

Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária

Lais Martinkoski¹, Gabriel Felipe Vogel², Sidnei Osmar Jadoski³,
Luciano Farinha Watzlawick³

¹Eixo de Recursos Naturais, Instituto Federal Farroupilha – IFFar, Júlio de Castilhos/RS, Brasil

²Departamento de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Laranjeiras do Sul/PR, Brasil

³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava/PR, Brasil

RESUMO

Objetivou-se analisar a qualidade física em uma área de floresta em regeneração (FS) há 20 anos quando comparada à área que, neste período, permaneceu sendo manejada com sistema silvipastoril, com espécies arbóreas nativas em espaçamento aleatório (SSP). Foram realizadas coletas até 60 cm de profundidade para obtenção das curvas de retenção de água no solo, a densidade, a porosidade total, a macro e a microporosidade, a resistência mecânica à penetração (RMP) e sua respectiva umidade do solo, no momento da coleta. Houve similaridade entre os sistemas de manejo para as variáveis: densidade do solo, resistência mecânica à penetração e porosidade total. A microporosidade foi maior na FS em relação ao SSP, fazendo com que o sistema silvipastoril apresentasse menor capacidade de armazenamento de água. O isolamento do sistema silvipastoril no período de 20 anos apresentou capacidade de alterar o armazenamento de água no solo devido à modificação na porosidade, tornando-a similar à floresta natural.

Palavras-chave: distribuição de poros, qualidade do solo, sistemas silvipastoris.

Soil Physical Quality Under Silvopastoral Management and Secondary Forest

ABSTRACT

This study aimed to analyze the soil physical quality in a 20-year regenerating forest area (FS) in relation to an area under silvopastoral management during the same period with randomly spaced (SSP) native tree species. Samples were collected up to 60 cm deep to obtain soil water retention curves, density, total porosity, macroporosity, microporosity, mechanical penetration resistance (MPR) and the respective soil moisture at the time of collection. Soil density, mechanical resistance to penetration and total porosity were similar between the management systems. Microporosity was higher in FS than in SSP, leading to lower water storage capacity in the silvopastoral system. The 20-year isolation of the silvopastoral system proved to be able to affect the soil water storage capacity due to changes in porosity, making its soils to reach similar values to natural forest.

Keywords: pore size distribution, soil quality, silvopastoral systems.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por sistemas agrícolas de produção sustentável proporciona destaque aos sistemas agroflorestais (SAFs), visto que, neste sistema, é realizada a combinação entre a implantação ou manutenção

de espécies lenhosas, para retirada de madeira ou outros produtos florestais, junto ao cultivo agrícola e/ou pecuário (Andrade et al., 2012). Relacionados a este sistema de manejo, os sistemas silvipastoris

(SSPs) integram a produção silvícola e as pastagens, contemplando a produção florestal e a pecuária. Neste sistema, o componente florestal e a pastagem podem ser implantados de forma simultânea ou o componente florestal ser introduzido em pastagens já estabelecidas, embora, em alguns casos, ocorra a introdução das pastagens em fragmentos de florestas naturais estabelecidos, quando há a necessidade da utilização destas áreas visando à produção, a exemplo do que ocorre em sistemas denominados “Faxinais”, típicos da região centro-sul do Paraná, sob a abrangência da Floresta Ombrófila Mista (Chang, 1988; Fey & Malavasi, 2013).

Vários benefícios são alcançados neste sistema de produção com relação aos aspectos de solo-planta-animal, destacando-se a conservação do solo e da água, a possibilidade de melhoria das condições físicas, químicas e da atividade biológica na superfície do solo, além do conforto térmico para os animais (Leme et al., 2005).

Enfatizando a qualidade do solo, o uso de indicadores apresenta suma importância nos sistemas de produção sustentável, devido à capacidade de fornecer informações momentâneas das condições físico-químico-biológicas do solo, permitindo mensurar as limitações do ecossistema, promovendo melhor uso e ocupação de um determinado tipo de solo sem que ocorra degradação do mesmo (Araújo & Monteiro, 2007; Aragão et al., 2008). A qualidade física do solo está relacionada à estrutura do solo, sendo determinada pela disponibilidade de água, além da aeração e da resistência que o solo oferece à penetração das raízes (Eavis, 1972; Hamblin, 1985), de modo que a sua perda pode afetar os espaços porosos, prejudicando o fornecimento de água, nutrientes e oxigênio; consequentemente, essa perda acaba prejudicando o desenvolvimento das raízes e de organismos benéficos (Tormena et al., 1998).

