

SOMBREAMENTO E FERTILIZAÇÃO NITROGENADA SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO EM UMA PASTAGEM DE BRACHIARIA BRIZANTHA CV. MARANDU¹

Guilherme Lanna Reis², Ângela Maria Quintão Lana², Regina Maria Quintão Lana³, Adriane Andrade Silva³, Gustavo Henrique Ferreira Abreu Moreira⁴,
Frederico Miranda Pereira², Raissa Macaron Longo², Rodrigo Matta Machado⁵

RESUMO – Objetivou-se avaliar a influência da fertilização nitrogenada e do sombreamento artificial sobre os atributos de solos em uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv Marandu (BBM). O experimento foi conduzido na Fazenda Águas Formosas, em Caeté/MG, a aproximadamente 1000 m de altitude, nas coordenadas 19°47'39''S e 43°36'77''O. O solo é classificado como Latossolo vermelho. A BBM foi submetida a quatro doses de adubação (0, 50, 70 e 100 kg de N por aplicação por hectare) em cinco épocas e a quatro percentuais de sombreamento (0, 47, 53 e 66%) por meio de tela de nylon. O sombreamento reduziu a mineralização da matéria orgânica o que influencia na menor disponibilidade dos nutrientes nela complexados. A aplicação de N favoreceu a exportação da maioria dos nutrientes avaliados. Os teores dos nutrientes tenderam a reduzir em função do aumento da profundidade.

Palavras-chave: Armazenamento de carbono, fertilidade do solo, luminosidade, pastagem, sistema silvipastoril

SHADING AND NITROGEN FERTILIZATION ON SOIL ATTRIBUTES IN A PASTURE OF BRACHIARIA BRIZANTHA CV. MARANDU

ABSTRACT – This study assessed the influence of nitrogen fertilization and artificial shade on the attributes of soil and forage in a pasture of Brachiaria brizantha cv Marandu (BBM). The experiment was conducted at Fazenda Águas Formosas in Caeté, Minas Gerais State, Brazil, 19°47'39''S, 43°36'77''W, altitude 1000 m. The soil is a Red latosol by the Brazilian soil classification (Typic Acrustox - USDA classification). BBM was subjected to four levels of fertilization (0, 50, 70 and 100 kg N per hectare per application) and four levels of shading (0, 47, 53 and 66%) through a nylon mesh. Shading reduced the mineralization of organic matter, affecting the lower availability of complexed nutrients. N application favored the exportation of most nutrients assessed. Nutrient content tended to decrease with depth.

Key Words: Carbon sinking, light, pasture, silvopastoral system, soil fertility

¹Parte da tese do primeiro autor, financiada pela Fapemig e CNPq

²Depto. de Zootecnia, Escola de Veterinária, UFMG, Caixa Postal 567, 30123-970, Belo Horizonte, MG – guilhermelanna@yahoo.com.br

³Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

⁴Depto. de Clínica, Escola de Veterinária, UFMG, Caixa Postal 567, 30123-970 Belo Horizonte, MG

⁵ Instituto de Ciências Biológicas, Escola de Veterinária, UFMG, Caixa Postal 567, 30123-970 Belo Horizonte, MG

1. INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam área considerável no planeta (Conant et al., 2001). Algumas técnicas de estabelecimento e manejo precisam ser revistas, uma vez que, segundo Neely et al. (2009), globalmente, em torno de 73% das pastagens apresenta degradação do solo. De acordo com Vilela (2001), isso, além de reduzir a produção animal e aumentar os custos de produção, causa prejuízos ambientais como a perda de solo por erosão, redução da disponibilidade de água, assoreamento de cursos d'água e perda da biodiversidade.

Há uma preocupação mundial sobre o reflexo das mudanças de uso do solo sobre o ciclo do carbono (Powers et al., 2003). Em relação às emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE), a atividade pecuária responde por 18% do total, 9% do gás carbônico (CO₂), 37% do metano (CH₄) e 65% das emissões de óxido nitroso (N₂O). Grande parte do CO₂ origina das mudanças do uso do solo, principalmente pelo desmatamento. Além disso, as atividades pecuárias são responsáveis por 64% das emissões antropogênicas de amônia (NH₃), que contribuem de forma significativa para a chuva ácida e para a acidificação de ecossistemas (Steinfeld et al., 2006). O acúmulo de amônio (NH₄) no solo pode comprometer a agregação e reduzir a infiltração de água (Haynes & Naidu, 1998).

