

## Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa

Roberta Jeske Kunde<sup>1</sup>, Ana Cláudia Rodrigues de Lima<sup>1</sup>, Jamir Luís Silva da Silva<sup>2</sup>, Ricardo Alexandre Valgas<sup>2</sup>, Clenio Nailto Pillon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, Brasil. E-mail: roberta\_kunde@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-3964-9854); anaclima@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-9036-8199)

<sup>2</sup> Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: jamir.silva@embrapa.br (ORCID: 0000-0002-4030-2324); ricardo.valgas@embrapa.br (ORCID: 0000-0003-3367-7934); clenio.pillon@embrapa.br (ORCID: 0000-0001-8663-3244)

**RESUMO:** O crescente nível de degradação dos solos tem promovido a adoção de manejos agrícolas que aliem a produção agropecuária à conservação do solo. Nesse sentido, sistemas de Integração Lavoura-Pecuária têm sido adotados com sucesso, pois ocupam os recursos disponíveis nos agroecossistemas concomitante à melhoria da qualidade do solo. Este estudo objetivou avaliar a qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares sob sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na Região Sul do Rio Grande do Sul, definindo indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos 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 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m para quantificar a densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado, carbono orgânico total, 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 aplicada aos 12 indicadores da qualidade do solo evidenciou que o “Fator Matéria Orgânica” foi o que mais contribuiu para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas, sendo 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 Compactação” e “Fator Carbono Microbiano” estão mais associados à pastagem. Os indicadores respiração basal do solo, fração leve livre e porosidade total estão mais relacionados ao sistema milho. Por fim, a densidade do solo encontra-se relacionada aos três sistemas de uso estudados.

**Palavras-chave:** análise multivariada; indicadores do solo; sistemas integrados

## Soil quality under integrated crop-livestock system in the Pampa Biome

**ABSTRACT:** The increasing level of soil degradation has promoted the adoption of agricultural management that combines agricultural production to soil conservation. In this context, Integrated Crop-Livestock Systems have been successfully adopted, because they occupy the available resources in agroecosystems, concomitant to the improvement of soil quality. This study aimed to evaluate the soil quality in family farmers under integrated crop-livestock systems in the South Region of Rio Grande do Sul state, defining physical, chemical and biological indicators 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 0-0.05, 0.05-0.10 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 applied to the 12 soil quality indicators, showed that the “Organic Matter Factor” was the one that most contributed to the total variation of the data in the three layers evaluated, 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, those that compose the “Aggregation Factor”, “Compression Factor” and “Microbial Carbon Factor” are more associated to the ryegrass pasture system. The indicators basal soil respiration, carbon of the free light fraction and total porosity are more related to the corn system. And finally, the bulk density is related to the three use systems evaluated.

**Key words:** multivariate analysis; soil quality indicators; integrated systems

## Introdução

Em virtude do aumento na demanda 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). Nesse sentido, uma das alternativas mais apropriadas é a adoção de sistemas integrados de produção como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que ocupam intensamente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, melhorando a qualidade do solo, diminuindo o uso de insumos e gerando uma maior renda per capita na propriedade (Balbinot Junior et al., 2009). Nestes sistemas, a manutenção de resíduos culturais na superfície, somado à ausência de revolvimento do solo, reduzem a emissão de CO<sub>2</sub>, 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 (Silva et al., 2011).

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 km<sup>2</sup>, 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). O Pampa se caracteriza por apresentar cobertura vegetal predominante de campos naturais, com matas de galeria e áreas de relevo suave/ondulado, o clima é úmido ao longo do ano, havendo uma tendência à seca de verão em direção ao interior do estado e as pastagens naturais são apropriadas para criação extensiva de gado (Hasenack, 2007).

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 (Marchão et al., 2007; Ortigara et al., 2014; Salton et al., 2014; Stieven et al., 2014; Gazolla et al., 2015; Oliveira et al., 2017).

Levando em consideração a referida carência, o presente estudo visou avaliar a qualidade do solo em propriedades

agrícolas familiares do Bioma Pampa, sob sistemas de ILP na Região Sul do Rio Grande do Sul. A partir dessa avaliação objetivou-se definir indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo tradicionalmente utilizadas na região para sistemas integrados.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas propriedades agrícolas familiares, representativas do Bioma Pampa, sob o sistema de ILP, localizadas no Município de Arroio do Padre-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). O CN foi adotado como sistema de referência. O solo das áreas foi classificado como um Argissolo Vermelho (Embrapa, 2013), de classe textural média (0-0,20m) franco-arenosa (140 g kg<sup>-1</sup> argila, 21 g kg<sup>-1</sup> silte e 65 g kg<sup>-1</sup> 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 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).

