

MARCO ANTONIO VALLE AGOSTINI

**NITRIFICAÇÃO HETEROTRÓFICA SOB INFLUÊNCIA DO USO E DA
ACIDEZ DO SOLO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação de Solos
e Nutrição de Plantas, para obtenção
do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

MARCO ANTONIO VALLE AGOSTINI

**NITRIFICAÇÃO HETEROTRÓFICA SOB INFLUÊNCIA DO USO E DA
ACIDEZ DO SOLO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação de Solos
e Nutrição de Plantas, para obtenção
do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 29 de Julho de 2003.

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Conselheiro)

Prof. Marcos Rogério Tótola
(Conselheiro)

Prof. Eduardo de Sá Mendonça

Prof^a. Maria Catarina M. Kasuya

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

Aos meus pais Raul e Ivete.

Aos meus irmãos Raul, Eliana e Mara.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa que me deu a oportunidade da realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa.

Ao Prof. Reinaldo Cantarutti pela dedicação e conselhos dados que ajudaram na elaboração e término do trabalho.

Ao Prof. Ivo Ribeiro pelas rápidas, porém eficientes e proveitosas, conversas de corredor que muitas vezes abriram janelas quando as portas estavam fechadas.

Aos Professores Liovando Marciano da Costa e Marcos Rogério Tótola pelo aconselhamento.

Ao Prof. Vitor Hugo que, apesar de não compor o comitê, sempre esteve disposto a discutir e esclarecer problemas que surgiram e ainda surgem nessa caminhada.

A minha companheira Daniella Barreto pela paciência demonstrada durante esses dois anos de curso na qual tive que me ausentar.

Ao meu amigo e colega Adilson de Oliveira Jr. pela ajuda dada nas incontáveis horas de laboratório como também nas longas horas de conversa para tentar esquecer a dura caminhada.

Ao meu amigo Gerardo Cervigni, segundo morador da república, pela paciência e árdua tarefa de me escutar por horas.

Ao grande amigo José Augusto dos Santos Neto pela caminhada desde a graduação passando por vários estágios curriculares e extracurriculares e continuando pelo Mestrado sempre ajudando para o crescimento do grupo.

A Ignacio Aspiazú e Martha Aspiazú que me acolheram de forma tão carinhosa que me fizeram sentir que tinha uma segunda família nesta cidade quando todos meus familiares estavam tão longe.

Aos laboratoristas Carlos Fonseca e Jorge Orlando e Zélia pela grande ajuda dada tanto durante as disciplinas como na fase de experimentação da tese.

A todos meus colegas que passaram esses dois anos caminhando ao meu lado que, de forma direta ou indireta, contribuíram para uma melhor formação,

meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

MARCO ANTONIO VALLE AGOSTINI, filho de Raul René Valle Meléndez e Ivete Agostini de Valle, nasceu em Honduras, América Central, no dia 16 de Fevereiro de 1977.

Chegou ao Brasil em 1984 na cidade de Itabuna, BA, após passar seus sete primeiros anos na Florida - USA. Em 1996 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus, BA onde obteve o título de Engenheiro Agrônomo em 2001. Neste mesmo ano ingressou no Mestrado “*Strictu Sensu*” em Solos, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese na área de Fertilidade e Nutrição de Plantas, em julho de 2003.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
INFLUÊNCIA DO MANEJO SOBRE A NITRIFICAÇÃO EM TRÊS SOLOS TROPICAIS	3
RESUMO	3
SUMMARY	4
INTRODUÇÃO	4
MATERIAL E MÉTODOS	6
RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
CONCLUSÕES	17
LITERATURA CITADA	18
NITRIFICAÇÃO EM TRÊS SOLOS TROPICAIS EM RESPOSTA À ACIDEZ	20
RESUMO	20
SUMMARY	20
INTRODUÇÃO	21
MATERIAL E MÉTODOS	22
RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
CONCLUSÕES	33
LITERATURA CITADA	32
CONCLUSÕES GERAIS	35
APÊNDICE A	36
APÊNDICE B	41
APÊNDICE C	43

RESUMO

VALLE AGOSTINI, Marco Antonio, M. S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2003. **Nitrificação heterotrófica sob influência do uso e da acidez do solo.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Conselheiros: Ivo Ribeiro da Silva, Marcos Rogério Tótola e Liovando Marciano da Costa

O excesso de nitrato no solo favorece perdas que comprometem a eficiência da adubação nitrogenada e o acúmulo em aquíferos. Embora a nitrificação seja intensamente estudada em solos de clima temperado, sabe-se que pode ser intensa em solos tropicais ácidos, com a participação de microrganismos heterotróficos. Assim, idealizou-se dois ensaios para quantificar a nitrificação autotrófica e heterotrófica em solos tropicais sob diferentes condições de uso, bem como avaliar o efeito do pH sobre a nitrificação por microrganismos autotróficos e heterotróficos. O primeiro ensaio foi conduzido com: i) Luvissole sob mata Atlântica e em área com cultivo de cacau coletado em Itabuna-BA; ii) Latossolo Vermelho sob cerradão, plantio direto e cultivo convencional coletado em Sete Lagoas-MG; e iii) Latossolo Vermelho sob cerrado, eucalipto e pastagem coletado em Paraopebas-MG. O ensaio consistiu na incubação de amostras dos solos sem adição de N-NH_4^+ ou com a adição de 200 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ , sendo que, para quantificar a nitrificação heterotrófica utilizou-se acetileno (1% v/v) como inibidor da atividade dos nitrificantes autotróficos. A incubação foi conduzida por um período de 28 dias, realizando-se avaliações aos dois, quatro, sete, 14 e 28 dias. Os tratamentos consistiram da combinação fatorial entre oito solos, duas doses de N-NH_4^+ (0 e 200 mg kg^{-1}), duas condições de incubação (com e sem acetileno) e cinco tempos de amostragens, sendo dispostos segundo o delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os resultados mostraram que os microrganismos heterotróficos tiveram

importante papel na nitrificação natural. Com a adição de N-NH_4^+ , a participação dos heterotróficos diminuiu enquanto que a dos autotróficos aumentou, sendo que a nitrificação global tendeu a se manter. A tendência de menor nitrificação em sistemas próximo ao estado de clímax não foi observada, exceto no Luvissole. O Latossolo sob cerradão apresentou maiores taxas de nitrificação quando sob cultivo, seja plantio direto ou convencional, enquanto que o Latossolo sob cerrado apresentou menores taxas de nitrificação sob vegetação natural e eucalipto, resultado atribuído à baixa disponibilidade de nutrientes e a elevada acidez do solo. O segundo ensaio foi conduzido somente com os três solos sob vegetação natural (Luvissole sob mata Atlântica e Latossolos Vermelho sob cerradão e cerrado), em arranjo fatorial de 3 x 3 x 2 x 5 (três solos, três fontes de nitrogênio, duas condições de incubação, e cinco níveis de acidez) com três repetições. Como fonte de nitrogênio, aplicou-se sulfato de amônio ou peptona, tendo como controle uma amostra sem adição de nitrogênio. Para quantificar a contribuição dos microrganismos autotróficos e heterotróficos, amostras foram incubadas na presença ou ausência de acetileno. Resultados inesperados foram obtidos com relação a atividades dos microrganismos heterotróficos em relação aos autotróficos em resposta ao pH, pois ambos responderam de forma semelhante sendo que as máximas atividades de nitrificação situaram-se próximo da neutralidade. Todos os solos responderam a adição de peptona como fonte orgânica de nitrogênio, exceto o Latossolo Vermelho sob cerradão.

ABSTRACT

VALLE AGOSTINI, Marco Antonio, M. S. Universidade Federal de Viçosa, July, 2003. **Influence of the management and acidity on heterotrophic nitrification** Adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti. Committee Members: Ivo Ribeiro da Silva, Marcos Rogério Tótola and Liovando Marciano da Costa

The excess of nitrate in soils favors losses that commit the efficiency of the nitrogen fertilizer and may cause its accumulation in water. Although the nitrification is studied intensely in soils of temperate climate, it has been known that nitrification can be intense in acidic tropical soils, with the participation of heterotrophic microorganisms. This study conducted two experiments to quantify the autotrophic and heterotrophic nitrification in three tropical soils under different use conditions, and the effect of soil pH on nitrification activity of autotrophic and heterotrophic microorganism. The first experiment was conducted with: i) Alfisol under Atlantic forest and in area with cocoa; ii) Oxisol under “cerradão”, conventional and no-till management; and iii) Oxisol under “cerrado”, eucalyptus and pasture. The experiment consisted in a factorial arrangement of eight soils, two levels of $N-NH_4^+$ (with or without $NH_4(SO_4)$), two incubation conditions and five samplings, disposed according a randomized block design with three replicates. To quantify the heterotrophic nitrification, samples were incubated with acetylene to inhibit the activity of autotrophic nitrifiers. The incubation was led by a period of 28 days, taking place evaluations at 2, 4, 7, 14 and 28 days. The heterotrophic microorganisms had important role in natural nitrification, without application of $N-NH_4^+$. In the potential nitrification, with the addition of $N-NH_4^+$, the participation of the heterotrophics decreased while the autotrophic nitrification increased. The expected lower nitrification in environments close to the climax was not observed, except in Alfisol. Oxisol under “cerradão” presented higher nitrification rates when under cultivation, while Oxisol under

“cerrado” presented smaller nitrification rates under natural vegetation and eucalyptus, result attributed to the low fertility and high acidity of the soil. The second experiment was conducted only with three soil under native vegetation (an Alfisols under Atlantic forest and two Oxisols under “cerradão” and “cerrado”). A factorial arrangement of 3 x 3 x 2 x 5 (three soils, three source of nitrogen, two incubation conditions and five levels of acidity) with three replicates was applied to combine all factors. The three nitrogen sources were ammonium sulfate (as mineral source), peptone (as organic source), and the control (soil endogenous nitrogen). Acetilene was used to quantify the contribution of the autotrophic and heterotrophic microorganisms to the nitrification process. Unlike the expected result, the activity of the heterotrophics microorganism in pH near to neutrality increased, and the pH values for the maximum nitrification activity were similar to the pH soil values required by the autotrophic ones. In addition the peptone treatment did stimulate nitrification in all soils, except Oxisol.

INTRODUÇÃO GERAL

Sendo o nitrogênio o elemento mais exigido pela maioria das plantas, sua demanda tem crescido paralelamente à expansão das áreas agrícolas e ao aumento da produtividade, o que ressalta sua importância social e econômica. Para suprir essa demanda, a fixação biológica e, sobretudo, a fixação industrial, têm contribuição expressiva.

No solo, o nitrogênio pode ser encontrado sob a forma gasosa, orgânicas, contido na matéria orgânica e biomassa do solo, e inorgânicas, adsorvido à fase sólida e na solução do solo. Dentre as formas iônicas predominam o nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), que são preferencialmente absorvidas pelas plantas.

O teor de amônio nos solos é geralmente baixo, pois é a forma de nitrogênio preferencialmente absorvida pelos microrganismos para assimilação ou para a geração de energia, transformando-o a nitrato por meio da nitrificação. A nitrificação é afetada, entre outros fatores, pela temperatura, umidade, pH, a disponibilidade de amônio e nutrientes e a presença de microrganismos do solo. Sob aspectos microbiológicos, a nitrificação pode ser realizada tanto por microrganismos autotróficos, como heterotróficos, sendo a nitrificação autotrófica a mais estudada, conhecendo-se bem seus agentes e sua forma de atuação.

A nitrificação autotrófica se processa em duas etapas: a oxidação do amônio a nitrito (NO_2^-) por dois grupos principais de microrganismos (*Nitrosospira* e *Nitrosomonas*) e a oxidação do nitrito a nitrato por meio do grupo de microrganismos denominados *Nitrobacter*. Quanto à nitrificação heterotrófica, sabe-se que ela é

promovida por uma grande variedade de microrganismos, entre bactérias e fungos, sendo que seus mecanismos ainda não são bem conhecidos.

Sendo a atividade dos nitrificantes autotróficos mais intensa em condições de pH próximo à neutralidade, as altas taxas de nitrificação constatadas em solos de clima temperado têm sido atribuídas principalmente a microrganismos autotróficos. Dessa forma, espera-se que a nitrificação em solos tropicais seja baixa em decorrência da elevada acidez, sendo que esta ocorreria em microssítios que apresentam pH mais elevado. Sabe-se, no entanto, que é possível encontrar elevadas taxas de nitrificação em solos tropicais.

Com a ocorrência de elevadas taxas de nitrificação em solos tropicais, cujas condições são inadequadas para a atividade de nitrificantes autotróficos, espera-se que os principais agentes nitrificantes sejam microrganismos heterotróficos. Dessa forma, despertou-se para o potencial de perdas pela lixiviação do NO_3^- frente às adubações nitrogenadas, apesar de se utilizar, predominantemente, fertilizantes amoniacais, pois as altas taxas de nitrificação, comprometem a eficiência econômica das adubações e põe em risco a qualidade dos aquíferos.

Dessa forma, é necessário uma maior compreensão dos agentes responsáveis pela nitrificação e a participação de cada grupo de microrganismos na nitrificação global nos solos tropicais, como também os seus mecanismos de atuação para possibilitar a execução de práticas que minimizam as perdas econômicas e os impactos ambientais.

INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO SOBRE A NITRIFICAÇÃO EM TRÊS SOLOS TROPICAIS

RESUMO

O excesso de nitrato no solo favorece perdas que comprometem a eficiência da adubação nitrogenada e o acúmulo em aquíferos. Embora a nitrificação seja intensamente estudada em solos de clima temperado, sabe-se que pode ser intensa em solos tropicais ácidos, com a participação de microrganismos heterotróficos. Assim, objetivou-se quantificar a nitrificação autotrófica e heterotrófica em três solos tropicais sob diferentes condições de uso. Foi conduzido um experimento com: i) Luvissole sob mata Atlântica e em área com cultivo de cacau; ii) Latossolo Vermelho sob cerradão, plantio direto e cultivo convencional; e iii) Latossolo Vermelho sob cerrado, eucalipto e pastagem. O experimento consistiu na incubação de amostras dos solos sem adição de $N-NH_4^+$ ou com a adição de 200 mg kg^{-1} de $N-NH_4^+$, sendo que, para quantificar a nitrificação heterotrófica utilizou-se acetileno (1% v/v) como inibidor da atividade dos nitrificantes autotróficos. A incubação foi conduzida por um período de 28 dias, realizando-se avaliações aos dois, quatro, sete, 14 e 28 dias. Os tratamentos consistiram da combinação fatorial entre oito solos, duas doses de $N-NH_4^+$ (0 e 200 mg kg^{-1}), duas condições de incubação (com e sem acetileno) e cinco tempos de amostragens, sendo dispostos segundo o delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os resultados mostraram que os microrganismos heterotróficos tiveram importante papel na nitrificação natural. Com a adição de $N-NH_4^+$, a participação dos heterotróficos diminuiu enquanto que a dos autotróficos aumentou, sendo que a nitrificação global tendeu a se manter. A tendência de menor nitrificação em sistemas próximo ao estado de clímax não foi observada, exceto no Luvissole. O Latossolo sob cerradão apresentou maiores taxas de nitrificação quando sob cultivo, seja plantio direto ou convencional, enquanto que o Latossolo sob cerrado apresentou menores taxas de nitrificação sob vegetação natural e eucalipto, resultado atribuído à baixa disponibilidade de nutrientes e a elevada acidez do solo.