O armazenamento de carbono nos solos agrícolas pode auxiliar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. O aumento da fertilidade do solo leva à estabilização da matéria orgânica e em muitos casos ao sequestro de CO₂ (Stalenga & Kawalec, 2008). Técnicas de manejo como fertilização, introdução de leguminosas e/ou minhocas, adequação da carga animal, irrigação, utilização de plantas perenes, podem influenciar a quantidade de matéria orgânica do solo sob pastagens (Conant et al., 2001).

Os efeitos da aplicação de fertilizantes no solo são tanto diretos (influência nos processos químico-físicos) e quanto indiretos (incremento da produtividade e do retorno da matéria orgânica, por meio da senescência de tecidos vegetais e exsudatos de substâncias orgânicas produzidos pelas raízes vivas que aumentam a atividade biológica) (Haynes & Naidu, 1998).

Diante da necessidade de aumento de produtividade por área, frequentemente as árvores nas pastagens são consideradas como um empecilho à maior produção de forragem, por restringirem a luminosidade disponível. Andrade (2001), procurando identificar os principais fatores limitantes do crescimento do capim Tanzânia, conduziu um experimento, durante o qual aplicaram fertilizantes contendo nitrogênio, fósforo e potássio em um sistema silvipastoril, associação de árvores e pastagens. A gramínea havia sido implantada há quatro anos e o eucalipto há cinco anos. A hipótese do estudo baseou-se na "lei do mínimo": caso o principal fator limitante ao crescimento da gramínea fosse a baixa disponibilidade de luz ou efeitos alelopáticos do eucalipto, não haveria resposta da gramínea à fertilização, ou essa resposta seria muito pequena. Os resultados obtidos evidenciam que o crescimento da gramínea estava sendo restringido pela baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, pois ocorreu elevada resposta à adubação nitrogenada. De acordo com Reis et al. (2010), se o sombreamento for excessivo pode reduzir a produção de forragem e consequentemente a quantidade de matéria orgânica no solo.

Assim, há grande importância de, no contexto atual das mudanças climáticas, do crescimento da população mundial e da demanda por alimentos, analisar algumas técnicas utilizadas

na produção animal, como a presença de árvores em pastagens e a fertilização mineral de forrageiras, em relação a aspectos produtivos e ambientais. Objetivou-se avaliar a influência da fertilização nitrogenada e do sombreamento artificial sobre o armazenamento de carbono no solo e demais variáveis do solo em uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv Marandu (BBM).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e localização do sistema

O experimento foi conduzido na Fazenda Águas Formosas, em Caeté/MG, a aproximadamente 1.000m de altitude, nas coordenadas 19°47'39"S e 43°36'77"O, em uma encosta com declividade de até 45°. A vegetação original é típica de Mata Atlântica, mais precisamente floresta tropical estacional semidecidual (Velloso et al., 1991). O solo é classificado como Latossolo vermelho. Em dezembro de 2008, antes de iniciar os tratamentos, realizou-se a coleta de amostras de solos de 0-20 e 20-40cm de profundidade (Tabela 1).

Ressalta-se que a pastagem com aproximadamente cinco anos de implantação fora subpastejada e havia grande quantidade de macegas que foram removidas durante a implantação do experimento. Foi utilizada a roçadeira mecânica e as macegas foram removidas durante a implantação do experimento.

ABBM foi submetida a quatro doses de fertilizante nitrogenado, ureia, (0, 50, 70 e 100 kg de N ha⁻¹aplicação⁻¹) num total de cinco aplicações e quatro percentuais de sombreamento por meio de telas de nylon a 2,0m do solo, totalizando 16 tratamentos com quatro repetições. Ressalta-se que houve o cuidado para que a tela de nylon abrangesse toda a estrutura, inclusive as laterais do canteiro, evitando assim interferências de luminosidade nos tratamentos. Houve o espaço de 2m entre as estruturas para evitar interferência entre tratamentos. Havia incidência de luz durante todo o dia e as telas de nylon ficaram no sentido leste-oeste, acompanhando a curva de nível. A fertilização foi realizada perpendicular a essa. A dimensão maior ficava perpendicular à topografia.

Os dados do fabricante da tela de nylon para os percentuais de sombreamento eram 30, 50 e 70%. Entretanto, ao longo do estudo, ao mensurar-se a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), constatou-se que os percentuais de sombreamento proporcionados pelas telas de nylon foram 47, 53 e 66%, calculados pela fórmula ((RFA_{sol}-RFA_{sombra})*100/RFA_{sol}). O quarto percentual de sombreamento foi a pleno sol, logo 0% de sombra.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, sendo o gradiente fertilidade considerada a blocagem, com arranjos em parcelas sub-divididas com a adubação na parcela e sombreamento na sub-parcela. O experimento foi conduzido em canteiros de 3,0 x 2,0 m, sendo a parcela experimental útil de 2,0 m².