Nas duas propriedades, o sistema PA foi implantado em 2007, utilizando-se a cultivar BRS ponteio. Anteriormente à implantação da pastagem a área era utilizada para o cultivo de tabaco. A adubação de base utilizada foi de 250 kg de NPK (5-20-20) e duas a três adubações de cobertura com 150 kg de uréia. Como adubação adicional, utilizou-se também esterco de suíno, bovino e cama de frango. A taxa de lotação animal foi de 30 animais por hectare. Da mesma forma, as áreas do sistema MI também foram implantadas em 2007, utilizando-se a cultivar Santa Helena 1061. A adubação de base utilizada é de 250 kg de NPK (5-20-20), e duas adubações de cobertura com 150 kg uréia (44% de N). 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 30 animais por hectare. O sistema CN é utilizado somente para o pastejo animal com uma taxa de lotação de 18 animais 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 0-0,05, 0,05-0,10 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 coletas foram realizadas durante os meses de outubro e novembro de 2013.

As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de anéis volumétricos de 3,0 × 4,8 cm para a determinação da densidade do solo (Ds) e porosidade total do solo (Pt), 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 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 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme Sisti et al. (2004).

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  $2,0 \text{ Mg m}^{-3}$ . A energia de dispersão por ultra-som foi de  $328 \text{ J mL}^{-1}$  para as amostras das três camadas avaliadas, sendo este o nível de energia para obtenção da máxima dispersão desses solos em partículas primárias (Inda Junior et al., 2007). 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 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004). 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 Ferreira et al. (1999) e 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. Considerando a Análise de Componentes Principais como método de extração 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).

## Resultados e Discussão

Por meio da análise multivariada fatorial definiram-se os fatores que explicaram a variabilidade dos dados e a correlação entre as variáveis do solo estudadas 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 do solo obtida pelos três primeiros fatores foram de 66,1, 52,7 e de 56,5% para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e de 0,10-0,20 m, respectivamente.

Na camada de 0-0,05 m a variabilidade do fator 1 (42%) deve-se a contribuição dos indicadores COT, NT, CFG, FLL, FP, RBS e CBM enquanto que os 13,7% da variação total atribuída ao fator 2 se dá em razão da Ds e Pt e os 10,4% do fator 3 atribuída somente à FLO (Tabela 1). Na camada de 0,05-0,10 m a variabilidade do fator 1 (33%) deve-se ao COT, NT, CFG, CAM e FP, sendo a variabilidade do fator 2 (10,6%) atribuída ao CBM e a do fator 3 (9,1%) atribuída à Ds. Na camada de 0,10-0,20m a variabilidade do fator 1 (37,6%) é atribuída ao COT, NT, CAM, FLO, FP e CBM enquanto que os 9,6% do fator 2 e os 9,3% do fator 3, são atribuídos, respectivamente ao CFG e DMP (Tabela 1). 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, em cada camada analisada. As variáveis que apresentaram cargas fatoriais abaixo de 0,6 são aquelas que retêm pequena parte da variação total, o que demonstra que as demais variáveis não citadas contribuem em menor proporção para discriminar o uso do solo (Pragana et al., 2012).

Após avaliar a distribuição e a importância de cada variável em cada um dos três fatores obtidos, foi possível identificar e nomear os fatores em cada uma das camadas estudadas. Em todas as camadas avaliadas o fator 1 foi denominado de “Fator matéria orgânica”, entretanto os fatores 2 e 3 receberam denominações diferentes para cada camada. Na camada de 0-0,05 m, o fator 2 foi denominado “fator estrutura” e o fator 3 “fator fração leve oclusa”. Na camada de 0,05-0,10 m o fator 2 foi chamado de “Fator Carbono Microbiano” e o fator 3 “fator compactação”. Na camada de 0,10-0,20 m o fator 2 foi chamado de “fator carbono da fração grosseira” e o fator 3 “Fator Agregação”. 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.

