutrientes por meio da liteira e exsudatos produzidos por diferentes espécies vegetais, conforme inferiram Mazzetto et al. (2016).

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

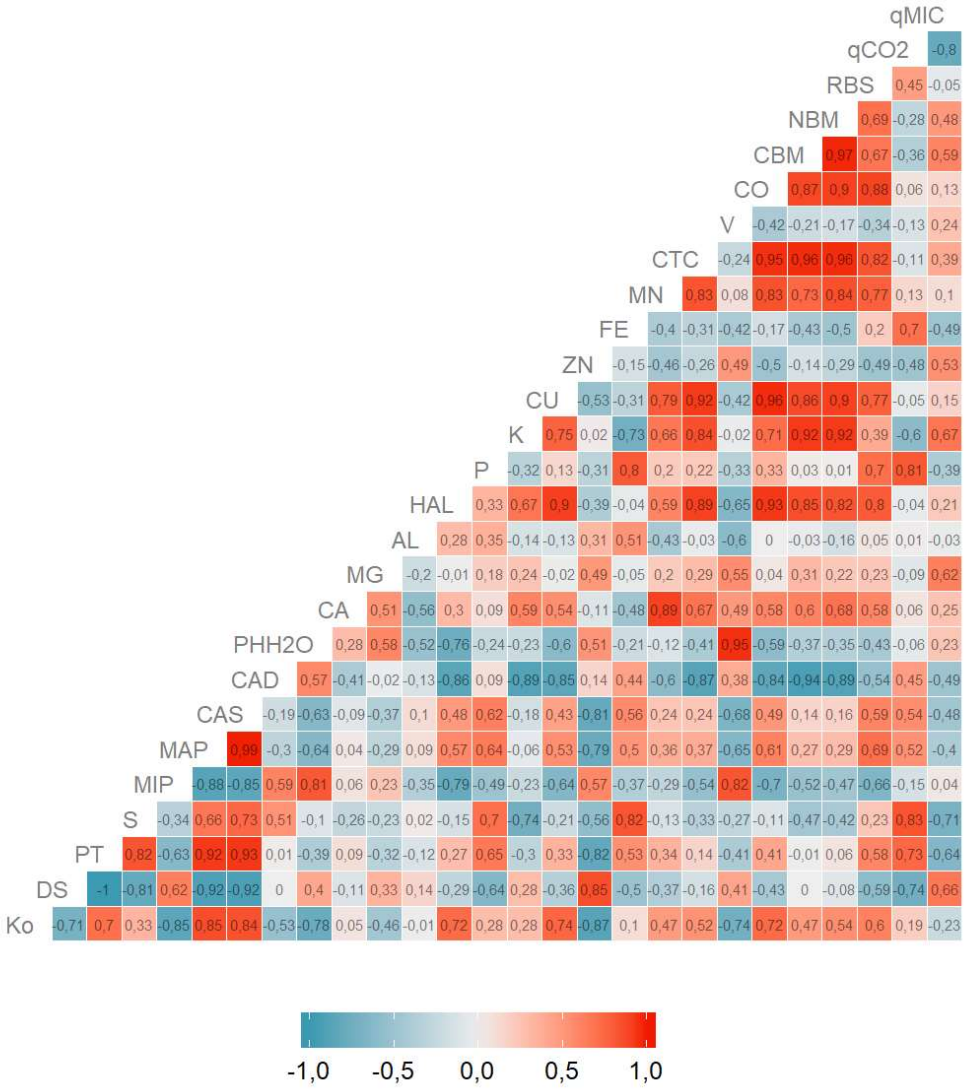

Figura 5. Coeficiente de correlação (r) entre atributos do solo nas camadas de 0-0,10 m, em Cachoeira Dourada, GO. Ko: condutividade hidráulica saturada; DS: densidade; PT: porosidade total; S: índice S, MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; CAS: capacidade de aeração do solo; CAD: capacidade de água disponível; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: hidrogênio + alumínio; P: fósforo; K: potássio; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CBM: carbono microbiano; NBM: nitrogênio microbiano; RBS: respiração basal do solo; qCO2: quociente metabólico; CO: carbono orgânico; qMIC: quociente microbiano

A pastagem recuperada está associada principalmente aos atributos relacionados ao arranjo poroso do solo, Ko, PT, índice S, MAP e CAS (Figuras 4A e 4B), apresentando maiores médias desses atributos (Tabela 2), as quais podem estar relacionadas com às práticas para recuperação da pastagem, envolvendo preparo do solo. O valor médio da CAS se situou abaixo de 0,34, que é considerado o valor que reflete boa qualidade física do solo (Reynolds et al., 2002). Contudo, o valor médio do índice S foi maior do que 0,045, o que, segundo Andrade e Stone (2009), indica solo de boa qualidade estrutural.

O iLPF3, em todas as posições de amostragem, está associado principalmente à DS, MIP e CAD (Figuras 4A e 4B), apresentando maiores valores desses atributos em relação à pastagem recuperada (Tabela 2), o que foi devido à maior movimentação de máquinas na condução das lavouras, que promoveu maior compactação do solo, mesmo ele tendo sido preparado assim como na implantação da pastagem recuperada.

Conclusões

A maior qualidade física do solo sob o sistema de integração com uma linha de eucalipto e sob pastagem recuperada foi responsável pela sua discriminação dos demais ambientes.

Os teores de potássio, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e a respiração basal do solo foram eficientes em discriminar a pastagem degradada dos sistemas integrados e da pastagem recuperada.

Os sistemas integrados, com três ou quatro anos de implantação, contribuíram para melhorar a qualidade física do solo, mas ainda não foram capazes de interferir marcadamente na sua qualidade biológica em relação à pastagem degradada.

Agradecimentos: O estudo foi financiado pela Embrapa (02.11.05.001) e CNPq (652601/2010-4). Os autores agradecem ao Sr. Mário Wolf (Nova Canaã do Norte, MT) e Dr. Abílio Pacheco (Cachoeira Dourada, GO) por disponibilizar suas fazendas ao estudo e prestar assistência aos trabalhos em campo.

Referências

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.

ANTONIOLLI, Z. I.; SANTOS, L. C. dos; LUPATINI, M.; LEAL, L. T.; SCHIRMER, G. K.; REDIN, M. Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, na associação micorrízica e no cultivo de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliottii* Engelm e *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 419-428, 2010.

ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BARBOSA, F. A.; COSTA, P. M.; ANDRADE, V. J.; MAIA FILHO, G. H. B.; MACIEL, I. C. F.; LOPES, S. Q. Avaliação econômica e produtiva dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 151-165, 2015.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, R. P.; DANIEL, O.; DAVIDE, A. C.; SOUZA, F. R. de. Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 148-159, 2015.

CLAESSEN, M.E.C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3/4, p. 201-214, 2004.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A.; CAO, E. G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, 2009.

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 silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagem com diferentes tipos de usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, 2009.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R foundation for statistical computing. Disponível em http://www.R-project.org. Acesso em: 25/05/2018.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1/2, p. 131-146, 2002.

SANTOS, F. L.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SOUZA, E. D. de. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano**. Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 74-86, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. ; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

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, n. 1, p. 96-104, 2016.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos da Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C. C.; CERRI, C. C. BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BORÉM, A.; SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.