2.2. Coleta dos dados

As coletas de forragem ocorreram em 2009, nos meses de março, abril, julho, outubro, novembro e dezembro. Logo após cada coleta, foi realizada a aplicação de nitrogênio na forma de uréia. Na Figura 1, está representada a pluviosidade no local e período de estudo.

As amostras de solos foram coletadas nos meses de julho e dezembro de 2009.

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados as médias e regressões dos caracteres climáticos.

Tabela 1. Caracterização inicial dos atributos químicos de solo sob *Brachiaria brizantha* cv Marandu (Caeté/MG-2008)

Variável	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H ₂ O -1:2,5)	6,3	6,0
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	3,6	1,8
Fósforo (mg dm ⁻³)	5,3	1,1
Potássio (mg dm ⁻³)	125	45
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,5	1,1
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,5	0,6
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,2	2,2
Soma de bases	4,32	1,82
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	4,32	1,82
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	6,52	4,02
Saturação por bases (%)	66	45

Hidrogênio + Alumínio (H + Al), capacidade de troca catiônica (CTC), P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio M.O = Matéria Orgânica M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009)

Figura 1 – Pluviosidade no local e período do estudo (Caeté/MG – 2009).

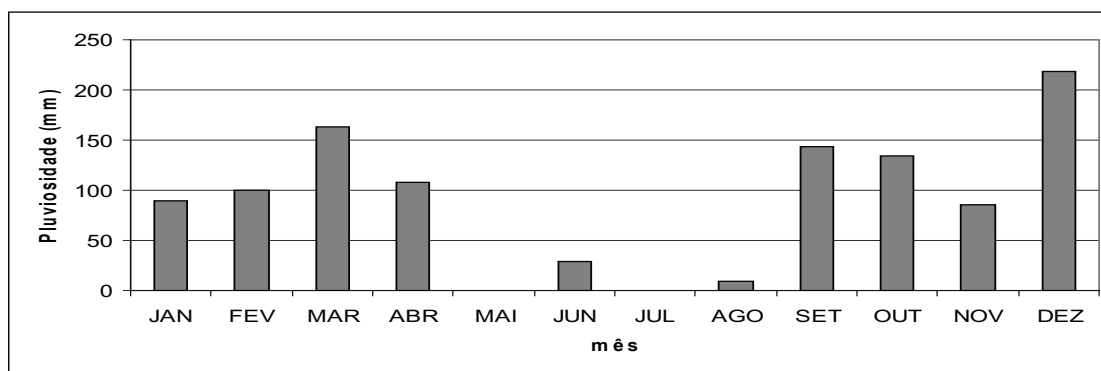


Tabela 2. Médias de variáveis climáticas, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), radiação global (RG), temperatura e umidade relativa do ar (URA) (Caeté/MG, 2009)

Mês	Variáveis climáticas			
	RFA (μmol m ⁻² s ⁻¹)	RG (watts m ⁻²)	Temperatura (C°)	URA (%)
3	692,71	365,67	29,29	47,51
7	642,80	313,02	28,59	40,29
10	394,78	218,22	29,58	47,51
11	859,07	415,20	31,71	60,26
Sombreamento (%)*	RFA (μmol m ⁻² s ⁻¹)	RG (watts m ⁻²)	Temperatura (C°)	URA (%)
0	1106,59	565,02	29,96	47,04
47	586,83	299,04	29,67	49,49
53	523,46	265,59	29,71	49,25
66	372,91	181,46	29,78	48,16
Média	647,72	329,61	29,78	48,49
CV (%)	59,80	62,65	33,64	24,38

*Os percentuais de sombreamento proporcionados pelas telas de nylon foram 47, 53 e 66%, calculados pela fórmula (RFA_{sol} - RFA_{sombra}) * 100 / RFA_{sol}.