Tendo como base a Análise Fatorial, espera-se que as variáveis que apresentam maiores cargas fatoriais estejam mais correlacionadas entre si. Este resultado pode ser constatado na Figura 1, onde é possível observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, NT, CFG, FLL e FP, correlação moderada positiva entre o CBM

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

Variável*	0-0,05			0,05-0,10			0,10-0,20		
	(m)								
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Ds	-0,218	0,822	-0,124	0,011	-0,102	-0,966	-0,181	0,143	-0,118
Pt	-0,102	-0,935	-0,152	0,048	0,180	0,022	-0,017	-0,146	-0,062
DMP	0,242	0,195	0,063	-0,116	0,166	0,033	0,166	0,099	0,968
COT	0,922	-0,026	-0,198	0,867	0,281	-0,022	0,961	0,187	0,075
NT	0,922	-0,056	-0,143	0,678	0,228	0,111	0,704	-0,109	0,171
CFG	0,958	0,003	-0,086	0,607	0,520	0,146	0,109	0,937	0,113
CAM	0,198	-0,072	-0,304	0,872	0,086	-0,121	0,944	-0,241	0,025
FLL	0,916	-0,073	-0,125	0,589	-0,004	0,170	0,159	0,164	0,054
FLO	0,188	-0,051	-0,947	0,500	0,162	-0,192	0,888	0,192	-0,001
FP	0,777	0,079	0,341	0,953	0,140	0,022	0,797	0,113	0,197
RBS	0,631	-0,141	-0,005	-0,131	0,056	0,181	0,048	0,142	-0,078
CBM	0,622	-0,092	0,132	0,300	0,866	0,118	0,826	0,145	0,258
Variância	5,036	1,638	1,2486	3,965	1,277	1,096	4,5175	1,152	1,117
%Var	42,0	13,7	10,4	33,0	10,6	9,1	37,6	9,6	9,3

\*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.

e RBS e correlação fraca positiva entre os indicadores FLO, CAM e DMP. De acordo com Dias et al. (2007), o C e o N 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. Adicionalmente, Gazolla et al. (2015) avaliando as frações da MOS sob pastagem, sistema plantio direto e ILP constataram que os maiores teores de COT, CFG e CAM na camada superficial foram encontrados na ILP.

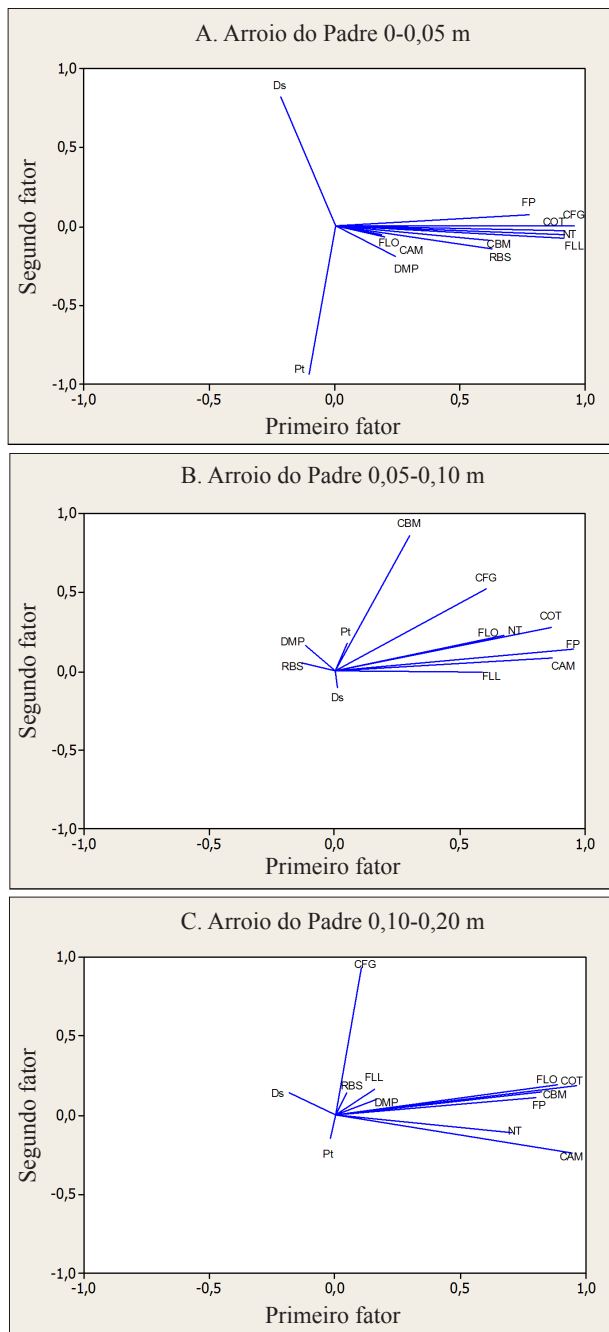
Os indicadores Ds e Pt não apresentam correlação com os indicadores anteriormente citados no primeiro fator, entretanto, no segundo fator eles apresentam correlação inversamente proporcional. Conte et al. (2007), avaliando a demanda de tração em haste sulcadora na ILP com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação de um Latossolo Vermelho no Município de Tupanciretã-RS, verificaram que a Pt é inversamente proporcional à Ds, ou seja, o aumento da densidade provoca a redução do espaço de poros do solo. Adicionalmente, Schiavo et al. (2012), avaliando a agregação, resistência do solo à penetração e COT de um Latossolo Vermelho argiloso da região de Cerrado sob sistema de ILP também encontraram correlação negativa significativa entre as variáveis Ds e Pt.