SUMMARY: INFLUENCE OF THE MANAGEMENT ON NITRIFICATION IN THREE TROPICAL SOILS

The excess of nitrate in soils favors losses that commit the efficiency of the nitrogen fertilizer and may cause its accumulation in water. Although the nitrification is studied intensely in soils of temperate climate, it has been known that nitrification can be intense in acidic tropical soils, with the participation of heterotrophic microorganisms. This study was aimed to quantify the autotrophic and heterotrophic nitrification in three tropical soils under different use conditions. An experiment was conducted with: i) Alfisol under Atlantic forest and in area with cocoa; ii) Oxisol under “cerradão”, conventional and no-till management; and iii) Oxisol under “cerrado”, eucalyptus and pasture. The experiment consisted in a factorial arrangement of eight soils, two levels of N-NH₄⁺ (with or without NH₄(SO₄)), two incubation conditions and five samplings, disposed according a randomized block design with three replicates. To quantify the heterotrophic nitrification, samples were incubated with acetylene to inhibit the activity of autotrophic nitrifiers. The incubation was led by a period of 28 days, taking place evaluations at 2, 4, 7, 14 and 28 days. The heterotrophic microorganisms had important role in natural nitrification, without application of N-NH₄⁺. In the potential nitrification, with the addition of N-NH₄⁺, the participation of the heterotrophics decreased while the autotrophic nitrification increased. The expected lower nitrification in environments close to the climax was not observed, except in Alfisol. Oxisol under cerradão presented higher nitrification rates when under cultivation, while Oxisol under cerrado presented smaller nitrification rates under natural vegetation and eucalyptus, result attributed to the low fertility and high acidity of the soil.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista que a oxidação microbiológica do amônio a nitrato ocorre em solos com pH acima de 5 (De Boer & Kowalchuk, 2001), espera-se baixa taxa de nitrificação nos solos brasileiros que são predominantemente ácidos e com baixa fertilidade. Essas limitações nutricionais fazem com que para a utilização agrícola, esses solos sejam corrigidos e fertilizados, promovendo mudanças nas suas características químicas que favorecem a atividade de microrganismos nitrificantes (*Nitrosospira*,

Nitrosomonas e *Nitrobacter*) (Ste-Marie & Pare, 1999; De Boer & Kowalchuk, 2001; Grunditz & Dalhammar, 2001).

A partir da constatação de nitrificação em solos ácidos por Fred (1916), deu-se mais ênfase a estudos sobre a mesma, encontrando-se grande variedade de microrganismos heterotróficos com capacidade nitrificadora. Lang & Jagnow, (1986), citados por De Bôer & Kowalchuk (2001), encontraram que um quarto das 350 espécies de fungos e bactérias isoladas de um solo ácido sob floresta era capaz de produzir nitrito ou nitrato em meio de cultura contendo peptona.

Dada a diversidade de microrganismos capazes de promover a nitrificação heterotrófica, estes utilizam tanto o $N-NH_4^+$ como N-orgânico, sendo que, neste caso, utilizam-se de uma rota orgânica, o que dificulta quantificar sua atividade no solo (Killham, 1990; Moreira & Siqueira, 2002). Para isso, tem-se utilizado um método baseado na inibição da atividade dos microrganismos autotróficos (*Nitrosospira*, *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), empregando-se, como inibidor, entre outros, o acetileno (Pennington & Ellis, 1993; Rudebeck. & Persson, 1998; Zhu & Carreiro, 1999).

Dados os problemas ambientais causados pela lixiviação do nitrato e a constatação da nitrificação em solos ácidos, têm-se dado ênfase a estudos de potencial de nitrificação em solos de clima tropical, especialmente àqueles sob uso agrícola. Tem-se observado que a nitrificação tende a diminuir à medida que a vegetação se aproxima do clímax, dada a presença de substâncias potencialmente inibidoras, como flavanóides e compostos fenólicos, nos tecidos das espécies clímax (Rice & Pancholy 1972, Rice & Pancholy, 1973; Rice & Pancholy, 1974), ou a interação negativa entre microrganismos nitrificantes e aqueles que colonizam a rizosfera, favorecidos pela maior disponibilidade de substrato orgânico e de nutrientes (Robertson, 1982). Lazari (2001) estudando a nitrificação em solos sob eucalipto com diferentes idades, verificou que o potencial de nitrificação diminuiu com o avanço da idade dos povoamentos, mas foi menor em área de mata nativa, favorecendo maiores concentrações de amônio.

A intensa nitrificação em solos sob alguma forma de uso agrícola potencializa a lixiviação do $N-NO_3^-$, com riscos para os lençóis freáticos e os cursos d'água (Oliveira et al, 2001). Tan *et al.* (2002) verificaram a perda de até $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de $N-NO_3^-$ em plantações de milho e concentrações nas águas de drenagem acima de 10 mg L^{-1} de $N-NO_3^-$, representando perdas econômicas para a agricultura e riscos ambientais.

O presente trabalho teve como objetivo quantificar a nitrificação autotrófica e heterotrófica em três solos tropicais sob diferentes condições de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de fertilidade do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa-MG.

Amostras de solo, formadas a partir de 15 amostras simples para obtenção de uma amostra composta, na profundidade 0-20 cm, foram coletadas de um Luvissole e dois Latossolos Vermelho sob diferentes usos e formas de manejo, tomando-se como referência para cada solo uma área com a vegetação natural característica. Assim, o Luvissole, localizado em Ilhéus-BA, foi coletado sob mata Atlântica (T_{mata}) e sob área com cultivo de cacau (T_{cacau}). Os dois Latossolos foram coletados em Minas Gerais, um em Sete Lagoas, em áreas sob cerrado ($LV_{cerradão}$) e sob cultivo com milho em sistema plantio direto por 10 anos (LV_{pd}) e sistema de cultivo convencional (LV_{pc}). O outro Latossolo foi coletado em Paraopeba em áreas de vegetação de cerrado ($LV_{cerrado}$), sob plantação de eucalipto (LV_{euc}) e sob pastagem (LV_{past}). Desta forma totalizaram-se oito solos, cujas amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e caracterizadas química e fisicamente (Quadro 1).

Antes de se iniciar o experimento, os solos foram incubados por 15 dias com a umidade elevada a 70% da capacidade máxima de retenção de água para restabelecer a atividade da biomassa do solo.

O experimento consistiu na incubação de amostras do solo sem adição de $N-NH_4^+$ ou com a adição de 200 mg kg^{-1} de N ($(NH_4^+)_2 SO_4$), sendo que utilizou-se acetileno como inibidor da atividade dos nitrificantes autotróficos, para quantificar a nitrificação heterotrófica (De Boer & Kowalchuk, 2001).

Assim, definiram-se as combinações: i) sem adição de amônio e sem aplicação de acetileno para caracterizar a nitrificação global natural (autotrófica + heterotrófica); ii) com adição de amônio e sem aplicação de acetileno para caracterizar a nitrificação global potencial, isto é, sem restrição do substrato; iii) sem adição de amônio e com aplicação de acetileno para caracterizar a nitrificação heterotrófica natural; e iv) com aplicação de amônio e com adição de acetileno para caracterizar a nitrificação heterotrófica potencial.

A incubação foi conduzida por um período de 28 dias, realizando-se avaliações aos dois, quatro, sete, 14 e 28 dias. Desse modo, os tratamentos consistiam da combinação fatorial entre os oito solos, as quatro condições de incubação e cinco tempos de amostragem, sendo dispostos segundo o delineamento de blocos casualizados com três repetições, totalizando 480 unidades experimentais.

As unidades experimentais consistiram de 5g de solo mantidas a 60% da capacidade máxima de retenção de água. Para a incubação as unidades experimentais foram acondicionadas em caixas plásticas e mantidas a temperatura ambiente ($24 \pm 3^\circ\text{C}$). A cada sete dias injetou-se através de um sistema fechado de circulação de ar forçada um volume de acetileno correspondente a 1% do volume das caixas, sendo estas mantidas vedadas durante cinco horas. Em seguida passou-se um fluxo de ar por duas horas para remoção do acetileno (Pennington & Ellis, 1993; Persson & Wirén, 1995) e na seqüência as caixas foram mantidas abertas.

A cada avaliação foi removida uma unidade experimental de cada tratamento, sendo medido o pH em água (1:2,5) e extraído o NH_4^+ e NO_3^- em KCl 1 mol L^{-1} na relação 1:10 e agitação por 10 minutos, sendo o NH_4^+ dosado segundo Kempers & Zweers (1986) e o N-NO_3^- segundo Yang et al. (1998).

Procedeu-se a análise de variância e estabeleceram-se regressões entre os teores de nitrato e o tempo de incubação. Considerando que a variação no teores de N-NO_3^- foram lineares somente até o sétimo dia de incubação ajustaram-se regressões lineares (Statistical Analysis System V 8.0), cujos coeficientes angulares caracterizaram as taxas de nitrificação ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Para cada solo, os coeficientes angulares foram contrastados através do teste de identidade de modelo, empregando-se variáveis Dummy, utilizando-se o programa Statistica 6.0.

Quadro 1 – Características químicas e físicas de amostras da camada superficial (0-20 cm) de um Luvissole sob a mata Atlântica (T_{mata}) e cultivo de cacau (T_{cacau}), Latossolo Vermelho sob cerrado ($LV_{cerrado}$) e cultivo de milho em plantio direto (LV_{pd}) e plantio convencional (LV_{pc}), e um Latossolo Vermelho sob cerrado ($LV_{cerrado}$), eucalipto (LV_{euc}) e pastagem (LV_{past})

Solo/uso	pH _{H₂O}	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	V	m	CO	N total	C/N	P-rem	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		---mg dm ⁻³ ---			-----cmol _c dm ⁻³ -----			----%----			---dag kg ⁻¹ ---			mg L ⁻¹	-----dag kg ⁻¹ -----		
$T_{cacau}^{1/}$	5,63	30,63	25,00	9,17	1,94	0,00	7,25	60,6	0,0	1,60	0,142	11,30	32,85	22,5	28,5	23,5	25,5
$T_{mata}^{1/}$	5,84	3,73	40,63	6,79	5,65	0,00	6,75	64,8	0,0	2,09	0,187	11,20	32,50	22,5	29,5	25,0	23,0
$LV_{cerrado}^{2/}$	5,14	1,13	24,00	0,66	0,15	2,15	14,25	5,7	71,2	4,35	0,184	23,61	10,95	11,0	10,5	20,0	58,5
$LV_{pd}^{2/}$	5,55	9,23	29,50	3,18	0,48	0,10	7,45	33,4	2,6	2,83	0,131	21,56	24,00	8,5	11,0	18,5	62,0
$LV_{pc}^{2/}$	5,09	6,06	99,50	2,03	0,32	0,50	8,45	23,5	16,1	2,60	0,120	21,56	22,65	9,0	4,0	18,0	69,0
$LV_{cerrado}^{3/}$	4,97	0,72	44,50	0,07	0,04	2,25	7,75	2,7	91,3	1,57	0,104	15,05	20,00	10,0	16,5	21,5	52,0
$LV_{euc}^{3/}$	4,81	0,69	37,00	0,02	0,02	2,50	8,35	1,5	95,1	1,79	0,096	18,72	19,75	8,0	14,0	20,0	58,0
$LV_{past}^{3/}$	5,57	0,67	407,15 ^{4/}	2,96	1,00	0,05	6,50	40,9	1,1	2,75	0,144	19,09	29,00	4,0	2,0	23,5	70,5

pH_{H₂O} – 1:2,5; P e K – Mehlich -1; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ – KCl 1 mol L⁻¹; CO – Carbono Orgânico, Walkley e Black; N total – digestão Kjeldhal; P-rem – fósforo remanescente

^{1/} Coletado em Ilhéus - Bahia;

^{2/} Coletado em Sete Lagoas – Minas Gerais;

^{3/} Coletado em Paraopeba – Minas Gerais;

^{4/} O alto teor de K pode ser atribuído à influência residual de dejetos animais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No início do experimento, após incubação por 15 dias para a reativação da microbiota, os teores de N-NH_4^+ foram maiores no Luvissole e no Latossolo Vermelho de Paraopeba ($\text{LV}_{\text{cerrado}}$, LV_{euca} , LV_{past}) do que no Latossolo Vermelho de Sete Lagoas ($\text{LV}_{\text{cerradão}}$, LV_{pd} , LV_{pc}) (Quadro 2). Apesar disso, esses concordam com teores verificados em outros estudos com solos tropicais, tais como: 2 a 9 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ encontrados por Piccolo et. al. (1994), 0,36 a 15,8 mg kg^{-1} por Montagnini & Sancho (1994) e 2,62 a 9,1 mg kg^{-1} por Neill et. al. (1995). Já os teores de N-NO_3^- foram superiores aos encontrados por estes mesmos autores (0,07 a 6,36 mg kg^{-1} N-NO_3^-), provavelmente reflexo da incubação para ativação da microbiota em um sistema sem perdas por lixiviação.

Quadro 2 – Teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ e relação $\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$ em um Luvissole sob mata (T_{mata}) e cultivo de cacau (T_{cacau}), um Latossolos Vermelho sob cerradão ($\text{LV}_{\text{cerradão}}$) e cultivado com milho sob sistema de plantio direto (LV_{pd}) e plantio convencional (LV_{pc}) e um Latossolo Vermelho sob cerrado ($\text{LV}_{\text{cerrado}}$) e cultivado com eucalipto (LV_{euca}) e pastagem (LV_{past}) após 15 dias de incubação para restabelecimento do equilíbrio da biomassa

Solo/uso	N-NO_3^-	N-NH_4^+	$\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$
	----- mg kg^{-1} -----		
T_{mata}	11,48	32,26	0,36
T_{cacau}	35,10	26,35	1,33
$\text{LV}_{\text{cerradão}}$	59,82	12,25	4,88
LV_{pd}	23,07	6,85	3,37
LV_{pc}	46,90	7,24	6,48
$\text{LV}_{\text{cerrado}}$	1,88	37,58	0,05
LV_{euca}	11,15	25,82	0,43
LV_{past}	20,36	29,21	0,70

No Luvissole sob cultivo de cacau encontraram-se maiores teores de nitrogênio inorgânico ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$), estando, no entanto, maior proporção na forma de nítrica, enquanto que, sob vegetação natural, prevaleceu a forma amoniacal. Para o Latossolo Vermelho da área de Cerradão verificaram-se, em geral, menores teores de N inorgânico, o que pode estar associado aos menores teores de matéria orgânica (Quadro 1), apesar do cultivo de milho tanto sob plantio direto como convencional estar sendo conduzido há mais de dez anos. Independente da condição de uso, neste Latossolo predominou N na forma nítrica. À despeito da condição de uso no Latossolo Vermelho de Cerrado, encontrou-se menores teores de N inorgânico, com predominância de N-

NH_4^+ , embora sob pastagem observa-se maiores teores de nitrato, devido, provavelmente, a melhor fertilidade e menor acidez (Quadro 1).

Durante os dois primeiros dias de incubação, verificou-se queda nos teores de nitrato em alguns solos onde foi feita adição de amônio (Figura 1), sugerindo ocorrência de imobilização. Constatou-se também neste período o abaixamento do pH, o que poderia ser atribuído à atividade de nitrificação. No entanto, em um ensaio paralelo com amostras dos solos esterilizados, observou-se que a adição de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ provocou igual acidificação dos solos (dados não apresentados), o que pode ter inibido a nitrificação ou promovido uma fase *lag* na atividade dos nitrificantes, resultando em uma imobilização líquida do N.

Observou-se em alguns solos estabilização nos teores de nitrato após o sétimo dia de incubação (Figura 1). Adams (1986) e Robertson (1982) relataram que a baixa disponibilidade de fósforo e cálcio foi um dos fatores responsáveis pela baixa nitrificação em solos sob floresta. Os solos $\text{LV}_{\text{cerrado}}$ e LV_{euc} , com menor atividade dos nitrificantes, além da baixa disponibilidade de fósforo e cálcio, caracterizam-se pela elevada acidez.

