

**Qualidade física, química e biológica de um Neossolo Litólico sob integração lavoura-
pecuária no Bioma Pampa**

**Physical, chemical and biological quality of a litholic neosol under integrated crop-
livestock in the Pampa Biome**

**Calidad física, química y biológica de un Neossol Litólico en integración cultivo-
ganadería en el Bioma Pampa**

Recebido: 04/10/2020 | Revisado: 06/10/2020 | Aceito: 14/10/2020 | Publicado: 17/10/2020

Roberta Jeske Kunde

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3964-9854>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: roberta_kunde@hotmail.com

Ana Cláudia Rodrigues de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9036-8199>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: anaclrlima@hotmail.com

Jamir Luís Silva da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-2324>

Embrapa Clima Temperado, Brasil

E-mail: jamir.silva@embrapa.br

Ricardo Alexandre Valgas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3367-7934>

Embrapa Clima Temperado, Brasil

E-mail: ricardo.valgas@embrapa.br

Thaís Wacholz Kohler

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1606-0502>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: thaiskohler@hotmail.com.br

Clenio Nailto Pillon

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8663-3244>

Embrapa Clima Temperado, Brasil

E-mail: clenio.pillon@embrapa.br

Resumo

Este estudo visou avaliar a qualidade física, química e biológica de um Neossolo Litólico sob integração lavoura-pecuária em propriedades agrícolas familiares localizadas no Bioma Pampa, definindo quais destes indicadores são capazes de detectar o efeito das diferentes práticas de manejo utilizadas em diferentes sistemas de uso: campo nativo pastejado, pastagem de azevém e milho. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m para quantificar a densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado, carbono orgânico e nitrogênio total, carbono da fração grosseira, carbono associado aos minerais, carbono da fração leve livre, carbono da fração leve oclusa, carbono da fração pesada, carbono da biomassa microbiana e respiração basal do solo. A análise fatorial evidenciou que os fatores “Matéria Orgânica”, “Matéria Orgânica Leve” e “Carbono Humificado” são os mais sensíveis para detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas. Os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao campo nativo, os que compõem o “Fator Agregação”, “Fator Frações Granulométricas” e “Fator Porosidade Total” estão mais associados aos sistemas milho e pastagem. A densidade do solo, a fração pesada da matéria orgânica e o carbono microbiano encontram-se relacionados aos três sistemas de uso do solo.

Palavras-chave: Sistemas integrados; Indicadores da qualidade do solo; Análise multivariada.

Abstract

This study aimed to evaluate the physical, chemical and biological quality on a Litholic Neosol in family farmers under integrated crop-livestock systems located in Pampa Biome, defining which of these indicators are able to detect the effect of the different management practices adopted in different use systems: native grazed field, ryegrass pasture and corn. Soil samples were collected in the layers from 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20 m to quantify the bulk density, total porosity, diameter weighted average, total organic carbon, total nitrogen, carbon of the coarse fraction, carbon associated with minerals, carbon of the free light fraction, carbon of the free occlude fraction, carbon of the heavy fraction, microbial biomass carbon and basal soil respiration. The factorial analysis showed that the “Organic Matter Factor”, “Light Organic Matter” and “Humified Carbon” being the most sensitive to detect the effects of the different management practices used. The indicators that compose the “Organic Matter Factor” are more associated to the native grazed field system and those that compose the “Aggregation Factor”, “Granulometric Fractions Factor” and “Total Porosity

Factor” are more associated to the ryegrass pasture system and corn system. The bulk density, the heavy fraction of organic matter and the microbial carbon are related to the three use soil use systems.

Keywords: Integrated systems; Soil quality indicators; Multivariate analysis.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad física, química y biológica de un Neossol Litólico en integración cultivo-ganadera en fincas familiares ubicadas en el Bioma Pampa, definiendo cuáles de estos indicadores son capaces de detectar el efecto de diferentes prácticas de manejo utilizadas en diferentes sistemas de uso: campo nativo de pastoreo, pastos de raigrás y maíz. Se recolectaron muestras de suelo en las capas de 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m y 0.10-0.20 m para cuantificar la densidad del suelo, la porosidad total, el diámetro promedio ponderado, el carbono orgánico y nitrógeno total, carbono de fracción gruesa, carbono asociado con minerales, carbono de fracción ligera libre, carbono de fracción ligera ocluido, carbono de fracción pesada, carbono de biomasa microbiana y respiración basal del suelo. El análisis factorial mostró que los factores “Materia Orgánica”, “Materia Orgánica Ligera” y “Carbono Humidificado” son los más sensibles para detectar los efectos de las diferentes prácticas de manejo utilizadas. Los indicadores que componen el “Factor de Materia Orgánica” están más asociados al campo nativo, los que conforman el “Factor de Agregación”, “Factor de Fracciones Granulométricas” y “Factor de Porosidad Total” están más asociados a los sistemas de maíz y pastos de raigrás. La densidad del suelo, la fracción pesada de materia orgánica y el carbono microbiano están relacionados con los tres sistemas de uso de la tierra.

Palabras clave: Sistemas integrados; Indicadores de calidad del suelo; Análisis multivariante.

1. Introdução

Em virtude do aumento na demanda global por alimentos e evolução tecnológica nos sistemas de produção, as atividades agrícolas passaram a se caracterizar por sistemas padronizados e simplificados de monocultura, sendo este o modelo de produção agropecuária que predomina nas propriedades rurais, mas que vêm mostrando sinais de saturação pela alta demanda de energia e de recursos naturais que necessita (Macedo, 2009).

