

RELAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO E DE NITROGÊNIO TOTAL E POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL COM O NITROGÊNIO ABSORVIDO PELO MILHETO¹

Wilian Henrique Diniz Buso² e Huberto José Kliemann³

ABSTRACT

RELATIONS OF ORGANIC CARBON, TOTAL AND POTENTIALLY MINERALIZABLE NITROGEN WITH THE NITROGEN UPTAKEN BY MILLET

The present study was carried out in greenhouse to correlate soil organic carbon (OC), total nitrogen (N_t) and potentially mineralizable nitrogen (N_o – estimated by the hyperbolic, simple and the double exponential models) to nitrogen uptaken by millet. Stocks of OC, N_t and N_o , no matter which tillage systems have been used, are closely associated with soil texture. Losses in sandy soils are proportionally faster than in more clayey ones. The greatest CO, N_t and N_o losses occurred in the conventional tillage system; in the no-tillage system the stocks were gradually restored over the years. The N_o (estimated by the three models), OC and N_t values are closely correlated with nitrogen uptaken by millet, but no significant correlation was found with the easily mineralizable fraction of N_o estimated by the double exponential model.

KEY WORDS: Cerrados, organic carbon, nitrogen, mineralization potentials, cropping systems.

INTRODUÇÃO

Em solos com vegetação natural não ocorre variação nos conteúdos de matéria orgânica no tempo. Esse conteúdo é determinado pela relação entre as taxas de adição efetiva e as de perda, que são dependentes dos fatores de formação dos solos (Jenny 1941, Anjos *et al.* 1999). Por isso, a dinâmica da matéria orgânica – variações em função do manejo – deve ter como referência os solos em condições não perturbadas (vegetação natural), nas quais os fatores de formação do solo são determinantes (Jenny 1941). A perda de carbono orgânico do solo (CO) corresponde à soma das perdas por oxidação, erosão e lixiviação.

RESUMO

O presente trabalho, conduzido em casa de vegetação, teve como objetivo correlacionar o nitrogênio absorvido pelo milheto com o carbono orgânico (CO), nitrogênio total (N_t) e nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o – estimados pelos modelos hiperbólico e exponenciais simples e duplo). Os estoques de CO, N_t e N_o , independentemente do sistema cultivado usado, são estreitamente associados à textura. Em solos arenosos as perdas são proporcionalmente mais rápidas do que nos mais argilosos. As maiores perdas de CO, N_t e N_o ocorreram no sistema de plantio convencional; no sistema de plantio direto os estoques de carbono e nitrogênio são gradualmente recuperados ao longo dos anos. Os teores de CO, N_t e N_o correlacionam-se significativamente com o nitrogênio absorvido pelo milheto, porém não se encontrou relação significativa com a fração de nitrogênio facilmente mineralizável, estimado pelo modelo exponencial duplo.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrados, carbono orgânico, nitrogênio, potenciais de mineralização, sistemas de cultivo.

As perdas por lixiviação, na maioria dos casos, podem ser consideradas desprezíveis (Dalal & Mayer 1986); por erosão essas perdas dependem do relevo do solo, da cobertura da superfície e do tipo de utilização do solo; por oxidação, que são as mais importantes. Essas perdas decorrem do tipo de manejo a que é submetido o solo.

Aspectos importantes na evolução dos teores de carbono orgânico, nitrogênio total e potenciais de mineralização de nitrogênio (N_o) estão relacionados aos históricos de manejo dos solos. Dentre estes destacam-se a retirada de resíduos culturais, a adição de biomassa facilmente decomponível e a silagem

1. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Goiás.

Trabalho recebido em fev./2002 e aceito para publicação em out./2003 (registro nº 483).

2. Engenheiro agrônomo, M. Sc., autônomo. Itapaci - GO. wilianbuso@yahoo.com

3. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, C.Postal 131, CEP 74001-970. Goiânia, GO.

acompanhada de adubações pesadas de nitrogênio, que podem induzir um efeito ativador (*priming*), inicialmente descoberto por Löhnis (1926) ao estudar a decomposição de adubos verdes de leguminosas. O efeito ativador, definido como a rápida mudança dos teores de carbono orgânico e/ou nitrogênio total dos solos, pode ser positivo (mineralização de C e N) pela adição de materiais de baixa relação C/N e/ou fertilizantes nitrogenados minerais, ou negativo (imobilização líquida) pela adição de materiais de alta relação C/N. Kuzyakov *et al.* (2000), em ampla revisão, citam a adubação com nitrogênio mineral, a adição de substâncias orgânicas facilmente decomponíveis, a rizodeposição de plantas e outros sais, como as possíveis causas do efeito ativador positivo. Entretanto, as mesmas práticas podem causar efeito ativador negativo, para relações C/N > 16 e adição de substâncias tóxicas ao solo.

A correlação entre o nitrogênio mineralizado e o nitrogênio absorvido por plantas-teste vêm sendo abordada por vários autores (Eagle 1961, Welch & Bartholomew 1963, Stanford *et al.* 1965, Oliveira 1987). Segundo esses autores, houve absorção de nitrogênio pelas plantas estudadas a partir do nitrogênio mineralizado em condições aeróbias. No entanto, em condições tropicais, trabalhos similares ainda são escassos.