Tabela 3. Estimativas de equações de regressão para o efeito médio de sombreamento das variáveis: radiação fotossinteticamente ativa (RFA), radiação global (RG), temperatura e umidade relativa do ar (URA) (Caeté/MG, 2009)

Variável	Estimativa	Ponto de máximo ou mínimo	r ² (%)
RFA	1101,30 – 11,20 sombra	-	99,93
RG	567,40 – 5,87 sombra	-	99,96
Temperatura	29,96 – 0,014 sombra + 0,00017sombra ²	40,34	98,79
URA	47,04 + 0,14sombra -0,001879sombra ²	37,25	99,82

2.3. Análises laboratoriais

As análises químicas de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG, conforme EMBRAPA (2009). Realizou-se a determinação da acidez ativa pelo pH em água (relação 1:2,5), teores de macronutrientes, sendo o fósforo (P) pelo extrator mehlich I e leitura em espectrofotômetro; com o uso do extrator KCl foi determinado o potássio (K), pelo fotômetro de chama e cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S-SO₄) com leitura em espectrofotômetro de absorção atômica; acidez potencial (H+Al) pelo uso do extrator SMP; teor de matéria orgânica (MO), pelo método de Walkley Black e leitura em colorimétrico. Foram calculadas as relações entre nutrientes e soma de bases.

2.4. Análises estatísticas

Foram realizados testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Para analisar a influência da fertilização e do sombreamento sobre os atributos de solo, foi realizada a análise de variância de acordo com o modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + \ell_{im} + S_j + (AS)_{ij} + \alpha_{ijk} + P_k + (AP)_{ik} + (SP)_{jk} + (ASP)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ em que:}$$

Y_{ijkm} = observação da adubação i, no sombreamento j, da profundidade k, no bloco m

μ = efeito médio geral

B_m = efeito do bloco m, sendo m = 1, 2, 3 e 4;

A_i = efeito da adubação i, sendo i = 0, 50, 70 e 100 kg de N por aplicação;

ℓ_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela da adubação i no bloco m;

S_j = efeito do sombreamento j, sendo j = 0, 47, 53 e 66% de sombreamento;

$(AS)_{ij}$ = efeito da interação adubação e sombreamento;

α_{ijk} = erro aleatório atribuído à sub-parcela da adubação i, do sombreamento j do bloco m;

P_k = efeito da profundidade do solo k, sendo k = 0-2, 2-10 e 10-20cm;

$(AP)_{ik}$ = efeito da interação adubação e profundidade do solo;

$(SP)_{jk}$ = efeito da interação sombreamento e profundidade do solo;

$(ASP)_{ijk}$ = efeito da interação entre adubação, sombreamento e profundidade;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela da adubação i, no sombreamento j, na profundidade de solo k do bloco m;

Também foram estudados modelos de regressão para os

atributos do solo em função da fertilização, sombreamento e dias de avaliação. Para camada foi realizado teste de hipótese de SNK, considerando erro tipo I (α) igual a 0,05.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 4, 5 e 6 estão representados parâmetros de regressão de solo sob BBM.

Houve interação do percentual de sombreamento e dose de fertilizante com a camada analisada para as variáveis apresentadas na Tabela 4. Em condições distintas de sombreamento e de profundidade, o aumento do teor de N reduziu os teores de Mg, K:Mg, K (Tabela 4) e P (Tabela 5). Em contrapartida, as quantidades de S-SO₄⁻², para doses crescentes de N, houve aumento no percentual de sombra 0%, mas redução para 53 e 66% de sombra (Tabela 4). Para a maior dose de N, na camada superficial, houve redução dos teores de S-SO₄⁻², à medida que ocorreu o aumento do percentual de sombreamento (Tabela 3). Esses resultados de S-SO₄⁻² podem ser explicados pela redução do sombreamento que leva à maior mineralização e consequente aumento da disponibilidade do nutriente.

Para todas as doses de fertilizante e camadas, em função das doses de N (Tabela 7), as variáveis pH(H₂O) e pH(CaCl₂) apresentaram pontos de máximo de 30,5 e 1,5, respectivamente. As variáveis K:Mg e K apresentaram decréscimo com o aumento de N.

A variável S-SO₄⁻², quando não ocorreu fertilização nitrogenada, apresentou o seguinte comportamento S-SO₄⁻² = 4,17 + 0,12sombra – 0,0023sombra² (r² = 93,15), ou seja, atingiu o valor máximo quando a sombra foi 26,07% e depois decresceu com o aumento do sombreamento.

Na Tabela 8, em cada camada estão apresentados os resultados de pH H₂O, K:Mg e K⁺¹. Aparentemente, de maneira geral, os valores de todas as variáveis reduziram com o incremento das doses de N. A medida que aumentou a dose de N, passou-se a observar diferença entre as camadas para os valores de pH H₂O (acidez ativa). Esse processo é esperado, pois, de acordo com Cantarella (2007), as perdas por volatilização de amônia em solos dependem do pH, pois o equilíbrio entre o íon amônio (NH₄⁺) e a forma gasosa (NH₃) é dado pela expressão NH₄⁺ ⇌ NH₃ + H⁺.

