

EFEITOS DOS SISTEMAS DE MANEJO E DA CALAGEM NA ESTIMATIVA DAS FRAÇÕES POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEIS DE NITROGÊNIO EM SOLOS DO SUDOESTE DE GOIÁS¹

Huberto José Kliemann² e Wilian Henrique Diniz Buso³

ABSTRACT

EFFECTS OF CROPPING SYSTEMS AND LIMING ON THE ESTIMATES OF THE POTENTIALLY MINERALIZABLE NITROGEN FRACTIONS ON SOILS IN SOUTHWESTERN GOIÁS

An aerobic incubation laboratory trial was undertaken to assess the effects of cropping systems and liming of undisturbed soils and soils under conventional tillage and no-tillage on the cumulative nitrogen mineralization and on the potentially mineralizable nitrogen (N_o). The estimated N_o parameters ranged from 187 to 23 mg N kg⁻¹ of soil, with the highest values found in clayey Oxisols and the lowest ones in dystrophic sandy soils (Ultipsamments). The hyperbolic model estimated higher N_o values than simple and double potential models, regardless of the cropping systems used. N_o estimated parameters are proportional to organic C, total N, and clay contents, but become lower with the cropping intensity: conventional tillage < no-tillage < undisturbed soils. Simple and double exponential models estimate nearly the same values of N_o . The double exponential model estimates a fraction of easily mineralizable nitrogen that accounts for less than 2% of total nitrogen. Liming had a depressive effect on nitrogen mineralization in all soils under conventional tillage. Under a no-tillage system liming increased nitrogen mineralization in Oxisols, but decreased it in sandy soils.

KEY WORDS: Organic carbon, nitrogen, cropping systems, liming, cerrados.

RESUMO

Conduziu-se um experimento de incubação aeróbica em laboratório para estimar o nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o) através de modelos matemáticos. Avaliaram-se os efeitos da calagem e do manejo de solos sob vegetação nativa, plantio convencional e plantio direto, na mineralização cumulativa do nitrogênio. Os parâmetros estimados de N_o variaram de 187 a 23 mg N kg⁻¹ de solo, sendo que os valores mais altos foram encontrados nos latossolos sob vegetação natural, argilosos e com maiores teores de carbono e nitrogênio total. Valores menores de N_o foram encontrados no Neossolo. O modelo hiperbólico estima valores mais altos de N_o que os modelos exponencial simples e duplo, independentemente do manejo dos solos. Os valores de N_o estimados são proporcionais aos teores de carbono, nitrogênio total e argila dos solos; porém são menores em função da intensidade de uso dos solos: plantio convencional < plantio direto < vegetação nativa. Os modelos exponencial simples e exponencial duplo estimam potenciais de mineralização semelhantes. O modelo exponencial duplo estima que a fração de nitrogênio facilmente mineralizável representa menos de 2% do nitrogênio total dos solos. A calagem deprimiu a mineralização de nitrogênio em todos os solos sob plantio convencional; sob plantio direto, aumentou a mineralização de nitrogênio nos Latossolos, porém diminuiu no Neossolo.

PALAVRAS-CHAVE: Carbono orgânico, nitrogênio, sistemas de cultivo, calagem, cerrados.

INTRODUÇÃO

Em condições naturais, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. Esse sistema atinge um estado de equilíbrio em que as perdas se contrabalançam com os ganhos (Addiscott 1992). Dentro desse conceito a adição de matéria orgânica ao solo dá-se por meio da captura (seqüestro) de CO₂ e síntese de compostos

orgânicos pela fotossíntese e síntese microbiana. Por sua vez, as perdas de carbono dão-se pela produção de CO₂ na respiração das raízes e na decomposição microbiana e por lixiviação e erosão.

A maioria dos trabalhos sobre a dinâmica da matéria orgânica, cinética e mineralização de nitrogênio foi realizada em regiões frias e temperadas. Os estudos em solos tropicais ainda são restritos (Blondel 1971a, 1971b, Silva *et al.* 1994a). Em

1. Parte da dissertação do segundo autor apresentada à Universidade Federal de Goiás.

Trabalho recebido em fev./2002 e aceito para publicação em nov./2002.

2. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás - Cx. Postal 131, CEP 74.001-970. Goiânia, GO.

3. Eng. Agrônomo. Itapaci, GO. Telefone: (62)361-1459. E-mail: wilianbuso@yahoo.com

trabalho conduzido com solos da Nigéria e Inglaterra, Jenkinson & Ayanaba (1977) verificaram que a velocidade de decomposição da matéria orgânica adicionada aos solos é cerca de cinco vezes mais rápida em regiões tropicais do que em regiões temperadas. Em regiões de baixas temperaturas há pequenas perdas de nutrientes, principalmente durante o inverno. Já nas regiões tropicais, como as variações de temperatura são menores, existe uma maior atividade microbiana no solo, principalmente quando há umidade adequada. Essa atividade diminui com a estação seca, quando a umidade do solo é baixa.

