

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLO SOB PASTAGENS PERENES DE VERÃO ⁽¹⁾

HENRIQUE PEREIRA DOS SANTOS ^(2*); ROBERTO SERENA FONTANELI ⁽³⁾; SILVIO TULIO SPERA ⁽⁴⁾;
RENATO SERENA FONTANELI ⁽⁵⁾; GILBERTO OMAR TOMM ⁽⁶⁾

RESUMO

Atributos químicos e físicos de um Nitossolo Vermelho Eutrófico léptico argiloso foram avaliados em Passo Fundo (RS) em um experimento sobre o desempenho agronômico de três gramíneas perenes de verão (capim quicuío, capim elefante e capim Tifton 68) para a produção de leite após duas estações de crescimento. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Avaliou-se também o solo sob floresta subtropical em área adjacente ao experimento. Os valores de pH, Al, Ca e Mg trocáveis, e P extraível diferiram, em algumas camadas, entre as pastagens estudadas. Algumas pastagens, em relação à floresta nativa favoreceram a elevação do teor de P, em todas as camadas avaliadas. Entre as pastagens, não houve diferença significativa para o teor de carbono do solo. Sob capins houve maior acúmulo de carbono, na camada de 0-20 cm do solo, em comparação à floresta. A densidade do solo e a resistência à penetração não diferiram entre as pastagens, em ambas as camadas, porém nas camadas de 0 a 5 cm e na de 10 a 15 cm, houve aumento desses valores, em relação à floresta subtropical. As porosidades totais e a macroporosidade não diferiram entre as três espécies de pastagens, mas houve redução dos valores em comparação com a floresta subtropical.

Palavras-chave: quicuío, *Pennisetum clandestinum*, capim elefante, *P. purpureum*, Tifton 68, *Cynodon nlemfuensis*.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 5 de março de 2008 e aceito em 24 de abril de 2009.

⁽²⁾ Embrapa Trigo. Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo (RS). Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq-PQ. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br (*) Autor correspondente.

⁽³⁾ Universidade de Passo Fundo - FAMV. Caixa Postal 611, 99001-970 Passo Fundo (RS).

⁽⁴⁾ Embrapa Trigo e doutorando em Agronomia - Produção Vegetal na Universidade de Passo Fundo - PPGAgro. E-mail: spera@cnpt.embrapa.br

⁽⁵⁾ Embrapa Trigo e UPF-FAMV. Bolsista CNPq. E-mail: renatof@cnpt.embrapa.br

⁽⁶⁾ Embrapa Trigo. E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br

ABSTRACT**SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES UNDER PERENNIAL SUMMER PASTURES**

Soil chemical and physical characteristics were evaluated on a Rhodic Nitisol Eutrophic clayey located in Passo Fundo, Rio Grande do Sul State, Brazil in a trial of agronomic performance of three perennial summer grasses (kikuyu grass, elephant grass and Tifton 68 grass) for milk production after two growing seasons. The trial used a complete randomized block design replicated three times. Soil samples were also taken in a fragment of subtropical forest near the experiment. Soil reaction (pH), aluminum, calcium, magnesium, and phosphorus varied according to the studied soil layer. Some grasses increased the level of phosphorus content in all layers. Pastures increased accumulated carbon levels in the 0-20 cm layer in comparison to subtropical forest. No differences among grass species were observed for soil organic matter contents. Soil bulk density and soil mechanical resistance did not differ among pastures in both sampling layers. However, in the 0-5 cm layer (and in the 10-15 cm), these values increased in comparison to the subtropical forest. Total porosity and macroporosity did not differ among of three grass species, but the values were respectively lower and greater in comparison to soil forest.

Key words: kikuyu grass, *Pennisetum clandestinum*, elephant grass, *P. purpureum*, Tifton 68, *Cynodon nlemfuensis*.

1. INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul, a produção de leite tem continuamente aumentando em produtividade e em escala nos últimos anos, constituindo-se uma das principais atividades em muitas propriedades que adotam a integração de pastagens com a produção de grãos (MELLO, 2000). O uso de forrageiras, seja para pastejo direto, para conservação na forma de silagem seja para feno, requer manejo adequado.