Costa et al. (2008) relataram que a aplicação contínua de 300 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N durante três anos, em relação à dose zero, reduziu o pH do solo em 1,0 e 0,8 unidades para a fonte de sulfato de amônio e ureia, respectivamente, tanto para camada de 0–20 quanto para a de 20–40 cm de profundidade. Observa-se tal efeito na tabela 7. A equação de regressão para pH CaCl₂ indica redução do valor à medida do aumento de N.

Tabela 4. Parâmetros de regressão de solo sob *B. brizantha* cv. Marandu (BBM) de acordo com a interação significativa dos fatores fertilidade e sombreamento, em função da dose de nitrogênio (Caeté/MG – dezembro de 2009)

C*S*N	Fator fixo Sombra	Variável	Equação	Ponto de máximo ou mínimo	r ² (%)
Camada (0-2cm)	53	Mg ²⁺	1,8532+ 0,4933N ^{1/2} - 0,0629N	15,38	96,60
	66	K:Mg	124,533 - 0,6146N	-	86,75
		pH CaCl ₂	5,3188 + 0,1480N ^{1/2} -0,025N	24,60	96,00
		Mg ²⁺	2,1912 - 0,0089N	-	92,85
		K ⁺	0,3185 - 0,0016N	-	86,93
Camada (2-10cm)*	0	S-SO ₄ ⁻²	3,7909 + 0,0129N	-	75,20
	47	S-SO ₄ ⁻²	6,1751 - 0,0524N + 0,0004N ²	65,5	98,41
	53	S-SO ₄ ⁻²	4,1540 - 0,0187N	-	71,08
	66	S-SO ₄ ⁻²	2,1792 - 0,0270N	-	99,51
		Mg ²⁺	1,6563 - 0,0081N	-	88,27

Interação camada*sombra*dose de nitrogênio (C*S*N); magnésio (Mg²⁺) em cmol_c dm⁻³, relação potássio:magnésio (K:Mg), potássio (K⁺) em cmol_c dm⁻³, enxofre (S-SO₄⁻²) em mg dm⁻³, *Amostras coletadas no terço médio

Tabela 5. Parâmetros de regressão de solo sob *B. brizantha* cv. Marandu (BBM) em função da dose de nitrogênio, independente da dose de nitrogênio e do percentual de sombreamento (Caeté/MG – dezembro de 2009)

Fator fixo Camada	Variável	Equação	r ² (%)
10-20cm*	fósforo	2,3119 - 0,0036N	70,19

*Amostras coletadas no terço médio

Tabela 6. Parâmetros de regressão de solo sob *B. brizantha* cv. Marandu (BBM) em função da dose de nitrogênio e camada, independente do percentual de sombreamento (Caeté/MG – dezembro de 2009)

C*S*N	Fator fixo Camada	Variável	Equação	Ponto de máximo ou mínimo	r ² (%)
Dose 0kg*	0-2cm	Mg ²⁺	2,10-0,024sombra+0,0004sombra ²	29,5	94,49
Dose 100kg	0-2cm	S-SO ₄ ⁻²	7,04 - 0,05sombra	-	71,98

Interação camada*sombra*dose de nitrogênio (C*S*N)

*kg ha⁻¹ aplicação⁻¹; magnésio (Mg²⁺) em cmol_c dm⁻³, enxofre (S-SO₄⁻²) em mg dm⁻³,

Tabela 7 - Parâmetros de regressão de solo sob *B. brizantha* cv. Marandu (BBM) em função da dose de nitrogênio, em todas as doses de fertilizante e camada (Caeté/MG – dezembro de 2009)

Variável*	Equação	Ponto de máximo	r ² (%)
pH H ₂ O	5,5490 + 0,0061N - 0,0001N ²	30,5	95,81
pH CaCl ₂	5,3283 + 0,0003N - 0,0001N ²	1,5	91,64
K:Mg	124,533 - 0,6146N	-	86,75
K ⁺	0,3185 - 0,0016N	-	86,93

relação potássio:magnésio (K:Mg), potássio (K⁺) em cmol_c dm⁻³*Amostras coletadas no terço médio

A ureia, ao ser aplicada no solo, passa por um processo de hidrólise enzimática liberando N amoniacal. Esse processo ocorre normalmente em solos com pH inferior a 6,3, parâmetro comum em solos agricultáveis, (Koelliker & Kissel, 1988) nesse processo há liberação de H⁺, que promove na solução do solo aumento de pH.