Os primeiros trabalhos de mineralização de nitrogênio por períodos prolongados foram conduzidos por Stanford & Smith (1972), que desenvolveram o conceito de nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o), por processos de incubação aberta e lixiviação, em intervalos predeterminados, com soluções diluídas de $CaCl_2$ e de KCl . A partir daí desenvolveram-se modelos empíricos para descrever a acumulação de nitrogênio mineralizado ($NH_4^+ + NO_3^-$) em função do tempo. As relações curvilíneas em geral têm mostrado um melhor grau de ajustamento (Stanford & Smith 1972, Molina *et al.* 1980), sendo descritas inicialmente pelas equações hiperbólica e exponencial de primeira ordem. Alguns pesquisadores (Stanford & Smith 1972, Campbell *et al.* 1981) usaram uma transformação linear da equação hiperbólica que, no entanto, apresenta menor precisão. Por sua vez, os dois primeiros modelos apresentam pequena capacidade de predição do rendimento das culturas e adsorção de nitrogênio. Molina *et al.* (1980), então, sugeriram que a mineralização pode ser interpretada como a decomposição de dois ou mais compostos com índices variáveis de decaimento. A mineralização deveria ser modelada como a soma de dois ou mais exponenciais para alguns solos. O pressuposto do modelo de Molina *et al.* (1980) é verdadeiro pelo menos em condições de solos nos quais foi adicionada alguma fonte de nitrogênio muito facilmente mineralizável, como foi constatado por Lindeman & Cardenas (1984), na aplicação de esgoto digerido anaerobicamente.

Uma questão a ser considerada é se as incubações de longo prazo em laboratório podem levar a resultados aplicáveis no mundo real. Stanford & Smith (1972) partiram do pressuposto de que a temperatura e a umidade são os controladores primários de nitrogênio dos compartimentos de N_o e estabeleceram relações entre esses parâmetros e a constante de mineralização, k (Stanford *et al.* 1977). Na realidade, o controlador primário da mineralização

do nitrogênio parece ser a existência de um substrato de nitrogênio orgânico, influenciado pela temperatura do solo, pelos ciclos de secamento e umedecimento, e pelo cultivo. Tais processos e seus efeitos não são previsíveis por simples medições de temperatura e umidade em condições ou ambiente constante de incubação em laboratório.

Uma segunda deficiência das incubações de longo prazo em laboratório refere-se aos efeitos sobre a população microbiana. Bonde *et al.* (1988) verificaram que a massa microbiana declinou sensivelmente durante uma incubação de 25 semanas, e entre 55% e 89% do nitrogênio mineralizado pode ser atribuído diretamente a esse declínio. Juma & Paul (1984) e Duxbury & Nkambule (1994) verificaram que 58% do nitrogênio mineralizado numa incubação de sete semanas foram explicados pelo decréscimo do nitrogênio da massa microbiana.

Deng & Tabatabai (2000) observaram que a taxa de mineralização do nitrogênio é influenciada pelo tipo de resíduo cultural que está sobre o solo. O cultivo contínuo de monocultura reduz a quantidade de nitrogênio mineralizado, enquanto a rotação aumenta essa quantidade.

O presente trabalho teve como objetivos estimar o nitrogênio potencialmente mineralizável por incubação aeróbica através de modelos matemáticos, e avaliar os efeitos da calagem, da vegetação nativa e do manejo de solos sob plantio convencional e plantio direto na mineralização do nitrogênio dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento em laboratório, por quatorze semanas, através de incubação aeróbica, e, a partir dos dados de nitrogênio potencialmente mineralizável, foram estimados os potenciais de fornecimento de nitrogênio dos solos através de modelos matemáticos. Utilizaram-se quatro solos da microrregião do Sudoeste Goiano (Rio Verde e Santa Helena de Goiás), a partir de amostras colhidas em perfis de solos não perturbados e em áreas submetidas a plantio convencional e ao sistema de plantio direto, de acordo com a metodologia de Lemos & Santos (1996). Todas as amostras foram colhidas na meia-encosta das áreas e na profundidade atingida pelo horizonte antrópico de 12,5 cm em média. Foram coletadas no início do mês de outubro de 1999, colocadas em sacos de ráfia, secas ao ar e peneiradas. A caracterização física e química geral dessas amostras foi feita de acordo com Embrapa (1997) e encontra-se na Tabela 1.

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), de mata nativa (MN) e em áreas sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)

Solo		Areia	Silte	Argila	CO ⁽⁵⁾	N _i ⁽⁵⁾	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺	pH
Local	Manejo ¹	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)	600	80	320	11,9	1,20	16	95	1,4	0,9	2,5	6,0
	PC (2 anos)	810	60	130	16,7	0,80	50	70	2,0	1,4	1,5	6,1
-----Solo 2 – Latossolo Roxo eutrófico, 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, fase Cerrado-----												
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- Os valores entre parênteses são: número exato de anos (em PD) e número estimado de anos pelos produtores da região (em PC).

Os teores de carbono nos solos estudados foram determinados segundo a metodologia proposta por Walkley & Black (1934), com as modificações de Tedesco *et al.* (1995) para carbono orgânico. As determinações de nitrogênio total e nitrogênio mineral [$N(NH_4^+ + NO_3^-)$] no solo foram realizadas segundo a metodologia de Bremner & Keeney (1966), modificadas por Tedesco *et al.* (1995). A necessidade de calagem dos solos foi quantificada de acordo com a metodologia de Quaggio (1983), considerando-se 70% de saturação por bases. A adubação das amostras incubadas foi baseada nas análises químicas para fins de fertilidade e complementada até atingir os seguintes níveis (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.