As gramíneas forrageiras perenes têm potencial elevado para a produção de leite (ALVIM, 1998). Nas condições do Rio Grande do Sul há necessidade de avaliações de espécies perenes tropicais tais como capim quicuío (*Pennisetum clandestinum*), capim elefante (*P. purpureum*) e capim Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis*). Como essas gramíneas suportam elevada carga animal, o uso intensivo pode provocar alteração nos níveis de fertilidade e nas propriedades físicas do solo. SANTOS et al. (2001), trabalhando com elevada carga animal durante dois a três dias, seis vezes ao ano, observaram nas espécies perenes de estação fria (festuca, cornichão, trevo branco e trevo vermelho) e de verão (Pensacola), na camada superficial do solo sob sistema plantio direto, maior nível de matéria orgânica do que nos sistemas com pastagens anuais (aveia preta e ervilhaca). Nesse caso, as pastagens perenes persistem por período mais prolongado, permitindo que as gramíneas desenvolvam sistema radicular extenso e em constante renovação.

Essas forrageiras possibilitam o ajuste de carga animal no período de outubro a abril em pastejo com lotação rotativa. Entretanto, por permitirem elevada carga animal, a compactação do solo surge como possível problema de manejo de solo, pois tem sido apontada como uma das principais causas de

degradação de pastagens (ANJOS, et al., 1994; ALBUQUERQUE, et al., 1995; MELLO, 2000). O excesso de carga animal causada por elevada lotação sobre as pastagens pode afetar negativamente alguns atributos físicos do solo, aumentar a suscetibilidade à erosão hídrica, com conseqüente diminuição da capacidade produtiva das pastagens. A avaliação das propriedades físicas do solo: densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo têm sido usados para indicar restrições ao desenvolvimento de plantas (TREIN et al., 1991; ALBUQUERQUE et al., 2001; SPERA et al., 2004a; 2004b).

Além disso, tem sido apregoado que rotação de culturas sob sistema plantio direto, incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, pode alterar positivamente as propriedades físicas e químicas do solo (DA ROS et al., 1997; SANTOS e TOMM, 1999; ALBUQUERQUE et al., 2001).

Atualmente, em decorrência dos problemas de emissão de gases (CO₂, N₂O, CH₄ e CFC: clorofluorcarboneto) e do conseqüente efeito estufa, tem sido muito grande o interesse no estudo do comportamento dos solos quanto à sua capacidade de armazenar ou perder C, sob diversas condições de manejo (CORAZZA et al., 1999). A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas introduzidas causa redução no conteúdo e alteração na qualidade de C do solo (FEIGL et al., 1995). Todavia, dependendo do manejo aplicado, pode ocorrer equilíbrio com a recuperação e até mesmo acumulação, o que seria ecologicamente vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO₂ da atmosfera, reduzindo o efeito estufa e os impactos da atividade agrícola no ambiente (LAL et al., 1995b).

As pastagens estudadas e a floresta subtropical funcionam como depósito de carbono no solo. No trabalho desenvolvido por CORAZZA et al. (1999), os sistemas sem revolvimento de solo com pastagem cultivada (*Brachiaria decumbens*), reflorestamento de eucalipto e lavoura em rotação sob plantio direto foram superiores, para o nível de carbono do solo, em relação à vegetação típica de cerrado e lavoura sob preparo convencional de solo com arado de discos e com grade pesada (sistema sem revolvimento), na camada 0-100 cm. Aproximadamente um terço desse carbono encontra-se na camada 0-20 cm. De acordo com os mesmos autores, após 12 anos, o balanço do C indica que os solos sob manejo não revolvidos funcionaram como depósito de C-CO₂ da atmosfera e os solos revolvidos foram fontes de evolução de C-CO₂ para a atmosfera. No estudo de D'ANDRÉA et al. (2004), com sistemas de manejo de solo, rotação de culturas e integração lavoura pecuária, pastagem e lavoura sob plantio direto foram promissores para aumentar os estoques de carbono do solo, em comparação ao cerrado nativo e à lavoura sob preparo convencional de solo.

O presente trabalho objetivou avaliar alterações químicas e físicas do solo no desenvolvimento agrônomico de três gramíneas perenes de verão (capim quicuío, capim elefante e capim Tifton 68) para produção de leite após duas estações de crescimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, em um Nitossolo Vermelho Eutrófico léptico argiloso (STRECK et al., 2002), no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os seguintes tratamentos: capim quicuío (*Pennisetum clandestinum*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis*). A área era anteriormente ocupada com lavouras de soja sob sistema plantio direto. O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo subtropical úmido (Cfa), com chuvas bem distribuídas durante o ano. A temperatura média anual é de cerca de 16 °C, com ocorrência de geadas e, às vezes, neve e chuva congelada. Os invernos são frios e rigorosos, com ocorrências de geadas severas e frequentes (temperatura média superior a 3 °C e inferior a 12,7 °C). As primaveras têm temperaturas bem variadas, com tardes quentes, variando entre 24 °C e 30 °C, e manhãs e noites moderadamente frias. Nos verões, as temperaturas mais altas ocorrem em janeiro, atingindo 31 °C. Há ocorrência de secas ocasionais no verão.