Em condições brasileiras, em termos de disponibilidade do nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o) definido por Stanford & Smith (1972), Camargo (1996) avaliou os parâmetros cinéticos de mineralização do nitrogênio e a absorção de nitrogênio pelo milho em dez solos do Rio Grande do Sul e constatou que, entre os modelos exponenciais simples, o parâmetro (N_2), descrito por Jones (1984) como a fração ativa de nitrogênio, é o que melhor se correlaciona com a absorção de nitrogênio pelo milho. Entretanto, o autor não observou tendência semelhante para os parâmetros estimados por modelos exponenciais duplos. Em condições de solos de cerrados, Oliveira (1987) obteve correlações significativas da absorção de nitrogênio pelo trigo e o nitrogênio facilmente mineralizável (N_{dmin}), este estimado pelo modelo duplo exponencial de Molina *et al.* (1980). Entretanto, a correlação com o nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o), estimado pelo mesmo modelo, não foi significativa.

Kliemann (1973) verificou que a acidez é um fator limitante para a mineralização da matéria orgânica, visto que, ao se corrigir a acidez do solo, houve uma maior absorção de nitrogênio pela planta-

teste, a partir do nitrogênio mineralizado da matéria orgânica do solo. O autor ressaltou a grande importância da matéria orgânica no fornecimento de nitrogênio para as plantas a partir da mineralização, principalmente da fração facilmente oxidável da matéria orgânica presente no solo. Por ser de caráter inerentemente dinâmico, em função da temperatura, umidade, textura, reação e estoque de outros nutrientes no solo, a disponibilidade do nitrogênio no solo para as plantas vem sendo correlacionada com outros atributos de solo, estimados a partir do conceito de nitrogênio potencialmente mineralizável de Stanford & Smith (1972), que usaram o modelo hiperbólico e o modelo exponencial simples de primeira ordem.

Diversos modelos matemáticos vem sendo usados para descrever os valores acumulados de nitrogênio mineralizado ($NH_4^+ + NO_3^-$) em função do tempo de incubação. As relações curvilineares utilizadas por Stanford & Smith (1972) tem mostrado, em geral, um melhor grau de ajustamento aos dados de incubação, porém suas capacidades de predição dos rendimentos das culturas e da absorção de nitrogênio são baixas (Stanford *et al.* 1977, Smith *et al.* 1980). Molina *et al.* (1980) sugeriram, então, um modelo duplo exponencial, em que é possível predizer a decomposição de dois compartimentos (*pools* – nichos) de N, com índices variáveis de decaimento.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a relação do nitrogênio absorvido pelo milho [*Pennisetum typhoides* (Burm) Stapf & C.E. Hubb] com o carbono orgânico, o nitrogênio total, o nitrogênio potencialmente mineralizável e o nitrogênio facilmente mineralizável, em amostras de solos coletadas em áreas de mata e de cerrado nativos, e em áreas submetidas aos sistemas de plantio convencional e plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento em casa de vegetação com solos coletados a profundidade de 0 a 12,5 cm na microrregião do Sudoeste Goiano, incluindo os municípios de Rio Verde e Santa Helena de Goiás. As características físicas e as propriedades químicas dos solos amostrados, determinadas conforme Embrapa (1997), são apresentadas na Tabela 1.

A necessidade de calagem foi quantificada de acordo com a metodologia de Quaggio (1983), considerando-se 70% da saturação por bases e uma profundidade de 12,5 cm. Como corretivo foi

Tabela 1. Características físicas e químicas (dados médios de três repetições) das amostras de terra colhidas de 0 a 12,5 cm de profundidade em áreas de cerrado nativo (CN), mata nativa (MN) e sob plantio direto (PD) e convencional (PC)

Solo		Areia	Silte	Argila	CO ¹	N _t ¹	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺	pH
Local	Manejo	-----g kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----		-----mg dm ⁻³ -----		-----cmol _c kg ⁻¹ -----		em água	
-----Solo 1 – Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, fase Cerrado, textura média-----												
Rio Verde-GO	CN	630	70	300	12,1	1,10	1	23	0,3	0,1	2,8	5,5
	PD (11 anos) ²	600	80	320	11,9	1,20	16	95	1,4	0,9	2,5	6,0
	PC (2 anos) ²	810	60	130	16,7	0,80	50	70	2,0	1,4	1,5	6,1
-----Solo 2 – Latossolo Roxo, fase mata, textura argilosa-----												
Santa Helena-GO	MN	530	70	400	23,5	3,82	27	189	8,2	2,5	1,8	5,9
	PD (12 anos)	560	90	350	13,0	2,03	26	90	3,0	1,0	3,1	5,6
	PC (40 anos)	410	120	470	14,8	1,67	53	102	2,0	0,7	5,8	4,9
-----Solo 3 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, textura argilosa-----												
Rio Verde-GO	CN	410	120	470	20,0	2,27	2	69	0,3	0,1	10,9	4,3
	PD (5 anos)	380	150	470	16,0	1,59	18	147	1,6	1,2	2,8	5,3
	PC (30 anos)	360	140	500	15,0	1,48	16	122	3,6	1,9	2,5	5,8
-----Solo 4 – Neossolo Quartzarênico Distrófico-----												
Rio Verde-GO	CN	810	60	130	7,5	0,86	2	27	0,3	0,1	2,0	5,4
	PD (3 anos)	810	60	130	6,0	0,60	34	40	0,9	0,1	1,8	6,0
	PC (25 anos)	850	40	110	7,5	0,77	8	28	1,7	0,6	1,2	6,0

¹- Carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N_t) dos solos.