Os fatores que atuam no ambiente radicular relacionam-se sob interações complexas e de maneira simultânea; portanto, na avaliação da qualidade do solo em áreas florestais, é recorrente a necessidade de indicadores sensíveis mesmo a pequenas alterações de manejo, pois somente assim torna-se possível comparar os efeitos de uma prática de manejo no solo através do tempo e, assim, verificar a sustentabilidade destas práticas adotadas em áreas com este tipo de cobertura vegetal (Doran & Parkin, 1994).

Desta forma, o presente estudo objetivou analisar as influências do manejo silvipastoril implantado em remanescente de floresta natural, por meio de indicadores de qualidade física do solo, além de estimar a capacidade de alteração que duas décadas de isolamento do pastoreio ocasionam sobre estes mesmos indicadores, em uma área florestal em estágio secundário de regeneração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Turvo, na região central do Estado do Paraná, nas coordenadas geográficas: 25°03'31”S – 51°32'04”W, a 1.080 m de altitude, sob domínio da Floresta Ombrófila Mista Alto Montana (IBGE, 2012). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen (1948), é Subtropical Mesotérmico Úmido – Cfb, o qual é caracterizado pela ocorrência de verões frescos e tendência de chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

A propriedade particular em que se localiza a área de estudo apresenta um total de 26,4 hectares (ha), sendo 3,8 ha estudados em trabalhos realizados pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Esta propriedade apresenta um histórico de utilização anterior com o sistema tradicional da região, denominado “Faxinal”, no qual o aspecto ecológico desta modalidade de uso da terra vem sendo mantido mesmo após a desintegração do aspecto social típico deste sistema. Desta forma, foram comparados dois sistemas de uso do solo, sendo estes:

a) Sistema Silvipastoril (SSP): área de 2,0 ha, composta por vegetação arbórea remanescente e regenerante em espaçamento aleatório, adensada com erva-mate e pastagens de gramíneas de diferentes espécies, explorada com bovinocultura leiteira em taxa de lotação variada, apresentando densidade arbórea de 580,5 indivíduos ha⁻¹ e área basal de 23,13 m² ha⁻¹.

b) Floresta Secundária (FS): Reserva legal da propriedade, composta por 1,8 ha e isolada do restante da área com manejo silvipastoril há cerca de 20 anos, formando assim um fragmento florestal em processo secundário de sucessão ecológica, apresentando densidade arbórea de 1.411,5 indivíduos ha⁻¹ e área basal de 36,12 m² ha⁻¹, já sem presença de gramíneas.

A área experimental apresenta relevo variando entre plano e suave ondulado, com solo classificado como Latossolo Bruno Distrófico com textura argilosa, segundo os parâmetros de classificação da SiBCS

(EMBRAPA, 2013). Na Tabela 1, são apresentados os resultados médios das análises químicas e granulométricas do solo nas áreas estudadas.

Os indicadores de qualidade física do solo avaliados foram: densidade do solo (Ds), curva de retenção de água no solo (CRA), porosidade total (Pt), macro (Ma) e microporosidade (Mi), resistência mecânica à penetração (RMP) e umidade do solo (U) durante a coleta da RMP, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

As parcelas experimentais continham 900 m² (30 × 30 m), instaladas no sentido norte-sul. Adotou-se o delineamento em parcelas subdivididas, sendo a parcela constituída pelos dois manejos e a subparcela constituída pelas profundidades. Para análise de Ds, Pt, Ma, Mi e CRA, foram utilizadas oito repetições, enquanto para RMP e U%, foram utilizadas 16 repetições, distribuídas uniformemente na área.