No período de estudo, a produção de massa seca de lâminas foliares foi 18,1 Mg ha⁻¹ de capim elefante, 16,1 Mg ha⁻¹ de capim quicuío e de 16,0 Mg ha⁻¹ de capim Tifton 68. Os animais receberam suplementação concentrada duas vezes ao dia após as ordenhas. A produção de leite para animais consumindo o capim Tifton 68 foi de 21 kg animal dia⁻¹, capim quicuío de 20 kg animal dia⁻¹ e de capim elefante de 20 kg animal dia⁻¹. Cada parcela recebeu grupos de três ou quatro vacas de raça européia (6 a 7 unidades animal ha⁻¹). O ciclo de pastejo para os capins quicuío e Tifton 68 foi de 15 dias (1 dia de pastejo e 14 dias de descanso), no período de novembro de 2002 a junho de 2003 e de novembro de 2003 a abril de 2004. A oferta de forragem foi estimada em 3 kg de massa de matéria seca de lâmina foliar por 100 kg de peso vivo. A massa de forragem disponível por ocasião da entrada dos animais foi, respectivamente, de 2.500, 2.800 e 3.600 kg de massa de matéria seca para os tratamentos capim quicuío, capim Tifton 68 e capim elefante (FONTANELI, 2005). O solo de um fragmento de floresta subtropical adjacente ao experimento também foi amostrado, com o mesmo número de repetições, representando a condição de fertilidade química e de estrutura física original do solo.

O solo foi corrigido cinco anos antes do estabelecimento do experimento. A composição química média do solo, quando do estabelecimento do experimento foi: pH em água 5,4; P e K, 10 e 93 mg dm⁻³ respectivamente, enquanto Al, Ca, Mg e CTC eram: 3,0; 43; 22 e 108 mmol_cdm⁻³ respectivamente. A argila do solo representou o teor de 580 g kg⁻¹ de solo. Quatro meses após o estabelecimento das pastagens foram aplicados 6 t ha⁻¹ de cama de aviário com relação de N-P₂O₅-K₂O de 4-2-2. No ano seguinte, foram aplicados 500 kg ha⁻¹ de adubo da fórmula 5-20-20 e mais 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. No segundo período de estudo, foram mantidos os mesmos níveis de adubação com N, P₂O₅ e K₂O. A adubação nitrogenada atingiu um total de 500 de N ha⁻¹, para os dois anos de estudo, usando-se o critério de aplicação, após o pastejo, divididas em aplicações de 40 kg ha⁻¹ para os capins Tifton 68 e capim quicuío e de 80 kg ha⁻¹ para o capim elefante.

Em março de 2003, foram coletadas amostras de solo compostas de três subamostras por parcela, em cada uma das seguintes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm. Foram realizadas análises de pH em água, P extraível, K trocável, Matéria orgânica, Al trocável e Ca e Mg trocáveis, de acordo com o método descrito por TEDESCO et al. (1995).

O carbono acumulado, em cada camada foi determinado pela expressão: $C_{\text{acumulado}} = C \cdot D_s \cdot L$, onde $C_{\text{acumulado}}$ corresponde ao carbono acumulado em Mg ha^{-1} ; C é o conteúdo de carbono em g kg^{-1} de solo; D_s é a densidade do solo em g cm^{-3} ; e L é a espessura da camada em centímetros (ROSCOE e MACHADO, 2002).

Também em março de 2003, amostras indeformadas de solo foram coletadas com anéis volumétricos nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm e submetidas à mesa de tensão para determinação de densidade do solo, porosidade total e macroporosidade (EMBRAPA, 1997). A resistência à penetração de solo foi obtida mediante medições com penetrômetro de solo marca Soiltest, modelo S-210, sendo tomadas em cada parcela, 12 leituras por profundidade estudada, próximo aos locais de coleta de solo com os anéis metálicos.

As variáveis de resposta foram submetidas à análise de variância, ao nível de 5% de significância, usando-se o pacote estatístico SAS, versão 8.2 (STATISTICAL, 2003). As médias foram comparadas entre si, pelo teste de Scheffé, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Química do solo - Os valores médios de pH, Al trocável, cálcio e magnésio trocável, matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável e carbono do solo, constam na tabela 1. Não houve diferenças significativas entre o valor de pH do solo sob as forrageiras estudadas e dessas com a floresta subtropical nativa (FST), nas camadas de 0-5 e 10-15 cm, havendo maior pH na pastagem de capim quicuío e capim elefante, em relação à floresta subtropical, nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm. Para capim quicuío, capim elefante e FST, não houve diferença significativa para pH entre as profundidades, mas no tratamento Tifton 68 na camada 0-5 cm, em comparação com a camada 10-15 cm, verificou-se menor pH, o que pode refletir acidificação gerada pelo maior consumo de bases trocáveis por esta gramínea, uma vez que o capim Tifton 68 extrai altas quantidades de nutrientes (SANTOS et al., 2002).