Os procedimentos de incubação aeróbica para a mineralização do nitrogênio das amostras de terra foram descritos por Stanford & Smith (1972) e Tabatabai & Al-Khafaji (1980), e modificados por Kliemann & Malavolta (1993). As amostras foram coletadas em locais com os seguintes históricos de manejo: 1) solo com vegetação nativa (perfil pedológico); 2) solo sob plantio convencional (aração/gradagem); e 3) solo sob sistema de plantio direto. As unidades de solos usadas foram: solo número 1 (Latossolo Vermelho Escuro distrófico, fase cerrado, textura média); solo número 2 (Latossolo Roxo eutrófico, fase mata, textura argilosa); solo número 3 (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase

cerrado, textura argilosa); e solo número 4 (Neossolo Quartzarênico distrófico, fase cerrado).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, sendo que no solo 1, sob plantio convencional, e no solo 2 não houve tratamento com calagem. Empregou-se um total de sessenta e seis parcelas, com quatro unidades de solos, sem e com calagem. O nitrogênio potencialmente mineralizável dos solos foi estimado por três modelos matemáticos, como se segue:

a) *exponencial simples de primeira ordem* (Stanford & Smith 1972):

$$N_m = N_o^F [1 - e^{(-kt)}],$$

onde: N_m é o nitrogênio mineralizado líquido acumulado até o tempo t ; k é a constante de índice invariante (semana⁻¹); e N_o^F é definido como o compartimento de nitrogênio potencialmente mineralizável no tempo zero ($t = 0$).

b) *modelo hiperbólico de primeira ordem* (Stanford & Smith 1972):

$$N_m = \frac{N_o^H \cdot t}{bN_o^H + t}$$

onde: N_m é o nitrogênio mineralizado cumulativamente ($\mu\text{g N g}^{-1}$ de solo); N_o^H é definido como o compartimento de nitrogênio potencialmente mineralizável;

t é o tempo; e b é uma constante [semanas ($\mu\text{g N g}^{-1}$ solo $^{-1}$)]. No modelo hiperbólico usou-se a seguinte transformação para a constante, $b = T_c / N_o$, do que resulta:

$$N_m = \frac{N_o \cdot t}{T_c + t},$$

onde: T_c é a metade do nitrogênio potencialmente mineralizável.

c) *modelo exponencial de segunda ordem* (Molina *et al.* 1980):

$$N_m = N_o S(1 - e^{-ht}) + N_o(1 - S)(1 - e^{-kt}) + \varepsilon,$$

onde: N_m é a concentração de substrato no tempo t ; N_o , o substrato mineralizável (ou potencialmente mineralizável) no tempo zero ($t = 0$); S e $(1 - S)$ representam as frações de nitrogênio orgânico de rápida e lenta decomposição, respectivamente; k e h , as respectivas constantes; e ε , o termo de erro com média zero e variância fixa σ^2 .

Os modelos foram processados pelo algoritmo de Marquardt (1963), utilizando-se o aplicativo SigmaPlot (Jandel Scientific 1999). A partir do modelo hiperbólico estimaram-se as meias-vidas (tempo necessário para mineralizar a metade do nitrogênio potencialmente mineralizável). As frações de nitrogênio lábil e a recalcitrante foram estimadas pelo modelo exponencial duplo de Molina *et al.* (1980).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de nitrogênio total dos solos e os parâmetros dos modelos hiperbólico, exponencial simples e exponencial duplo encontram-se nas Tabelas 2 e 3. Verifica-se que o nitrogênio total (N_t) nas amostras de 0 a 12,5 cm diminuiu significativamente em todos os solos na seguinte ordem: solos com vegetação nativa < solos sob sistema de plantio direto < plantio convencional. Apenas no solo número 1 e

Tabela 2. Valores dos parâmetros de nitrogênio¹ de amostras de quatro solos – áreas de cerrado nativo (CN), de mata nativa (MN) e áreas sob os plantios direto (PD) e convencional (PC), com calagem (CAL) e sem calagem – obtidos da incubação aeróbica dos solos e estimados pelos modelos matemáticos exponencial simples e hiperbólico (dados médios de três repetições)

Solo/Tratamento	Nt mg kg ⁻¹	Modelo exponencial			Modelo hiperbólico				
		N _o mg kg ⁻¹	k	R ²	N _o	1/2N _o	T _c	b	R ²
-----Solo 1 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico, fase Cerrado, textura média-----									
CN	1100	76,75	0,14	0,99	112,96	56,48	9,67	0,0856	0,99
CN (CAL)	1100	54,97	0,18	0,99	74,50	37,25	6,26	0,0840	0,99
PD	1190	26,23	0,26	0,99	32,98	16,49	3,73	0,1131	0,99
PD (CAL)	1190	37,90	0,27	0,99	48,45	24,22	3,84	0,0792	0,98
PC	800	25,80	0,15	0,99	36,45	18,22	8,20	0,2250	0,99
-----Solo 2 – Latossolo Roxo eutrófico, fase mata, textura argilosa-----									
MN	3820	133,60	0,18	0,99	186,56	93,28	6,78	0,0363	0,98
PD – s/Ca	2030	37,87	0,19	0,99	51,50	25,75	6,27	0,1217	0,99
PD (CAL)	2030	44,92	0,16	0,99	64,57	32,28	8,36	0,1295	0,99
PC	1670	34,16	0,26	0,99	43,33	21,66	3,89	0,0898	0,99
PC (CAL)	1670	35,47	0,25	0,99	45,20	22,60	3,97	0,0878	0,99
-----Solo 3 – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, fase Cerrado, textura argilosa-----									
CN	2270	138,20	0,20	0,99	186,70	99,35	5,68	0,0304	0,99
CN (CAL)	2270	119,90	0,23	0,99	155,60	77,80	4,49	0,0288	0,99
PD	1590	44,82	0,27	0,99	56,34	8,17	3,57	0,0633	0,99
PD (CAL)	1590	49,26	0,27	0,99	62,16	31,08	3,64	0,0585	0,99
PC	1480	55,96	0,37	0,99	66,55	33,27	2,27	0,0341	0,99
PC (CAL)	1480	49,48	0,29	0,99	61,71	30,85	3,34	0,0541	0,99
-----Solo 4 – Neossolo Quartzarênico distrófico, fase Cerrado-----									
CN	860	48,97	0,26	0,99	61,66	0,83	3,74	0,0606	0,99
CN (CAL)	860	48,07	0,28	0,99	59,79	29,89	3,34	0,0559	0,99
PD	600	20,09	0,21	0,99	26,34	13,17	5,04	0,1913	0,99
PD (CAL)	600	17,63	0,19	0,99	23,79	11,89	6,12	0,2572	0,99
PC	770	23,02	0,18	0,97	30,85	15,42	6,29	0,2039	0,98
PC (CAL)	770	17,96	0,23	0,99	23,38	11,69	4,63	0,1980	0,99