Para as avaliações de porosidade e a curva de retenção de água no solo, foram coletadas amostras indeformadas de solo utilizando-se anéis de kopeck. A curva de retenção de água no solo foi determinada em câmara de pressão de Richards com placas porosas, nas tensões de 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 5 e 15 bar; por fim, as amostras foram levadas à estufa a 105°C por 48 horas, a fim de determinar a massa seca da amostra de solo, seguindo-se a metodologia da EMBRAPA (1997). Nessas amostras, foram determinados: o conteúdo de água retida em cada tensão (Klute, 1986), a densidade do solo (Blake & Hartge, 1986), a microporosidade, por secagem (tensão de 0,1 Bar), a porosidade total (Danielson & Sutherland, 1986) e a macroporosidade, a qual foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. As curvas de retenção de

água foram ajustadas pela equação proposta por Van Genuchten (1980).

As amostras de umidade gravimétrica foram coletadas por meio de trado holandês, concomitantemente à coleta da RMP, a qual foi obtida por meio do penetrômetro eletrônico Falker modelo PenetroLOG – PLG 1020. Estas coletas ocorreram ambas logo após um evento de precipitação pluvial, quando o solo se encontrava em capacidade de campo, o que é indicado para fins comparativos entre áreas que apresentam diferentes manejos (Smith et al., 1997).

Para cada variável, foi realizada a análise de variância (ANAVA ou teste F) no nível de 5% e 1% de significância, para comparação dos tratamentos. Quando não ocorreu interação significativa entre as parcelas e subparcelas, realizou-se teste de Tukey, para comparação entre as profundidades, e teste T de Student, para comparação entre os dois locais, ambos no nível de 5% e 1% de significância. As análises foram realizadas com a utilização do programa estatístico ASSISTAT versão 7.7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre a parcela (locais) e a subparcela (profundidades) para nenhuma das variáveis estudadas. Para densidade do solo (Tabela 2), não foram verificadas diferenças entre os locais silvipastoril e floresta secundária, havendo diferença estatística somente entre as profundidades analisadas, de modo que a camada de 0-20 cm de profundidade apresentou menor Ds em comparação às profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm. Estes dados são

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo nas áreas de Floresta Secundária e Sistema Silvopastoril, em Turvo-PR.

Table 1. Chemical and granulometrics characteristics of the soil in the areas of secondary forest and Silvopastoral System Turvo-PR.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻¹	P mg dm ⁻³	K -----cmolc dm ⁻³ -----	Ca	Mg	H + Al -----	V (%)	Areia -----g kg ⁻¹ -----	Silte	Argila
Floresta Secundária											
0-20	4,0	45,6	1,7	0,08	1,7	1,3	9,65	24,0	250	180	570
20-40	4,0	44,3	1,6	0,06	1,8	1,0	9,65	22,7	250	160	580
40-60	4,0	42,3	1,4	0,05	0,7	1,3	8,32	19,9	250	170	590
Sistema Silvopastoril											
0-20	4,1	44,3	2,3	0,08	1,4	2,0	8,13	30,4	280	210	510
20-40	4,0	43,6	1,7	0,06	0,9	2,2	8,32	27,6	260	200	540
40-60	4,0	42,3	1,5	0,05	1,0	2,4	9,65	26,1	280	170	550

corroborados por Luciano et al. (2010) e Castro et al. (2012), os quais verificaram aumento da densidade do solo com o aumento na profundidade em avaliações de áreas de floresta nativa, enquanto em áreas com sistemas silvipastoris, este mesmo comportamento foi verificado por Dalben & Osaki (2008) e Martini et al. (2014).

Segundo Pequeno (2013), este comportamento se deve às condições de adensamento natural do solo, por definição, ocorrendo devido às pressões promovidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes. Há, ainda, a movimentação de materiais finos dos horizontes superiores para os inferiores, os quais reduzem os espaços dos poros, promovendo este fenômeno. Este efeito pode ser atribuído ainda à matéria orgânica, a qual demonstrou valores semelhantes em ambos os locais. Cunha et al. (2011) e Marcolin & Klein (2011) relatam contribuição da matéria orgânica sobre a redução dos valores de densidade, bem como Pezzoni et al. (2012) demonstram correlação significativa entre a matéria orgânica proveniente da serrapilheira e baixas densidades, o que se deve principalmente ao efeito amortecedor desta, promovendo dissipação de parte da energia aplicada, além da capacidade em estabelecer ligações entre as partículas do solo, aumentando a coesão e promovendo maior agregação, o que acaba, assim, afetando indiretamente os demais atributos físicos do solo (Braidia et al., 2006).