Aparentemente, na profundidade de 0-2 cm, houve maior influência da aplicação superficial da ureia. Entre a dose testemunha e a dose de 100 kg ha⁻¹ de ureia, o pH apresentou uma redução de 1,06 unidades, que é suficiente para uma alteração na classificação da acidez do solo. O solo no tratamento testemunha está classificado de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) como um solo com acidez média e na maior dose como um solo com acidez muito elevada. Na profundidade de 2-10 cm só observa-se diferença significativa na dose de 100 kg de N ha⁻¹, e não observou-se influência da aplicação de N na profundidade de 10-20 cm.

Para as variáveis K:Mg e K, há a expectativa de reduzir os valores à medida que aumenta a profundidade. Entretanto, essa diferença ficou menos evidente nos tratamentos que receberam aplicação de ureia, que favorece a produtividade da forrageira e consequentemente maior exportação dos nutrientes (Tabela 8). Observa-se que independente da profundidade os maiores teores de K disponível encontraram-se nas parcelas em que não se aplicou ureia.

Os teores de fósforo (P), enxofre (S-SO₄⁻²), magnésio (Mg) e matéria orgânica (MO) foram mais elevados nas camadas mais superficiais (Tabela 9). O teor de MO em todas as profundidades encontra-se dentro do considerado ideal de acordo com a Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999), que é acima de 2,5. O teor de Mg⁺² em todas as profundidades, exceto na profundidade de 10-20 cm, está acima do considerado ideal, 0,90 cmol_c dm⁻³. O P é um elemento de baixa mobilidade no solo e no solo, encontra-se combinado a Fe, Al, Ca e matéria orgânica (Raij et al., 1981), o que normalmente apresenta maiores concentrações nas camadas mais superficiais do solo. Observa-se que a redução de P da camada mais superficial para a mais profunda foi de 60% (Tabela 9).

Aparentemente, de maneira geral, os valores de pH(H₂O), pH(CaCl₂), relação K:Mg, magnésio (Mg), matéria orgânica (MO) e enxofre (S-SO₄⁻²) tenderam a ser mais elevados nas doses mais baixas de N (Tabela 10).

De maneira geral, os valores de pH H₂O, K:MG e K⁺¹ reduziram com o incremento das doses de N, em cada camada (Tabela 8) e no perfil total do solo (Tabela 10). Os teores de matéria orgânica (MO) tenderam a ser mais elevados nas doses mais baixas (Tabela 10). Na camada de 0-2cm, os valores de MO tenderam a ser mais elevados para as duas doses mais baixas 0 e 50 kg de N ha⁻¹ aplicação⁻¹.

Tabela 8. Estimativas de médias de pH H₂O, K:Mg e K, em função de profundidade e dose de nitrogênio, independente do percentual de sombreamento, em solo sob *Brachiaria brizantha* cv Marandu (Caeté/MG – dezembro de 2009)

Dose N ¹	pH H ₂ O			K:Mg			potássio (cmol _c dm ⁻³)		
	Camada (cm)								
	0-2	2-10*	10-20*	0-2	2-10*	10-20*	0-2	2-10*	10-20*
0	5,72A	5,85A	5,86A	120,75A	94,33B	68,67C	0,31A	0,24B	0,17C
50	5,30B	5,76A	5,78A	74,58A	55,33B	48,08B	0,19A	0,14B	0,12B
70	4,74B	5,33A	5,33A	55,67A	42,83AB	32,42B	0,14A	0,11AB	0,08B
100	4,66C	4,98B	5,24A	52,25A	45,50A	32,33B	0,13A	0,12A	0,08B
CV (%)	32,57			96,01			97,41		

Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05) *Amostras coletadas no terço médio
¹Dose de N em kg ha⁻¹aplicação⁻¹; relação potássio:magnésio (K:Mg)

Tabela 9 – Médias de fósforo (P), enxofre (S-SO₄⁻²), magnésio (Mg⁺²) e matéria orgânica (MO), em função de profundidade, independente do percentual de sombreamento e da dose de nitrogênio, em solo sob *Brachiaria brizantha* cv Marandu (Caeté/MG – dezembro/2009)

Camada	P (mg dm ⁻³)	S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	MO (dag kg ⁻¹)
0-2cm	5,78 A	4,96A	1,72 A	4,59 A
2-10cm*	4,07B	3,08B	1,12B	3,22B
10-20cm*	2,27C	2,52B	0,83C	2,57C
CV	66,67	102,09	68,97	36,95

Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05)

*Amostras coletadas no terço médio

Tabela 10. Médias para pH H₂O, pH CaCl₂, relação K:Mg, magnésio (Mg), matéria orgânica (MO) e enxofre (S-SO₄⁻²), para a camada de 0-2cm, em função da dose de nitrogênio, em solo sob *Brachiaria brizantha* cv Marandu (Caeté/MG – dezembro/2009)