Os possíveis riscos ambientais decorrentes da intensificação da agricultura conduzem a busca por sistemas de produção que utilizem bases mais sustentáveis (Balbino et al., 2011;

Oliveira et al., 2017; Sousa et al., 2020). Nesse sentido, uma das alternativas mais apropriadas é a adoção de sistemas integrados de produção como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que origina agroecossistemas diversificados que podem contribuir para a intensificação sustentável, aumentando a produção de alimentos enquanto mantêm ou melhora a qualidade ambiental e preserva a biodiversidade natural (Moraes et al. 2019).

Nestes sistemas, a manutenção de resíduos culturais na superfície, somado à ausência de revolvimento do solo, reduzem a emissão de CO₂, aumentam o estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo (Loss et al., 2011; Guareschi et al., 2012), além de melhorar a fertilidade, a diversidade microbiana e os atributos físicos do solo (Mattei et al., 2020; Rego et al., 2020; Sousa et al., 2020). Adicionalmente, sistemas de ILP permitem aumentar a resiliência às alterações climáticas através do manejo da matéria orgânica do solo, melhorar a conservação e utilização da água e aumentar a biodiversidade.

Em função da crescente expansão e adoção das tecnologias de ILP, faz-se necessário a avaliação dos impactos causados por este sistema sobre a qualidade ambiental nos diversos biomas brasileiros, em especial no Bioma Pampa, também conhecido como campos do sul, ocupa uma área de 176.496 km², correspondente a cerca de 2% do território nacional, estando presente somente no Rio Grande do Sul, ocupando 63% do território gaúcho e estendendo-se também pelos territórios da Argentina e Uruguai (IBF, 2015). De acordo com Balbino et al. (2011), os sistemas de ILP vêm sendo adotados em todo o país em diferentes combinações nos seus diferentes Biomas. Por exemplo, no Bioma Pampa utiliza-se milho, trigo e soja rotacionados com aveia-preta, azevém, ervilhaca no inverno e milho no verão ou adotando pastagens perenes de alfafa ou pensacola em consórcio com trevo-branco, trevo-vermelho e cornichão.

Moraes et al. (2019) constataram que os sistemas de ILP são uma solução para enfrentar a destruição do Bioma Pampa em função da utilização de sistemas intensivos de monoculturas durante longos períodos, pois apresentam benefícios no sistema solo-planta-animal e fornecem uma oportunidade de intensificar com sustentabilidade, restaurar a qualidade ambiental e aumentar a biodiversidade de agroecossistemas simplificados e especializados enquanto se preserva a vegetação original desses biomas.

Apesar dos ganhos ambientais já conquistados, e comprovados, obtidos em decorrência da adoção de sistemas integrados de produção, são necessários maiores estudos sobre indicadores físicos, químicos e biológicos que possam ser utilizados integradamente na detecção de mudanças na qualidade do solo. Além disso, percebe-se também a necessidade de desenvolver mais pesquisas em agroecossistemas desenvolvidos pelo agricultor (propriedades

agrícolas), visto que a grande maioria dos estudos realizados até agora sobre esta temática se desenvolvem em grandes áreas experimentais (Salton et al., 2014; Stieven et al., 2014; Gazzola et al., 2015; Oliveira et al., 2017; Mattei et al., 2020; Sousa et al., 2020). Adicionalmente, outro fator que merece destaque é a escassez de trabalhos que abordem esta temática em solos com alto grau de fragilidade como os Neossolos Litólicos.

Levando em consideração a referida carência, o presente estudo visou avaliar a qualidade física, química e biológica de um Neossolo Litólico sob sistemas de ILP em propriedades agrícolas familiares localizadas no Bioma Pampa. A partir dessa avaliação permitem-se definir quais destes indicadores da qualidade do solo são capazes de detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo tradicionalmente utilizadas na região para sistemas integrados.

2. Metodologia

O estudo foi realizado em duas propriedades agrícolas familiares, representativas do Bioma Pampa, sob o sistema de ILP, localizadas no Município de Rio Grande-RS. Em cada uma das propriedades foram avaliados três sistemas de uso do solo: campo nativo pastejado (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI). Neste estudo, o CN foi adotado como sistema de referência. O solo das áreas foi classificado como um Neossolo Litólico (Embrapa, 2013), de classe textural média (0,00-0,20 m) areia (50 g kg^{-1} argila, 60 g kg^{-1} silte e 890 g kg^{-1} areia).

O clima da região em estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen é subtropical úmido do tipo Cfa, caracterizado por temperaturas moderadas, com média de temperatura anual de 17°C a 19°C , verões quentes e ocorrência de geadas no inverno. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e a média anual é de 1400 mm (IBGE, 2006).

A metodologia utilizada nesse estudo foi a de pesquisa experimental aplicada em diferentes agroecossistemas desenvolvidos pelo agricultor (propriedades agrícolas), apresentando natureza quantitativa, sendo o suporte metodológico para este tipo de pesquisa fornecido por Pereira et al. (2018).

Nas duas propriedades, o sistema PA foi implantado em 2008, utilizando-se a cultivar La estanzuela 284. Anteriormente à implantação da pastagem as áreas encontrava-se sob campo nativo. A adubação de base utilizada foi de 200 kg de DAP (fostato diamônico) e duas adubações de cobertura com 140 kg de uréia. A taxa de lotação animal foi de 5 unidades-animal (UA) por hectare. Da mesma forma, as áreas do sistema MI também foram

implantadas em 2008, utilizando-se a cultivar Pioneer. A adubação de base utilizada foi de 300 kg de NPK (5-20-20), e duas adubações de cobertura com 150 kg uréia. No momento da coleta de solo, as áreas se encontravam sob cultivo de azevém BRS Ponteio. Nesta área, o pastoreio é feito de julho a setembro com uma taxa de lotação animal de 5 unidades-animal (UA) por hectare. O sistema CN é utilizado somente para o pastejo animal com uma taxa de lotação variando de 3 a 5 unidades-animal (UA) por hectare.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. Foram coletadas, nas duas propriedades agrícolas selecionadas, amostras deformadas e indeformadas de solo em cada um dos sistemas de uso, nas camadas de 0,00-0,05 m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m. Em cada um dos três sistemas de uso, foram estabelecidos cinco pontos de coleta nas três profundidades, resultando, desta forma, um total de 180 amostras de solo (90 amostras indeformadas e 90 amostras deformadas).