A resistência mecânica à penetração (RMP), quando comparada à densidade do solo, é a medida que melhor expressa o potencial de crescimento das raízes. Na Tabela 3, são apresentados os resultados estatísticos referentes à RMP, em que é possível verificar o mesmo comportamento observado com a densidade aparente do solo. Em áreas manejadas com sistemas silvipastoris, este mesmo comportamento foi encontrado por Lima et al. (2013) e Lima et al. (2014), enquanto em áreas sob floresta nativa, diversos autores observaram aumento significativo na RMP, com o aumento da profundidade a partir dos 20 cm (Dalben & Osaki, 2008; Ibiapina et al., 2014).

Segundo Reichert et al. (2007), solos em áreas florestais tendem a concentrar e manter a umidade do solo estável devido ao sombreamento e ao acúmulo de matéria orgânica da serrapilheira proveniente das árvores. Desta forma, é possível visualizar o mesmo comportamento dos resultados para as variáveis Ds e RMP, o que é corroborado pelos resultados de Azevedo & Sverzut (2007), os quais verificaram que a RMP ocorreu em função da densidade do solo.

Para porosidade total, macro e microporosidade (Tabela 4), é possível verificar que a Pt não demonstrou diferença significativa entre os locais avaliados, porém a profundidade 0-20 cm apresentou maior Pt em ambos os locais, em relação às demais profundidades.

Tabela 2. Densidade do solo em área com manejo em Sistema Silvopastoril (SSP) e sob Floresta Secundária (FS), em Turvo-PR.

Table 2. Soil density in area management in Silvopastoral System (SSP) and in secondary forest (FS) in Turvo-PR.

Profundidade (cm)	SSP	FS	Média
-----Densidade do Solo (Mg m ⁻³)-----			
0-20	0,87	0,83	0,85 b
20-40	0,96	0,93	0,95 a
40-60	0,94	0,90	0,92 a
Média	0,92 a	0,89 a	

As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelos Testes de Tukey e Student, respectivamente, no nível de 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3. Resistência Mecânica à Penetração (MPa) em área com manejo em Sistema Silvopastoril (SSP) e sob Floresta Secundária (FS), em Turvo-PR.

Table 3. Mechanical resistance to penetration (MPa) in area management in Silvopastoral System (SSP) and in secondary forest (FS) in Turvo-PR.

Profundidade (cm)	SSP	FS	Média
0-20	0,90	0,79	0,85 b
20-40	1,04	0,97	1,01 a
40-60	1,13	1,05	1,09 a
Média	1,02 a	0,94 a	

As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelos Testes de Tukey e Student, respectivamente, no nível de 1% de probabilidade de erro.

Vale ressaltar que a porosidade total do solo é inversamente proporcional à densidade (Tormena et al., 2002) e que, desta forma, os valores de Pt maiores em proximidade à superfície do solo, geralmente são encontrados em áreas sob floresta nativa (Jakelaitis et al., 2008; Luciano et al., 2010).

Os valores de Pt encontrados podem ser considerados elevados, porém esta é uma característica comum aos Latossolos, devido à sua formação de agregados. Cabe destacar que limitações relacionadas à porosidade de aeração são raras, exceto em casos de compactação severa, excesso de umidade e elevado teor de argila (Leão et al., 2004).

Em áreas manejadas, o comportamento de diminuição da Pt em profundidade foi verificado por Sousa et al. (2014), em áreas com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, e por Pignataro et al. (2009), em áreas compostas por diferentes pastagens. Destaca-se ainda que esses últimos autores encontraram valores de Pt de 0,69 até 0,61 m³ m⁻³ ao longo do perfil, sendo esses valores semelhantes aos obtidos neste estudo. Desta forma, pode-se inferir que o isolamento da área de FS e o próprio SSP não modificaram a porosidade total, considerando-se ambos os locais com comportamento de áreas sem manejo.

Para a variável macroporosidade, ambas as áreas avaliadas apresentaram condições favoráveis

ao desenvolvimento das plantas, devido a todos os valores se apresentarem acima de 10 m³ m⁻³, o qual é definido como limitante ao crescimento radicular (Dexter, 1988); a redução dos macroporos abaixo deste valor pode restringir a transmissão de água e nutrientes através da zona radicular (Bevan, 1980). Assim, a área FS apresentou valores críticos para esta variável, o que pode comprometer a drenagem e a difusão de oxigênio, limitando a respiração radicular e gerando menor exploração do solo pelas raízes das plantas (Drewry et al., 1999).