Para efeito de visualização e análise gráfica, foram apresentados os resultados dos dois primeiros fatores (fator matéria orgânica e fator estrutura) nas Figuras 1 e 2, visto que estes são os que mais contribuem para a variação total dos dados. Para a camada de 0-0,05 m, analisando as Figuras 1A e 2A simultaneamente, pode-se constatar que as variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN e as variáveis FLO, CAM e DMP ao sistema PA. Já para

as variáveis do segundo fator, a Pt pode ser associada a MI e a Ds está relacionada com todos os sistemas de uso. 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 C, N e de suas frações lábeis neste sistema.

Na camada de 0-0,05 m, 18 coeficientes de correlação (27,27% 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 as correlações obtidas pode-se destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre os indicadores Ds e Pt (-0,62) e as correlações positivas entre COT × NT (0,94), COT × CFG (0,92), COT × FLL (0,95), COT × FP (0,76), NT × FLL (0,93), NT × CFG (0,88) e CFG × FLL (0,87). 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.

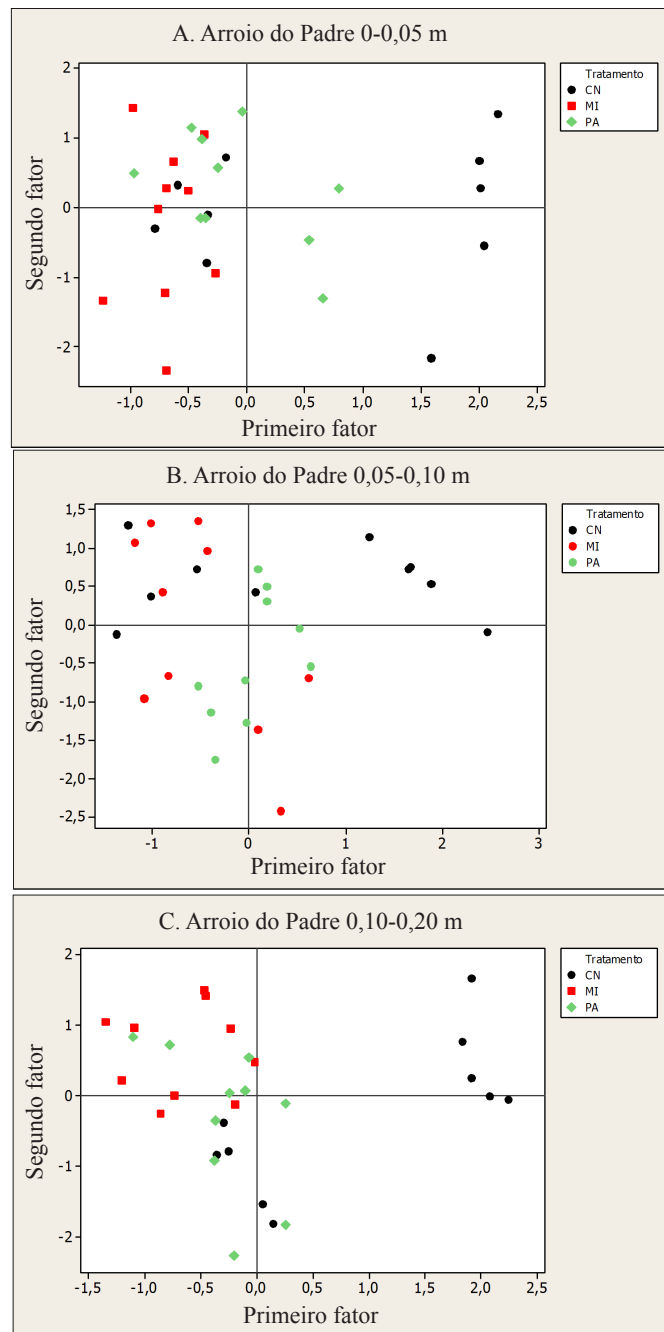
Ainda na camada de 0-0,05 m, levando em consideração a visualização da Figura 1A, onde se verificou correlação moderada entre o DMP, CAM e FLO, vale a pena ressaltar que dentre estes indicadores, obteve-se uma correlação positiva significativa entre o DMP × CAM ( $r = 0,52$ ). Este resultado mostra que 52% da variação do DMP se correlaciona