¹ - N_t: nitrogênio total do solo, antes do plantio; N_o: nitrogênio potencialmente mineralizável; k e b : constantes de mineralização (semanas $\mu\text{g de N g}^{-1}$ de solo); e T_c: meia-vida (tempo necessário para mineralizar a metade do nitrogênio potencialmente mineralizável - 1/2N_o); R²: coeficiente de determinação do modelo.

Tabela 3. Valores dos parâmetros de nitrogênio mineralizado¹ de amostras de quatro solos – áreas de cerrado nativo (CN), de mata nativa (MN) e áreas sob os plantios direto (PD) e convencional (PC), com calagem (CAL) e sem calagem – obtidos da incubação aeróbica dos solos e estimados pelo modelo exponencial duplo (dados médios de três repetições)

Solo / Tratamento	$\frac{N_t}{N_o}$		S	$\frac{N_{fmin}}{N_{dmin}}$		$\frac{k}{h}$		DPR	R ²
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----		-----semana ⁻¹ -----			
-----Solo 1 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico, fase Cerrado, textura média-----									
CN	1100	76,8	0,05	3,6 (3,3)*	73,2 (66)	0,130	0,140	1,77	0,99
CN (CAL)	1100	56,4	0,06	3,7 (3,4)	52,7 (48)	0,048	0,191	1,59	0,99
PD	1190	26,6	0,03	0,8 (0,7)	25,8 (22)	0,068	0,260	1,29	0,99
PD (CAL)	1190	37,5	0,07	2,6 (2,2)	34,9 (29)	0,132	0,315	0,68	0,99
PC	800	25,8	0,01	0,4 (0,5)	25,4 (32)	0,097	0,153	0,89	0,99
-----Solo 2 – Latossolo Roxo eutrófico, fase mata, textura argilosa-----									
MN	3820	133,0	0,07	9,2 (2,4)	123,8 (32)	0,181	0,183	5,28	0,99
PD	2030	38,7	0,07	2,6 (1,3)	36,1 (18)	0,057	0,192	0,66	0,99
PD (CAL)	2030	45,0	0,07	2,2 (1,1)	42,8 (21)	0,154	0,155	0,92	0,99
PC	1670	34,5	0,03	1,0 (0,6)	33,5 (20)	0,058	0,261	0,98	0,99
PC (CAL)	1670	35,9	0,06	2,1 (1,3)	33,8 (20)	0,068	0,269	0,77	0,99
-----Solo 3 – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, fase Cerrado, textura argilosa-----									
CN	2270	138,2	0,05	6,8 (3,0)	131,4 (58)	0,187	0,204	3,01	0,99
CN (CAL)	2270	122,5	0,05	6,7 (2,9)	115,8 (51)	0,058	0,242	2,34	0,99
PD	1590	45,3	0,03	1,3 (0,8)	44,0 (28)	0,061	0,278	0,75	0,99
PD (CAL)	1590	50,8	0,08	3,9 (2,4)	46,9 (29)	0,060	0,284	0,89	0,99
PC	1480	58,2	0,10	5,6 (3,4)	52,6 (35)	0,068	0,398	2,23	0,99
PC (CAL)	1480	50,0	0,03	4,8 (3,2)	45,2 (30)	0,069	0,292	0,04	0,99
-----Solo 4 – Neossolo quartzarênico distrófico, fase Cerrado-----									
CN	860	49,9	0,06	2,8 (3,2)	47,1 (55)	0,067	0,270	1,98	0,99
CN (CAL)	860	48,6	0,03	1,5 (1,7)	47,1 (55)	0,061	0,290	1,37	0,99
PD	600	20,5	0,05	1,1 (1,8)	19,4 (32)	0,055	0,219	0,65	0,99
PD (CAL)	600	17,8	0,03	0,6 (1,0)	17,2 (29)	0,052	0,190	0,56	0,99
PC	770	23,1	0,02	0,5 (0,6)	22,6 (29)	0,058	0,230	1,40	0,98
PC (CAL)	770	18,0	0,04	0,7 (0,9)	17,3 (22)	0,195	0,230	0,67	0,98

¹- N_t: nitrogênio total do solo antes do plantio; N_o: nitrogênio potencialmente mineralizável; S: fração de nitrogênio mineralizável de N_o; N_{fmin} e N_{dmin}: nitrogênio facilmente e dificilmente mineralizável, respectivamente (os números entre parênteses indicam o valor percentual das duas frações em relação ao nitrogênio total do solo); k e h: constantes de mineralização de nitrogênio; DPR: desvio padrão residual do modelo; R²: coeficiente de determinação do modelo.

na área sob plantio direto constataram-se teores de nitrogênio total ligeiramente maiores que na mata nativa. De acordo com alguns autores (Schlesinger 1999), a perturbação antrópica do sistema *solo* causa mais perdas do que ganhos de carbono e, por extensão, de nitrogênio. No plantio convencional essas perdas tendem a ser mais drásticas por causa da ruptura dos agregados, da oxidação dos compostos orgânicos a CO₂ e das perdas de nitrogênio por lixiviação e erosão, e ainda pela ação da calagem (Kliemann 1973, Freitas *et al.* 1988).