O SSP apresentou macroporosidade significativamente maior, fato ocasionado devido ao manejo neste local. Silva et al. (2014) relatam valores de macroporosidade entre 0,17 e 0,21 m³ m⁻³ no perfil entre 0-40 cm de profundidade, em área de pastagem; desta forma, salienta-se que solos cobertos predominantemente por poáceas forrageiras contêm espaços porosos maiores, ocasionando maior velocidade de infiltração de água e maior aeração. Este comportamento foi observado por autores como Bertol et al. (2000) e Kondo et al. (2012), os quais enfatizam que o crescimento do sistema radicular das plantas poáceas acarreta um aumento na macroporosidade do solo, pelo fato de a decomposição das raízes fasciculadas destas plantas gerar um aumento do número de macroporos, influenciando a macroporosidade e a porosidade total do solo. Para este indicador, não houve diferença entre

Tabela 4. Porosidade total, Macro e Microporosidade em área com manejo em Sistema Silvopastoril (SSP) e sob Floresta Secundária (FS), em Turvo-PR.

Table 4. Total porosity, macro and microporosity in area management in Silvopastoral System (SSP) and in secondary forest (FS) in Turvo-PR.

Profundidade (cm)	SSP	FS	Média
-----Porosidade Total (m³ m⁻³)-----			
0-20	0,63	0,63	0,63 a
20-40	0,60	0,61	0,61 b
40-60	0,60	0,61	0,61 b
Média	0,61 a	0,62 a	
-----Macroporosidade (m³ m⁻³)-----			
0-20	0,18	0,10	0,14 a
20-40	0,16	0,10	0,13 a
40-60	0,16	0,11	0,13 a
Média	0,16 a	0,10 b	
-----Microporosidade (m³ m⁻³)-----			
0-20	0,45	0,53	0,49 a
20-40	0,45	0,51	0,47 b
40-60	0,44	0,50	0,47 b
Média	0,45 b	0,51 a	

As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelos Testes de Tukey e Student, respectivamente, no nível de 1% de probabilidade de erro.

as profundidades analisadas, o que se deve à ausência de efeito relacionado à compactação na superfície do solo ou ainda ao efeito amortecedor da matéria orgânica (Braida et al., 2006).

Na microporosidade, verifica-se ainda na Tabela 4, que a FS apresentou valores superiores quando comparados aos encontrados no SSP, ao passo que a profundidade de 0-20 cm se mostrou estatisticamente superior em relação às camadas mais profundas. Corroborando com os resultados obtidos, Marques et al. (2012) encontraram valores de microporosidade variando entre 0,50 e 0,55 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ao longo do perfil de 0 a 200 cm em área de floresta secundária, sendo estes valores superiores quando comparados aos resultados de área com sistema agroflorestal e área de pastagens.

Martini et al. (2014), avaliando as propriedades físicas em solo sob diferentes manejos, relataram que a floresta nativa apresentou valores superiores

de microporosidade quando comparados aos de um sistema frutipastoril, sendo este efeito mais pronunciado nas camadas mais próximas à superfície.

No que se refere à variável umidade do solo, conforme demonstrado na Tabela 5, a FS apresentou teor médio significativamente maior, o que se deve à maior concentração de poros responsáveis pelo armazenamento de água no solo, em comparação ao SSP. Assim, estes resultados tendem a estar relacionados à maior capacidade de retenção de água neste local, o que fornece maior teor de umidade no solo, quando este se encontra em capacidade de campo. Esta afirmação pode ser embasada pelo comportamento das curvas de retenção de água no solo para as três profundidades analisadas, conforme demonstrado na Figura 1.