²- O número de anos, entre parênteses, para PD é exato, e para PC é uma informação aproximada, fornecida pelos produtores rurais da região.

empregada uma mistura de CaCO₃ + MgCO₃ *p.a.*, na proporção de 3:1.

Os teores de carbono orgânico nos solos foram determinados segundo metodologia de Walkley & Black (1934) e modificações de Tedesco *et al.* (1995). As determinações de nitrogênio total e nitrogênio mineral [$N(NH_4^+ + NO_3^-)$] no solo foram realizadas segundo metodologia de Bremner & Keeney (1966), modificada por Tedesco *et al.* (1995). Usaram-se ainda os procedimentos de incubação aeróbica para a mineralização do nitrogênio das amostras de terra, descritos por Tabatabai & Al-Khafaji (1980), e modificados por Kliemann & Malavolta (1993).

A adubação das amostras incubadas foi baseada nas análises químicas para fins de fertilidade e complementadas até atingir as seguintes quantidades, em mg kg⁻¹ de solo: 150 de K; 200 de P; 40 de S; 0,1 de Mo; 0,5 de B; 1,5 de Cu; 5 de Mn; e 50 de FeII. As altas doses de adubação (sem nitrogênio) utilizadas justificaram-se por se tratar de experimento em vasos, que visa a exaustão do nitrogênio nativo dos solos. Foi realizada a calagem nos tratamentos pertinentes e, após o período de incubação, adicionaram-se os nutrientes conforme as recomendações, sendo, então, submetidos a cultivo em vasos com capacidade de 5 kg, por um período de trinta dias.

Como planta-teste utilizou-se o milheto, devido à sua alta capacidade de extração de nutrientes e sua

resistência a altas temperaturas, em estufas. A temperatura no interior da estufa foi mantida em torno de 30°C. Semanalmente realizou-se uma rotação aleatória dos vasos.

Após a semeadura, os solos foram umedecidos até 70% da capacidade de campo e durante o cultivo os vasos foram irrigados diariamente para que a umidade ficasse próxima deste valor. Oito dias após a emergência das plantas foi realizado um desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. Após trinta dias de cultivo a parte aérea das plantas foi colhida, secada em estufa a 50°C, até peso constante. A seguir, determinou-se a massa da matéria seca, seguida da moagem das plantas usando peneira de 20 *mesh* (malhas por polegada). Para a determinação química do nitrogênio total nas plantas usou-se a metodologia de Sarruge & Haag (1974).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2x3-2, com três repetições. O primeiro fator de tratamento consistiu de quatro tipos de solo, aqui denominados: solo 1 – Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, fase Cerrado; solo 2 – Latossolo Roxo fase mata; solo 3 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase Cerrado; solo 4 – Neossolo Quartzarênico distrófico, fase Cerrado. Os demais fatores consistiram de: ausência e presença de calagem, e três históricos de manejo – solo com vegetação nativa, solo sob cultivo

convencional (aração e gradagem) e solo sob sistema de plantio direto. Ademais, omitiu-se a calagem nas combinações de fatores – solo 1 sob plantio convencional e solo 2 sob mata nativa, em razão de saturação por bases estar acima dos valores estabelecidos para as condições do experimento.

As perdas percentuais de carbono orgânico (ΔCO), de nitrogênio total (ΔN_t), de nitrogênio potencialmente mineralizável (ΔN_o), e das frações de nitrogênio facilmente ($\Delta\text{N}_{\text{fmin}}$) e dificilmente ($\Delta\text{N}_{\text{dmin}}$) mineralizáveis – gerados pelos modelos descritos, foram calculados, aplicando-se a seguinte expressão:

$$\Delta X = \frac{VSN - VST}{VSN} \cdot 100$$

em que: ΔX é o valor calculado da perda; e VST , os valores absolutos de cada atributo considerado (ΔCO , ΔN_t , ΔN_o , $\Delta\text{N}_{\text{fmin}}$ e $\Delta\text{N}_{\text{dmin}}$). Tomaram-se como referências os valores correspondentes (VSN) obtidos nos solos nativos (cerrado e mata).

O potencial de fornecimento de nitrogênio nativo dos solos para as plantas foi avaliado por meio de correlação e regressão polinomial simples da absorção de nitrogênio pela planta-teste em função do carbono orgânico, do nitrogênio total, dos potenciais de mineralização de nitrogênio e da fração de nitrogênio facilmente mineralizável. Os parâmetros dos potenciais de mineralização de nitrogênio e da fração facilmente mineralizável foram gerados a partir de dados de trabalho de incubação aeróbia em laboratório, de Kliemann & Buso (2002), e estimados pelos modelos hiperbólico e exponencial simples, descritos por Stanford & Smith (1972), e pelo modelo exponencial duplo, descrito por Molina *et al.* (1980).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N_t) nos solos foram significativamente afetados pelos seus sistemas de uso e manejo, como pode ser verificado na Tabela 1.