Em trabalho desenvolvido por SANTOS et al. (2003), envolvendo sistemas de produção de grãos com pastagens perenes de estação fria e de estação quente, houve acidificação da camada 0-5 cm, necessitando aplicação de calcário após sete anos para possibilitar o cultivo de leguminosas (SOCIEDADE, 2004). A acidificação do solo nessa camada pode ter ocorrido por retirada de bases decorrente da exportação de nutrientes via massa

de matéria seca, produção de ácidos orgânicos da decomposição da palhada e aplicação da cama de aviário (PAIVA et al., 1996; FRANCHINI et al., 2000). Para o valor de Al trocável no solo, não houve diferença significativa, para as pastagens em todas as camadas.

Resultados semelhantes foram observados por SANTOS et al. (2001), comparando sistemas de produção de grãos com sistemas de produção envolvendo pastagens perenes de estação fria, pastagens de estação quente e pastagens anuais de inverno após cinco anos de cultivo. Como era esperado, porém, o maior valor de Al trocável foi observado na FST, principalmente na camada entre 5 e 20 cm, em comparação à camada de 0-5 cm. O maior valor de Al na camada 0-5 cm, na FST, pode ser resultado do efeito complexante da matéria orgânica sobre o Al, que é maior na superfície, em razão das altas taxas de matéria orgânica (SALET et al., 1999) Resultado concordante foi obtido por SANTOS et al. (2004), comparando o sistema misto de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão com a FST somente na camada de 10-15 cm.

Os teores de Ca e Mg trocáveis no solo, em todas as camadas, estão acima dos níveis críticos para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região que são, respectivamente, 40 e 10 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (SOCIEDADE..., 2004). A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico cinco anos antes do início do referido experimento. A aplicação de calcário dolomítico forneceu Ca e Mg em quantidades adequadas para que superassem o nível crítico exigido pelas espécies vegetais de pastagens estudadas, que também são 40 e 10 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ respectivamente (SOCIEDADE..., 2004). Desta maneira, as parcelas sob forrageira quicuío proporcionaram maior valor para Ca trocável do solo, em todas as camadas estudadas e para Mg trocável do solo, abaixo de 5 cm, em relação à FST. Os maiores valores de Ca (33 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) e de Mg (23 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), para FST ocorreram na camada de 0-5 cm. Nas parcelas de capim quicuío e na FST o valor de Ca do solo foi maior na camada 0-5 cm do que na camada 15-20 cm. Esse valor também foi verdadeiro para o capim quicuío e FST, em relação ao teor de Mg.

Não houve diferença significativa para o nível de matéria orgânica do solo entre as pastagens estudadas e a FST. Resultado similar foi obtido por SANTOS et al. (2004), relacionando o sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e a FST.

Tabela 1. Valores médios de pH em água, Al trocável, Ca trocável, Mg trocável, matérias orgânicas, P extraível, K trocável e carbono, determinados no solo sob pastagens perenes e na floresta subtropical