As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de anéis volumétricos de 0,03 m por 0,048 m para a determinação da densidade do solo (D_s) e porosidade total do solo (P_t), conforme Embrapa (2011). As amostras deformadas foram coletadas com pá de corte, acondicionadas em sacos plásticos, posteriormente espalhadas em bandejas e secas à sombra até atingirem a umidade correspondente ao ponto de friabilidade, sendo destorroadas manualmente de forma suave para não provocar compactação ou ruptura dos agregados.

Após a secagem, as amostras deformadas foram peneiradas em malha de 9,52 mm e 2,00 mm para a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fracionamento físico granulométrico e densimétrico da MOS, carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração basal do solo (RBS). O DMP foi determinado conforme a metodologia citada por Palmeira et al. (1999).

Para a determinação do COT e do NT, quantificou-se os teores de C e N por oxidação a seco em um analisador elementar CHNS, sendo os resultados expressos em estoque ($Mg\ ha^{-1}$), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada.

O fracionamento físico granulométrico foi realizado conforme Cambardella & Elliott (1992), onde o material retido na peneira com diâmetro de malha $\geq 0,053\ mm$ consistiu no carbono da fração grosseira (CFG), enquanto que o carbono associado aos minerais (CAM) ($<0,053\ mm$) foi obtido pela diferença entre o COT e o CFG. O fracionamento físico densimétrico foi realizado conforme Conceição et al. (2008), utilizando-se uma solução de politungstato de sódio com densidade de $2,0\ Mg\ m^{-3}$. A energia de dispersão por ultra-som foi

de 328 J mL⁻¹ para as amostras das três camadas avaliadas, sendo este o nível de energia para obtenção da máxima dispersão desses solos em partículas primárias.

Os teores de carbono presente no CFG, FLL e na FLO foram quantificados por oxidação a seco em um analisador elementar CHNS, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha⁻¹). O carbono da fração pesada (FP) foi obtido por diferença entre o COT e o C da FLL + C da FLO. O CBM foi obtido pelo método da irradiação-extração conforme descrito em Mendonça & Matos (2005). A RBS foi determinada conforme orientam Hungria et al. (2009).

A avaliação estatística dos indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo foi feita a partir de Análise Multivariada Fatorial. Considerou-se a Análise de Componentes Principais como método de extração das componentes e utilizou-se o método ortogonal de fatores Varimax para garantir a ortogonalidade dos mesmos. Estabeleceu-se o valor de 0,6 para cargas fatoriais significativas, sendo as análises estatísticas dos dados realizadas com o auxílio do *software* Minitab 14.0. Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) calculado pelo mesmo *software*. As correlações foram enquadradas como muito fraca (0 a 0,3); fraca (0,3 a 0,5); moderada (0,5 a 0,7); forte (0,7 a 0,9) e muito forte (0,9 a 1).

3. Resultados e Discussão

Por meio da análise multivariada definiram-se os fatores que mais explicaram a variabilidade dos dados entre as variáveis do solo nos três sistemas de uso (campo nativo pastejado, pastagem de azevém e milho). Neste estudo foram adotados os três primeiros fatores para a discussão dos resultados, em função destes possuírem as maiores proporções da variação total dos dados estudados. Dessa forma, com base na referida análise fatorial, verificou-se que as proporções da variação total dos dados obtida pelos três primeiros fatores foram de 59,4%, 51,2% e de 53,1% para as camadas de 0,00-0,05 m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m, respectivamente.

Na camada de 0,00-0,05 m a variabilidade do fator 1 (36,1%) deve-se a contribuição dos indicadores COT, NT, CAM, FLL e CBM enquanto que os 13,2% da variação total atribuída ao fator 2 se dá em razão da Ds e Pt e os 10,1% do fator 3 atribuída somente ao DMP (Tabela 1). Na camada de 0,05-0,10 m a variabilidade do fator 1 (18,6%) deve-se à Pt e FLL, sendo a variabilidade do fator 2 (16,7%) atribuída ao NT e CBM e a variabilidade do fator 3 (15,9%) atribuída ao CFG e CAM. Na camada de 0,10-0,20 m a variabilidade do fator

1 (21,3%) é atribuída ao COT, CAM e FLO enquanto que os 21,1% do fator 2 são atribuídos ao COT, CFG, FP e CBM e os 10,7% do fator 3, são atribuídos somente à Pt.

Todas as variáveis citadas explicam a maior porcentagem de variação e são as que mais refletem as alterações das características do solo em função do manejo, de acordo com cada camada analisada. As demais não foram citadas porque apresentaram cargas fatoriais abaixo de 0,6, o que demonstra contribuem em menor proporção para discriminar o uso do solo (Pragana et al., 2012).

Tabela 1. Cargas fatoriais das variáveis físicas, químicas e biológicas após a rotação Varimax de um Neossolo Litólico sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05 m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m.