Nos solos de textura mais argilosa como no solo 2 (Latosolo Roxo, fase mata) e no solo 3 (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase Cerrado), as perdas de carbono orgânico e nitrogênio total, em termos físicos absolutos, foram significativamente maiores do que aquelas nos solos de textura média – solo 1 (Latosolo Vermelho-Escuro distrófico, fase Cerrado) e solo 4 (Neossolo Quartzarênico distrófico). As perdas foram mais evidentes no plantio convencional pela ação conjugada

do tempo de cultivo (estimado) e do revolvimento frequente dos solos.

As perdas (-) e ganhos (+) de carbono orgânico (ΔCO), de nitrogênio total (ΔN_t) e a diminuição ou aumento dos potenciais de mineralização de nitrogênio (ΔN_o), estimados pelos modelos de Stanford & Smith (1972) e de Molina *et al.* (1980), e das frações de nitrogênio facilmente mineralizável ($\Delta\text{N}_{\text{fmin}}$) mostraram variações significativas em função do manejo adotado (Tabela 2). No solo 1 as perdas de carbono orgânico, em relação ao solo nativo, foram da ordem de 34% em apenas dois anos de plantio convencional, e praticamente nulas (1,7%) no sistema de plantio direto. Entretanto, houve ganhos de nitrogênio total nesse solo, que foi submetido por onze anos ao sistema de plantio direto. Daí decorrem dois fatos significativos: *i*) o plantio convencional consome rapidamente o estoque de matéria orgânica em solos de cerrado; *ii*) o sistema de plantio direto proporciona aumento, embora lento, no estoque de nitrogênio total do solo.

No caso do solo 2, embora o sistema de plantio direto tenha acarretado perdas de carbono (ΔCO) da ordem de 45%, no plantio convencional as perdas de nitrogênio total (ΔN_t) foram mais altas, cerca de 56%, e no sistema de plantio direto (doze anos), de 47%. Isso demonstra que a reposição do estoque original de carbono e nitrogênio ao solo é um processo muito lento. As perdas de carbono orgânico e nitrogênio total e do nitrogênio potencialmente mineralizável nesse solo podem ser explicadas pelos históricos de manejo. No plantio convencional a área vem sendo usada durante cerca de quarenta anos com a cultura de algodão, que, em todos os anos, tem seus restos culturais queimados para prevenção de problemas fitossanitários. A área sob sistema de plantio direto atualmente está sendo usada com a cultura do milho, com pesada adubação nitrogenada e retirada de toda a biomassa para silagem. No solo 3, apesar de ser um solo originalmente distrófico, ocorreram processos de perdas e parcial reposição do carbono e do nitrogênio, similares aos do solo 2, uma vez que ambos são de textura argilosa.

No solo 4, as alterações relativas nos conteúdos de carbono orgânico e nitrogênio total deixam claro que ele possui baixa capacidade de fornecimento de nitrogênio para as plantas, independentemente do sistema de uso e manejo, ressaltando-se que o solo esteve há apenas três anos sob o sistema de plantio direto. Além disso, a calagem não teve praticamente influência alguma sobre as quantidades de nitrogênio mineralizado por incubação aberta, em laboratório.

Tabela 2. Valores percentuais das perdas de carbono orgânico (ΔCO), de nitrogênio total (ΔN_t), e dos potenciais de mineralização de nitrogênio (ΔN_o), estimados pelos modelos hiperbólico (Hb) e exponenciais simples (ES) e duplo (ED), e de ΔN_o e das frações de nitrogênio facilmente ($\Delta\text{N}_{\text{fmin}}$) e dificilmente ($\Delta\text{N}_{\text{dmin}}$) mineralizáveis, estimadas pelo modelo exponencial duplo, em áreas de cerrado nativo (CN), de mata nativa (MN) e de áreas sob plantio direto (PD) e convencional (PC)