O processo de armazenamento e circulação da água é regulado pela estrutura do solo, sendo que áreas sob domínio de floresta podem apresentar maior

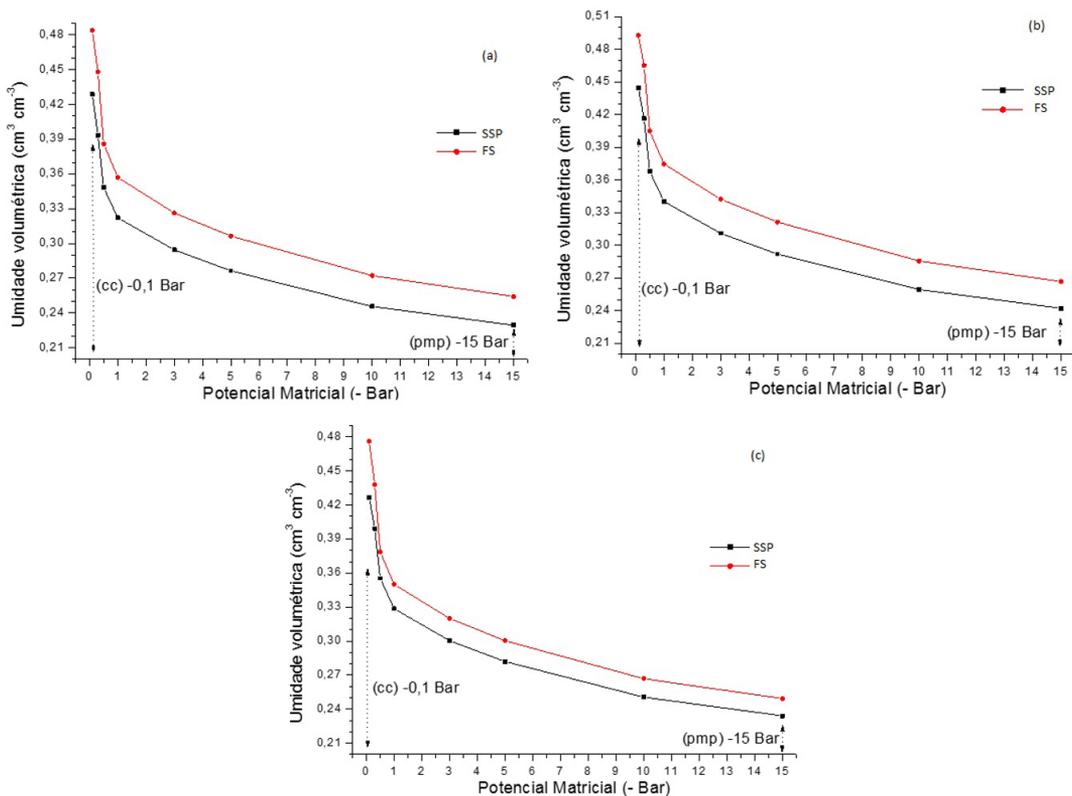


Figura 1. Curvas de retenção de água no solo em Sistema Silvopastoril (SSP) e Floresta Secundária (FS), nas camadas 0-20 cm (a); 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). CC corresponde à capacidade de campo em 0,1 Bar e PMP corresponde a ponto de murcha permanente em 15 Bar.

Figure 1. Water retention curves in soil Silvopastoral System (SSP) and secondary forest (FS) in the layers 0-20 cm (a); 20-40 cm (b) 40-60 cm and (c). CC corresponds to field capacity at 0.1 bar and PMP corresponds to the point of wilting at 15 Bar.

Tabela 5. Umidade do solo em área com manejo em Sistema Silvopastoril (SSP) e sob Floresta Secundária (FS), em Turvo-PR.

Table 5. Soil moisture in area management in Silvopastoral System (SSP) and in secondary forest (FS) in Turvo-PR.

Profundidade (cm)	SSP	FS	Média
----- Umidade gravimétrica (g g ⁻¹) -----			
0-20	0,54	0,58	0,56 a
20-40	0,52	0,55	0,53 b
40-60	0,51	0,54	0,53 b
Média	0,53 b	0,56 a	

As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelos Testes de Tukey e Student, respectivamente, no nível de 1% de probabilidade de erro.

capacidade em armazenar água devido à melhor estrutura do solo (Guimarães et al., 2014). A maior CRA ocorre em função da elevada microporosidade em áreas de floresta nativa, uma vez que a formação de poros com menor diâmetro favorece a retenção de água por capilaridade; ressalta-se que, em alta concentração, a microporosidade pode reter a água mesmo em tensões elevadas, dificultando a absorção das plantas (Silva et al., 2008; Ramos et al., 2013).