Variável	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m			0,10-0,20 m		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Ds	-0,076	-0,971	0,062	-0,546	0,253	-0,203	0,212	-0,172	0,427
Pt	0,226	0,647	-0,141	0,970	-0,118	-0,019	-0,079	-0,017	-0,937
DMP	0,052	0,083	-0,957	-0,052	0,083	-0,244	0,138	-0,122	0,126
COT	0,970	0,002	0,003	0,168	0,146	-0,148	0,701	-0,646	-0,031
NT	0,955	0,091	0,049	0,549	-0,661	-0,016	0,310	-0,130	-0,139
CFG	0,124	-0,269	0,401	0,015	0,127	0,967	0,006	-0,915	-0,147
CAM	0,852	0,117	-0,167	0,076	-0,027	-0,861	0,936	-0,182	0,068
FLL	0,879	0,164	-0,092	0,653	-0,472	-0,166	0,061	-0,096	-0,302
FLO	0,298	-0,052	-0,118	0,093	-0,085	0,222	0,810	-0,119	0,110
FP	-0,227	-0,274	0,240	-0,448	0,508	0,222	0,418	-0,758	0,157
RBS	-0,012	-0,125	0,003	0,002	-0,014	0,003	0,272	-0,180	-0,068
CBM	0,877	-0,007	0,005	0,138	-0,948	0,113	-0,340	0,743	-0,151
Variância	4,33	1,58	1,21	2,23	2,00	-0,139	2,55	2,53	1,27
%Var	36,1	13,2	10,1	18,6	16,7	15,9	21,3	21,1	10,7

*Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

Fonte: Os autores.

Após avaliar a distribuição e a importância de cada variável em cada um dos três fatores obtidos, foi possível identificar e nomear os fatores observados em cada uma das camadas estudadas. Em todas as camadas avaliadas os três fatores receberam denominações diferentes. Na camada de 0,00-0,05 m, o fator 1 foi denominado de “Fator Matéria Orgânica”,

e os fatores 2 e 3 foram denominados “Fator estrutura” e “Fator agregação”, respectivamente. Na camada de 0,05-0,10 m o fator 1 foi denominado de “Fator Matéria Orgânica Leve”, o fator 2 de “Fator Carbono Microbiano” e o fator 3 “Fator Frações Granulométricas”. Na camada de 0,10-0,20 m o fator 1 foi chamado de “Fator Carbono Humificado”, o fator 2 de “Fator Matéria Orgânica” e o fator 3 “Fator Porosidade Total”. Estes resultados evidenciam que nos sistemas de ILP estudados, em todas as camadas, as variáveis químicas e biológicas do solo relacionadas ao carbono orgânico são mais sensíveis às alterações de manejo e uso do solo em comparação aos atributos físicos do solo.

Com a aplicação da análise fatorial espera-se que as variáveis com maiores cargas fatoriais estejam mais correlacionadas entre si. Este resultado pode ser constatado na Figura 1, onde podemos observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, NT, CAM, FLL e CBM, correlação fraca positiva entre os indicadores DMP, CFG, FLO e Pt. Os indicadores RBS, FP e Ds não apresentam correlação com os indicadores anteriormente citados no primeiro fator.

De acordo com Dias et al. (2007) o carbono e o nitrogênio são os principais componentes da MOS, estando, dessa forma, estreitamente associados. Esta afirmação confirma a alta correlação entre os teores totais destes elementos e suas frações particuladas observadas neste estudo. Costa et al. (2015) constataram que os sistemas de ILP em plantio direto foram eficientes para manutenção e melhoria da fertilidade e dos estoques de C e N do solo. Da mesma forma, Rego et al. (2020) constataram que os sistemas integrados de produção incrementaram os estoques de carbono orgânico total e das frações físicas da matéria orgânica do solo.

Para efeito de visualização e análise gráfica, foram apresentados apenas os resultados dos dois primeiros fatores nas Figuras 1 e 2 visto que são os que mais contribuem para a variação total dos dados. Para a camada de 0,00-0,05 m, analisando as Figuras 1A e 2A simultaneamente, podemos constatar que as variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN; as variáveis FLO, CFG e as do “Fator Agregação” ao sistema de uso PA. Já para as variáveis do segundo fator, a FP pode ser relacionada ao CN e a Ds e RBS estão relacionadas aos sistemas MI e PA.

As variáveis do “Fator Matéria Orgânica” podem estar mais associadas ao CN em virtude da ausência de interferência antrópica, pela maior diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área o que favorece a entrada constante de carbono jovem via espécies nativas, determinando um maior aporte de resíduos culturais e contribuindo, desta