Nos solos em que houve aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, foi detectado teores de N- NH_4^+ durante todo o período de incubação, exceto no LV_{pd} , onde não se encontrou amônio na última amostragem (28 dias) (dados não apresentados). Considerando que as condições não foram favoráveis para perdas gasosas, isto pode ser consequência de intensa nitrificação (Figura 1) e sob tal limitação do substrato, não é possível estimar nitrificação potencial.

No Luvissole sob cacau e mata o N- NH_4^+ não foi limitante para a nitrificação, considerando-se que não houve diferença entre a nitrificação global natural (sem adição de N- NH_4^+) e potencial (com adição de N- NH_4^+) (Quadro 3).

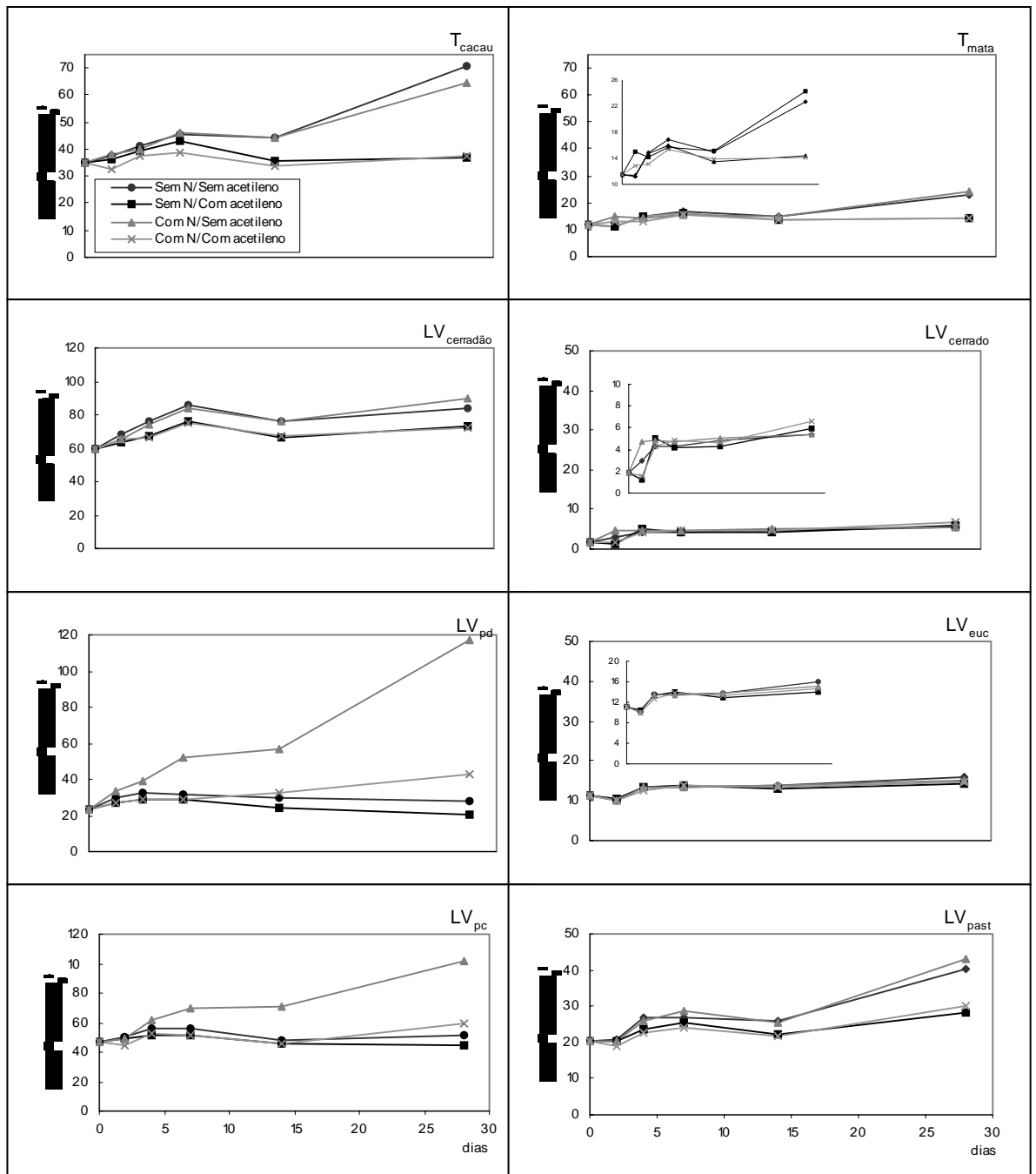


Figura 1 – Variação nos teores de N-NO_3^- de acordo com o período de incubação em um Luvissole sob mata (T_{mata}) e sob cultivo de cacau (T_{cacau}), em um Latossolo Vermelho sob cerradão ($LV_{\text{cerradão}}$), e manejado sob sistema de plantio direto (LV_{pd}) e plantio convencional (LV_{pc}) e em um Latossolo Vermelho sob cerrado (LV_{cerrado}) e cultivado com eucalipto (LV_{euc}) e pastagem (LV_{past}), com e sem a aplicação de 200 mg kg^{-1} de N ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), com e sem a presença de acetileno.

No T_{cacau} houve diferença entre a nitrificação global e heterotrófica, tanto sem como com a adição de N-NH_4^+ (Quadro 3). No entanto, sob condições naturais, isto é, sem adição de N-NH_4^+ , a nitrificação heterotrófica correspondeu a 78% da nitrificação global enquanto que com a aplicação de amônio correspondeu a apenas 43%, sugerindo

maior participação dos nitrificantes autotróficos com o aumento da disponibilidade do substrato, como também uma redução na nitrificação heterotrófica quando da aplicação de NH_4^+ provavelmente devido a uma maior competição na microbiota pela disponibilização de substrato.

No T_{mata} não houve diferença entre as taxas de nitrificação global e heterotrófica (Quadro 3). A maior nitrificação heterotrófica neste sistema pode ser devida ao maior aporte de matéria orgânica, condicionando um ambiente mais propício para a população de heterotróficos. Também há indicação de que, em ambientes com vegetação em estágio de clímax, existem compostos que inibem o crescimento de microrganismos autotróficos (Rice & Pancholy, 1973; Rice & Pancholy, 1974; Robertson, 1982; Lazari, 2001).

Quadro 3 – Taxas de nitrificação global e heterotrófica em um Luvissole amostrado em Ilhéus (BA) cultivado com cacau (T_{cacau}) e sob mata (T_{mata}), estimadas para sete dias de incubação, com e sem adição de N-NH_4^+ (as médias foram pareados para facilitar a comparação entre dois tratamentos)

Uso	Nitrificação global ^{1/}		Nitrificação heterotrófica ^{2/}		Prob. ^{5/}
	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----				
T_{mata}	0,87	0,50	-	-	0,104
	0,87	-	0,73	-	0,505
	-	0,50	-	0,52	0,892
T_{cacau}	1,48	1,52	-	-	0,756
	1,48	-	1,15	-	0,018
	-	1,52	-	0,66	0,002

^{1/} Nitrificação autotrófica + heterotrófica;

^{2/} Nitrificação heterotrófica, utilizando C_2H_2 para inibir a atividade dos nitrificantes autotróficos;

^{3/} Nitrificação sem adição de N-NH_4^+ ;

^{4/} Nitrificação com adição de 200 mg kg^{-1} de N ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$);

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

No $\text{LV}_{\text{cerrado}}$, apesar do menor teor de N-NH_4^+ em relação ao Luvissole e $\text{LV}_{\text{cerrado}}$ (Quadro 2), a aplicação de amônio não proporcionou aumento significativo na taxa de nitrificação global (Quadro 4). No entanto, para solo proveniente das áreas sob utilização agrícola, a aplicação de amônio aumentou as taxas de nitrificação global, demonstrando que o substrato foi o fator limitante da nitrificação o que é coerente com os menores teores de matéria orgânica (Quadro 1) e de N-NH_4^+ (Quadro 2).

Quadro 4 – Taxas de nitrificação global e heterotrófica em um Latossolo Vermelho amostrado em Sete Lagoas (MG) sob cerradão ($LV_{\text{cerradão}}$), cultivado com milho no sistema de plantio direto (LV_{pd}) e plantio convencional (LV_{pc}), estimadas para sete dias de incubação, com e sem adição de $N-NH_4^+$ (as médias foram pareadas para facilitar a comparação entre dois tratamentos)

Uso	Nitrificação global ^{1/}		Nitrificação heterotrófica ^{2/}		Prob. ^{5/}
	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----				
$LV_{\text{cerradão}}$	3,72	3,62	-	-	0,839
	3,72	-	2,38	-	0,050
	-	3,62	-	1,99	0,036
LV_{pd}	1,17	4,04	-	-	0,001
	1,17	-	0,75	-	0,223
	-	4,04	-	0,73	0,001
LV_{pc}	1,29	3,51	-	-	0,016
	1,29	-	0,68	-	0,076
	-	3,51	-	0,98	0,009

^{1/} Nitrificação autotrófica + heterotrófica;

^{2/} Nitrificação heterotrófica utilizando C_2H_2 para inibir a atividade dos nitrificantes autotróficos;

^{3/} Nitrificação sem adição de $N-NH_4^+$;

^{4/} Nitrificação com adição de 200 mg kg^{-1} de N ($(NH_4)_2SO_4$);

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

Sem a adição de $N-NH_4^+$ no $LV_{\text{cerradão}}$, a nitrificação heterotrófica sob as diferiu da nitrificação global natural (Quadro 4), sendo que a participação dos heterotróficos na nitrificação global foi de 64%. No LV_{pd} e LV_{pc} , a nitrificação heterotrófica natural não diferiu da nitrificação global, o que, em parte, foi devido à elevada variância, considerando que as taxas de nitrificação heterotrófica corresponderam a 64% e 53%, respectivamente, da taxa global.

Por outro lado, as taxas de nitrificação heterotrófica potencial, isto é, com adição de $N-NH_4^+$, foram significativamente menores que a nitrificação global potencial, independentemente da condição de uso do Latossolo Vermelho de cerradão. No $LV_{\text{cerradão}}$, a participação da nitrificação heterotrófica potencial correspondeu a 55% da nitrificação potencial total, enquanto que no LV_{pd} e LV_{pc} esta participação foi de apenas 18 e 28%, respectivamente. Estes resultados evidenciam que a participação dos microrganismos heterotróficos, mesmo quando não há restrição de amônio, é menos expressiva no Latossolo Vermelho de cerradão sob uso agrícola. Isto pode estar relacionado aos menores teores de matéria orgânica, considerando que a nitrificação

heterotrófica pode ser processada por diferentes rotas metabólicas, concomitantemente com a mineralização, ou devido a maior estabilidade da matéria orgânica nestes solos.

No Latossolo Vermelho de Paraopeba, além das baixas taxas de nitrificação, principalmente sob cerrado e sob plantação de eucalipto, não houveram diferenças entre a nitrificação global natural e potencial, a natural heterotrófica e global, assim como entre a nitrificação potencial heterotrófica e global com exceção no LV_{past} (Quadro 5). Considerando que os teores de amônio no solo eram relativamente elevados (Quadro 2), a baixa atividade dos nitrificantes autotróficos para o LV_{cerrado} e LV_{Euc} pode ser atribuída a baixa disponibilidade de nutrientes e à elevada acidez (Quadro 1). Isto pode ser evidenciado pelo fato de que a aplicação de amônio não proporcionou aumentos nas taxas de nitrificação nem diferenças significativas entre as taxas de nitrificação natural e potencial (Quadro 5).

Quadro 5 – Taxas de nitrificação global e heterotrófica em um Latossolo Vermelho amostrado em Paraopeba (MG) sob cerrado (LV_{cerrado}) e cultivada com eucalipto (LV_{euc}) e pasto (LV_{past}), estimadas para sete dias de incubação, com e sem adição de N-NH₄⁺ (as médias foram pareadas para facilitar a comparação entre dois tratamentos)

Uso	Nitrificação global ^{1/}		Nitrificação heterotrófica ^{2/}		Prob. ^{5/}
	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	Natural ^{3/}	Potencial ^{4/}	
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----				
LV _{cerrado}	0,36	0,35	-	-	0,9591
	0,36	-	0,43	-	0,6461
	-	0,35	-	0,50	0,3254
LV _{Euc}	0,44	0,43	-	-	0,9760
	0,44	-	0,49	-	0,8088
	-	0,43	-	0,46	0,8722
LV _{Past}	1,09	1,29	-	-	0,4806
	1,09	-	0,83	-	0,3452
	-	1,29	-	0,67	0,0212

^{1/} Nitrificação autotrófica + heterotrófica;

^{2/} Nitrificação heterotrófica utilizando C₂H₂ para inibir a atividade dos nitrificantes autotróficos;

^{3/} Nitrificação sem adição de N-NH₄⁺;

^{4/} Nitrificação com adição de 200 mg kg⁻¹ de N ((NH₄)₂SO₄);

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

No LV_{past}, com a aplicação de amônio, houve aumento na taxa de nitrificação global enquanto que a nitrificação heterotrófica se manteve. (Quadro 5). Isto evidencia que, superando a restrição do substrato, as condições destes solos favoreceram maior

atividade dos nitrificantes autotróficos, destacando-se ainda que, sob pastagem, o Latossolo Vermelho apresentava pH 5,6 e maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (Quadro 1).

As taxas de nitrificação global natural e potencial foram menores no Luvissole sob mata do que sob cultivo de cacau (Quadro 6), o que corrobora as constatações de Rice e Pancholy (1972) e de Lazari (2001) de que a nitrificação diminui à medida que os ecossistemas se aproximam do estado clímax. A nitrificação heterotrófica natural também foi menor no solo sob mata, embora tenha sido equivalente na nitrificação heterotrófica potencial devido a redução da atividade dos heterotróficos no T_{cacau} quando da aplicação de NH_4^+ .

Quadro 6 – Taxas de nitrificação de um Luvissole sob a mata Atlântica (T_{mata}) e sob cultivo de cacau (T_{cacau}), coletado em Ilhéus (BA)

Nitrificação	T_{cacau}	T_{mata}	Probab. ^{5/}
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----		
Global natural ^{1/}	1,48	0,87	0,003
Global potencial ^{2/}	1,52	0,50	0,001
Heterotrófica natural ^{3/}	1,15	0,73	0,021
Heterotrófica potencial ^{4/}	0,66	0,52	0,573

^{1/} Estimada com teores naturais de amônio, incluindo nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{2/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N ((NH_4)₂SO₄), incluindo a nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{3/} Estimada com teores naturais de amônio, inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{4/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N((NH_4)₂SO₄), inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

O Latossolo Vermelho sob cerradão apresentou taxa de nitrificação global natural maior do que as observadas no mesmo solo sob uso agrícola (Quadro 7), contrariando os resultados obtidos para o Luvissole e a tendência verificada por Rice e Pancholy (1972). Sob uso agrícola, o baixo teor de N-NH₄⁺ no Latossolo Vermelho sob cerradão limitou a nitrificação, visto que a sua aplicação proporcionou aumento na taxa de nitrificação, de modo que esta não diferiu significativamente daquela observada no solo sob vegetação natural.