Manejo	ΔCO	ΔN_t	ΔN_o^1		ΔN_o^2	$\Delta\text{N}_{\text{fmin}}^2$	$\Delta\text{N}_{\text{dmin}}^2$	
			Hb	ES	ED			
Tipo	Anos	-----(%)-----						
-----Solo 1 – Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, fase Cerrado, textura média-----								
CN – s/Ca ³	–	–	–	–	–	–	–	
CN – c/Ca ³	–	–	–	34,1 (-)	28,4 (-)	26,5 (-)	27,5 (-)	
PD ³ – s/Ca	11 ⁴	1,7 (-)	10,0 (+)	70,8 (-)	65,8 (-)	65,8 (-)	64,7 (-)	
PD – c/Ca	11	–	–	57,2 (-)	50,2 (-)	50,2 (-)	52,2 (-)	
PC ³ – s/Ca	(2) ⁴	31,4 (-)	27,3 (-)	67,7 (-)	66,4 (-)	66,4 (-)	65,3 (-)	
-----Solo 2 – Latossolo Roxo fase mata, textura argilosa-----								
MN – s/Ca	–	–	–	–	–	–	–	
PD – s/Ca	12 (+ 28 PC)	44,7 (-)	46,8 (-)	72,4 (-)	71,6 (-)	35,9 (-)	72,3 (-)	
PD – c/Ca	12 (+ 28 PC)	–	–	65,4 (-)	66,4 (-)	76,1 (-)	65,5 (-)	
PC – s/Ca	(40)	37,0 (-)	56,3 (-)	76,8 (-)	77,8 (-)	34,8 (-)	75,6 (-)	
PC – c/Ca	(40)	–	–	75,8 (-)	73,4 (-)	6,5 (-)	77,4 (-)	
-----Solo 3 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, textura argilosa-----								
CN – s/Ca	–	–	–	–	–	–	–	
CN – c/Ca	–	–	–	16,7 (-)	16,7 (-)	11,4 (-)	11,9 (-)	
PD – s/Ca	16 (+ 25 PC)	21,9 (-)	30,0 (-)	69,7 (-)	67,6 (-)	67,2 (-)	66,5 (-)	
PD – c/Ca	16 (+ 25 PC)	–	–	67,7 (-)	64,4 (-)	63,2 (-)	64,3 (-)	
PC – s/Ca	(30)	26,8 (-)	34,8 (-)	64,3 (-)	59,5 (-)	57,9 (-)	60,0 (-)	
PC – c/Ca	(30)	–	–	66,9 (-)	64,2 (-)	63,8 (-)	65,6 (-)	
-----Solo 4 – Neossolo Quartzarênico Distrófico-----								
CN – s/Ca	–	–	–	–	–	–	–	
CN – c/Ca	–	–	–	3,0 (-)	1,8 (-)	2,6 (-)	0,0 (-)	
PD – s/Ca	3 (+ 22 PC)	25,0 (-)	30,2 (-)	57,3 (-)	59,0 (-)	58,9 (-)	58,8 (-)	
PD – c/Ca	3 (+ 22 PC)	–	–	61,4 (-)	64,1 (-)	64,3 (-)	64,5 (-)	
PC – s/Ca	(25)	6,3 (-)	10,5 (-)	50,0 (-)	53,1 (-)	64,3 (-)	52,0 (-)	
PC – c/Ca	(25)	–	–	62,1 (-)	63,3 (-)	53,7 (-)	63,3 (-)	

¹- Atributos estimados, a partir dos dados de incubação aberta (Kliemann & Buso 2002), pelos modelos hiperbólico (Hb) e exponencial simples de Stanford & Smith (1972)

²- Atributos estimados, a partir dos dados de incubação aberta (Kliemann & Buso 2002), pelo modelo exponencial duplo (ED) de Molina et al. (1980).

³- s/Ca: sem calagem e c/Ca: com calagem.

⁴- O número de anos, entre parênteses, para PD é exato, e para PC é uma informação aproximada, fornecida pelos produtores rurais da região.

As perdas de matéria orgânica são afetadas pelo preparo do solo, especialmente pela intensidade de revolvimento, que altera a temperatura, a aeração, a umidade, a ruptura de agregados e o grau de fracionamento e incorporação de resíduos culturais e cobertura do solo (Bayer & Mielniczuk 1997). Em condições do Rio Grande do Sul, Pöttker (1977) verificou a redução gradativa dos teores de matéria orgânica dos solos sob sistemas de monoculturas, com arações e gradagens sucessivas e com baixo retorno de resíduos vegetais. Nas condições de cerrado de Goiás, Magalhães (1997) constatou a redução da matéria orgânica em um Latossolo submetido por seis anos ao manejo pelo sistema Barreirão, tendo como referência um solo com pastagem de dezessete anos sob sistema convencional de manejo de pastagens, empregado por fazendeiros goianos.

Os decréscimos relativos dos teores de CO e N_t (ΔCO e ΔN_t), especialmente no solo 2, encontra explicação no efeito ativador (efeito *priming*), definido com dois enfoques distintos. Em estudos de reciclagem de carbono esse efeito é considerado uma decomposição extra de carbono orgânico, quando são adicionadas ao solo materiais orgânicos de fácil decomposição (Dalembert & Jager 1989). Nos estudos com nitrogênio, representa a quantidade extra de nitrogênio absorvida proveniente do solo, quando é adicionado um fertilizante mineral, em comparação a tratamentos sem adubação nitrogenada (Jenkinson et al. 1985, Leon et al. 1995).

Os decréscimos relativos de ΔN_o nos quatro solos estudados (Tabela 2) – estimados pelos modelos hiperbólico e exponencial simples – bem como os de ΔN_o , de $\Delta\text{N}_{\text{fmin}}$ (nitrogênio facilmente mineralizável)

e de ΔN_{dmin} (nitrogênio dificilmente mineralizável) – estimados pelo modelo exponencial duplo, mostraram-se proporcionalmente maiores àqueles encontrados para ΔCO e ΔN_t . Ressalva-se, entretanto, que os valores obtidos para ΔN_{fmin} não representam uma contribuição relevante para o fornecimento de nitrogênio para as plantas, em razão dos baixos teores absolutos estimados, quando comparados com os correspondentes potenciais de mineralização de nitrogênio (N_o). Verifica-se ainda que a calagem, independentemente do sistema manejo empregado, mostra tendências variáveis de ΔN_o (diminuição dos potenciais de mineralização de nitrogênio) nos quatro tipos de solo estudados (Tabela 2).