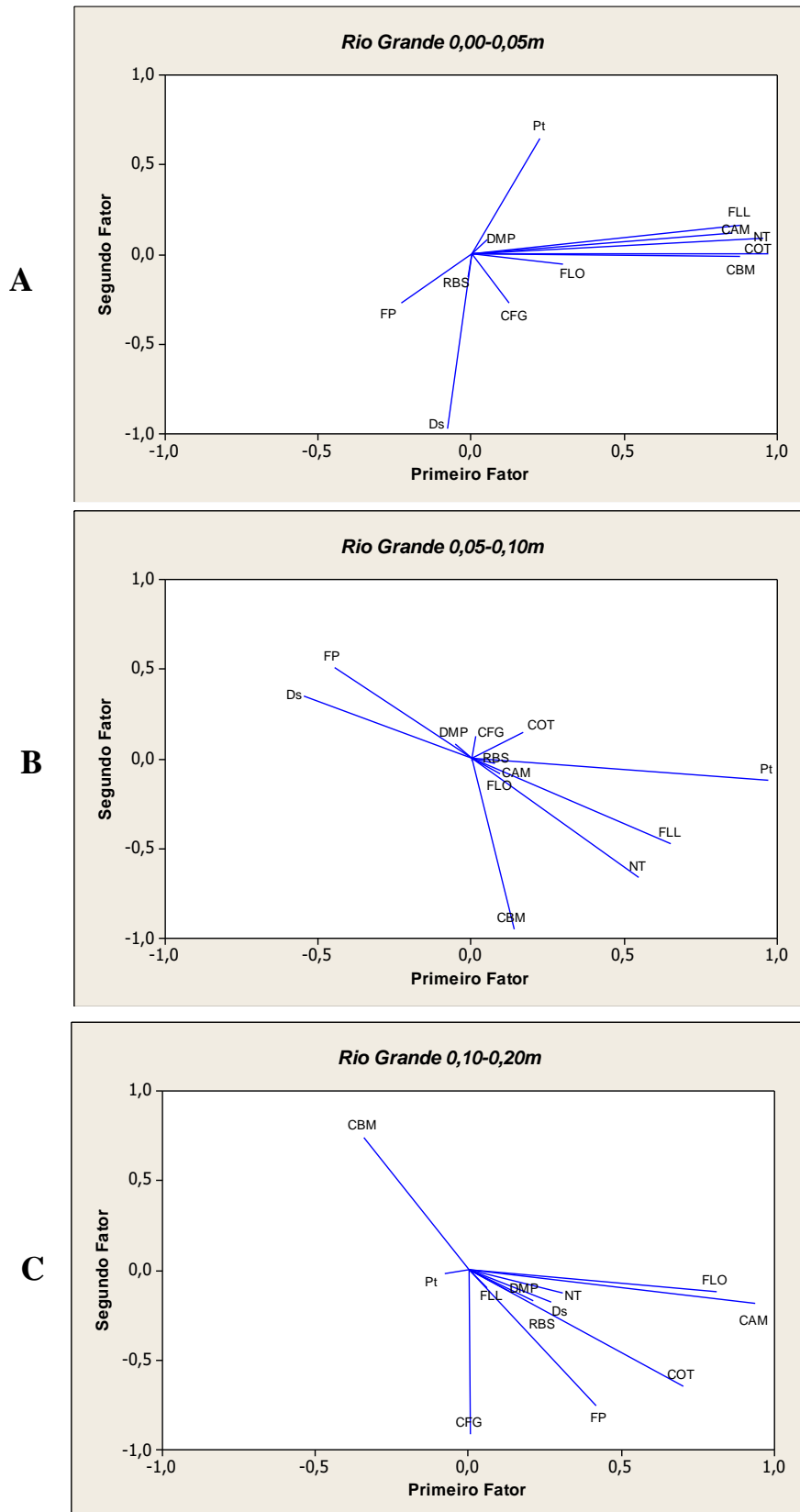
forma, para o aumento dos teores de carbono, nitrogênio e de suas frações lábeis neste sistema.

Na camada de 0,00-0,05m, 10 coeficientes de correlação (15,15% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 2). Assim como foi visualizado na Figura 1A, podemos constatar na Tabela 2, qual a grandeza das correlações entre os indicadores acima citados. Dentre todas as correlações obtidas podemos destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre os indicadores Ds e Pt (-0,74) e as correlações positivas entre COT x NT (0,93), COT x CAM (0,91), COT x FLL (0,84), COT x CBM (0,81), NT x FLL (0,84), NT x CBM (0,89) e CAM x FLL (0,87).

Assim como neste estudo, Lima et al. (2013), estudando a importância dos atributos físicos de um Latossolo Amarelo cultivado com milho na identificação da compactação, verificaram uma correlação inversamente proporcional entre Pt e Ds, caracterizando zonas mais densas, portanto mais compactadas. Da mesma forma, Pereira et al. (2010) ao estudarem por componentes principais atributos físicos de um Latossolo vermelho sob pastagem e mata, verificaram alta correlação negativa entre Ds e Pt, denominando este efeito de degradação estrutural do solo, bem como os primeiros indícios de compactação.