Os efeitos do manejo sobre o nitrogênio total, tendo como base de comparação os solos com vegetação nativa, são claramente influenciados pela textura (Tabela 1). No solo número 4 (Neossolo quartzarênico distrófico), o declínio do nitrogênio total no plantio convencional foi da ordem de 7%, e no sistema de plantio direto, de 25%. A perda maior de nitrogênio no sistema de plantio direto, nesse solo em particular, pode ser explicada pelo histórico da área,

que, antes da implantação deste sistema, foi submetida a 22 anos de plantio convencional.

No solo número 2 (Latossolo Roxo eutrófico, fase mata) e no solo número 3 (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, fase cerrado), ambos de textura argilosa, as perdas de nitrogênio total variaram entre 30 e 47%. Nota-se que no sistema de plantio direto as perdas foram menores, quando comparados às do plantio convencional. No solo número 1 (Latossolo Vermelho Escuro distrófico, fase cerrado), de textura média, as perdas de nitrogênio total foram da ordem de 27%, com apenas dois anos de plantio convencional. Entretanto, com onze anos de sistema de plantio direto, houve um ganho aproximado de 10%, em comparação com o cerrado nativo.

De um modo geral, analisando os quatro tipos de solos, constata-se que, mesmo após doze anos de sistema de plantio direto (solo 3, Latossolo eutrófico), em nenhum caso se recuperou o conteúdo original de nitrogênio total da mata nativa (Tabelas 1, 2 e 3).

Estimativas do nitrogênio potencialmente mineralizável por modelos matemáticos

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros ajustados de nitrogênio mineralizado acumulado por incubação aeróbica, em função do tempo, para os modelos hiperbólico e exponencial simples (Stanford & Smith 1972), e, na Tabela 3, para o modelo exponencial duplo (Molina *et al.* 1980). O último modelo também é apresentado na Figura 1 para os solos de 1 a 4, incluindo-se os três sistemas de uso e manejo (solos com vegetação nativa, sob plantio convencional e sob sistema de plantio direto), na ausência e presença de calagem.

Pela análise comparativa dos diferentes sistemas de uso e manejo dos solos, constata-se que o modelo hiperbólico estima potenciais de mineralização (N_0) sistematicamente maiores do que os obtidos pelos modelos exponencial simples e exponencial duplo. Os potenciais de mineralização, estimados pelos modelos hiperbólico, exponencial simples e exponencial duplo são sistematicamente menores em função da intensidade de uso dos solos: plantio convencional < sistema de plantio direto < solo com vegetação nativa (Tabelas 2 e 3).

De acordo com El-Haris *et al.* (1983), o cultivo mais intensivo dos solos gera constantes de