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

positivamente com a variação do CAM, o que pode indicar que a estabilidade dos agregados do solo nos sistemas de ILP deve-se à MO mais estabilizada (associada aos minerais).

De acordo com a Figura 1B, observa-se no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, CAM e FP; correlação moderada positiva entre o CFG, FLO, NT e FLL e correlação muito fraca entre CBM e Pt. Ainda neste fator, os indicadores Ds e Pt apresentam correlação inversamente proporcional. Os indicadores DMP e RBS não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação muito fraca no segundo fator.



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

Para a camada de 0,05-0,10m, analisando simultaneamente as Figuras 1B e 2B, assim como foi constatado na camada anterior, podemos verificar novamente que as variáveis do “fator matéria orgânica” estão mais associadas ao CN. As variáveis do “fator compactação” e “fator carbono microbiano” estão relacionadas à PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (DMP e RBS) estão associadas tanto para o CN quanto para o MI.

Os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Lanzaova et al. (2007), que ao avaliarem pastagem composta de aveia preta e azevém em Jari, RS, observaram



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

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
0 - 0,05 m												
Ds	1											
Pt	-0,62*	1										
DMP	-0,34	0,28	1									
COT	-0,22	0,01	0,41	1								
NT	-0,26	0,03	0,50*	0,94*	1							
CFG	-0,29	-0,13	0,23	0,92*	0,88*	1						
CAM	0,08	0,31	0,52*	0,48	0,42	0,09	1					
FLL	-0,27	0,04	0,44*	0,95*	0,93*	0,87*	0,47	1				
FLO	0,09	0,22	0,00	0,40	0,33	0,22	0,52*	0,34	1			
FP	-0,17	-0,17	0,30	0,76*	0,70*	0,79*	0,18	0,67*	-0,17	1		
RBS	-0,46	0,03	0,34	0,72*	0,66*	0,76*	0,13	0,68*	0,11	0,71*	1	
CBM	-0,35	0,05	0,57*	0,75*	0,65*	0,70*	0,37	0,72*	0,00	0,79*	0,75*	1
0,05 - 0,10 m												
Ds	1											
Pt	-0,07	1										
DMP	-0,09	0,01	1									
COT	0,03	0,08	-0,11	1								
NT	-0,12	0,05	-0,09	0,78*	1							
CFG	-0,20	0,22	0,21	0,81*	0,65*	1						
CAM	0,16	-0,01	-0,28	0,94*	0,73*	0,56*	1					
FLL	-0,18	-0,20	-0,06	0,75*	0,71*	0,55*	0,73*	1				
FLO	0,25	0,08	-0,17	0,76*	0,46	0,57*	0,74*	0,49*	1			
FP	-0,01	0,21	-0,14	0,89*	0,75*	0,72*	0,83*	0,56*	0,56*	1		
RBS	-0,35	0,15	-0,00	-0,17	-0,28	-0,02	-0,23	-0,18	-0,02	-0,17	1	
CBM	-0,22	0,44	0,32	0,52*	0,44	0,75*	0,29	0,16	0,35	0,45	0,13	1
0,10 - 0,20 m												
Ds	1											
Pt	-0,48	1										
DMP	-0,23	-0,08	1									
COT	-0,26	-0,06	0,27	1								
NT	-0,40	-0,25	0,31	0,73*	1							
CFG	0,26	-0,37*	0,21	0,30	-0,03	1						
CAM	-0,39	0,11	0,18	0,90*	0,77*	0,16	1					
FLL	-0,18	-0,17	0,15	0,31	0,36	0,36	0,16	1				
FLO	-0,02	-0,25	0,15	0,88*	0,62*	0,35	0,75*	0,36	1			
FP	-0,26	0,05	0,36	0,84*	0,61*	0,19	0,78*	0,07	0,55*	1		
RBS	0,19	-0,48	-0,11	0,09	0,02	0,33	-0,06	0,24	0,27	-0,03	1	
CBM	-0,23	-0,05	0,42	0,85*	0,68*	0,29	0,75*	0,28	0,76*	0,79*	0,14	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.