Pastagem	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
	pH (água 1:1)			
Capim quicuío	5,7 Aa	5,5 Aa	5,9 Aa	5,9 Aa
Capim elefante	5,6 Aa	5,4 Aa	5,5 Aab	5,6 Aa
Tifton 68	5,2 Ba	5,5 ABa	5,6 Aab	5,5 ABab
Floresta nativa	5,3 Aa	5,1 Aa	5,0 Ab	5,0 Ab
	Alumínio (mmol _c dm ⁻³)			
Capim quicuío	3,5 Aa	2,4 Aa	3,3 Ab	4,9 Ab
Capim elefante	6,0 Aa	6,2 Aa	6,5 Ab	6,2 Ab
Tifton 68	5,4 Aa	4,0 Aa	4,3 Ab	6,1 Ab
Floresta nativa	7,7 Ca	14,2 BCa	18,7 ABa	23,1 Aa
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)			
Capim quicuío	67 Aa	61 ABa	61 ABa	56 Ba
Capim elefante	53 Aab	51 Aa	51 Aa	48 Aa
Tifton 68	63 Aab	60 Aa	54 Aa	49 Aa
Floresta nativa	33 Ab	17 Bb	10 Bb	6 Bb
	Magnésio (mmol _c dm ⁻³)			
Capim quicuío	33 Aa	32 Aa	30 Aa	30 Aa
Capim elefante	24 Aa	23 Aab	22 Aa	23 Aa
Tifton 68	27 Aa	26 Aab	24 Aa	22 Aa
Floresta nativa	23 Aa	15 Bb	9 BCb	6 Cb
	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)			
Capim quicuío	42 Aa	35 Ba	31 BCa	30 Ca
Capim elefante	39 Aa	33 Ba	31 Ba	29 Ba
Tifton 68	45 Aa	36 Aba	31 Ba	31 Ba
Floresta nativa	48 Aa	32 Ba	26 Ba	25 Ba
	Fósforo extraível (mg kg ⁻¹)			
Capim quicuío	19,5 Aa	8,6 Bab	6,6 Ba	4,8 Bab
Capim elefante	14,9 Aab	9,5 ABab	6,3 Bab	5,2 Bab
Tifton 68	20,9 Aa	14,9 ABa	8,5 Ba	7,1 Ba
Floresta nativa	2,3 Ab	1,8 Ab	1,4 Ab	1,2 Ab
	Potássio trocável (mg kg ⁻¹)			
Capim quicuío	101 Aa	67 ABa	44 Ba	33 Ba
Capim elefante	62 Aa	36 Ba	29 Ba	29 Ba
Tifton 68	86 Aa	32 Aa	22 Aa	24 Aa
Floresta nativa	151 Aa	83 ABa	46 Ba	34 Ba
	Carbono acumulado na camada 0-20 cm (g kg ⁻¹)			
Capim quicuío	109,0 a			
Capim elefante	104,9 a			
Tifton 68	109,6 a			
Floresta nativa	88,8 a			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Scheffé.

O maior nível de matéria orgânica, no capim quicuiu, no capim elefante e na FST ocorreu na camada de 0-5 cm, em comparação com as demais camadas estudadas, exceto para Tifton 68, em que não houve diferença significativa para a camada de 5-10 cm, indicando que essas pastagens podem contribuir para o aumento do nível de matéria orgânica do solo em superfície e, conseqüentemente, da fertilidade do solo. A manutenção do nível de matéria orgânica em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, resultante da ausência de incorporação física destes por revolvimento (BAYER e MIELNICZUK, 1997). De acordo com SALET et al. (1999), o acúmulo de matéria orgânica em uma camada de solo aumenta a força iônica da solução de solo. Esse processo explica, em parte, a menor toxicidade de Al, na camada superficial, em razão da menor atividade iônica do Al.

O teor de P extraível no solo, na camada de 0-5 cm, em todas as pastagens estudadas, foi superior ao valor considerado crítico ($9,0 \text{ mg kg}^{-1}$) nesse tipo de solo para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (SOCIEDADE..., 2004). O cultivo do solo provoca alterações nas propriedades químicas do solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas espécies (PAIVA et al., 1996). Não houve diferenças significativas para o teor de P do solo entre as pastagens. O menor teor de P ocorreu na FST, pois este tratamento não recebeu adubação e se encontra em solo naturalmente pobre em P extraível. Em todas as pastagens estudadas, o valor de P na camada de 0-5 cm foi maior do que o teor registrado nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm. Dados similares foram observados por MATOWO et al. (1999); SANTOS e TOMM (1999) e SANTOS et al. (2001; 2003). O acúmulo de P extraível próximo à superfície do solo decorre de aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais e da menor fixação de P, em razão do menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos de solo, uma vez que não há incorporação de resíduos vegetais através do revolvimento de solo em pastagens (WISNIEWSKI e HOLTZ, 1997).

O teor de K trocável do solo observado na camada de 0-5 cm nos capins quicuiu e Tifton 68 e na FST foi superior ao considerado crítico (80 mg kg^{-1}) para o crescimento e o desenvolvimento de culturas (SOCIEDADE..., 2004). Não houve diferença significativa para o K do solo entre as pastagens estudadas em todas as camadas avaliadas. Para os capins quicuiu e elefante, o valor de K na camada 0-5 cm foi maior do que o ocorrido na camada 15-20 cm. A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo

de K trocável na camada próxima à superfície nas diferentes pastagens estudadas. Esse acúmulo de K trocável equivalente, na camada de 0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm, foi observado por DE MARIA et al. (1999); SANTOS e TOMM (1999) e SANTOS et al. (2001; 2003).