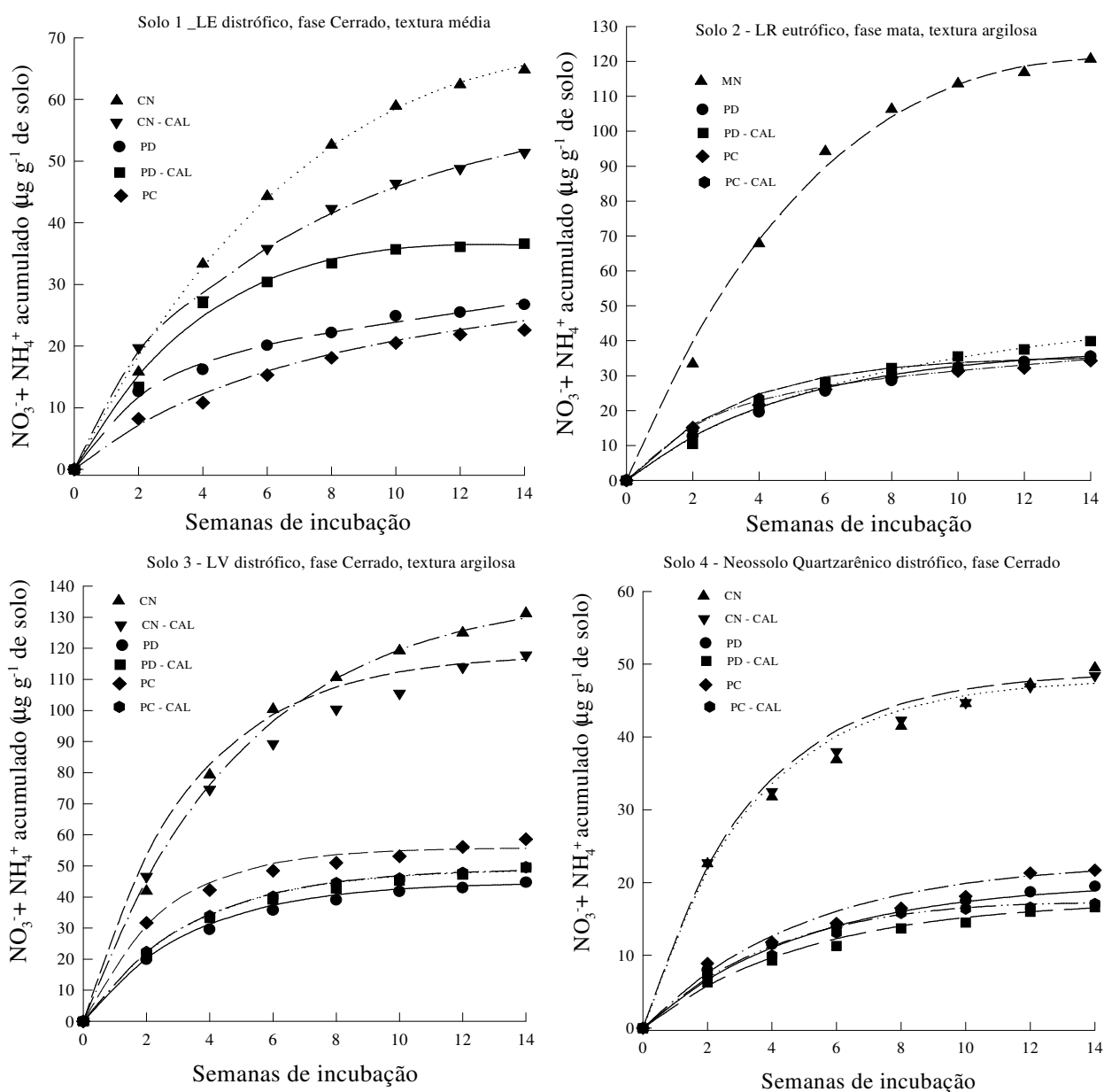


Figura 1. Mineralização de nitrogênio do solo por incubação aeróbica em amostras da camada de 0-12,5 cm, sem e com calagem (CAL), em função do tempo de incubação estimado pelo modelo duplo exponencial de Molina *et al.* (1980). Áreas de cerrado (CN) e mata (MN) nativos, e sob os plantios direto (PD) e convencional (PC).

mineralização menores, o que não está ocorrendo no presente trabalho, em que as constantes b estimadas são maiores, porém compensadas por potenciais de mineralização (N_o) menores. No sistema de plantio direto, embora ainda menores que nos solos com vegetação nativa, os valores de N_o tendem a ser maiores no solo 2 e no solo 3, ambos de textura argilosa. Os potenciais de mineralização variam de 187 mg N kg⁻¹ nos solos com vegetação nativa até 45 mg N kg⁻¹ no plantio convencional, o que representa uma redução de até 75%. No solo 1, de textura média, os valores de N_o variam de 113 mg N kg⁻¹ no solo com vegetação nativa até 33 mg N kg⁻¹ sob plantio convencional, com redução de até 71%. No solo 4, os valores de N_o variam de 62 mg kg⁻¹ no solo com vegetação nativa até 23 mg N kg⁻¹ sob plantio convencional, com redução de 63%. As reduções de N_o no sistema de plantio direto apresentam variações intermediárias entre os solos com vegetação nativa e o plantio convencional.

Os valores de nitrogênio potencialmente mineralizável estimados pelos modelos exponencial simples de Stanford & Smith (1972) e exponencial duplo de Molina *et al.* (1980) são praticamente os mesmos, o que implica dizer que o segundo modelo não é capaz de discriminar os pretendidos dois compartimentos de nitrogênio – a fração facilmente mineralizável (N_{fmin}) e a dificilmente mineralizável (N_{dmin}), esta também chamada na literatura de fração recalcitrante (Camargo *et al.* 1997). Verifica-se na Tabela 3 que a fração facilmente mineralizável representa, em média, apenas 1,9% do nitrogênio total do solo, ao passo que a fração dificilmente mineralizável representa, em média, 35% desse nitrogênio. A fração facilmente mineralizável corresponde a 0,05% do nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o), estimado pelo parâmetro S da equação de duplo exponencial.

A obtenção de valores similares de nitrogênio potencialmente mineralizável para os dois modelos nesta pesquisa explica-se, pelo menos em parte, pela ausência de materiais de decomposição muito rápida, como é o caso da aplicação de esgotos, em que há aumentos drásticos nos índices de mineralização (Lindeman & Cardenas 1984). Deste modo, o pressuposto básico do modelo de Molina *et al.* (1980) – a existência de dois compartimentos de nitrogênio com diferentes índices de mineralização – não é válido para as condições dos solos estudados.

Segundo Camargo *et al.* (1997), o número de compartimentos a ser incluído no modelo depende do ajuste e da precisão desejada. O nitrogênio potencial-

mente mineralizável (N_o), definido por estimativas matemáticas, em termos práticos, está vinculado à suscetibilidade de ocorrência da mineralização de formas nitrogenadas orgânicas em tempos determinados.

O nitrogênio potencialmente mineralizável estimado pelos modelos exponenciais simples e duplo varia de 18 a 138 mg N kg⁻¹ de solo. Os menores valores são encontrados no solo 4, e os maiores, nos solos 2 e 3. Os valores estimados de N_o pelos dois modelos, embora comparativamente menores que os estimados pelo modelo hiperbólico, seguem os mesmos padrões de variação em função dos sistemas de uso e manejo do solo. Isso se confirma pela estreita correlação entre si, a saber: *i*) modelos expo-nenciais simples e duplo ($R^2=0,99$); *ii*) modelo expo-nencial simples e modelo hiperbólico ($R^2=0,99$); *iii*) modelo exponencial duplo e modelo hiperbólico ($R^2=0,99$).

Efeitos da calagem e do manejo dos solos na mineralização do nitrogênio

Na Figura 1 encontram-se os valores acumulados de [$N(NH_4^+ + NO_3^-)$] e as relações curvilineares do nitrogênio acumulado em função do tempo, valores esses obtidos pelo modelo de Molina *et al.* (1980). Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se os parâmetros da equação hiperbólica (Stanford & Smith 1972) e respectivas meias-vidas ($1/2N_o$), da exponencial de primeira ordem (Stanford & Smith 1972) e da exponencial de segunda ordem (Molina *et al.* 1980). Os fatores que mais contribuíram para a variação no nitrogênio potencialmente mineralizável foram a textura dos solos, a calagem e os históricos das áreas.