As perdas de carbono orgânico e de nitrogênio, discutidas anteriormente, implicam em possíveis relações proporcionais dos atributos do solo (carbono orgânico, nitrogênio potencialmente mineralizável) com a disponibilidade do nitrogênio absorvido pelas plantas, como mostram as Figuras 1 (a e b), 2 e 3.

Na Figura 1 verifica-se que o milho absorve quantidades de nitrogênio proporcionais aos conteúdos de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N_t) dos solos. Os coeficientes de determinação obtidos entre nitrogênio absorvido pelo milho em função de CO e de N_t dos solos ($r^2=0,64$ e $r^2=0,60$, respectivamente) mostram que esses dois atributos dão uma estimativa razoável da capacidade do solo em fornecer nitrogênio para as plantas. De acordo com Kliemann (1973), o carbono orgânico correlaciona-se estreitamente com o nitrogênio absorvido pela planta, permitindo inferir que a matéria orgânica representa uma significativa fonte de nitrogênio para as plantas.

Na Figura 2 estão ilustradas as relações do nitrogênio absorvido pelo milho e as quantidades de nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o), estimadas pelos três modelos (hiperbólico, exponencial simples e exponencial duplo), gerados a partir de dados de incubação aberta (Kliemann & Buso 2002). Verifica-se que, apesar das estreitas correlações entre o nitrogênio absorvido e o N_o , estimado pelos modelos exponencial simples (de primeira ordem) e exponencial duplo (de segunda ordem), não há diferenças significativas entre o N_o estimado, como mostra a sobreposição das duas retas de regressão, na Figura 2. Isso, provavelmente, ocorre pela ausência de materiais de fácil decomposição. Conseqüentemente, as relações entre nitrogênio absorvido e os potenciais de mineralização estimados são praticamente as mesmas. A equação de regressão entre a absorção de nitrogênio e o nitrogênio potencialmente mineralizável, estimada pelo modelo hiperbólico, indica uma tendência similar à dos modelos exponenciais, já discutida, apesar de a equação de regressão possuir um coeficiente angular significativamente menor.

Camargo (1996), avaliando os parâmetros cinéticos de mineralização do nitrogênio e a absorção de nitrogênio pelo milho, em dez solos do Rio Grande do Sul, constatou que nos modelos exponenciais simples, o parâmetro (N_2), descrito por Jones (1984) como a fração ativa de nitrogênio, é o que melhor se correlaciona com a absorção de nitrogênio pelo milho.

Segundo Smith *et al.* (1977), o nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o) representa uma fração do nitrogênio que seria mineralizável a longo

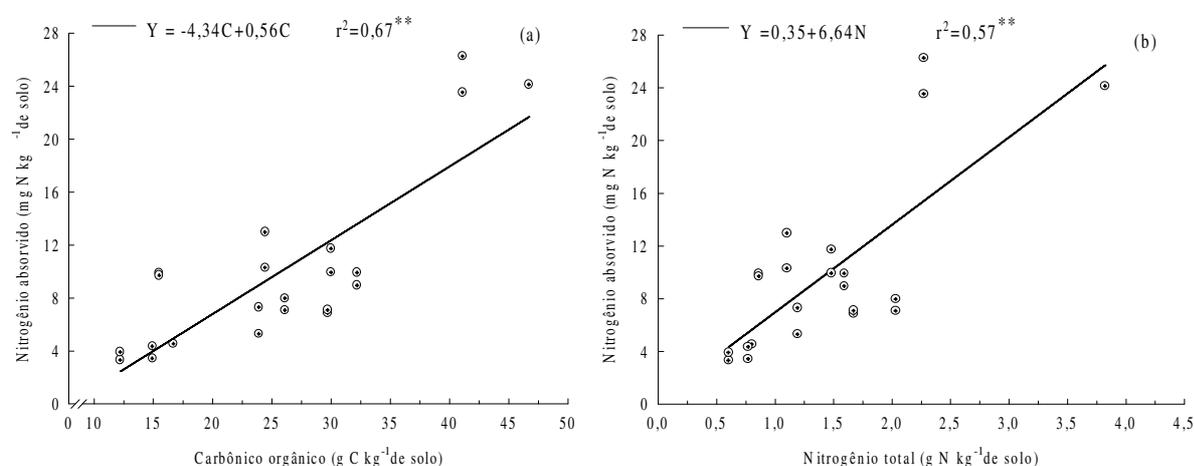


Figura 1. Relações entre os teores de carbono orgânico (a) e de nitrogênio total (b) no solo com a absorção de nitrogênio pelo milho (**- valores significativos a 1% de probabilidade).