Quadro 7 – Taxas de nitrificação de um Latossolo Vermelho sob cerradão ($LV_{\text{cerradão}}$) e sob cultivo de milho em sistema de plantio direto (LV_{pd}) e convencional (LV_{pc}), coletado em Sete Lagoas (MG) (as médias foram pareadas para facilitar a comparação entre dois tratamentos)

Nitrificação	$LV_{\text{cerradão}}$	LV_{pd}	LV_{pc}	Probab. ^{5/}
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----			
Global natural ^{1/}	3,72	1,17	-	0,006
	3,72	-	1,29	0,009
	-	1,17	1,29	0,743
Global potencial ^{2/}	3,62	4,04	-	0,336
	3,62	-	3,51	0,923
	-	4,04	3,51	0,168
Heterotrófica natural ^{3/}	2,38	0,75	-	0,010
	2,38	-	0,68	0,008
	-	0,75	0,68	0,796
Heterotrófica potencial ^{4/}	1,99	0,73	-	0,070
	1,99	-	0,98	0,921
	-	0,73	0,98	0,599

^{1/} Estimada com teores naturais de amônio, incluindo nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{2/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺, incluindo a nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{3/} Estimada com teores naturais de amônio, inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{4/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N((NH₄)₂SO₄), inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

A nitrificação heterotrófica natural do Latossolo Vermelho proveniente do cerradão correspondeu, em média, a 60% da nitrificação global, sendo menor no solo sob uso agrícola (Quadro 7). As taxas de nitrificação no solo sob os dois sistemas de cultivo não diferiram.

Além do LV_{cerrado} e LV_{euc} apresentarem as menores taxas de nitrificação, as taxas de nitrificação global e heterotrófica não diferiram (Quadro 8), o que se deve à baixa disponibilidade de nutrientes e a elevada acidez nesses solos (pH < 5,0).

A nitrificação global natural e potencial no LV_{past} foram maior do que a verificada no LV_{cerrado} e LV_{euc} (Quadro 8), o que pode ser atribuído à menor acidez (pH 5,6) e maior teor de matéria orgânica no solo sob pastagem (Quadro 2). Piccolo et al. (1994) e Montagnini & Sancho, (1994), no entanto, encontraram maiores taxas de nitrificação em solos sob floresta do que sob pastagens, o que pode ser atribuído ao fato de terem trabalhado em pastagens degradadas, onde a fertilidade do solo era menor.

Quadro 8 – Taxas de nitrificação de um Latossolo Vermelho sob cerrado (LV_{cerrado}) e sob cultivo de eucalipto (LV_{euc}) e pastagem (LV_{past}), coletado em Paraopeba (MG) (as médias foram pareadas para facilitar a comparação entre dois tratamentos)

Nitrificação	LV_{cerrado}	LV_{euc}	LV_{past}	Probab. ^{5/}
	-----mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ -----			
Global natural ^{1/}	0,36	0,44	-	0,637
	0,36	-	1,09	0,004
	-	0,44	1,09	0,020
Global potencial ^{2/}	0,35	0,43	-	0,690
	0,35	-	1,29	0,001
	-	0,43	1,29	0,003
Heterotrófica natural ^{3/}	0,43	0,49	-	0,785
	0,43	-	0,83	0,086
	-	0,49	0,83	0,109
Heterotrófica potencial ^{4/}	0,50	0,46	-	0,821
	0,50	-	0,67	0,344
	-	0,46	0,67	0,286

^{1/} Estimada com teores naturais de amônio, incluindo nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{2/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺, incluindo a nitrificação autotrófica e heterotrófica;

^{3/} Estimada com teores naturais de amônio, inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{4/} Estimada com adição de 200 mg kg⁻¹ de N((NH₄)₂SO₄), inibindo a atividade dos nitrificantes autotróficos com C₂H₂;

^{5/} Probabilidade associada à significância das diferenças entre as taxas de nitrificação, obtidas por meio da análise de identidade de modelos, utilizando variáveis Dummy.

A nitrificação heterotrófica natural e potencial, tanto no LV_{Past} como no LV_{Euc} , foi equivalente àquela verificada no solo sob cerrado. Dessa forma, a maior atividade nitrificante no solo sob pastagem pode ser atribuída a microrganismos autotróficos, favorecidos pelo pH mais elevado e, possivelmente por teores mais elevados de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ (Quadro 1).

CONCLUSÕES

Os microrganismos heterotróficos têm importante papel na nitrificação natural nos diferentes solos estudados. Com a adição de N-NH₄⁺ a participação dos heterotróficos na nitrificação potencial diminuiu e a dos autotróficos aumentou, apesar da nitrificação global não ter sido significativamente alterada.

A tendência de menor nitrificação em sistemas próximos ao estado de clímax não foi observada, exceto no Luvisolo, que apresentou menores taxas de nitrificação sob a mata Atlântica do que quando cultivado com cacau. Ao contrário desta tendência,

o Latossolo sob cerradão apresentou maiores taxas de nitrificação natural global e heterotrófica do que quando sob cultivo, sendo que o sistema de manejo não diferenciou as taxas de nitrificação.

As menores taxas de nitrificação no Latossolo sob cerrado foram atribuídas à baixa fertilidade natural e à elevada acidez do solo, considerando que, sob pastagem, com menor acidez e maior soma de bases, este solo apresentou maiores taxas de nitrificação.

A atividade nitrificante dos heterotróficos mostrou ter impacto significativo sobre o ciclo do nitrogênio em solos tropicais, pois a participação dos mesmos na nitrificação natural global situou-se entre 78 e 84% no Luvisolo, 53 e 64% no Latossolo sob cerradão e 76 e 100% no Latossolo sob cerrado.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, J. A. Nitrification and ammonification in acid forest litter and humus as affected by peptone and ammonium-N amendment. *Soil Biol. Biochem.* 18. n. 1: 45-51, 1986.
- DE BOER, W. & KOWALCHUK, G. A. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol. and Biochem.* 33: 853-866, 2001.
- FRED, E.B. Some factors that influence nitrate formation in acid soils. *Soil Sci.* 1: 317-338, 1916.
- GRUNDITZ, C. & DALHAMMAR, G. Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *nitrosomonas* and *nitrobacter*. *Wat. Res.* 35: 433-440, 2001.
- KEMPERS, A. J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 17: 715-723, 1986.
- KILLHAM, K. Nitrification in coniferous forest soils. *Plant and Soil.* 128: 31-44, 1990.
- LAZARI, M. F. Nitrificação em solos sob plantações de eucaliptos com diferentes idades. Viçosa: UFV. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- MONTAGNINI, F. & SANCHO, F. Net nitrogen mineralization in soil under six indigenous tree species, an abandoned pasture and a secondary forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil* 162: 117-124, 1994.
- MOREIRA, F. M. S. & SILVEIRA, J. O. *Microbiologia do solo*. Lavras, Ed. UFLA, 626 p. 2002.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZO, M. E.; MARCIANO, C. R. & MORAES, S. O. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo Distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. *Rev. Bras. de Ci. Solo* 25: 731-741, 2001.

- PENNINGTON, P. I. & ELLIS, R. C. Autotrophic and heterotrophic nitrification in acid forest and native grassland soils. *Soil Biol. and Biochem.* 25: 1399-1408, 1993.
- PERSSON, T. & WIRÉN, A. Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depth in acid forest soils. *Plant and Soil* 168: 55-65, 1995.
- PICCOLO, M. C.; NEILL, C. & CERRI, C. C. 1994. Net nitrogen mineralization and nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. *Plant and Soil* 162: 61-70, 1994.
- RICE, E. L. & PANCHOLY, S. K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. *Amer. J. Bot.* 59:1003-1040, 1972.
- RICE, E. L. & PANCHOLY, S. K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. II. Additional evidence and possible role of tannins. *Amer. J. Bot.* 60:691-702, 1973.
- RICE, E. L. & PANCHOLY, S. K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. III. Inhibitors other than tannins. *Amer. J. Bot.* 61:1095-1974, 1974.
- ROBERTSON, G. P. Factors regulating nitrification in primary and secondary succession. *Ecology*, v. 63, n.5: 1661-1573, 1982.
- RUDEBECK, A. & PERSSON, T. Nitrification in organic and mineral soil layers in coniferous Forest in response to acidity. *Envir. Pollution* 102, S1: 377-383, 1998.
- STE-MARIE, C. & PARE, D. Soil, pH and N availability effects on net nitrification in the forest floors of a range of boreal forest stands. *Soil Biol. and Biochem.* 31: 1579-1589, 1999.
- TAN, C. S.; DRURY, C. F.; REYNOLDS, W. D.; GROENEVELT, P. H. & DADFAR, H. Water and nitrate loss through tiles under a clay loam soil in Ontario after 42 years of consistent fertilization and crop rotation. *Agricu. Ecos. Envir.* 1927: 1-10, 2002 (no prelo).
- YANG, J. E.; SKOGLEY, E. O.; SCAF, B. E. & KIM, J. J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 62: 1108-1115, 1998.
- ZHU, W. & CARREIRO, M. M. Chemoautotrophic nitrification in acidic forest soils along an urban-to-rural transect. *Soil Biol. Biochem.* 31:1091-1100, 1999.

NITRIFICAÇÃO EM TRÊS SOLOS TROPICAIS EM RESPOSTA À ACIDEZ

RESUMO

O efeito do pH do solo na nitrificação por microorganismos autotróficos e heterotróficos foi estudado em três solos tropicais com características químicas originais distintas (i.e. um Luvissole e dois Latossolos) sob vegetação original tipo Mata Atlântica, Cerradão, e Cerrado respectivamente. Um arranjo fatorial de 3 x 3 x 2 x 5 (três solos, três fontes de nitrogênio, duas condições de incubação, e cinco níveis de acidez) com três repetições foi aplicado para combinar os fatores em teste. Como fonte de nitrogênio, aplicou-se sulfato de amônio ou peptona, tendo como controle uma amostra sem adição de nitrogênio. Para quantificar a contribuição dos microorganismos autotróficos e heterotróficos, amostras foram incubadas na presença ou ausência de acetileno. Resultados inesperados foram obtidos com relação a atividades dos microorganismos heterotróficos em relação aos autotróficos em resposta ao pH, pois ambos responderam de forma semelhante sendo que as máximas atividades de nitrificação situaram-se próximo da neutralidade. Todos os solos responderam a adição de peptona como fonte orgânica de nitrogênio, exceto o Latossolo Vermelho sob cerradão.

SUMMARY: NITRIFICATION IN THREE TROPICAL SOILS IN RESPONSE OF ACIDITY

The effect of soil pH on the autotrophic and heterotrophic nitrification was studied in three tropical soils with different natural chemical characteristics (an Alfisols and two Oxisols) under native vegetation (Atlantic forest, “cerradão” and “cerrado”, respectively). A factorial arrangement of 3 x 3 x 2 x 5 (three soils, three source of nitrogen, two incubation conditions and five levels of acidity) with three replicates was applied to combine all factors. The three nitrogen sources were ammonium sulfate (as mineral source), peptone (as organic source), and the control (soil endogenous nitrogen). Acetilene was used to quantify the contribution of the autotrophic and heterotrophic microorganisms to the nitrification process. Unlike the expected result, the

activity of the heterotrophics microorganism in pH near to neutrality increased, and the pH values for the maximum nitrification activity were similar to the pH soil values required by the autotrophic ones. In addition the peptone treatment did stimulate nitrification in all soils, except Oxisol.

INTRODUÇÃO

No início do século vinte, acreditava-se que a nitrificação só ocorria em solos com pH acima de 5. Esperar-se-ia, portanto, que em solos tropicais, predominantemente ácidos, essa oxidação microbiológica não ocorresse, ou pelo menos que não fosse expressiva. A atividade oxidante das bactérias *Nitrospira*, *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, envolvidas na nitrificação, só ocorre em pH próximo à neutralidade (Ste-Marie e Pare, 1999; De Boer e Kowalchuk, 2001; Grunditz e Dalhammar, 2001), e vários estudos têm demonstrado que a nitrificação aumenta com a elevação do pH, tanto em ensaios de laboratório (Persson e Wirén, 1995; Persson et al, 1995; Grunditz e Dalhammar, 2001;) quanto em ensaios de campo (Arora et al, 1986). Segundo Hall et al. (1907), citados por De Boer e Kowalchuk (2001), a nitrificação nesses solos ocorreria em microssítios, onde a presença de carbonato de cálcio contribuiria para um maior pH.

Com a verificação da ocorrência de nitrificação em solos ácidos (Fred, 1916), começou-se a dar maior ênfase aos estudos sobre nitrificantes nesses ambientes. Rudebeck e Persson (1998) encontraram taxa de nitrificação por microrganismos heterotróficos da ordem de $0,12 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ em solo com pH 4,16. Killham (1987) demonstrou que 80% da nitrificação em um solo sob floresta de coníferas eram atribuídas a nitrificação heterotrófica. Adams (1986) encontrou expressivo aumento das taxas de nitrificação heterotrófica utilizando peptona em relação ao uso do sulfato de amônio como fonte de N, obtendo a taxa de $2,24 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Killham (1990) acrescenta que outros compostos orgânicos podem ser utilizados como substrato na nitrificação.

Apesar da constatação de uma maior contribuição da atividade de heterotrófica para a nitrificação em solos ácidos, ensaios em laboratório mostraram que, em alguns solos temperados, mesmo em condições mais ácidas, houve maior participação de organismos autotróficos (Pennington e Ellis, 1993; Persson e Wirén, 1995). De Boer et al. (1989) classificaram esses microrganismos como tolerantes à acidez e, posteriormente, identificou que alguns não respondem a mudanças de acidez, sendo

indiferentes e que outros, apesar de apresentarem atividade em condições mais ácidas, são estimulados pela diminuição da acidez até a neutralidade (De Boer et al, 1990).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da acidez sobre a nitrificação promovida por microrganismos autotróficos e heterotróficos em solos tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa em Viçosa-MG.

Amostras de solo de 0-20 cm de profundidade foram coletadas em três áreas sob vegetação natural, sendo um Luvissole sob mata Atlântica localizado em Ilhéus-BA (T_{mata}) e dois Latossolos Vermelho, dos quais um sob vegetação de cerrado ($LV_{cerrado}$), localizado em Sete Lagoas, e outro sob cerrado ($LV_{cerrado}$) localizado em Paraopeba, ambos em Minas Gerais. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e caracterizadas química e fisicamente (Quadro 1).

Cinco níveis de acidez com pH entre 4,0 e 6,5 foram obtidos adicionando-se aos solos doses da mistura de carbonato de cálcio e magnésio, com relação estequiométrica de 4:1, ou de ácido sulfúrico a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, estimadas a partir de curvas de titulação pré-estabelecidas para os solos. A umidade dos solos foi elevada a 70% da capacidade máxima de retenção de água e estes foram então incubadas à temperatura ambiente por 30 dias.

Unidades experimentais constituídas por por 5 g dos solos com umidade a 60% da capacidade máxima de retenção de água, foram incubadas por 28 dias sem a adição de N, com a adição de 200 mg kg^{-1} de N ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ou 200 mg kg^{-1} de N-NH₂ na forma de peptona (1076 mg kg^{-1} de N-total) para quantificar a nitrificação global (autotrófica + heterotrófica). Outras unidades experimentais com iguais tratamentos, foram incubadas em ambiente com acetileno para quantificar a nitrificação heterotrófica. Deste modo, os tratamentos consistiam da combinação fatorial entre os três solos, os cinco níveis de acidez, as três doses de N e as duas condições de incubação, sendo conduzidos segundo o delineamento de blocos casualizados com três repetições.

As unidades experimentais foram acondicionadas em caixas plásticas abertas e mantidas à temperatura ambiente. Durante as aplicações do acetileno as caixas foram vedadas. A injeção de acetileno correspondente a 1% do volume das caixas foi feita a cada sete dias, através de um sistema fechado de circulação forçada de ar. Após a aplicações do acetileno as caixas foram vedadas durante cinco horas, passando-se em seguida um fluxo de ar por duas horas para remoção do acetileno (Pennington e Ellis, 1993; Persson e Wirén, 1995), após o que as caixas foram mantidas abertas.

No início e ao final da incubação determinou-se o pH em água (1:2,5), o N-NH_4^+ e N-NO_3^- extraídos por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ na relação 1:10 e agitação por 10 minutos. O N-NH_4^+ foi dosado segundo Kempers e Zweers (1986) e o N-NO_3^- segundo Yang et al. (1998).