que através da Ds foi possível constatar em curto espaço de tempo a compactação do solo nas camadas superficiais. Da mesma forma, Cardoso et al. (2009) constataram que os teores de CBM foram significativamente alterados pelo pastejo contínuo da pastagem nativa, reduzindo 51% do CBM 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 adequado indicador da qualidade do solo em áreas cultivadas com pastagens.

Na camada de 0,05-0,10 m, apenas 14 coeficientes de correlação (21,21% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 2). Assim como foi visualizado na Figura 1B, na

Tabela 5 podemos destacar algumas correlações positivas significativas entre COT × CAM (0,94), COT × FP (0,89) e CAM × FP (0,83). Analisando a figura 1C, pode-se observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, FLO, CBM, FP, NT e CAM; correlação fraca positiva entre RBS, FLL e DMP. Ainda neste fator, o indicador CFG apresenta correlação inversamente proporcional com a Ds e a Pt. Os indicadores Ds e Pt não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação inversamente proporcional muito fraca no segundo fator.

Na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 2), apenas 11 coeficientes de correlação (16,67% do total) foram superiores a 0,7. Dentre as correlações obtidas destacam-se algumas significativas como: as correlações positivas entre

o CBM com COT, CAM, FLO e FP ( $r = 0,85; 0,75; 0,76$  e  $0,79$ , respectivamente). Resultados semelhantes foram obtidos nesta camada por Rangel & Silva (2007), que ao avaliarem os estoques de carbono, nitrogênio e das frações orgânicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo do solo encontraram correlação de 0,95 entre CBM  $\times$  COT e 0,93 entre CBM  $\times$  FP.

Para a camada de 0,10-0,20 m, analisando simultaneamente as Figuras 1C e 2C, constata-se novamente que a maior parte das variáveis do “fator matéria orgânica” estão mais associadas ao CN. As variáveis RBS, FLL e as do “fator carbono da fração grosseira” e “fator agregação” aos sistemas MI e PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (Ds e Pt) podem ser relacionadas aos três sistemas de uso do solo.

## Conclusões

O “Fator Matéria Orgânica”, constituído por carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono da fração grosseira, carbono associado aos minerais, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, carbono da fração leve livre, carbono da fração leve oclusa e carbono da fração pesada foram os que mais contribuíram para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas, sendo os mais sensíveis para detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas;

De maneira geral, observando as três camadas estudadas, os indicadores que compõem o “fator matéria orgânica” estão mais associados ao campo nativo, os indicadores do “fator agregação”, “fator compactação” e “fator carbono microbiano” estão mais associados à pastagem e os indicadores respiração basal do solo, fração leve livre e porosidade total estão mais relacionados ao sistema milho. A densidade do solo encontra-se relacionada aos três sistemas de uso.