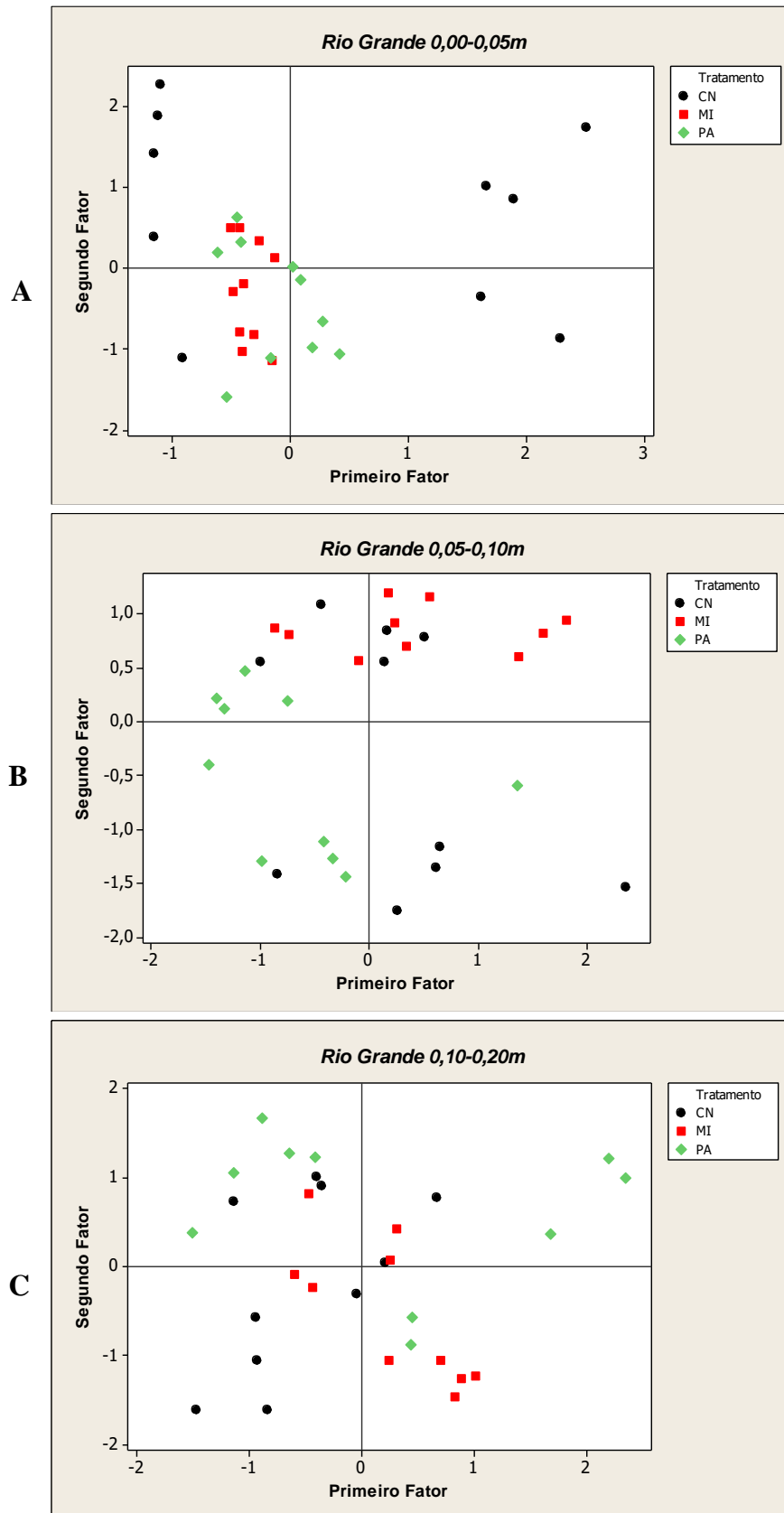
Diferentemente à este estudo, Carneiro et al. (2013) ao avaliarem as alterações na biomassa microbiana do solo e nos estoques de COT em sistemas de ILP, plantio direto, pastagem e cerrado nativo de um Neossolo Quartzarênico no entorno do Parque Nacional das Emas em Goiás verificaram correlação baixa positiva e não significativa entre o CBM e o COT ($r=0,40$). Sousa et al. (2020) avaliando a dinâmica dos atributos microbiológicos do solo em sistemas de ILP, verificaram que a ILP promoveu um incremento de 50% no CBM em função da diversidade de culturas anuais plantadas nas áreas. Com esse incremento, certamente os teores de COT também foram elevados conferindo assim uma correlação positiva entre esses atributos.

Figura 1. Correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados nas camadas de 0,05-0,10m (A), de 0,05-0,10m (B) e de 0,10-0,20m (C).



Fonte: Os autores.

Figura 2. Distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) nas camadas de 0,00-0,05m (A), de 0,05-0,10m (B) e de 0,10-0,20m (C).



Fonte: Os autores.

Ainda nesta camada, levando em consideração a visualização da Figura 1A onde obtivemos correlação moderada entre DMP, CFG e FLO, vale a pena ressaltar que dentre estes indicadores, obtivemos uma correlação positiva significativa entre o DMP x CFG ($r=0,62$). Este resultado mostra que 62% da variação do DMP se correlaciona positivamente com a variação do CFG, o que pode indicar que boa parte da estabilidade dos agregados do solo nos sistemas de ILP em Neossolos deve-se à MO mais lábil (associada à fração grosseira).

De acordo com a Figura 1B, podemos observar no primeiro fator correlação moderada positiva entre os indicadores FLL e NT; correlação muito fraca positiva entre RBS, CAM, FLO e entre o CFG e COT. Os indicadores Ds e FP não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação moderada no segundo fator.

Para a camada de 0,05-0,10m, analisando simultaneamente as Figuras 1B e 2B, podemos verificar que as variáveis do “Fator Carbono Microbiano” e “Matéria Orgânica Leve” estão mais associadas ao CN e à PA. As variáveis do “Fator Frações Granulométricas” e os indicadores DMP, RBS e FLO estão relacionadas aos sistemas MI e PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (Ds e FP) estão associadas aos três sistemas de uso do solo.

Da mesma forma, Cardoso et al. (2009) constataram que os teores de carbono microbiano foram significativamente alterados pelo pastejo contínuo da pastagem nativa, reduzindo 51% do carbono microbiano neste sistema em comparação à pastagem nativa sem pastejo. Contudo, a biomassa microbiana responde intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008), sendo um bom indicador da qualidade do solo em áreas cultivadas com pastagens.

Na camada de 0,05-0,10m, somente 4 coeficientes de correlação (6,06% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 2). Assim como foi visualizado na Figura 1B, na Tabela 2 podemos destacar algumas correlações positivas significativas entre Ds x FP (0,60), NT x FLL (0,78) e a correlação negativa significativa entre a Pt x Ds (-0,65). Analisando a Figura 1C, pode-se observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores FLO e CAM; correlação moderada entre a FP e o COT; correlação fraca positiva entre FLL, DMP, NT, Ds e RBS. Ainda neste fator, o indicador CFG apresenta correlação inversamente proporcional com o CBM e a Pt. Os indicadores CBM e Pt não apresentam correlação com os indicadores do fator 1 e também não apresentam correlação entre si no segundo fator.