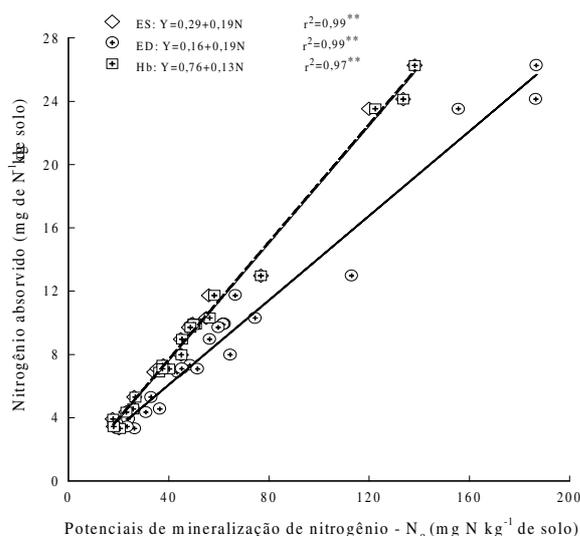


Figura 2. Relações da absorção de nitrogênio pelo milho e o nitrogênio potencialmente mineralizável, estimado pelos modelos matemáticos exponencial simples (ES), exponencial duplo (ED) e hiperbólico (Hb) – (as linhas de regressão relativas aos modelos ES e ED estão sobrepostas; ** valores significativos a 1% de probabilidade).

prazo, portanto, de pouco interesse do ponto de vista nutricional. Oliveira (1987), trabalhando em Latossolos de Brasília, não obteve correlação entre a absorção de nitrogênio pelo trigo e o N_0 estimado pelo modelo de duplo exponencial de Molina *et al.* (1980). Da mesma forma, Camargo (1996) não

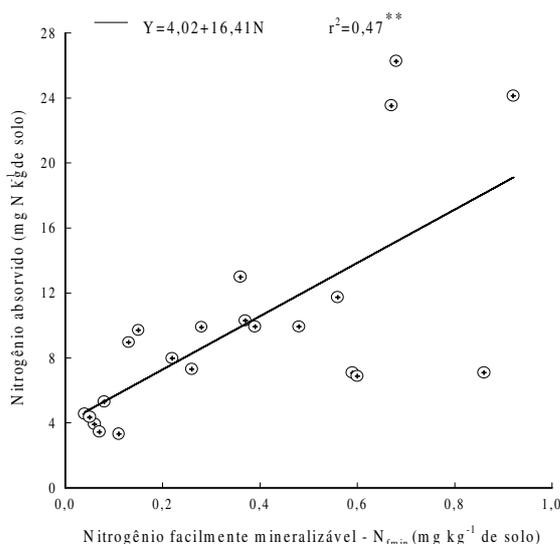


Figura 3. Relação do teor de nitrogênio facilmente mineralizável no solo e a absorção de nitrogênio pelo milho (** valor significativo a 1% de probabilidade).

obteve correlação entre os parâmetros estimados por modelos exponenciais duplos e o nitrogênio absorvido pelo milho.

Na Figura 3 observa-se que a fração de nitrogênio facilmente mineralizável, estimada pelo modelo duplo exponencial, não se relacionou significativamente com o nitrogênio absorvido pelo milho, como mostra o baixo coeficiente de determinação ($r^2=0,47$). A explicação mais aceitável deve ser atribuída às pequenas quantidades de nitrogênio facilmente mineralizável (N_{min}) estimadas pelo modelo. Pode-se inferir que esta fração do nitrogênio é disponibilizada a curto prazo para ser absorvida pela planta, ficando ainda sujeita a se perder no solo por lixiviação, quando a planta ainda se encontra em um estágio inicial de desenvolvimento e não possui sistema radicular suficientemente desenvolvido para absorver todo o nitrogênio proveniente da fração lábil do solo. Em contraposição a esses resultados, Oliveira (1987) encontrou uma estreita correlação entre a fração de nitrogênio facilmente mineralizável e o absorvido pelo trigo, observando que ocorreu absorção de uma pequena porcentagem do nitrogênio proveniente da fração lábil de solos argilosos de cerrado do Distrito Federal.

O modelo de Molina *et al.* (1980) não prevê uma disponibilidade inicial de nitrogênio a partir da fração lábil (Figura 3), em quantidades capazes de suprir as necessidades da planta, evidenciando ainda mais a necessidade de uma adubação inicial. A baixa correlação entre a fração lábil do solo e o nitrogênio absorvido pela planta permite inferir que esta fração do nitrogênio total não atende às exigências iniciais da planta, sendo necessária uma adubação complementar de arranque. Esta prática torna-se particularmente necessária em solos com textura arenosa, como no solo 4, em que os estoques de carbono orgânico, do nitrogênio total e da fração lábil de nitrogênio são naturalmente baixos. Os solos 2 e 3, que apresentam textura argilosa e maiores teores de carbono orgânico e de nitrogênio total, são os que possuem maior potencial de fornecimento de nitrogênio para a planta, a partir da fração lábil do solo; mas, mesmo assim, ainda existe a necessidade da adubação inicial de arranque.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram ainda que existem "lacunas" consideráveis na dispersão dos pontos observados. Recomenda-se incluir em estudos futuros um maior número de solos com ampla variação de características mineralógicas, físicas e químicas, e de históricos e sistemas de cultivo, para que o carbono orgânico, o nitrogênio total e os potenciais de

mineralização de nitrogênio possam gerar indicadores mais confiáveis de disponibilidade de nitrogênio, proveniente dos solos, para as culturas.