Outro fator atribuído ao menor teor de umidade do SSP deve-se à maior drenagem profunda, favorecida pelos macroporos neste sistema, ou ainda à possível maior taxa de evaporação de água do solo, ocasionada por uma menor cobertura vegetal desta área (Menezes et al., 2013).

4. CONCLUSÃO

Não foi verificado efeito de degradação oriundo do manejo com sistema silvipastoril sobre as variáveis: densidade do solo, resistência mecânica à penetração e porosidade total. A microporosidade demonstrou ser maior na área florestal em relação ao sistema manejado, fazendo com que o sistema silvipastoril apresentasse menor capacidade de armazenamento de água.

O isolamento no período de 20 anos da área que anteriormente apresentava sistema de manejo silvipastoril, além de capaz de alterar a vegetação local, colocando-a em estágio secundário de regeneração, demonstrou ser capaz de modificar a capacidade de armazenamento de água devido à modificação da porosidade, tornando-a similar a áreas sob florestas naturais.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 21 ago., 2016

Aceito: 28 ago., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Lais Martinkoski

Eixo de Recursos Naturais, Instituto Federal Farroupilha, Rodovia RS-527, s/n, Distrito de São João do Barro Preto, CEP 98130-000, Júlio de Castilhos, RS, Brasil
e-mail: lais.martinkoski@iffarroupilha.edu.br

REFERÊNCIAS

- Andrade CMS, Salman AK, Oliveira TK. *Guia do Arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris*. Brasília, DF: EMBRAPA; 2012. 345 p.
- Aragão DV, Carvalho CJR, Kato OR, Araújo CM, Santos MP, Mourão M Jr. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta Amazônica* 2008; 42(1): 11-18.
- Araújo ASF, Monteiro RTR. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal* 2007; 23(3): 66-75.
- Azevedo EC, Sverzut CB. Alterações dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem no sudoeste do estado de Mato Grosso. *Revista Agropecuária Tropical* 2007; 9(1): 7-23.
- Bertol I, Almeida JA, Almeida EX, Kurtz C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de Capim Elefante-Anão cv. Mott. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2000; 35(5): 1047-1054. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X200000500024>.
- Bevan, K. The grandon underwood field drainage experiment. *Institute of Hidrology Report* 1980; 65: 30.
- Blake GR, Hartge KH. Particle density. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; 1986. part. 1, p. 377-382.
- Braida JA, Reichert JM, Veiga M, Reinert DJ. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2006; 30(4): 605-614. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001>.