Tabela 2. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Neossolo Litólico sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m e 0,10-0,20m.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
0,00 - 0,05m												
Ds	1											
Pt	-0,74*	1										
DMP	-0,19	0,29	1									
COT	-0,07	0,20	0,07	1								
NT	-0,14	0,27	0,00	0,93*	1							
CFG	0,41	-0,42	-	0,06	0,21	1						
CAM	-0,24	0,37	0,32	0,91*	0,78*	-0,36	1					
FLL	-0,31	0,52*	0,24	0,84*	0,84*	-0,17	0,87*	1				
FLO	0,00	-0,03	0,26	0,48	0,35	-0,33	0,60*	0,33	1			
FP	0,45	-0,64*	-0,46	-0,21	-0,26	0,57*	-0,44	0,64*	-0,33	1		
RBS	0,26	-0,20	-0,03	0,03	0,00	0,15	-0,03	-0,15	0,06	0,27	1	
CBM	-0,04	0,18	-0,02	0,81*	0,89*	0,37	0,60*	0,78*	0,19	-0,24	-0,06	1
0,05 - 0,10m												
Ds	1											
Pt	-0,65*	1										
DMP	0,23	-0,04	1									
COT	0,12	0,28	0,19	1								
NT	-0,65*	0,66*	-0,11	0,13	1							
CFG	-0,20	0,00	-0,38	-0,08	-0,05	1						
CAM	0,23	0,14	0,41	0,60*	0,11	-0,85*	1					
FLL	-0,57*	0,72*	-0,24	0,12	0,78*	-0,15	0,19	1				
FLO	-0,20	0,11	-0,19	-0,31	0,23	0,31	-0,42	0,29	1			
FP	0,60*	-0,47	0,33	0,41	0,61*	0,00	0,21	-0,80*	-0,62*	1		
RBS	0,02	0,00	-0,15	-0,08	0,03	0,22	-0,21	0,07	0,47	-0,23	1	
CBM	-0,50*	0,24	-0,13	-0,30	0,68*	-0,24	0,04	0,60*	0,13	-0,67*	0,02	1
0,10 - 0,20m												
Ds	1											
Pt	-0,67*	1										
DMP	0,50*	-0,33	1									
COT	0,24	0,02	0,15	1								
NT	-0,31	0,29	-0,38	0,47	1							
CFG	-0,06	0,24	-0,05	0,68*	0,38	1						
CAM	0,37	-0,16	0,25	0,83*	0,35	0,16	1					
FLL	-0,58*	0,56*	-	0,23	0,50*	0,37	0,04	1				
FLO	0,20	-0,14	0,09	0,72*	0,56*	0,23	0,79*	0,05	1			
FP	0,53*	-0,28	0,39	0,77*	0,12	0,57*	0,61*	-0,24	0,45	1		
RBS	-0,08	0,15	-0,25	0,50*	0,40	0,38	0,38	0,20	0,52*	0,23	1	
CBM	-0,56*	0,26	-0,42	-0,74*	0,08	-0,56*	-0,57*	0,10	-0,31	-0,84*	-0,19	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

Fonte: Os autores.

Na camada de 0,10-0,20 m, apenas 6 coeficientes de correlação (9,09% do total) foram superiores a 0,7. Dentre as correlações obtidas podemos destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre Ds x Pt (-0,67); as correlações positivas entre o COT x CAM (0,83), COT x FP (0,77) e FLO x CAM (0,79). Resultados semelhantes foram obtidos por Raphael (2014) avaliando a matéria orgânica do solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta em um Nitossolo localizado no Município de Botucatu-SP, verificou uma correlação alta significativa entre o COT x CAM, demonstrando a influência que esta fração exerce na composição da MOS.

Analisando simultaneamente as Figuras 1C e 2C, constata-se novamente que a maior parte das variáveis do “Fator Carbono Humificado” estão mais relacionadas ao sistema PA; a maior parte das variáveis do “Fator Matéria Orgânica” aos sistemas MI e PA; o “Fator Porosidade Total” aos sistemas PA e CN; e a variável CBM pode ser relacionada aos três sistemas de uso do solo.

As variáveis do “Fator Porosidade Total” podem estar mais associadas aos sistemas de uso PA e CN, em decorrência de sistemas radiculares mais diversificados e possíveis canais (bioporos) resultantes da decomposição e renovação dessas raízes na superfície do solo (Abrão, 2011).

As variáveis do “Fator Carbono Humificado” se encontram mais associadas ao sistema PA, fato que pode ser justificado pela maior produção e acúmulo de biomassa vegetal pela espécie forrageira (azevém) em comparação às culturas agrícolas, cuja fitomassa é, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (Loss et al., 2011). Adicionalmente, de acordo com Franzluebbbers; Stuedemann (2008) na ILP, as pastagens possibilitam um incremento nos teores de carbono em função do elevado desenvolvimento e aporte de resíduos culturais, tanto da parte aérea como das raízes.

O indicador biológico CBM pode estar relacionado aos três sistemas de uso do solo, por predizer a resposta do sistema edáfico às intervenções antrópicas antes mesmo que os teores de matéria orgânica e outros atributos físicos e químicos sejam alterados significativamente, reforçando o seu potencial como indicador sensível para detectar modificações no solo.

Assim como verificado neste estudo Baretta et al. (2006), por meio da análise multivariada canônica discriminante, identificaram o CBM como o atributo microbiológico mais importante para a separação dos sistemas de uso avaliados. Da mesma forma, Cardoso et al. (2009) constataram que o CBM foi atributo mais sensível para verificar às alterações no solo, promovidas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de

pastejo contínuo em pastagem nativa, no Pantanal. Adicionalmente, Sousa et al. (2020) verificaram que o CBM foi eficiente para detectar diferenças entre os sistemas de uso do solo.

4. Considerações Finais

A análise fatorial evidenciou que os fatores “Matéria Orgânica”, “Matéria Orgânica Leve” e “Carbono Humificado” são os mais sensíveis para detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas;

Os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao campo nativo, os que compõem o “Fator Agregação”, “Fator Frações Granulométricas” e “Fator Porosidade Total” estão mais associados aos sistemas milho e pastagem. A densidade do solo, a fração pesada da matéria orgânica e o carbono microbiano encontram-se relacionados aos três sistemas de uso do solo.