Os teores iniciais de nitrato no solo foram subtraídos dos teores finais, obtendo-se, assim, os teores líquidos de nitrato após 28 dias de incubação. Estimou-se a nitrificação autotrófica a partir da diferença entre os teores líquidos de NO_3^- ao final da incubação sem acetileno (nitrificação global) e com acetileno (nitrificação heterotrófica). Procedeu-se à análise de variância e o ajuste de regressão para a variação dos teores de N-NO_3^- de acordo com o pH, a partir das quais obteve-se o pH para a máxima atividade nitrificante.

Quadro 1 – Características químicas e físicas de amostras da camada superficial (0-20 cm) de um Luvissole sob mata Atlântica (T_{mata}), Latossolo Vermelho sob cerradão (LV_{cerradão}) e um Latossolo Vermelho sob cerrado (LV_{cerrado})

Solo	pH _{H₂O}	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	V	m	CO	N total	C/N	P-rem	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		--mg.dm ⁻³ --		-----cmol.c.dm ⁻³ -----				-----%-----			---dag.kg ⁻¹ ---			mg.L ⁻¹	-----dag.kg ⁻¹ -----		
T _{mata} ^{1/}	5,84	3,73	40,63	6,79	5,65	0,00	6,75	64,8	0,0	2,09	0,187	11,20	32,50	22,5	29,5	25,0	23,0
LV _{cerradão} ^{2/}	5,14	1,13	24,00	0,66	0,15	2,15	14,25	5,7	71,2	4,35	0,184	23,61	10,95	11,0	10,5	20,0	58,5
LV _{cerrado} ^{3/}	4,97	0,72	44,50	0,07	0,04	2,25	7,75	2,7	91,3	1,57	0,104	15,05	20,00	10,0	16,5	21,5	52,0

pH_{H₂O} – 1:2,5; P e K – Mehlich -1; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ – KCl 1 mol L⁻¹; CO – Carbono Orgânico, Walkley e Black; N total – digestão Kjeldhal; P-rem – fósforo remanescente.

^{1/} Coletado em Ilhéus - Bahia;

^{2/} Coletado em Sete Lagoas – Minas Gerais;

^{3/} Coletado em Paraopeba – Minas Gerais;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os níveis de acidez inicial ficaram dentro da faixa esperada (4 a 6,5), exceto no Luvissole, cujo menor pH foi de 4,57 (Quadro 2). Nos tratamentos com peptona ao fim dos 28 dias de incubação houve maior aumento nos valores de pH. A variação entre o pH inicial e o pH no fim dos 28 dias de incubação teve uma tendência a decrescer com os maiores valores de pH, principalmente nos Latossolos Vermelho sem aplicação de N e com aplicação de sulfato de amônio.

Quadro 2 – Valores do pH inicial e ao fim de 28 dias de incubação (pH final) e sua variação (Δ pH) sem aplicação de amônio (Sem N) e com aplicação de amônio na forma de sulfato de amônio (N-S.A.) e peptona (N-Pep.) em um Luvissole sob mata Atlântica (T_{mata}) e dois Latossolos Vermelho, um sob cerradão ($LV_{cerradão}$) e outro sob cerrado ($LV_{cerrado}$)

Solo	Sem N			N-S.A.		N-Pep.	
	pH inicial ^{1/}	pH final	Δ pH	pH final	Δ pH	pH final	Δ pH
T_{mata}	4,57	4,76	0,19	4,68	0,11	6,29	1,72
	4,92	5,03	0,11	4,94	0,02	6,60	1,68
	5,07	5,16	0,09	5,07	0,00	6,75	1,68
	5,49	5,53	0,04	5,38	-0,11	6,62	1,13
	6,33	6,33	0,00	6,04	-0,29	7,39	1,06
$LV_{cerradão}$	3,95	3,88	-0,07	4,06	0,11	5,55	1,60
	4,04	3,86	-0,18	4,19	0,15	5,89	1,85
	5,00	4,84	-0,16	4,76	-0,24	6,39	1,39
	5,58	5,43	-0,15	5,03	-0,55	6,27	0,69
	6,27	5,94	-0,33	5,79	-0,48	7,07	0,80
$LV_{cerrado}$	4,04	4,06	0,02	4,13	0,09	6,55	2,51
	4,44	4,46	0,02	4,40	-0,04	6,99	2,55
	4,90	4,84	-0,06	4,58	-0,32	7,41	2,51
	5,38	5,34	-0,04	5,11	-0,27	7,63	2,25
	6,13	5,86	-0,27	5,79	-0,34	7,67	1,54

^{1/} Obtido após incubação por 30 dias com adição de uma mistura de $CaCO_3 + MgCO_3$ ou ácido sulfúrico $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$.

Os teores de nitrato ao final dos 28 dias de incubação em alguns tratamentos foram menores do que os teores iniciais nas condições mais ácidas, principalmente no $LV_{cerrado}$ (Figura 1), sugerindo que tenha ocorrido imobilização, considerando que não houveram condições favoráveis a perdas por volatilização de $N-NH_3$ ou desnitrificação.

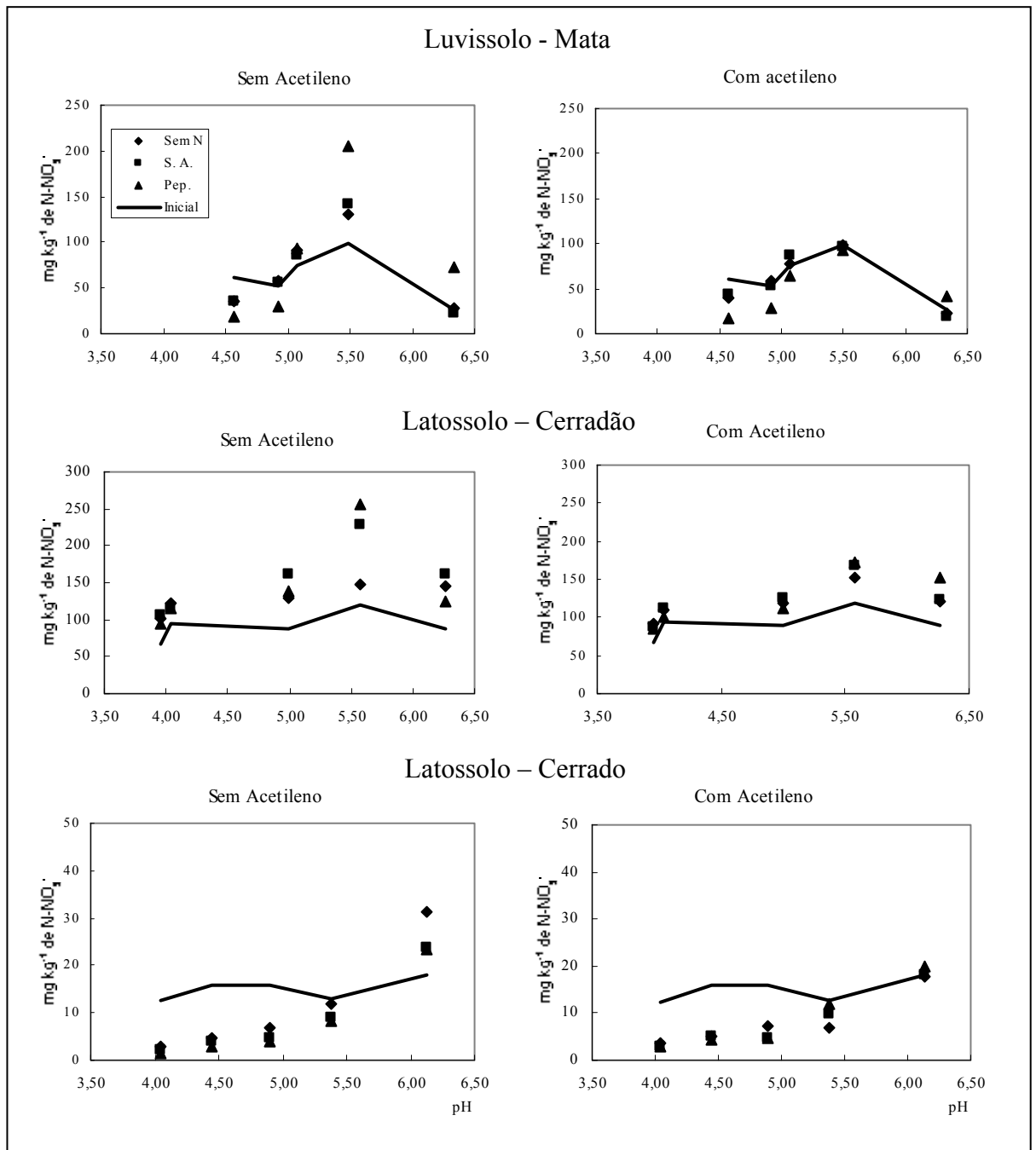


Figura 1 – Teor de N-NO_3^- inicial e após 28 dias de incubação sem aplicação de N (Sem N) e com aplicação de 200 mg kg^{-1} de N como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N-S.A.) e 200 mg kg^{-1} de N- NH_2 como peptona (N-Pep.) com e sem aplicação de acetileno, de acordo com o pH de três solo tropicais.

Na Figura 2, têm-se os teores líquidos de N-inorgânico ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) ao final dos 28 dias de incubação, obtidos pela diferença entre os teores iniciais e finais, caracterizando a magnitude de mineralização ou imobilização de N. Nos tratamentos sem a adição de N, apenas o $\text{LV}_{\text{cerradão}}$ apresentou mineralização líquida, enquanto que no T_{mata} e $\text{LV}_{\text{cerrado}}$ houve imobilização, principalmente nas condições de pH mais baixo.

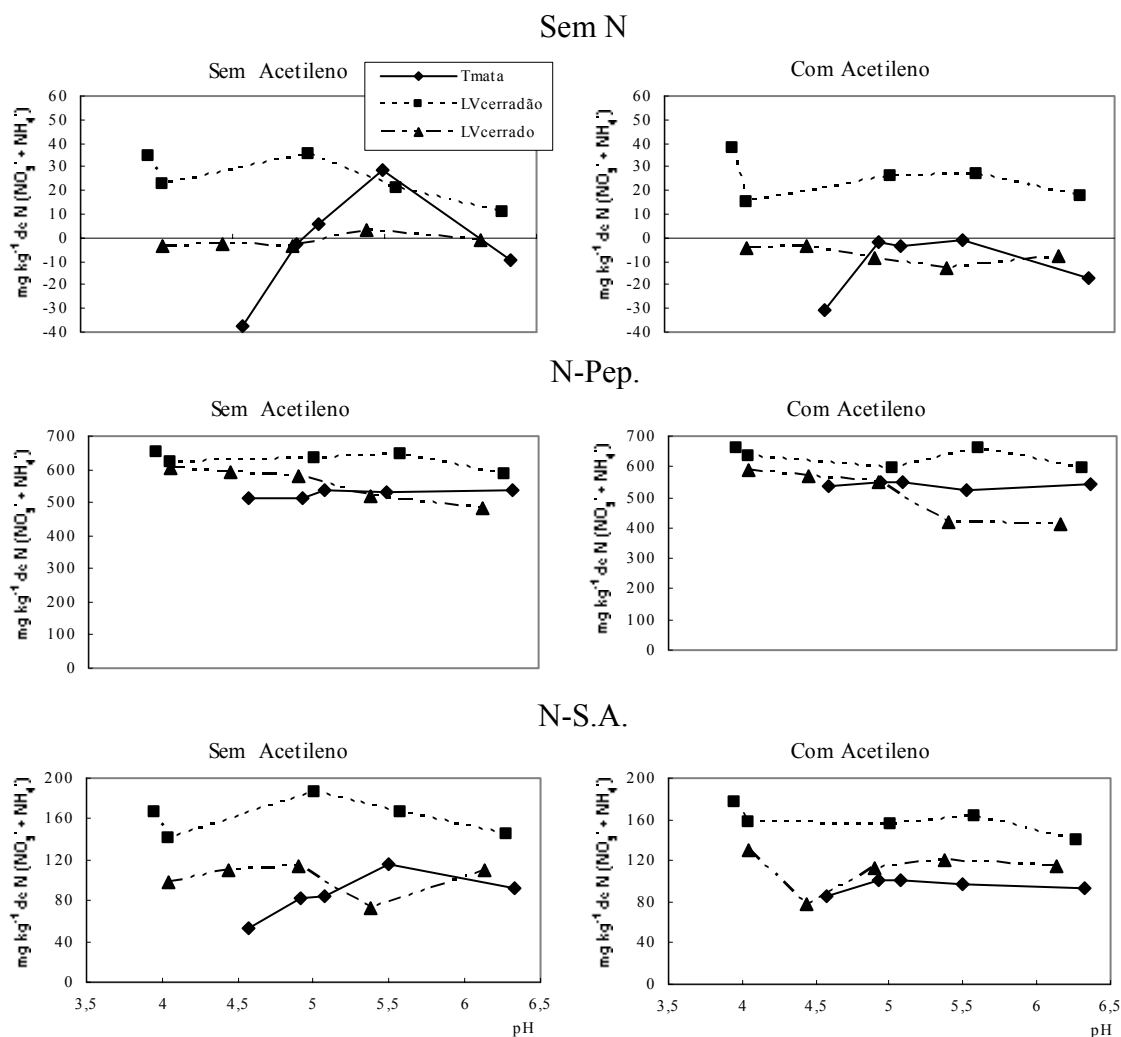


Figura 2 – Teor líquido de N inorgânico ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) ao final de 28 dias de incubação sem aplicação de N (Sem N), com aplicação de 200 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N-S.A.) e 200 mg kg^{-1} de N-NH_2 como peptona (N-Pep.) com e sem aplicação de acetileno, em um Luvissole sob mata Atlântica (T_{mata}) e dois Latossolos vermelho um sob cerradão ($\text{LV}_{\text{Cerradão}}$) e outro sob cerrado ($\text{LV}_{\text{Cerrado}}$).

Com a adição de peptona observou-se mineralização líquida em todos os solos, o que se deve às características favoráveis deste substrato quanto ao teor de N e relação C/N. Por outro lado, com a aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, observou-se alguma imobilização do N, principalmente no T_{mata} e $\text{LV}_{\text{cerrado}}$, considerando que os teores de N foram inferiores aos 200 mg kg^{-1} de N aplicados no início do experimento.

Não houve efeito do pH sobre a nitrificação autotrófica e heterotrófica natural no $\text{LV}_{\text{cerradão}}$, isto é, quando não se aplicou uma fonte de N (Figura 3). De Bôer et al. (1989) constataram atividade nitrificadora constante com a variação no pH, atribuindo a

manutenção da atividade a nitrificadores indiferentes a mudanças na acidez do solo. Neste caso, entretanto, a falta de resposta à variação do pH pode ter sido devida à falta de substrato, pois os teores de NH_4^+ foram reduzidos consideravelmente com o aumento do pH (dados não apresentados).

Com a aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ as variações dos teores líquidos de NO_3^- apresentaram respostas quadráticas ao aumento do pH, sugerindo que a máxima nitrificação autotrófica e heterotrófica tenham ocorrido nos valores de pH 5,75 e 5,57, respectivamente (Figura 3).

A adição de N na forma de peptona, diferentemente do que foi encontrado por Adams (1968), não estimulou a nitrificação heterotrófica no $\text{LV}_{\text{cerrado}}$. Com a mineralização da peptona, o aumento nos teores de NH_4^+ estimulou a nitrificação autotrófica, que foi mais acentuada no pH 5,22. Vale ressaltar que a nitrificação heterotrófica teve maior participação na nitrificação global nos valores de pH mais baixo tanto com a aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como peptona. Dessa forma, a nitrificação heterotrófica foi predominante a valores de pH mais baixos, apesar de não ser o pH de sua máxima atividade.