Os efeitos da calagem na mineralização do nitrogênio devem ser analisados sob a ótica da saturação por bases. Nas condições do presente experimento optou-se pela determinação da necessidade da calagem pela saturação a 70%. A calagem exerceu efeito depressivo sobre a mineralização de nitrogênio em todos os solos sob plantio convencional, pois os teores de [$N(NH_4^+ + NO_3^-)$] acumulados na presença dela são inferiores àqueles verificados na ausência, como pode ser visto na Figura 1 e nas Tabelas 2 e 3. Sob o sistema de plantio direto, a calagem aumentou a mineralização de nitrogênio nos Latossolos, diminuindo-a porém, no Neossolo, em todos os sistemas de uso e manejo do solo. Uma explicação plausível para esse efeito depressivo pode ter sido a calagem excessiva, capaz de provocar a volatilização de nitrogênio não nitrificado, ainda na forma amoniacal, antes de ele ser lixiviado periodicamente.

mente das colunas de incubação. Isso possivelmente ocorreu por causa dos menores teores de carbono e nitrogênio facilmente mineralizáveis nos Latossolos, dos baixos conteúdos de argila, carbono e nitrogênio total no Neossolo e da menor CTC nas situações mencionadas.

Kliemann (1973), em estudo com vinte solos do Rio Grande do Sul – com necessidades de calagem variando de 1,2 a 21 t ha⁻¹ – verificou efeito positivo da calagem na mineralização de nitrogênio, principalmente em solos com alto poder tampão. Em outro experimento, trabalhando com solos de São Paulo, Minas Gerais e Goiás – com necessidade de calagem entre 0,4 e 4,7 t ha⁻¹ – Kliemann & Malavolta (1993) verificaram a ação positiva da calagem na mineralização de nitrogênio e enxofre.

No solo 4 a calagem não influenciou na mineralização do nitrogênio, pois, de acordo com Kliemann & Malavolta (1993), solos arenosos e com baixos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total são sujeitos a esgotamento mais rápido em condições inadequadas de manejo. Em alguns solos a calagem diminuiu a meia-vida ($1/2N_0$) estimada pelo modelo hiperbólico, mas intensificou a mineralização. Os autores ainda afirmam que, nesses casos, não havendo reposição da matéria orgânica sob condições de cultivo intensivo, ocorrerá o rápido esgotamento de nitrogênio e enxofre dos solos. Todavia, em solos com maiores teores de argila e de carbono, esse processo é mais lento.

Em solos mais argilosos – solos 2 e solo 3 – a diminuição dos teores de nitrogênio total e dos respectivos potenciais de mineralização em valores absolutos, como função dos sistemas de cultivos, é atribuída ao maior tempo de plantio convencional. O sistema de plantio direto não foi capaz de restabelecer os teores originais de nitrogênio total do solo 2, mesmo decorridos doze anos de sua implantação, como está ilustrado na Figura 1 e na Tabela 3.

Em termos práticos, isso equivale a dizer que as quantidades de nitrogênio mineralizado são proporcionais aos conteúdos de nitrogênio total dos solos. Outros autores observaram também que a calagem influi na mineralização de maiores quantidades de nitrogênio, especialmente em solos de textura argilosa (Freitas *et al.* 1988, Kliemann & Malavolta 1993, Silva *et al.* 1994b).

O efeito conjugado da calagem e do cultivo dos solos sobre os conteúdos de carbono, nitrogênio e potenciais de mineralização tende a acentuar-se, principalmente sob plantio convencional, pelo repetido revolvimento, que causa a ruptura dos agregados

(Beauchamp *et al.* 1986) e maior oxigenação (Addiscott 1992, Schlesinger 1999).

No presente trabalho, os solos submetidos ao plantio convencional e sistema de plantio direto, na presença e ausência de calagem, sofreram reduções consideráveis em carbono e nitrogênio total. Os resultados mais evidentes são os de nitrogênio potencialmente mineralizável, menores nos quatro solos estudados, tanto no sistema de plantio direto, quanto no convencional, como se pode observar nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 1.

Adicionalmente, na Figura 2 verifica-se que o nitrogênio total dos solos se relaciona significativamente com o nitrogênio potencialmente mineralizável, desconsiderando-se o histórico das áreas. Os modelos exponencial simples e exponencial duplo praticamente se equivalem, e estimam os mesmos valores para nitrogênio potencialmente mineralizável; já o modelo hiperbólico estima valores maiores em função do maior coeficiente angular da equação da reta.

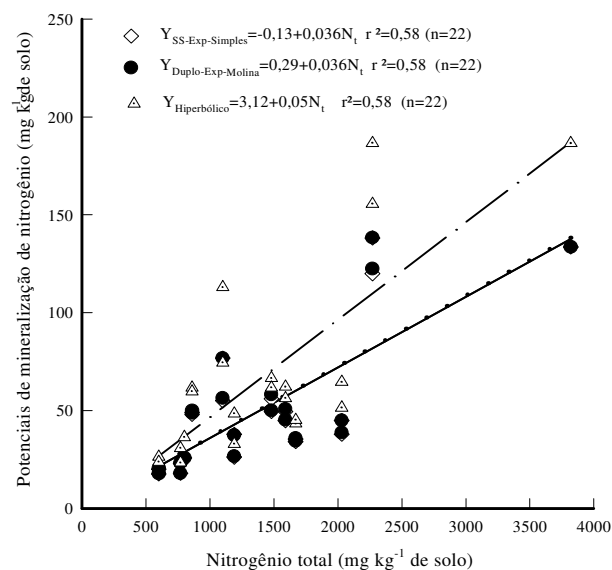


Figura 2. Relação do nitrogênio total com o nitrogênio potencialmente mineralizável estimada pelo modelo hiperbólico e pelos exponenciais de primeira ordem (Stanford & Smith 1972) e de segunda ordem (Molina *et al.* 1980).