Dose N ¹	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	K:Mg	Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	MO (dag kg ⁻¹)	S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)
0	5,54	5,32	128,33	1,97	4,66	7,42
50	5,53	5,16	92,58	2,03	5,20	10,54
70	5,18	4,73	70,87	1,64	4,57	4,79
100	4,68	4,32	71,12	1,18	4,24	7,50
CV (%)	20,94	18,05	36,89	33,54	24,93	97,28

¹Dose de N em kg ha⁻¹aplicação⁻¹

Os efeitos da aplicação de fertilizantes no solo são diretos (influência nos processos químico-físicos) e indiretos (incremento da produtividade e do retorno da matéria orgânica, por meio da senescência de tecidos vegetais e exsudatos de substâncias orgânicas produzidos pelas raízes vivas que aumentam a atividade biológica). A aplicação de fertilizantes em longo prazo, 10 anos, por exemplo, tem aumentado os teores de matéria orgânica, da estabilidade dos agregados, da porosidade, da capacidade de infiltração, da condutividade hidráulica e na redução na densidade do solo. Em avaliação de aplicação de fertilizantes por, 130 anos, em uma estação experimental no Reino Unido, os teores de matéria orgânica tenderam a permanecer em 189µg de C g⁻¹ com aplicações anuais de N, P, K, Mg e Na e em 128µg de C g⁻¹ quando não ocorreram fertilizações. Os teores de C e o número e biomassa de minhocas aumentaram proporcionalmente à quantidade de N aplicada. Em outra estação experimental, na Dinamarca, as áreas que receberam durante 90 anos aplicações anuais de NPK tiveram teores de carbono orgânico 11% superiores à área que não recebeu. A capacidade de troca catiônica também foi mais elevada na área fertilizada (Haynes & Naidu, 1998).

As alterações nas condições químicas de solos cultivados tais como concentração e tipo de íons na solução do solo e variações do pH, podem causar modificações na dispersão da fração argila, degradando a estrutura original do solo, causando alterações nas características físicas do solo (Benites & Mendonça, 1998), o que pode limitar o desenvolvimento vegetal nestas áreas. Sendo assim as alterações (Tabela 10) observadas no pH (acidez ativa) neste primeiro ano de aplicação indica a necessidade de monitoramento dos atributos submetidos a fertilização nitrogenada.

Isoladamente, a fertilização, melhora do manejo de pastagens e introdução de gramíneas foram responsáveis por, respectivamente, 61, 42 e 85% do incremento de C do solo. O percentual restante pode ser atribuído a variáveis climáticas como potencial de evapotranspiração e médias anuais de temperatura e precipitação (Conant et al., 2001).

No Brasil, Costa et al. (2008) realizaram um experimento com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com três anos de duração. Os teores de MO apresentaram ajuste linear com

aumento das doses de N. Em relação à não aplicação de N, houve aumento de 42 e 48% desse parâmetro para a aplicação de 400kg de N ha⁻¹ano⁻¹ na forma de, respectivamente, ureia e sulfato de amônia, chegando a valores de 27,4 e 31,8 g dm⁻³, na mesma ordem citada anteriormente. Ressalta-se que a pastagem original apresentava estágio moderado de degradação e pouca cobertura do solo. Em contrapartida, no presente experimento, havia excesso de cobertura vegetal, chegando a formar macegas no local, antes da implantação dos tratamentos.

Costa et al. (2008) fizeram a ressalva de que o N aplicado em altas doses acelera a decomposição da MO, promovendo a redução do seu teor no solo. Essa pode ser a explicação para os resultados apresentados na Tabela 10. Possivelmente, em prazo mais longo, após a decomposição da MO advinda das macegas, os teores de MO passariam a apresentar variação no mesmo sentido das doses de N. Os resultados evidenciam que a possibilidade de maior produção forrageira advinda do efeito da fertilização nitrogenada, levam a uma redução dos percentuais dos demais nutrientes do solo, caso não sejam repostos.

No presente estudo, conforme consta na Tabela 9, os teores de MO, assim como de outras variáveis, foram mais elevados nas camadas mais superficiais, podem ser resultados da maior deposição de nutrientes por meio da liteira. Conant et al. (2001) fizeram uma revisão de 115 trabalhos realizados em 300 locais distintos, que avaliaram técnicas de manejo como fertilização, introdução de leguminosas, adequação da carga animal, irrigação, introdução de minhocas, utilização de plantas perenes. De uma maneira geral, para todos os tipos de mudança de manejo da pastagem, houve aumento de 0,54 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹. A fertilização pode levar ao aumento de 2,2% dos teores de C. Concluíram que os fatores que mais influenciam as taxas de seqüestro de C foram o histórico do manejo, as mudanças realizadas, clima e tipo de vegetação. A quantidade de carbono armazenado tendeu a ser maior nos 10 cm mais superficiais de solo e nos primeiros 40 anos de tratamento. Estima-se que 64% do C sequestrado está nos primeiros 50 cm mais superficiais.