No Luvissole sob mata e Latossolo Vermelho sob cerrado, não foi possível estimar a atividade dos nitrificantes autotróficos, considerando que os teores de nitrato no final de 28 dias de incubação foram menores do que os iniciais, principalmente nos tratamentos com maior acidez. No entanto, no Luvissole, a nitrificação heterotrófica foi responsável por quase a totalidade do nitrato produzido quando o pH esteve abaixo de 5,0 em qualquer dos tratamentos (Figura 4). A tendência de variação nos teores de nitrato sugere uma maior atividade dos nitrificantes, em geral, com o pH entre 5,5 e 6,0, exceto no tratamento com peptona onde a nitrificação heterotrófica aumentou até o último nível de acidez (pH mais neutro). A partir do pH 5,0, houve uma maior atividade da nitrificação global em relação à nitrificação heterotrófica, sugerindo assim um aumento da atividade dos nitrificantes autotróficos.

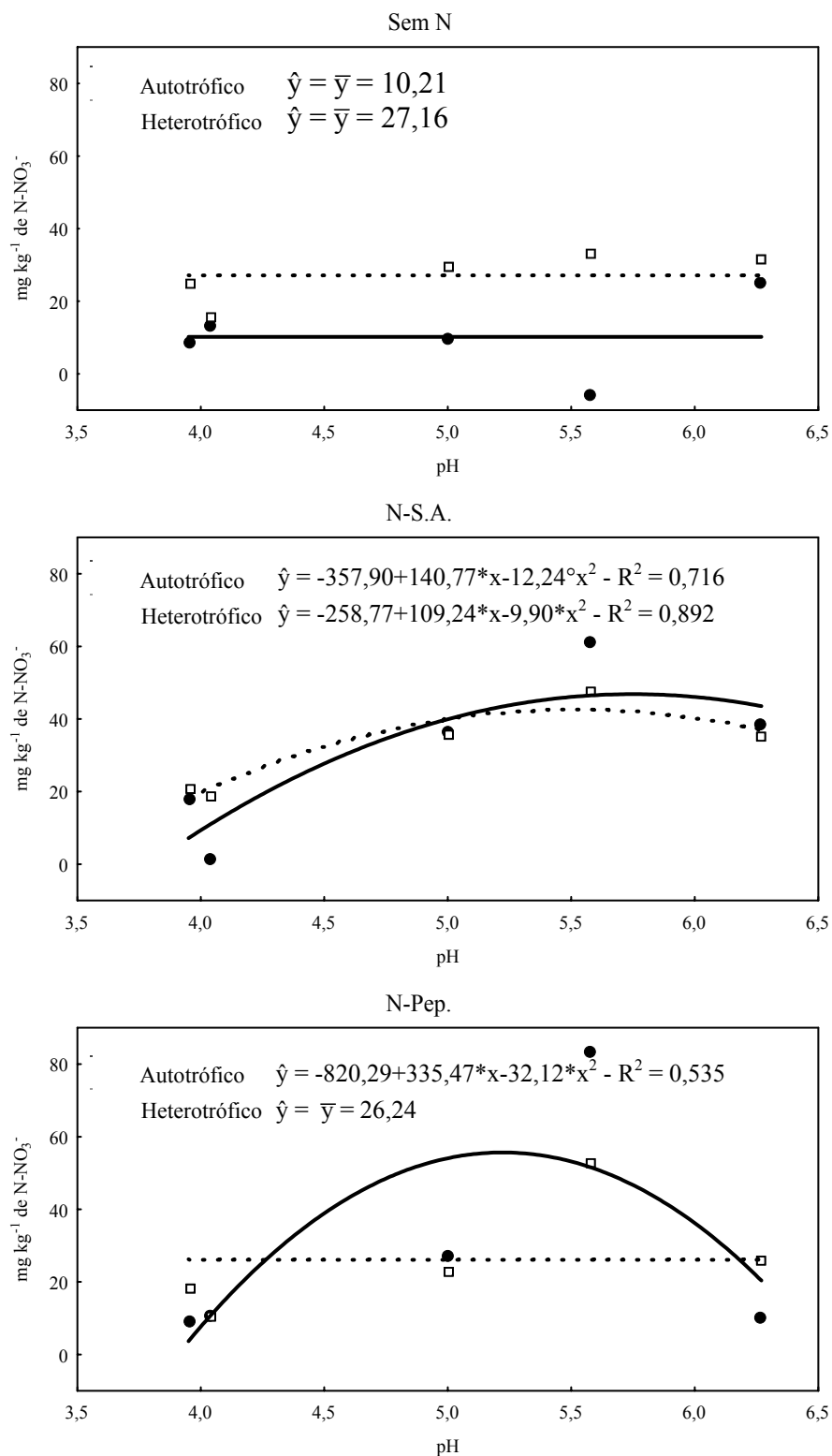


Figura 3 – Teores líquidos de NO₃⁻ atribuídos à nitrificação autotrófica e heterotrófica em resposta à variação do pH, em um Latossolo sob cerradão sem aplicação de N (Sem N), com aplicação de 200 mg kg⁻¹ de N como (NH₄)₂SO₄ (N-S.A.) ou 200 mg kg⁻¹ de N-NH₂ como peptona (N-Pep.).

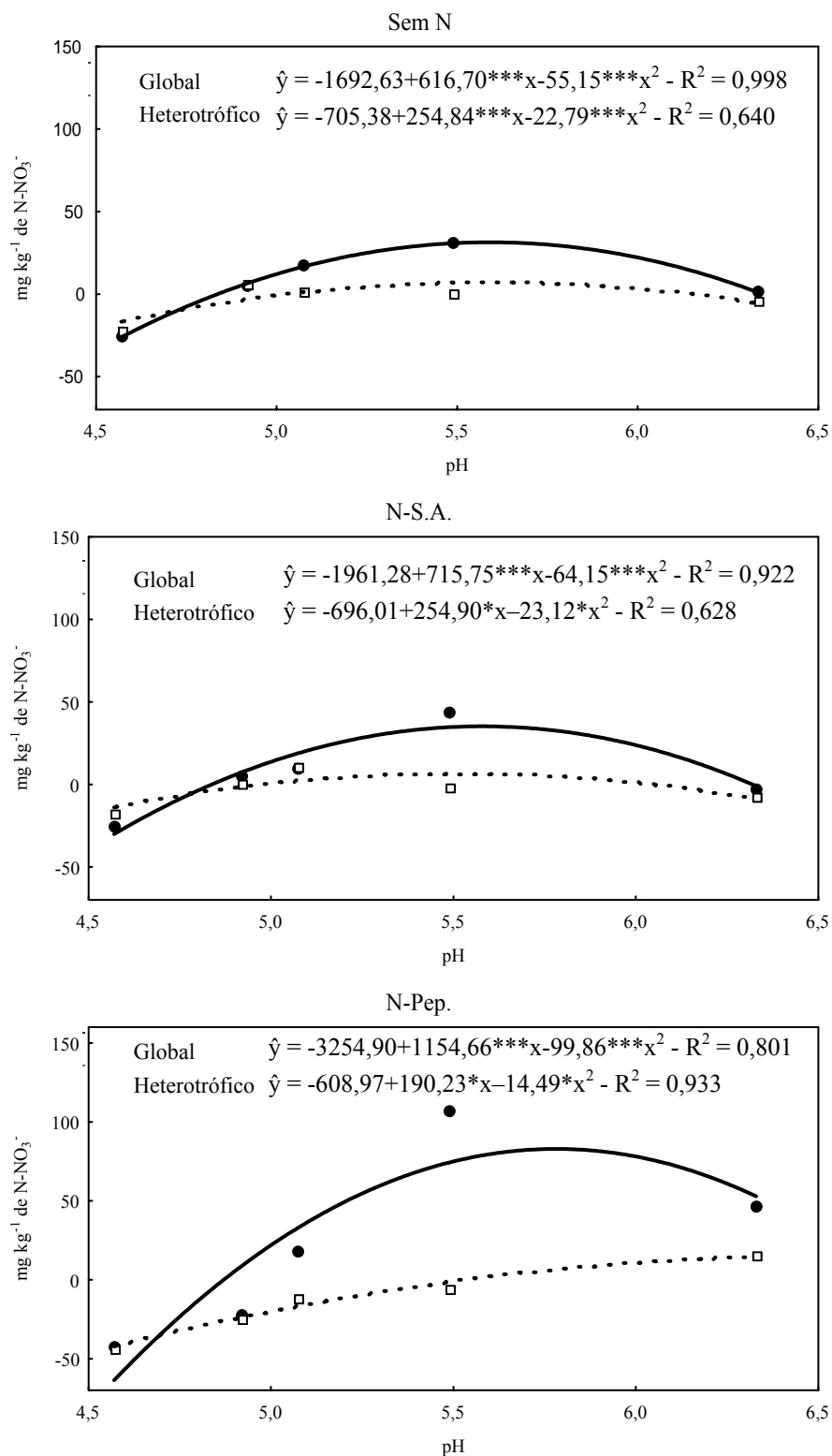


Figura 4 – Teores líquidos de NO_3^- atribuídos à nitrificação global e heterotrófica em resposta à variação do pH, em um Luvissoilo sob mata sem aplicação de N (Sem N), com aplicação de 200 mg kg^{-1} de N como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N-S.A.) ou 200 mg kg^{-1} de N- NH_2 como peptona (N-Pep.).

No Latossolo sob cerrado, os teores líquidos de NO_3^- sugerem que a participação da nitrificação heterotrófica foi equivalente à nitrificação global, verificando tendência de crescimento até o pH 6,13 (Figura 5). Verificou-se participação dos nitrificantes autotróficos nos tratamentos em que não houve aplicação de N e quando se aplicou $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, quando o pH foi superior a 5,5.

Os nitrificantes autotróficos e heterotróficos, nos três solos estudados, apresentaram valores de pH de máxima atividade nitrificante próximos nos dois grupos, levando a crer que a adaptação dos diferentes grupos de microrganismos ao mesmo ambiente leva a uma convergência e seleção de organismos com exigências semelhantes quanto ao pH do meio. Alternativamente, a ocorrência de microssítios com diferentes valores de pH pode ter permitido a coexistência de espécies adaptados a essas diferenças.

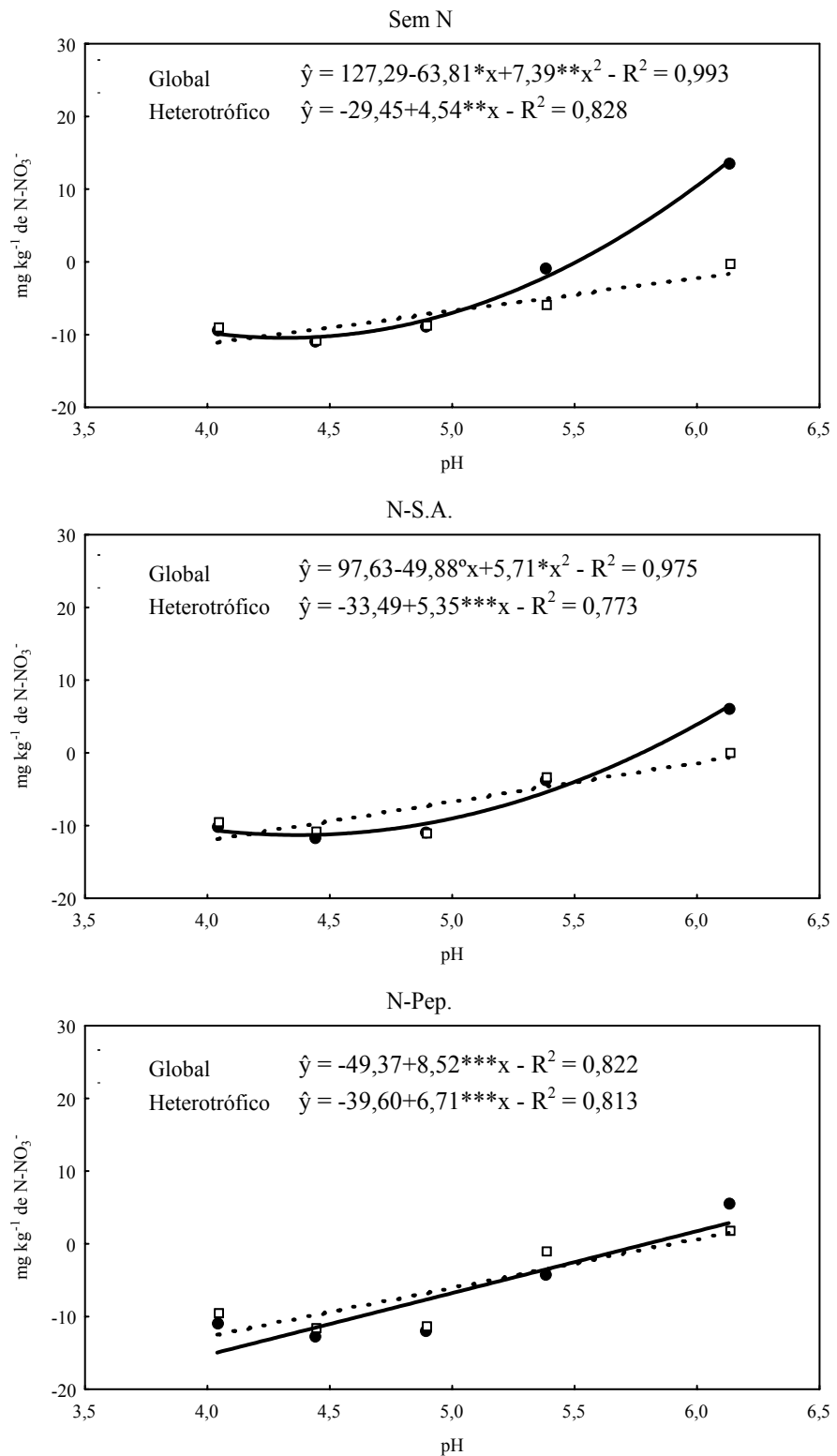


Figura 5 – Teores líquidos de NO_3^- atribuídos à nitrificação global e heterotrófica em resposta à variação do pH, em um Latossolo sob cerrado sem aplicação de N (Sem N), com aplicação de 200 mg kg^{-1} de N como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N-S.A.) ou 200 mg kg^{-1} de N- NH_2 como peptona (N-Pep.).

CONCLUSÕES

O pH de maior atividade nitrificante, tanto dos microrganismos autotróficos como heterotróficos, situaram-se próximos, sendo que em um Latossolo Vermelho sob cerradão e em um Luvissole, esse valor de pH foi entre 5,5 e 6,0, enquanto que em um Latossolo Vermelho sob cerrado houve aumento de atividade até pH 6,13. Isso mostra uma adaptação ou seleção de microrganismos com exigências semelhantes quanto ao pH do meio.

No Latossolo Vermelho sob cerradão, a adição de peptona não estimulou a atividade dos nitrificantes heterotróficos enquanto que no Latossolo Vermelho sob cerrado e no Luvissole, com a aplicação de peptona, houve resposta da nitrificação heterotrófica.