CONCLUSÕES

1. O modelo hiperbólico estima valores de nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0) sistematicamente maiores que os modelos exponencial simples e exponencial duplo, independentemente do sistema de uso e manejo dos solos.

2. Os valores do nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0) estimados pelos três modelos são proporcionais aos teores de carbono, nitrogênio total e argila dos solos; são ainda sistematicamente decrescentes em função da intensidade de uso dos solos – plantio convencional < sistema de plantio direto < solo com vegetação nativa.
3. Os modelos exponencial simples e exponencial duplo estimam potenciais de mineralização praticamente iguais. Adicionalmente, o modelo exponencial duplo estima que a fração de nitrogênio facilmente mineralizável representa menos de 2% do nitrogênio total dos solos.
4. A calagem exerceu efeito depressivo sobre a mineralização de nitrogênio em todos os solos sob plantio convencional. Sob sistema de plantio direto, a calagem aumentou a mineralização de nitrogênio nos Latossolos, porém diminuiu-a no Neossolo.

REFERÊNCIAS

- Addiscott, T. M. 1992. Entropy and sustainability. *Eur. J. Soil Sci.*, 46(1):161 - 168.
- Beauchamp, E. G. & W. D. Reynolds, D. Brasche-Villeneuve & K. Kirkby. 1986. Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretreatments and cropping histories. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50(5): 1478 - 1483.
- Blondel, L. 1971a. Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote mineral en sol sableu (Dior) au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale*, 26(12): 1304 - 1333.
- Blondel, L. 1971b. Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote mineral en sol ferrugineux à Séfa (Sénégal). *L'Agronomie Tropicale*. 26(12): 1334 - 1351.
- Bonde, T. A.; J. Schnürer & T. Rosswell. 1988. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biol. Biochem.*, 20(3): 447 - 452.
- 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 - 582.
- Camargo, F. A. O., C. Gianello & C. Vidor. 1997. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 21(4): 575 - 579.
- Campbell, C. A., R. J. K. Myers & K. L. Weier. 1981. Nitrogen mineralization potentials, decomposition rates and their relations to temperature for five Queensland soils. *Austr. J. Soil Res.*, 19(2): 323 - 323.
- Deng, S. P. & M. A. Tabatabai. 2000. Effect of cropping systems on nitrogen mineralization in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 31(3): 211 - 218.
- Duxbury, J. M. & S. V. Nkambule. 1994. Assessment and significance of biologically active nitrogen. p.125-146. In *Soil Science Society of America*, 1994. Madison, 244 p.
- El-Haris, M. K., V. L. Cochran, L. F. Elliot & D. F. Bezdick. 1983. Effect of tillage, cropping and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci.*, 47(6):1157 - 1161.
- Embrapa. 1997. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed., rev., atual. Embrapa-CNPq, Rio de Janeiro. 212 p. (Documento 1).
- Freitas, S. S., C. A. N. Cardoso, A. A. Camargo & E. S. Lopes. 1988. Mineralização e imobilização de N em solo tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 12(3): 243 - 248.
- Jandel Scientific. 1999. SIGMAPLOT, Scientific Graphing Software Transform & Curve Fitting; revision SPW 5.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Jenkinson, D. S. & A. Ayanaba. 1977. Decomposition of Carbon-14 labeled plant material under tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 41(5): 912 - 915.
- Juma, N. G. & E. A. Paul. 1984. Mineralizable soil nitrogen: amounts and extractability ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48(4): 753 - 757.
- 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. 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. Agronomia e Veterinária - Universidade Federal de Goiás*, 23(1):129 - 144.
- Lemos, R. C. & R. D. Santos. 1996. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Soc. Bras. Ci. Solo, 83 p.
- Lindeman, W. & M. Cardenas. 1984. Nitrogen mineralization potentials and nitrogen transformations of sludge-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47(3): 525 - 530.
- Marquardt, D. W. 1963. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Mathem.*, 11(2): 431 - 431.
- 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 - 443.
- Quaggio, J. A. 1983. Métodos para determinação da necessidade de calagem em solos. p. 33 -48. In Raij, B. Acidez e calagem no Brasil. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. 111 p.
- Schlesinger, W. H. 1999. Carbon sequestration in soils. *Science*, Washington, 284(7): 2095.
- Silva, J. E., J. Lemainski & D. V. S. Resck. 1994a. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 18(3): 541 - 547.
- Silva, C. A., F. R. Vale & L. R. G. Guilherme. 1994b. Efeito da calagem na mineralização do N em solos de Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 18(3): 471 - 476.
- Stanford, G. & S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34(2): 465 - 472.
- Stanford, G., J. N. Carter, D. T. Westerman & Meisinger, J. J. 1977. Residual nitrate and mineralizable soil nitrogen in relation to nitrogen uptake by irrigated sugarbeets. *Agron. J.*, 69(2): 303 - 308.
- Tabatabai, M. A. & A. A. Al-Khafaji. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44(5): 1000 - 1006.
- 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.