## Literatura Citada

- Balbino, L.C.; Cordeiro, L.A.M.; Porfírio-da-Silva, W.; Moraes, A.; Martínez, G.B.; Alvarenga, R.C.; Kichel, A.N.; Fontaneli, R.S.; Santos, H.P.; Franchini, J.C.; Galerani, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.i-xii, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>.
- Balbinot Junior, A.A.; Moraes, A.; Veiga, M.; Pelissari, A.; Dieckow, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000107>.
- Cambardella, C.A.; Elliott, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.3, p.777-783, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.
- Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Moreira, F.M.S.; Curi, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.6, p.631-637, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>.
- Conceição, P.C.; Boeni, M.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Mielniczuk, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.2, p.541-549, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200009>.
- Conte, O.; Levien, R.; Trein, C.R.; Cepik, C.T.C.; Debiasi, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, p.220-228, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100016>.
- 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. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.3, p.852-863, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>.
- Dias, B.O.; Silva, C.A.; Soares, E.M.B.; Bettiol, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.4, p.901-911, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400011>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- Ferreira, A.S.; Camargo, F.A.O.; Vidor, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.4, p.991-996, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>.
- Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C. 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*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 654p.
- Gazolla, P.R.; Guareschi, R.F.; Perin, A.; Pereira, M.G.; Rossi, C.Q. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, n.2, p.693-704, 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>.
- Guareschi, R.F.; Pereira, M.G.; Perin, A. 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*, v. 36, n. 3, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.
- Hasenack, H. Campos gaúchos estão ameaçados. *Jornal da Universidade*, 2007. <http://www.ufrgs.br/biociencias/imagens/P%2005%20-%20Atualidade.pdf>. 29 Set. 2017.

- Hungria, M.; Franchini, J.C.; Brandão-Junior, O.; Kaschuk, G.; Souza, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*, v.42, n.3, p.288-296, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.005>.
- Instituto Brasileiro de Florestas - IBF. Bioma Pampa. <http://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa.html>. 29 Mai. 2017.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo agropecuário: agricultura familiar primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 265p.
- Inda Junior, A.V.; Bayer, C.; Conceição, P.C.; Boeni, M.; Salton, J.C.; Tonin, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. *Ciência Rural*, v.37, n.5, p.1301-1307, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000500013>.
- Lanzanova, M.E.; Nicoloso, R.S.; Lovato, T.; Eltz, F.L.F.; Amado, T.J.C.; Reinert, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>.
- Lima, R.P.; Silva, A.R.; Raminelli, J.A. Importância de atributos físicos do solo na identificação da compactação. *Revista Verde*, v.8, n.1, p.93-97, 2013. <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1852/1512>. 13 Nov. 2017.
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Giácomo, S.G.; Perin, A.; Anjos, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.46, n.10, p.1269-1276, out. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>.
- Macedo, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n. spe, p.133-146, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>.
- Marchão, R.L. Balbino, L.C.; Silva, E.M.; Santos Júnior, J.D.G.; Sá, M.A.C.; Vilela, L. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.6, p.873-882, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600015>.
- Mendonça, E.S.; Matos, E.S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: UFV, 2005. 107p.
- Oliveira, D.G.; Reis, E.; Medeiros, J.C.; Couto, R.F.; Holtz, V.; Madari, B.E. Correlação espacial e linear de atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária. *Ciência Agrícola*, v.15, n.1, p.69-77, 2017. <https://doi.org/10.28998/rca.v15i1.2470>.
- Ortigara, C.; Koppe, E.; Luz, F.B.; Bertollo, A.M. Kaiser, D.R.; Silva, V.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.2, p.619-626, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200026>.
- Palmeira, P.R.T.; Pauletto, E.A.; Teixeira, C.F.A.; Gomes, A.S.; Silva, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.2, p.189-195, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200001>.
- Pereira, S.A.; Oliveira, G.C.; Severiano, E.C.; Balbino, L.C.; Oliveira, J.P. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science and Technology*, v.3, n.2, p.87-97, 2010. <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/257/162>. 05 Nov. 2017.
- Pragana, R.B.; Ribeiro, M.R.; Nóbrega, J.C.A.; Ribeiro Filho, M.R.; Costa, J.A. Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.5, p.1591-1600, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>.
- Rangel, O.J.P.; Silva, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1609-1623, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>.
- Salton, J.C.; Mercante, F.M.; Tomazi, M.; Zanatta, J.A.; Concenço, G.; Silva, W.M.; Retore, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward asustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.190, n.1, p.70-79, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.
- Schiavo, J.A. Colodro, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bragantia*, v.71, n.3, p.406-412, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000035>.
- Silva, R.F.; Guimarães, M.F.; Aquino, A.M.; Mercante, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000023>.
- Sisti, C.P.J.; Santos, H.P.; Kohmann, R.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.76, n.1, p.39-58, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>.
- Stieven, A.C.; Oliveira, D.A.; Santos, J.O.; Wruck, F.J.; Campos, D.T.S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.9, n.1, p.53-58, 2014. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3525>.