De modo geral, houve maior participação de nitrificantes heterotróficos na nitrificação global quando o pH era menor que 5,0. À medida em que foi feita correção da acidez do solo, a participação dos nitrificantes autotróficos tornou-se mais expressiva na nitrificação global. Apesar da maior relevância dos nitrificantes heterotróficos a valores de pH mais baixo, o pH de máxima atividade nitrificante situou-se próximo aos valores de pH de máxima atividade nitrificante dos microrganismos autotróficos.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, J. A. Identification of heterotrophic nitrification in strongly acid larch humus. *Soil Biol. Biochem.* 18. n. 3: 339-341, 1986.
- ARORA, Y.; MULONGOY, K. and JUO, A. S. R. Nitrification and mineralization potentials in a limed ultsoil in the humid tropics. *Plant and Soil* 92: 153-157, 1986.
- DE BOER, W. e KOWALCHUK, G. A. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol. and Biochem.* 33: 853-866, 2001.
- DE BOER, W.; KLEIN GUNNEWIEK, P. J. A.; TROELSTRA, S. R. Nitrification in Dutch heathland soils. II. Characteristics of nitrate production. *Plant and Soil* 127: 193-200, 1990.
- DE BOER, W.; KLEIN GUNNEWIEK, P. J. A.; TROELSTRA, S. R.; LAANBROEK, H. J. Two of types chemolithotrophic nitrification in acid heathland húmus. *Plant and Soil* 119: 229-235, 1989.

- FRED, E.B. Some factors that influence nitrate formation in acid soils. *Soil Sci.* 1: 317-338, 1916.
- GRUNDITZ, C. & DALHAMMAR, G. Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *nitrosomonas* and *nitrobacter*. *Wat. Res.* 35: 433-440, 2001.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. *Commun.in Soil Sci. Plant. Anal.* 17: 715-723, 1986.
- KILLHAM, K. Nitrification in coniferous forest soils. *Plant and Soil.* 128: 31-44, 1990.
- KILLHAM, K. A new perfusion system for the measurement and characterization of potential rates of soil nitrification. *Plant and Soil.* 97: 267-272, 1987.
- PENNINGTON, P. I. e ELLIS, R. C. Autotrophic and heterotrophic nitrification in acid forest and native grassland soils. *Soil Biol. and Biochem.* 25: 1399-1408, 1993.
- PERSSON, T.; RUDEBECK, A.; WIRÉN, A. Pools and fluxes of carbon and nitrogen in 40-year-old forest liming experiments in southern Sweden. *Wat., Air and Soil Pollut.* 85: 901-906, 1995.
- PERSSON, T. & WIRÉN, A. Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depth in acid forest soils. *Plant and Soil* 168: 55-65, 1995.
- RUDEBECK, A. & PERSSON, T. Nitrification in organic and mineral soil layers in coniferous Forest in response to acidity. *Envir. Pollution* 102, S1: 377-383, 1998.
- STE-MARIE, C. & PARE, D. Soil, pH and N availability effects on net nitrification in the forest floors of a range of boreal forest stands. *Soil Biol. and Biochem.* 31: 1579-1589, 1999.
- YANG, J. E.; SKOGLEY, E. O.; SCAF, B. E. e KIM, J. J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.* 62: 1108-1115, 1998.

2. CONCLUSOES GERAIS

Nos solos estudados foram obtidas taxas de nitrificação que evidenciam a expressiva atividade tanto dos nitrificantes heterotróficos como autotróficos.

Apesar da idéia geral de maiores taxas de nitrificação em solos sob uso agrícola, verificou-se situação em que a utilização agrícola promoveu menores atividades dos nitrificantes.

Sob condições mais ácidas houve evidências de maior atividade dos nitrificantes heterotróficos, porém ambos, heterotróficos e autotróficos, tiveram maior atividade com o aumento do pH, sendo que suas maiores atividades nitrificante ocorreram a valores de pH próximos.

APÊNDICE A

Quadro 1A. Teores de nitrato e desvio padrão em um Luvissole sob mata Atlântica e cultura do cacau em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+	Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cacau	0	35,10 ± 0,29	35,10 ± 0,29	35,10 ± 0,29	35,10 ± 0,29
	2	37,62 ± 1,23	38,30 ± 1,82	36,34 ± 1,33	32,72 ± 1,93
	4	41,46 ± 0,34	40,01 ± 0,25	39,44 ± 0,16	37,74 ± 0,38
	7	45,20 ± 0,71	46,05 ± 0,49	42,83 ± 0,98	38,50 ± 0,58
	14	44,35 ± 1,03	44,06 ± 0,78	35,55 ± 0,92	33,97 ± 1,74
	28	70,59 ± 0,64	64,54 ± 1,27	36,67 ± 1,75	37,59 ± 0,72
Mata Atlântica	0	11,48 ± 0,25	11,48 ± 0,25	11,48 ± 0,25	11,48 ± 0,25
	2	11,15 ± 1,69	15,01 ± 1,52	11,37 ± 1,42	12,82 ± 1,70
	4	14,90 ± 0,58	14,19 ± 0,50	14,73 ± 1,19	13,15 ± 0,82
	7	16,92 ± 1,70	15,67 ± 1,10	16,01 ± 0,80	15,33 ± 1,04
	14	14,98 ± 1,38	15,14 ± 0,72	13,46 ± 1,12	13,88 ± 0,63
	28	22,72 ± 0,96	24,36 ± 1,43	14,39 ± 1,03	14,07 ± 1,29

Quadro 2A. Teores de nitrato e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerradão, plantio direto e plantio convencional em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+	Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerradão	0	59,82 ± 8,16	59,82 ± 8,16	59,82 ± 8,16	59,82 ± 8,16
	2	68,65 ± 1,75	65,18 ± 1,29	63,25 ± 3,77	65,60 ± 0,13
	4	76,50 ± 0,84	74,49 ± 0,55	67,65 ± 0,27	66,10 ± 7,60
	7	85,99 ± 0,25	84,35 ± 0,23	76,38 ± 3,06	74,68 ± 0,25
	14	76,32 ± 1,93	76,49 ± 1,77	66,50 ± 1,45	67,56 ± 1,76
	28	84,38 ± 4,02	89,34 ± 5,23	73,06 ± 1,71	71,75 ± 1,95
Plantio direto	0	23,07 ± 0,51	23,07 ± 0,51	23,07 ± 0,51	23,07 ± 0,51
	2	29,39 ± 1,88	33,74 ± 0,13	27,07 ± 0,79	27,39 ± 4,80
	4	32,43 ± 0,41	38,78 ± 0,33	28,81 ± 1,15	28,37 ± 1,17
	7	31,63 ± 0,20	52,33 ± 0,45	28,63 ± 1,27	28,68 ± 2,06
	14	29,34 ± 1,38	56,44 ± 2,13	24,51 ± 1,64	32,68 ± 0,17
	28	27,49 ± 3,80	117,20 ± 0,27	20,91 ± 0,64	42,98 ± 4,26
Plantio convencional	0	46,90 ± 0,66	46,90 ± 0,66	46,90 ± 0,66	46,90 ± 0,66
	2	50,30 ± 1,40	49,25 ± 0,79	49,52 ± 3,17	44,17 ± 0,79
	4	55,54 ± 0,66	61,79 ± 0,66	51,76 ± 0,82	52,26 ± 1,51
	7	55,50 ± 2,72	69,76 ± 15,32	51,65 ± 1,53	51,88 ± 3,04
	14	48,17 ± 1,12	71,19 ± 4,27	46,27 ± 1,43	46,27 ± 1,88
	28	51,22 ± 1,84	102,28 ± 7,16	44,85 ± 1,60	59,44 ± 4,21

Quadro 3A. Teores de nitrato e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerrado, eucalipto e pastagem em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+	Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerrado	0	1,88 ± 0,34	1,88 ± 0,34	1,88 ± 0,34	1,88 ± 0,34
	2	2,96 ± 0,88	4,71 ± 0,04	1,21 ± 0,54	1,54 ± 0,88
	4	4,27 ± 0,75	4,82 ± 0,53	5,01 ± 0,58	4,33 ± 0,19
	7	4,33 ± 0,25	4,75 ± 0,17	4,13 ± 0,10	4,84 ± 0,25
	14	4,78 ± 0,78	5,10 ± 0,55	4,31 ± 0,36	4,63 ± 0,40
	28	5,41 ± 0,16	5,36 ± 0,09	5,89 ± 0,32	6,61 ± 0,08
Eucalipto	0	11,15 ± 0,10	11,15 ± 0,10	11,15 ± 0,10	11,15 ± 0,10
	2	10,20 ± 1,44	10,09 ± 1,92	10,43 ± 1,18	10,09 ± 1,01
	4	13,53 ± 0,50	13,53 ± 1,09	13,42 ± 0,53	12,71 ± 0,76
	7	13,49 ± 1,10	13,41 ± 0,68	13,92 ± 0,61	13,80 ± 0,20
	14	13,75 ± 0,91	13,75 ± 1,00	12,88 ± 0,64	13,25 ± 0,00
	28	15,92 ± 0,42	15,13 ± 1,54	14,09 ± 0,40	14,57 ± 0,08
Pastagem	0	20,36 ± 0,44	20,36 ± 0,44	20,36 ± 0,44	20,36 ± 0,44
	2	20,82 ± 1,42	20,32 ± 2,00	20,16 ± 0,92	19,16 ± 1,43
	4	26,73 ± 1,65	25,74 ± 1,93	23,50 ± 0,49	22,79 ± 0,47
	7	26,99 ± 0,85	28,49 ± 0,27	25,57 ± 2,57	24,27 ± 0,85
	14	26,08 ± 1,36	25,24 ± 2,68	22,19 ± 1,50	21,71 ± 0,87
	28	40,44 ± 2,26	43,20 ± 0,64	28,12 ± 2,12	30,15 ± 0,64

Quadro 4A. Teores de amônio e desvio padrão em um Luvissole sob mata Atlântica e cultura do cacau em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+	Sem N-NH_4^+	Com N-NH_4^+
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cacau	0	26,35 ± 2,95	-	36,35 ± 2,95	-
	2	27,24 ± 3,59	132,74 ± 9,21	24,06 ± 8,85	131,44 ± 18,99
	4	30,89 ± 3,46	114,22 ± 16,95	28,26 ± 2,74	114,53 ± 13,30
	7	19,84 ± 4,25	77,51 ± 17,18	22,88 ± 4,33	72,71 ± 17,96
	14	23,28 ± 7,67	74,22 ± 8,61	20,73 ± 6,45	80,90 ± 14,86
	28	5,78 ± 0,49	59,22 ± 2,02	13,39 ± 3,60	67,72 ± 14,90
mata Atlântica	0	32,26 ± 1,98	-	32,26 ± 1,98	-
	2	35,68 ± 1,38	169,99 ± 4,90	31,70 ± 3,12	144,29 ± 1,17
	4	41,74 ± 3,44	125,94 ± 13,43	35,70 ± 3,33	119,16 ± 16,83
	7	35,44 ± 7,19	74,25 ± 5,72	30,65 ± 6,09	68,64 ± 7,29
	14	33,05 ± 7,41	99,44 ± 16,35	30,84 ± 3,94	92,63 ± 12,56
	28	27,60 ± 1,14	75,09 ± 2,35	16,99 ± 1,76	56,67 ± 8,31

Quadro 5A. Teores de amônio e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerradão, plantio direto e plantio convencional em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺	Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerradão	0	12,25 ± 1,26	-	12,25 ± 1,26	-
	2	11,77 ± 1,59	124,73 ± 12,87	14,28 ± 0,91	143,54 ± 3,96
	4	10,25 ± 1,67	113,99 ± 11,93	15,27 ± 0,76	114,26 ± 18,38
	7	2,98 ± 2,19	58,65 ± 6,78	10,50 ± 1,67	69,52 ± 11,91
	14	1,72 ± 1,14	73,25 ± 12,78	15,45 ± 0,89	86,82 ± 17,09
	28	0,00 ± 0,00	55,05 ± 13,70	2,03 ± 1,77	54,71 ± 4,38
Plantio direto	0	6,85 ± 1,74	-	6,85 ± 1,74	-
	2	4,24 ± 2,00	114,12 ± 13,46	6,63 ± 1,57	122,50 ± 13,42
	4	0,83 ± 0,23	88,82 ± 8,66	1,45 ± 0,76	89,21 ± 14,52
	7	0,00 ± 0,00	47,48 ± 12,09	0,00 ± 0,00	47,56 ± 2,19
	14	0,67 ± 0,59	36,32 ± 7,83	1,21 ± 1,05	65,13 ± 6,42
	28	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	37,11 ± 16,68
Plantio convencional	0	7,24 ± 2,41	-	7,24 ± 2,41	-
	2	6,17 ± 2,01	150,43 ± 3,60	7,52 ± 1,80	127,15 ± 4,46
	4	0,92 ± 0,18	88,74 ± 8,20	1,51 ± 0,29	88,67 ± 14,17
	7	0,00 ± 0,00	52,29 ± 10,10	0,00 ± 0,00	59,74 ± 5,52
	14	0,47 ± 0,41	49,15 ± 19,16	0,99 ± 1,16	63,05 ± 7,07
	28	0,00 ± 0,00	13,27 ± 0,58	0,00 ± 0,00	45,79 ± 9,94

Quadro 6A. Teores de amônio e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerrado, eucalipto e pastagem em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺	Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerrado	0	37,58 ± 2,56	-	37,58 ± 2,56	-
	2	34,77 ± 3,50	171,29 ± 15,23	36,93 ± 1,54	187,31 ± 1,39
	4	39,03 ± 4,42	141,28 ± 20,82	34,42 ± 4,74	129,56 ± 18,48
	7	34,34 ± 9,51	98,85 ± 21,50	29,72 ± 4,27	84,93 ± 7,18
	14	29,35 ± 10,59	109,22 ± 20,81	32,74 ± 2,83	106,87 ± 9,06
	28	36,66 ± 2,04	103,79 ± 14,31	25,82 ± 3,12	77,42 ± 22,00
Eucalipto	0	25,82 ± 2,55	-	25,82 ± 2,55	-
	2	20,43 ± 1,77	153,51 ± 2,52	24,25 ± 3,14	147,08 ± 9,82
	4	24,23 ± 2,62	128,02 ± 11,53	22,49 ± 3,21	118,00 ± 16,15
	7	19,69 ± 4,03	80,13 ± 16,12	18,62 ± 2,98	74,72 ± 14,15
	14	20,83 ± 2,29	100,44 ± 13,86	21,37 ± 0,74	96,47 ± 9,87
	28	13,80 ± 3,60	83,50 ± 9,58	9,68 ± 2,15	74,73 ± 4,25
Pastagem	0	29,21 ± 3,44	-	29,21 ± 3,44	-
	2	28,46 ± 3,13	144,85 ± 39,58	29,55 ± 5,97	145,96 ± 5,59
	4	30,22 ± 3,84	131,26 ± 14,06	28,35 ± 3,35	118,77 ± 14,24
	7	23,96 ± 4,30	82,63 ± 15,01	22,97 ± 3,04	77,88 ± 14,67
	14	21,16 ± 4,93	90,38 ± 19,69	21,87 ± 7,74	85,36 ± 7,59
	28	9,24 ± 2,01	39,04 ± 3,00	9,80 ± 3,77	27,46 ± 14,44

Quadro 7A. Valores de pH e desvio padrão em um Luvissole sob mata Atlântica e cultura do cacau em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺	Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cacau	0	5,81 ± 0,01	5,81 ± 0,01	5,81 ± 0,01	5,81 ± 0,01
	2	5,76 ± 0,06	5,64 ± 0,06	5,70 ± 0,07	5,61 ± 0,05
	4	5,79 ± 0,19	5,66 ± 0,09	5,74 ± 0,02	5,65 ± 0,04
	7	5,84 ± 0,02	5,71 ± 0,06	5,82 ± 0,02	5,67 ± 0,05
	14	5,62 ± 0,25	5,58 ± 0,19	5,71 ± 0,07	5,63 ± 0,08
	28	5,51 ± 0,02	5,46 ± 0,11	5,76 ± 0,06	5,65 ± 0,06
Mata Atlântica	0	6,33 ± 0,05	6,33 ± 0,05	6,33 ± 0,05	6,33 ± 0,05
	2	6,26 ± 0,06	6,07 ± 0,06	6,15 ± 0,06	5,99 ± 0,04
	4	6,26 ± 0,08	6,11 ± 0,11	6,19 ± 0,05	6,06 ± 0,05
	7	6,36 ± 0,04	6,21 ± 0,01	6,24 ± 0,03	6,10 ± 0,04
	14	6,17 ± 0,25	6,04 ± 0,20	6,22 ± 0,06	6,04 ± 0,12
	28	6,17 ± 0,02	6,04 ± 0,08	6,22 ± 0,08	6,01 ± 0,05