Não houve diferença significativa entre as pastagens estudadas e nem dessas para FST para o nível de carbono acumulado no solo, na camada 0-20 cm. Portanto, o nível de carbono não foi influenciado pelos sistemas estudados, nessas camadas. Pelo observado nesse período de estudo, as pastagens tenderam a apresentar, em valores absolutos, maior nível de carbono do que a FST. Apenas na camada de 10-15 cm as pastagens tiveram maior nível de carbono do que a FST. De acordo com CORAZZA et al. (1999), existe a possibilidade de sistemas específicos como pastagens e lavoura sob plantio direto promoverem aumento do nível de carbono, contribuindo assim para o seqüestro do C atmosférico, ao contrário dos sistemas convencionais, que com revolvimento sistemático do solo, tendem a atuar em sentido oposto. SISTI et al. (2004) salientaram que os estoques de carbono e nitrogênio na matéria orgânica do solo foram dependentes, principalmente, do sistema de manejo de solo utilizado; aqueles sistemas em que a movimentação do solo foi reduzida a uma vez ao ano (cultivo mínimo) ou ausente (plantio direto) foram os que contribuíram para a manutenção dos estoques de C e N no perfil do solo; em tais sistemas, houve maior acúmulo que em FST.

Na camada de 0-20 cm, o acúmulo de carbono no solo foi de $109,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o capim quicuiu, de $104,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o capim elefante, de $109,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o capim Tifton 68 e de $88,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a FST. É importante ressaltar que incrementos de N, proporcionados pela adubação nitrogenada favorecem o acúmulo de carbono no solo (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Esses resultados podem também estar relacionados aos valores de pH. De acordo com MOREIRA e SIQUEIRA (2002), a mineralização da matéria orgânica nas áreas de pastagens pode ser influenciada por substâncias excretadas pelas raízes de algumas gramíneas, que inibem a nitrificação, e pela existência de menores valores de pH que ocorrem nessas condições, afetando o nível de carbono no solo. Segundo LAL et al. (1995a), a ocupação do solo por atividade com reduzida intensidade de preparo ou sem preparo pode favorecer a recuperação e o acúmulo de C, sendo esses, superiores ao verificado em vegetação nativa.

Atributos físicos do solo - Os valores de densidade de solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e resistência do solo à penetração,

podem ser observados na tabela 2. Houve diferença significativa entre as médias para densidade do solo na camada 0-2 cm para as pastagens, em relação a FST. Em solo sob capim elefante houve maior densidade do que quando sob floresta subtropical, sendo semelhante ao capim quicuío e ao Tifton 68, na camada de 0-2 cm. No estudo realizado por SPERA et al (2004a; 2006), em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, comparando sistemas de produção de grãos com pastagens perenes de estação fria e de estação quente e a FST, ou relacionando o sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e a FST, nas camadas de 0-2 cm e 10-15 cm, não foi observada diferença entre os tratamentos. Na camada de 10-15 cm a densidade do solo não diferiu entre os tratamentos estudados. Os valores verificados na camada de 0 a 2 cm estão próximos daqueles geralmente constatados em

pastagens no Rio Grande do Sul. Esses resultados indicam que o pisoteio do gado promoveu aumento na densidade do solo na superfície, em relação à condição original (FST).

A densidade de solo é uma característica empregada na avaliação do estado estrutural do solo. Nas pastagens estudadas, exceto para capim elefante, não houve indícios de severa compactação de solo, embora os valores verificados na superfície tenham se mantido abaixo de um valor considerado como limitante para os latossolos argilosos do Rio Grande do Sul. De acordo com KLEIN e LIBARDI (2000) e KLEIN e CÂMARA (2007), esses valores situam-se ao redor de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, nos solos da região, com ótimo o intervalo hídrico, e a faixa de umidade e aeração do solo não limitante é crítica, para resistência à penetração entre 2 e 3 MPa.

Tabela 2. Atributos físicos nas camadas de solo de 0-5 e 10-15 cm de profundidade, determinados no solo sob pastagens perenes e na floresta subtropical