- Castro MA, Cunha FF, Lima SF, Paiva VB No, Leite DAP, Magalhães FF et al. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-MatoGrossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium* 2012; 3(2): 498-512.
- Chang MY. *Faxinal do Paraná*. Londrina: IAPAR; 1988.
- Cunha EQ, Stone LF, Moreira JAA, Ferreira EPB, Didonet AD, Leandro WM. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa 2011; 35(2): 589-602.
- Dalben AD, Osaki F. Atributos físicos do solo de um cambissolo háplico em floresta nativa e de *Pinus taeda*. *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais* 2008; 6(1): 29-37.
- Danielson RE, Sutherland PL. Porosity. In: Klute A. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; 1986. part. 1, p. 443-461.
- Dexter AR. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research* 1988; 11(3-4): 199-238. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90002-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(88)90002-5).
- Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DE, Stewart BA. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 3-21.
- Drewry JJ, Lowe JA, Paton RJ. Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in southland. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 1999; 42(4): 493-499. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.1999.9513399>.
- Eavis BW. Soil physical conditions affecting seedling root growth: I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture level in a sandy loam soil. *Plant and Soil* 1972; 36(1-3): 613-622. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01373511>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de Solo*. 2. ed. Rio de Janeiro; 1997. 212 p. (Documentos 1).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, DF; 2013. 353 p.
- Fey R, Malavasi UC. Sistema Silvopastoril: uma revisão com apontamentos a agricultura familiar. In: Kuhn OJ, Fey R, Prior M, Klein J, Nunes RV, Stangarlin JR et al. *Avanços tecnológicos com responsabilidade ambiental da produção agropecuária*. Cascavel: ASSOESTE; 2013. p. 31-53.
- Guimarães DV, Gonzaga MIS, Araújo EM, Melo JON No, Tinel JI Jr. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um argissolo amarelo em Sergipe. *Revista Caatinga* 2014; 27(3): 183-189.
- Hamblin AP. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Advances in Agronomy* 1985; 38: 95-158. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60674-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60674-4).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro; 2012. 217 p.
- Ibiapina TVB, Salviano AAC, Nunes LAPL, Mousinho FEP, Lima MG, Soares LMS. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. *Científica* 2014; 42(4): 411-418. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n4p411-418>.
- Jakelaitis A, Silva AA, Santos JB, Vivian R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 2008; 38(2): 118-127.
- Klute A. Water retention: laboratory methods. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; 1986. part. 1, p. 635-662.
- Kondo MK, Albuquerque CJB, Wendling B, Sulva PB, Cardoso MM. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agrônomicas do sorgo granífero. *Bioscience Journal* 2012; 28(Supplement 1): 33-40.
- Köppen W. *Climatologia: com um estudio de los climas de La Tierra*. México: Fondo de Cultura Económica; 1948. 478 p.
- Leão TP, Silva AP, Macedo MCM, Imhoff S, Euclides VPB. Least limiting water range in the evaluation of continuous and short-duration grazing systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2004; 28(3): 415-422.
- Leme TMSP, Pires MFA, Verneque RSV, Alvim MJ, Aroeira LJM. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Ciência e Agrotecnologia* 2005; 29(3): 668-675. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000300023>.
- Lima RP, León MJ, Silva AR. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. *Revista Ceres* 2013; 60(4): 577-581. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400018>.
- Lima IMA, Araújo MC, Barbosa RS. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. *ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido* 2014; 9(1): 117-124.
- Luciano RV, Bertol I, Barbosa FT, Kurtz C, Fayd JA. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparado a mata natural, num Cambissolo Háplico. *Revista de Ciências Agrovetinárias* 2010; 9(1): 9-19.
- Marcolin CD, Klein VA. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. *Acta Scientiarum. Agronomy* 2011; 33(2): 349-354.

- Martini IC, Rosa DP, Trindade FS, Silva KPX, Lunedo P, Marcelli G et al. Propriedades físicas de um Nitossolo sob diferentes usos de exploração agropecuária. *RAMVI Getúlio Vargas* 2014; 1(1): 1-12.
- Marques JDO, Luizão FJ, Teixeira WG, Ferreira SF. Variação do carbono orgânico dissolvidos e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 2012; 36(2): 611-622. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200030>.
- Menezes JAL, Santos EM, Montenegro AAA, Silva JR. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. *Water Resources and Irrigation Management* 2013; 2(1): 45-51.
- Pignataro IT No, Kato E, Goedert WJ. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 2009; 33(5): 1441-1448. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500034>.
- Pequeno PLL. *Noções básicas de uso e manejo do solo*. Porto Velho: EDUFRO; 2013. 59 p.
- Pezzoni T, Vitorino ACT, Daniel O, Lempp B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *Cerne* 2012; 18(2): 293-301. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000200014>.
- Ramos BZ, Pais PSM, Freitas WF, Dias MS Jr. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo- Lavras/ Minas Gerais/Brasil. *Revista de Ciências Agrárias (Belém)* 2013; 36(3): 340-346.
- Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ. Compactação de solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos limites críticos e mitigação. In: Ceretta CA, Silva LS, Reichert JM. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. vol. 5, p. 49-134.
- Silva FF, Freddi OS, Centurion JF, Aratani RG, Andrioli FF, Andrioli I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. *Irriga* 2008; 13(2): 191-204.
- Silva RL, Matias SSR, Lobato MGR, Nobrega JCA. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região do Piauí. *Revista Caatinga* 2014; 27(3): 160-168.
- Smith CW, Johnston MA, Lorentz S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of south African forestry soils. *Geoderma* 1997; 78(1/2): 93-111. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00029-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00029-3).
- Sousa EL No, Andrioli I, Almeida RG, Macedo MCM, Lal R. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 2014; 38(2): 608-618. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200025>.
- Tormena CA, Silva AP, Libardi PL. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 1998; 22(4): 573-581. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400002>.
- Tormena CA, Barbosa MC, Costa ACS, Gonçalves CA. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Revista Scientia Agricola* 2002; 59(4): 795-801. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>.
- Van Genuchten MTA. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 1980; 44(5): 892-897. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>.