Para que os estudos em propriedade agrícolas familiares sob Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em regiões representativas do Bioma Pampa, não se limitem apenas em avaliações comparativas e pontuais, sugere-se que em trabalhos futuros haja o monitoramento dos indicadores físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo, de forma dinâmica e sistêmica, o que servirá de subsídio para a manutenção e/ou incremento da qualidade do solo com impactos positivos na produtividade agrícola e na qualidade ambiental destas propriedades. Além disso, os resultados desse trabalho servirão de subsídio para novas pesquisas que visem avaliar a qualidade do solo de forma integrada e sistêmica em outros solos representativos do Bioma Pampa sob sistemas integrados de produção.

Referências

Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Silva, W. P., Moraes, A., Martínez, G. B., Alvarenga, R. C., Kichel, A. N., Fontaneli, R. S., Santos, H. P., Franchini, J. C. & Galerani, P. R. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (10), i-xii.

Baretta, C. R. D. M., Amarante, C. V. T. & Klauberg Filho, O. (2006). Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (10), 1531-1539.

Cambardella, C. A. & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56 (3), 777-783.

Cardoso, E. L., Silva, M. L. N., Moreira, F. M. S. & Curi, N. (2009). Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44 (6), 631-637, 2009.

Carneiro, M. A. C., Souza, E. D., Paulino, H. B., Sales, L. E. O. & Vilela, L. A. F. (2013). Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás. *Bioscience Journal*, 29 (6), 1857-1868.

Conceição, P. C., Boeni, M., Dieckow, J., Bayer, C. & Mielniczuk, J. (2008). Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (2), 541-549.

Costa, N. R., Andreotti, M., Lopes, K. S. M., Yokobalake, K. Z., Ferreira, J. P., Pariz, C. M., Bonini, C. S. B. & Longhini, V. Z. (2015). Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39 (3), 852-863.

Dias, B. O., Silva, C. A., Soares, E. M. B. & Bettiol, W. (2007). Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31 (4), 901-911.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2011). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa.

Franzluebbers, A. J. & Stuedemann, J. A. (2008). Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. *Soil Science Society of America Journal*, 72 (5), 613-625.

Gama-Rodrigues, E. F. & Gama-Rodrigues, A. C. (2008). *Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes*. In: Santos, G. A., Silva, L. S., Canellas, L. P. E. & Camargo, F. A. O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole.

Gazolla, P. R., Guareschi, R. F., Perin, A., Pereira, M. G. & Rossi, C. Q. (2015). Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (2), 693-704.

Guareschi, R. F., Pereira, M. G. & Perin, A. (2012). Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (3), 1-10.

Hungria, M., Franchini, J. C., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G. & Souza, R. A. (2009). Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*, 42 (3), 288-296.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006) *Censo agropecuário: agricultura familiar primeiros resultados*.

IBF- Instituto Brasileiro de Florestas. (2015). *Bioma Pampa*. Recuperado de <http://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa.html>.

Lima, R. P., Silva, A. R. & Raminelli, J. A. (2013). Importância de atributos físicos do solo na identificação da compactação. *Revista Verde*, 8 (1), 93-97.

Loss, A., Pereira, M. G., Giácomo, S. G., Perin, A. & Anjos, L. H. C. (2011). Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira Brasília*, 46 (10), 1269-1276.

Macedo, M. C. M. (2009). Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38 (spe), 133-146.

Mattei, E., Oliveira, P. S. R., Rampim, L., Rego, C. A. R. M., Vengen, A. P. & Herrera, J. L. (2020). Implicações do sistema de integração lavoura-pecuária sob os atributos físicos do solo. *Brazilian Journal of Development*, 6 (7), 47638-47651.

Mendonça, E. S. & Matos, E. S. (2005). *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV.

Oliveira, D. G., Reis, E., Medeiros, J. C., Couto, R. F., Holtz, V. & Madari, B. E. (2017). Correlação espacial e linear de atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária. *Ciência Agrícola*, 15 (1), 69-77.

Palmeira, P. R. T., Pauletto, E. A., Teixeira, C. F. A., Gomes, A. S. & Silva, J. B. (1999). Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23 (2), 189-195.

Pragana, R. B., Ribeiro, M. R., Nóbrega, J. C. A., Ribeiro Filho, M. R. & Costa, J. A. (2012). Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (5), 1591-1600.

Pereira, S. A., Oliveira, G. C., Severiano, E. C., Balbino, L. C. & Oliveira, J. P. (2010). Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science and Technology*, 3 (2), 87-97.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria: UFSM.

Raphael, J. P. A. *Matéria orgânica do solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta*. 2014. 101f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.

Rego, C. A. R. M., Oliveira, P. S. R., Piano, J. T., Egewarth, J. F., Egewarth, V. A., Herrera, J. L. & Gonçalves Junior, A. C. (2020). Chemical properties and physical fractions of organic matter in oxisols under integrated agricultural production systems. *Revista de Agricultura Neotropical*, 7 (3), 81-89.

Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M. & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190 (1), 70-79.

Silva, R. F., Guimarães, M. F., Aquino, A. M. & Mercante, F. M. (2011). Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (10), 1277-1283.

Sousa, H. M., Correa, A. R., Silva, B. M., Oliveira, S. S., Campos, D. T. S. & Wruck, F. J. (2020). Dynamics of soil microbiological attributes in integrated crop-livestock systems in the cerrado-amazonônia ecotone. *Revista Caatinga*, 33 (1), 09-20.

Stieven, A. C., Oliveira, D. A., Santos, J. O., Wruck, F. J. & Campos, D. T. S. (2014). Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9 (1), 53-58.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Roberta Jeske Kunde – 20%

Ana Cláudia Rodrigues de Lima – 16%

Jamir Luís Silva da Silva – 16%

Ricardo Alexandre Valgas – 16%

Thaís Wacholz Kohler – 16%

Clenio Nailto Pillon – 16%