Pastagem	Profundidade (cm)	
	0-5 cm	10-15 cm
	Densidade de solo (Mg m^{-3})	
Capim quicuío	1,33 Aa	1,39 Aa
Capim elefante	1,46 Aa	1,35 Aa
Tifton 68	1,33 Aa	1,32 Aa
Floresta nativa	1,09 Ab	1,23 Bb
	Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
Capim quicuío	0,514 Aab	0,462 Ba
Capim elefante	0,487 Ab	0,468 Aa
Tifton 68	0,462 Ab	0,472 Aa
Floresta nativa	0,586 Aa	0,476 Ba
	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
Capim quicuío	0,429 Aa	0,385 Aa
Capim elefante	0,414 Aa	0,382 Aa
Tifton 68	0,372 Aa	0,374 Aa
Floresta nativa	0,374 Aa	0,394 Aa
	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
Capim quicuío	0,085 Ab	0,078 Aa
Capim elefante	0,074 Ab	0,086 Aa
Tifton 68	0,090 Ab	0,097 Aa
Floresta nativa	0,212 Aa	0,082 Ba
	Resistência à penetração (kgf cm^{-2})	
Capim quicuío	3,33 Aa	3,43 Aa
Capim elefante	3,64 Aa	3,16 Aa
Tifton 68	3,25 Aa	3,04 Aa
Floresta nativa	1,30 Bb	1,78 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Scheffé.

No presente trabalho, três ou quatro bovinos foram colocados para pastejar durante 15 dias. TREIN et al. (1991) observaram, em Argiloso Vermelho distrófico típico argiloso com lotação elevada de animais (200) e por 40 horas, aumento da densidade do solo de 1,39 para 1,56 Mg m⁻³, após pastejo. Como se tratava de solo argiloso que se encontrava úmido constatou-se compactação na área.

Observou-se que, sob o capim elefante, a densidade do solo na camada de 0-2 cm foi bem maior que na camada de 10-15 cm. Esse capim é uma gramínea de hábito cespitoso e como os bovinos caminham entre as touceiras, isso explica a maior compactação nessas parcelas.

Houve diferença significativa para porosidade total entre as pastagens, na camada de 0-2 cm. Observou-se na FST porosidade total maior sob capins elefante e Tifton 68, na camada de 0-2 cm, porém sem diferir do capim quicuío. SPERA et al. (2004a), estudando o sistema de produção de grãos com pastagens perenes de estação fria e de estação quente, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, em Passo Fundo (RS), constataram valores de densidade de solo menores que os obtidos no presente estudo. Porém, neste estudo, da camada de 10-15 cm não se observaram diferenças significativas entre as pastagens estudadas. ANJOS et al. (1994), estudando diferentes sistemas de manejo de solo e floresta, e SPERA et al. (2006) não verificaram diferenças entre os tratamentos para porosidade total, comparando o sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e a FST, em Latossolo Vermelho Distrófico argiloso de Coxilha (RS).

Em razão do pisoteio pelos bovinos era de se esperar maiores valores de densidade no solo na camada 0-2 cm. Entretanto, valores razoavelmente elevados foram constatados também na camada de 10-15 cm. Como a área foi gradeada para a semeadura das forragens, essa maior densidade pode ser consequência da compactação promovida pelos implementos agrícolas (SPERA et al., 2004a). Nessas camadas, a maior densidade e a menor porosidade total também podem ser resultantes da presença de horizonte nítico, formado pela iluviação de argila oriunda da camada superficial, que pode reduzir, já na camada de 10 a 15 cm, parte dos macroporos.

Não houve diferença significativa para microporosidade entre as pastagens em ambas as camadas estudadas (Tabela 2). SPERA et al. (2004a), estudando o sistema de produção de grãos com pastagens perenes de estação fria e de estação quente e a floresta subtropical em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, observaram diferenças para microporosidade entre os tratamentos. Resultados

similares para microporosidade foram obtidos por SPERA et al. (2006), relacionando o sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e a floresta subtropical em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

A macroporosidade do solo não diferiu, em ambas as camadas estudadas, entre os tratamentos com pastagens perenes, havendo diferença significativa apenas entre cada pastagem comparada com a floresta subtropical. Essas diferenças podem ser atribuídas às diferenças morfológicas do sistema radicular das espécies, que podem constituir formas diversas de microporos (CORSINI e FERRAUDO, 1999). SPERA et al. (2006), verificaram diferenças significativas para macroporosidade entre o sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e a floresta subtropical. De acordo com BOUMA (1991), os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas. Assim os macroporos devem ser manejados de modo que não sofram redução em seu volume. A redução da macroporosidade tende a refletir na porosidade de aeração e na disponibilidade de água no solo, com consequências negativas no desenvolvimento radicular das plantas e no rendimento de grãos.

A resistência à penetração, na maioria dos tratamentos estudados, em ambas as camadas, foi maior que os da floresta subtropical, refletindo efeito desfavorável do pisoteio contínuo promovido pelos bovinos. Nas pastagens, a resistência à penetração não variou entre as profundidades. A resistência à penetração nos níveis observados nas pastagens está indicando aumento de densidade e redução na porosidade total e macroporosidade. Assim, em parcelas sob pastagens podem também ocorrer redução na aeração do solo, nas taxas de infiltração de água e maior suscetibilidade à erosão (CORSINI e PERRAUDO, 1999).