CONCLUSÕES

1. O carbono orgânico, nitrogênio total e nitrogênio potencialmente mineralizável dos solos, independentemente do sistema de cultivo, são estreitamente associados à textura.
2. As maiores perdas de carbono orgânico e nitrogênio total, comparados aos solos virgens, ocorreram no sistema de plantio convencional; no sistema de plantio direto os estoques de carbono e nitrogênio são paulatinamente recuperados ao longo dos anos. Em solos arenosos, as perdas são proporcionalmente mais rápidas do que nos solos mais argilosos.
3. O carbono orgânico e o nitrogênio total dos solos correlacionam-se significativamente com o nitrogênio absorvido pelo milheto.
4. O nitrogênio absorvido pelo milheto correlaciona-se estreitamente com o nitrogênio potencialmente mineralizável dos solos, estimado pelos modelos hiperbólico, exponencial simples e exponencial duplo; porém, não se correlaciona com a fração de nitrogênio facilmente mineralizável, estimada pelo modelo exponencial duplo.

REFERÊNCIAS

- Anjos, L. H. C., M. G. Pereira & D. P. Ramos. 1999. Matéria orgânica e pedogênese. p. 91-118. In Santos, G. A. & F. A. O. Camargo. (Ed.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, Porto Alegre. 652 p.
- Bayer, C. & J. Mielniczuk. 1997. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. Rev. Bras. Ci. Solo, 21(1):105-2.
- Bremner, J. M. & D. R. Keeney. 1966. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29(4): 577-2.
- Camargo, F. A. O. 1996. Fracionamento e dinâmica do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 151 p.
- Dalal, R. C. & R. J. Mayer. 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 24(1): 281-92.
- Dalenberg, J. W. & G. Jager. 1989. Priming effect of some organic additions to ¹⁴C-labeled soil. Soil Biology & Biochemistry, 21(3): 443-8.
- Eagle, D. J. 1961. Determinations of nitrogen status of soils in the west midlands. Journal of the Science of Food and Agriculture, Oxford, 12(3): 712-7.
- Embrapa. 1997. Manual de métodos de análises químicas de solos. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa-CNPS, Rio de Janeiro. 212 p. (Doc. 1).
- Jenkinson, D. S., R. H. Fox & J. H. Rayner. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming" effect. Journal of Soil Science, 36(2): 425-44.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York. 281p.
- Jones, A. 1984. Estimation of an active fraction of soil nitrogen. Comm. Soil Sci. Pl. Anal., 15(1): 23-32.
- Kliemann, H. J. 1973. Componentes nitrogenados de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 76 p.
- Kliemann, H.J. & E. Malavolta. 1993. Disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. I. Avaliação dos potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre por incubação aberta. Anais Esc. Agron. e Vet., 23(1):129-144.
- Kliemann, H. J. & Buso, W. H. D. 2002. Efeitos do sistema de manejo e da calagem na estimativa das frações de nitrogênio em solos do Sudoeste de Goiás. Pesquisa Agropecuária Tropical, 32(2):59-68.
- Kuzyakov, Y., J. K. Fridel & K. Stahr. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biology & Biochemistry, 32(2000): 1485-98.
- Leon, M., P. Laine, A. Ourry & J. Boucaud. 1995. Increased uptake of native soil nitrogen by roots of *Lolium multiflorum* after nitrogen fertilization is explained by a stimulation of the uptake process itself. Plant and Soil, 173(1): 197-3.
- Löhnis, F. 1926. Nitrogen availability of green manures. Soil Science, 22(2): 253-90.
- Magalhães, R. T. 1997. Evolução das propriedades físicas e químicas de solos submetidos ao manejo pelo "Sistema

- Barreirão". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 86 p.
- Molina, J. A. E., C. E. Clapp & W. E. Larson. 1980. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44(2): 442-3.
- Oliveira, S. A. 1987. Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo em solos do Distrito Federal. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo. 128 p.
- Pöttker, D. 1977. Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 128 p.
- Quaggio, J. A. 1983. Métodos para determinação da necessidade de calagem em solos. p.33-48. In B. van Raij. (Ed.). *Acidez e calagem no Brasil*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. 452 p.
- Sarruge, J. R. & H. P. Haag. 1974. Manual de análise foliar. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 56 p. (mimeografado).
- Smith, S. J., L. B. Young & G. E. Miller. 1977. Evaluation of soil nitrogen mineralization potential under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 41(1): 74-6.
- Smith, J. L., R. R. Schnabel, B. L. McNeal & G. S. Campbell. 1980. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 44(5): 996-1000.
- Stanford, G., A. S. Ayres & M. Doi. 1965. Mineralizable soil nitrogen in relation to fertilizer on sugarcane in Hawaii. *Soil Sci.*, 99(1): 132-7.
- Stanford, G. & S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34(3): 465-472.
- Stanford, G., J. N. Carter, D. T. Westerman & J. J. Meisinger. 1977. Residual nitrate and mineralizable soil nitrogen in relation to nitrogen uptake by irrigated sugarbeets. *Agron. J.*, 69(2): 303-8.
- Tabatabai, M.A. & A.A. Al-Khafaji. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. *J. Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 44(3):427-429.
- Tedesco, M. J., G. Gianello, C. A. Bissani, H. Bohnen & S. J. Volkweiss. 1995. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2. ed. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 174 p.
- Walkley, A. & I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37(1): 29-38.
- Welch, C. D. & W. V. Bartholomew. 1963. Relationship between NO₃--N production, dry matter production and N responses on Coastal Plain soils. *Agron. J.*, 55(5): 441-3.