Possivelmente o sombreamento natural, em relação à artificial, influenciaria mais os atributos de solos. Veintimilla (2003) constatou que florestas secundárias, pastagens melhoradas com uma densidade maior de árvores estocaram e

pastagens degradadas armazenaram respectivamente 180,41, 173,09 e 134,71 t ha⁻¹ de C orgânico. Reis et al. (2010) encontraram diferenças nos seguintes atributos de solos quando houve influência de árvores: pH, Al³⁺, H + Al, S-SO₄⁻², Ca²⁺, Mn, capacidade de troca catiônica a pH7.

4. CONCLUSÕES

O sombreamento reduziu a mineralização da matéria orgânica o que influencia na menor disponibilidade dos nutrientes nela complexados. A aplicação de N favoreceu a exportação de nutrientes e reduziu os valores de pH e MO. Os teores dos nutrientes reduziram em função do aumento da profundidade.

5. LITERATURA CITADA

- AGRICULTURA brasileira em números: anuário 2005. [Brasília, Brasil]: ANDA / MAPA, 2006. In: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_EM_NUMEROS_2005/05.05.XLS (Acessado em: 10 de janeiro de 2007).
- ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais, **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2001.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.215-221, 1998.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.ed. Lavras, 1999. 359p.
- CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, v.11, n.2, p.343-355, 2001.
- COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E.C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, p.1591-1599, 2008.
- EICKHOUT, B.; BOUWMAN, A.F.; VAN ZEIJTS, H. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.116, p.4-14, 2006.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Ed: SILVA, F.C. da (Org) Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. p.627.
- HALBERG, N.; VEM DER WERF, H.M.G.; BASSET-MENS, C. et al. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. **Livestock Production Systems**, v.96, p.33-50, 2005.
- HAYNES, R.J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, n.51, p.123-137, 1998.
- LIMA, M.A.; LUIZ, A.J.B.; VIEIRA, R.F. et al. Emissões de óxido nitroso (N₂O) proveniente de solos agrícolas. [Brasília, Brasil], 2006. In: <http://mct.gov.br/clima> (acessado em 10 de dezembro de 2006).
- NEELY, C.; BUNNING, S.; WILKES, A. **Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change Implications and opportunities for mitigation and adaptation**. [Roma, Itália]: FAO, 2009. In: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf> (acessado em 05 de janeiro de 2010).
- NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest. **Plant and Soil**, v.39, n.2, p.309-318, 1973.
- PEZO, D.; IBRAHIM, M. **Sistemas silvopastoriles**. Turrialba, Costa Rica: CATIE, Proyecto Agroflorestal CATIE/GTZ, 1998. 258p. (Materiales de enseñanza, 40).
- PORT, O; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.38, n.7, 2003.
- POWERS, J.S.; READ, J.M.; DENSLOW, J.S.; GUZMAN, S.M. Estimating soil carbon fluxes following land-cover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. **Global Change Biology**, n.10, p.170-181, 2004.
- RAIJ, B.V.; FEITOSA, C.T.; GROHMANN, F. **Eficiência agrônômica de fosfatos naturais brasileiro**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do solo. Salvador. Anais... Bahia: 1981, p.46-67.
- REIS, G.L.; LANA, A.M.Q.; MAURICIO, R.M.; LANA, R.M.Q; MACHADO, R.M.; QUINZEIRO NETO, T. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant and Soil**, n.329, p.185-193, 2010.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.
- SIMÕES, S.M.O.; ZILLI, J.E.; COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F.C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta amazonica**, v.40, n.1, p.23-30, 2010.
- STALENGA, J.; KAWALEC, A. Emission of greenhouse gases and soil organic matter balance in different farming systems. **International Agrophysics**, n.22, p.287-290, 2008.
- SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.;

SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.1029-1037, 2007.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V., HAAN, C. **Livestock's long shadow: environmental issues and options** [Roma, Itália], 2006. In: <http://www.virtualcentre.org> (acessado em 17 de dezembro de 2006).

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro. 1991.

VILELA, D. Apresentação. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Eds.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p.4-5.