Observando-se os valores de macroporosidade, porosidade total, densidade e resistência de solo à penetração (Tabela 2), constata-se que na estrutura de solo, devido à atividade agropecuária, a pode ter havido alterações em direção à degradação, em todas as pastagens estudadas, comparando-se à floresta subtropical. Esse fato foi observado também por ARGENTON (2000) e por SPERA et al. (2006). Entretanto, deve-se considerar que os animais foram introduzidos para pastejar por 15 dias consecutivos. TREIN et al. (1991) verificaram em um experimento que a resistência à penetração do solo antes do pastejo era de 8,4 kgf cm⁻² e após um período de algumas horas de pastejo com a lotação de 200 cabeças por hectare, aumentou para 40,3 kgf cm⁻², na camada de 0-7,5 cm.

4. CONCLUSÕES

1. O manejo das pastagens permite manter os teores de matéria orgânica, P e K, principalmente na camada de 0-5 cm, promovendo acúmulo de nutrientes na superfície.

2. A densidade do solo, a resistência à penetração e os valores de porosidade total e de macroporosidade não diferem entre as pastagens, em ambas as camadas.

3. Ocorre redução de macroporosidade do solo na camada de 0-2 cm das pastagens, em comparação à floresta subtropical, evidenciando efeito do pisoteio dos bovinos.

4. As pastagens são promissoras para aumentar o estoque de carbono do solo. Há acúmulo de carbono, na camada de 0-20 cm, sendo valores maiores que a condição original de floresta subtropical.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.5, p.717-723, 2001.
- ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A. Potencial forrageiro do coast-cross para produção de leite a pasto. *Revista dos Criadores*, v.68, p.28-29, 1998.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.139-145, 1994.
- ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura de milho**. 2000. 97p. Dissertação (Dissertação em Agronomia) – Faculdade Agronomia – UDESC, Lages.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.235-239, 1997.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Advances in Agronomy*, v.46, p.1-36, 1991.
- CORSINI, P.C.; PERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade de solo e no desenvolvimento do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.289-295, 1999.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.425-432, 1999.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.179-186, 2004.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.241-247, 1997.
- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.51, p.71-79, 1999.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Brasília: SPI, 1997. 212p. (Embrapa Solos. Documentos, 1)
- FEIGL, B.; MELILLO, J.; CERRI, C.C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). *Plant & Soil*, v.21, p.21-29, 1995.
- FONTANELI, Rob.S. **Produção de leite de vacas da raça holandesa em pastagens tropicais perenes no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2005. 168f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M.; GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.459-467, 2000.
- KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.221-227, 2007.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. *Ciência Rural*, v.30, p.959-964, 2000.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A., eds. **Soils and Global Changes**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995a. Chap. 1, p.1-7.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. Towards improving the global data base on soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A., eds. **Soils and Global Changes**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995b. Chap. 35, p.433-436.
- MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. *Soil & Tillage Research*, v.50, p.11-19, 1999.

- MELLO, J. da S. Produção de forragens para o gado leiteiro, no sistema plantio direto. In: KOCHHANN, R.A.; TOMM, G.O.; FONTANELI, R.S. In: Sistemas de produção de leite baseado em pastagens sob plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo; Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Bagé: Embrapa Pecuária Sul; Montevideu: Procisur, 2000. p.215- 228.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.
- PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.71-75, 1996.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.
- SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica UNICRUZ**, v.1, p.9-13, 1999.
- SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.645-653, 2001.
- SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; BAIER, C.A.; TOMM, G.O. **Principais forrageiras para integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, nas regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 142p.
- SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção com pastagens sobre o rendimento e fertilidade do solo sob plantio. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.9, p.101-111, 2003.
- SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e no nível de matéria orgânica do solo, sob plantio direto. In: EMBRAPA TRIGO. **Soja: resultados de pesquisa 2003-2004**. Passo Fundo, 2004. p.126-149.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, v.29, p.259-265, 1999.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; KOCHHANN, R. A.; 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 & Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394p.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; FONTANELI, R.S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v.9, p.23-31, 2004a.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; FONTANELI, R.S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004b.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, p.1.193-1.200, 2006.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. **SAS system for Microsoft Windows**, version 8.2. Cary, 2003.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2002. 126p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. 2. ed. rev. e ampl. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.105-111, 1991.
- WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada com liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.1.191-1.197, 1997.