Quadro 8A. Valores de pH e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerradão, plantio direto e plantio convencional em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺	Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerradão	0	4,08 ± 0,00	4,08 ± 0,00	4,08 ± 0,00	4,08 ± 0,00
	2	4,07 ± 0,05	4,27 ± 0,04	4,10 ± 0,06	4,25 ± 0,06
	4	4,07 ± 0,10	4,27 ± 0,07	4,09 ± 0,05	4,27 ± 0,04
	7	4,06 ± 0,01	4,29 ± 0,01	4,10 ± 0,05	4,29 ± 0,04
	14	4,00 ± 0,13	4,19 ± 0,12	4,09 ± 0,20	4,23 ± 0,17
	28	3,98 ± 0,03	4,17 ± 0,03	4,08 ± 0,06	4,32 ± 0,00
Plantio direto	0	5,43 ± 0,01	5,43 ± 0,01	5,43 ± 0,01	5,43 ± 0,01
	2	5,36 ± 0,04	5,19 ± 0,08	5,32 ± 0,06	5,23 ± 0,05
	4	5,43 ± 0,13	5,17 ± 0,06	5,36 ± 0,08	5,23 ± 0,03
	7	5,37 ± 0,06	5,13 ± 0,06	5,35 ± 0,12	5,26 ± 0,03
	14	5,30 ± 0,13	4,91 ± 0,03	5,29 ± 0,16	5,13 ± 0,15
	28	5,37 ± 0,04	4,76 ± 0,17	5,45 ± 0,06	5,21 ± 0,08
Plantio convencional	0	4,88 ± 0,02	4,88 ± 0,02	4,88 ± 0,02	4,88 ± 0,02
	2	4,81 ± 0,05	4,81 ± 0,03	4,79 ± 0,04	4,84 ± 0,05
	4	4,82 ± 0,07	4,78 ± 0,06	4,76 ± 0,03	4,85 ± 0,01
	7	4,85 ± 0,02	4,82 ± 0,04	4,86 ± 0,07	4,87 ± 0,05
	14	4,78 ± 0,16	4,64 ± 0,12	4,78 ± 0,09	4,83 ± 0,06
	28	4,85 ± 0,05	4,60 ± 0,13	4,92 ± 0,03	4,82 ± 0,03

Quadro 9A. Valores de pH e desvio padrão em um Latossolo Vermelho sob cerrado, eucalipto e pastagem em tempos distintos de coleta com e sem aplicação de acetileno e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

	Tempo	Sem acetileno		Com acetileno	
		Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺	Sem N-NH ₄ ⁺	Com N-NH ₄ ⁺
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cerrado	0	5,04 ± 0,04	5,04 ± 0,04	5,04 ± 0,04	5,04 ± 0,04
	2	5,00 ± 0,06	4,73 ± 0,04	4,78 ± 0,09	4,67 ± 0,05
	4	5,02 ± 0,08	4,74 ± 0,06	4,73 ± 0,07	4,66 ± 0,03
	7	5,06 ± 0,03	4,77 ± 0,02	4,84 ± 0,06	4,71 ± 0,07
	14	4,94 ± 0,20	4,74 ± 0,14	4,73 ± 0,11	4,73 ± 0,11
	28	4,95 ± 0,32	4,90 ± 0,04	4,93 ± 0,09	4,82 ± 0,04
Eucalipto	0	4,47 ± 0,01	4,47 ± 0,01	4,47 ± 0,01	4,47 ± 0,01
	2	4,47 ± 0,04	4,47 ± 0,06	4,31 ± 0,08	4,42 ± 0,06
	4	4,43 ± 0,08	4,48 ± 0,08	4,25 ± 0,08	4,40 ± 0,05
	7	4,40 ± 0,08	4,51 ± 0,03	4,25 ± 0,07	4,45 ± 0,01
	14	4,32 ± 0,12	4,58 ± 0,21	4,27 ± 0,11	4,44 ± 0,14
	28	4,45 ± 0,05	4,58 ± 0,03	4,32 ± 0,01	4,54 ± 0,03
Pastagem	0	5,62 ± 0,02	5,62 ± 0,02	5,62 ± 0,02	5,62 ± 0,02
	2	5,53 ± 0,05	5,35 ± 0,05	5,47 ± 0,05	5,31 ± 0,02
	4	5,50 ± 0,02	5,31 ± 0,06	5,49 ± 0,05	5,33 ± 0,05
	7	5,51 ± 0,06	5,32 ± 0,05	5,56 ± 0,07	5,34 ± 0,02
	14	5,35 ± 0,11	5,28 ± 0,10	5,42 ± 0,12	5,25 ± 0,11
	28	5,30 ± 0,06	5,23 ± 0,03	5,44 ± 0,07	5,31 ± 0,01

Quadro 10A. Valores de pH e desvio padrão em um Luvisolo sob mata e cultivo de cacau, e em dois Latossolos Vermelho um sob cerradão, plantio direto e plantio convencional, e outro sob cerrado, eucalipto e pastagem após dois processos de esterilização (autoclavagem e tolueno) e com e sem aplicação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

		pH			
		-----Autoclavagem-----		-----Tolueno-----	
		Com NH ₄ ⁺	Sem NH ₄ ⁺	Com NH ₄ ⁺	Sem NH ₄ ⁺
Luvisolo	Mata	5,72 ± 0,01	5,85 ± 0,01	5,55 ± 0,02	5,83 ± 0,01
	Cacau	5,55 ± 0,00	5,59 ± 0,01	5,38 ± 0,01	5,39 ± 0,01
Latossolo Vermelho	cerradão	4,12 ± 0,00	3,97 ± 0,01	4,24 ± 0,01	3,98 ± 0,01
	P. direto	5,13 ± 0,01	5,42 ± 0,00	5,23 ± 0,01	5,53 ± 0,01
	P. convencional	4,82 ± 0,00	4,97 ± 0,02	4,91 ± 0,01	5,02 ± 0,01
Latossolo Vermelho	Cerrado	4,34 ± 0,02	4,58 ± 0,01	4,44 ± 0,01	4,78 ± 0,02
	Eucalipto	4,21 ± 0,01	4,39 ± 0,03	4,26 ± 0,01	4,44 ± 0,01
	Pastagem	5,10 ± 0,01	5,52 ± 0,00	5,21 ± 0,04	5,68 ± 0,02

APÊNDICE B

Quadro 1B. Teores de nitrato e desvio padrão em um Luvissole sob mata Atlântica e dois Latossolos Vermelho um sob cerradão e outro sob cerrado em níveis de acidez distintos com e sem aplicação de acetileno e sem aplicação de N (sem N), com aplicação (NH₄)₂SO₄ (N-S.A.) e peptona (N-Pep)

Solo	Níveis de acidez ^{1/}					
	0	1	2	3	4	
-----mg.kg ⁻¹ -----						
Mata Atlântica	Sem acetileno					
	Sem N	35,54 ± 4,36	57,56 ± 3,82	92,17 ± 2,16	129,68 ± 12,19	27,26 ± 1,17
	N-S.A.	35,48 ± 6,25	56,46 ± 1,63	85,11 ± 1,04	142,10 ± 9,28	23,25 ± 0,44
	N-Pep.	18,54 ± 4,61	29,19 ± 10,37	92,58 ± 19,09	205,05 ± 14,54	72,19 ± 13,99
	Com acetileno					
	Sem N	38,95 ± 0,23	58,56 ± 0,99	76,80 ± 3,45	98,13 ± 3,74	21,99 ± 2,58
	N-S.A.	43,17 ± 1,08	52,22 ± 14,00	86,19 ± 10,31	96,73 ± 11,59	18,99 ± 2,49
	N-Pep.	17,17 ± 1,39	27,80 ± 3,12	63,70 ± 10,45	92,85 ± 9,13	41,49 ± 2,42
	Cerradão	Sem acetileno				
		Sem N	100,52 ± 9,26	122,68 ± 20,52	128,26 ± 16,09	147,07 ± 18,23
N-S.A.		105,69 ± 11,80	114,28 ± 14,08	160,94 ± 17,58	228,25 ± 18,39	162,21 ± 5,91
N-Pep.		94,71 ± 3,77	115,03 ± 15,25	138,59 ± 6,87	255,90 ± 7,19	124,45 ± 7,61
Com acetileno						
Sem N		91,93 ± 6,06	109,61 ± 13,18	118,44 ± 14,71	152,81 ± 33,10	120,25 ± 12,27
N-S.A.		87,86 ± 2,91	112,81 ± 7,33	124,53 ± 13,12	167,22 ± 2,06	123,85 ± 7,68
N-Pep.		85,59 ± 3,54	100,52 ± 7,30	111,57 ± 9,17	172,35 ± 27,92	114,42 ± 26,30
Cerrado		Sem acetileno				
		Sem N	3,01 ± 0,81	4,83 ± 0,44	6,89 ± 0,93	11,94 ± 0,97
	N-S.A.	2,33 ± 0,76	3,93 ± 0,80	4,70 ± 0,94	9,13 ± 1,60	23,89 ± 5,77
	N-Pep.	1,38 ± 0,44	2,90 ± 0,55	3,87 ± 1,05	8,45 ± 1,55	23,36 ± 2,08
	Com acetileno					
	Sem N	3,62 ± 1,11	5,02 ± 1,89	7,25 ± 1,30	7,05 ± 1,41	17,69 ± 3,78
	N-S.A.	2,94 ± 1,06	5,18 ± 0,64	4,82 ± 1,37	9,61 ± 2,40	18,02 ± 4,56
	N-Pep.	2,94 ± 1,06	4,37 ± 1,08	4,63 ± 1,19	11,88 ± 1,20	19,98 ± 1,21

1/ Mata Atlântica: 0=4,57; 1=4,92; 2=5,07; 3=5,49; 4=6,33

Cerradão: 0=3,95; 1=4,04; 2=5,00; 3=5,58; 4=6,27

Cerrado: 0=4,04; 1=4,44; 2=4,90; 3=5,38; 4=6,13

Quadro 2B. Teores de amônio e desvio padrão em um Luvissole sob mata Atlântica e dois Latossolos Vermelho um sob cerradão e outro sob cerrado em níveis de acidez distintos com e sem aplicação de acetileno e sem aplicação de N (sem N), com aplicação (NH₄)₂SO₄ (N-S.A.) e peptona (N-Pep)

Solo	Níveis de acidez ^{1/}						
	0	1	2	3	4		
-----mg.kg ⁻¹ -----							
Mata Atlântica	Sem acetileno						
	Sem N	34,51 ± 6,35	32,39 ± 5,05	18,99 ± 7,61	7,39 ± 3,17	31,51 ± 5,53	
	N-S.A.	124,31 ± 17,46	117,57 ± 14,75	104,31 ± 14,02	81,99 ± 14,91	136,66 ± 8,30	
	N-Pep.	603,25 ± 76,02	578,49 ± 67,02	547,76 ± 66,97	435,04 ± 34,02	533,16 ± 64,56	
	Com acetileno						
	Sem N	38,49 ± 8,02	32,36 ± 7,73	25,40 ± 4,78	8,69 ± 4,32	28,88 ± 5,93	
	N-S.A.	149,83 ± 18,64	141,22 ± 16,94	119,80 ± 6,34	108,18 ± 13,39	143,09 ± 19,27	
	N-Pep.	628,80 ± 54,59	616,85 ± 76,92	591,59 ± 42,11	537,08 ± 82,32	570,43 ± 39,25	
	Cerradão	Sem acetileno					
		Sem N	9,72 ± 4,07	4,13 ± 5,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	4,10 ± 7,10
		N-S.A.	135,44 ± 25,35	132,20 ± 28,13	118,68 ± 16,68	65,40 ± 25,94	120,45 ± 14,94
		N-Pep.	629,39 ± 124,85	608,77 ± 56,33	586,46 ± 73,32	518,66 ± 38,12	599,75 ± 17,15
Com acetileno							
Sem N		20,97 ± 5,16	9,80 ± 6,71	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	35,83 ± 5,28	
N-S.A.		163,30 ± 7,51	148,86 ± 7,03	126,48 ± 5,66	121,95 ± 21,52	153,74 ± 14,31	
N-Pep.		650,71 ± 74,67	636,22 ± 44,02	579,44 ± 93,32	613,44 ± 63,38	579,46 ± 54,74	
Cerrado		Sem acetileno					
		Sem N	52,37 ± 5,95	43,07 ± 7,73	35,12 ± 5,46	38,47 ± 7,14	29,62 ± 4,08
		N-S.A.	153,68 ± 28,12	156,17 ± 45,27	155,31 ± 58,81	172,11 ± 12,17	148,53 ± 32,03
		N-Pep.	660,77 ± 67,31	642,22 ± 97,51	623,92 ± 93,55	557,97 ± 69,92	520,59 ± 27,09
	Com acetileno						
	Sem N	50,71 ± 3,35	41,89 ± 4,84	30,47 ± 3,57	27,79 ± 5,84	36,40 ± 3,39	
	N-S.A.	137,71 ± 84,06	123,78 ± 66,22	152,84 ± 12,30	158,04 ± 9,95	158,97 ± 12,44	
	N-Pep.	645,94 ± 88,31	614,04 ± 39,78	591,49 ± 24,96	455,02 ± 50,27	452,04 ± 50,32	

1/ Mata Atlântica: 0=4,57; 1=4,92; 2=5,07; 3=5,49; 4=6,33

Cerradão: 0=3,95; 1=4,04; 2=5,00; 3=5,58; 4=6,27

Cerrado: 0=4,04; 1=4,44; 2=4,90; 3=5,38; 4=6,13

APÊNDICE C

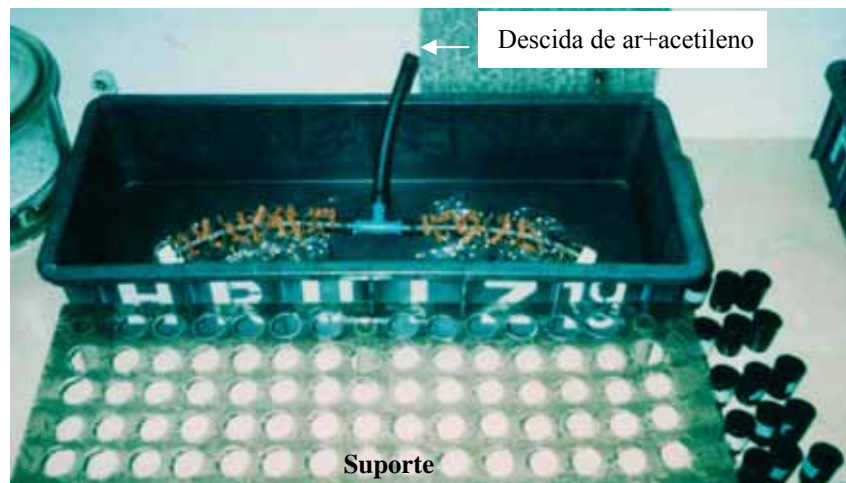


Figura 1C. Caixa plástica, suporte para as unidades experimentais e tubulações usadas para incubação com acetileno.



Figura 2C. Detalhe do suporte com as unidades experimentais.



Figura 2C. Sistema completo utilizado para a incubação das unidades experimentais com acetileno.