



Dissertação de Mestrado

**POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO ANAERÓBIA DO
NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA DO
RIO GRANDE DO SUL**

Anderson Clayton Rhoden

PPGCS

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO ANAERÓBIA DO
NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA DO
RIO GRANDE DO SUL**

por

Anderson Clayton Rhoden

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
Área de Concentração em Processos
Químicos e Ciclagem de Elementos da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de:

Mestre em Ciência do Solo.

PPGCS

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO ANAERÓBIA DO
NITOGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA DO
RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por

Anderson Clayton Rhoden

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Leandro Souza da Silva
(Dr. Prof. UFSM, Presidente/Orientador)

Flávio Anastácio de Oliveira Camargo
(Dr. Prof. UFRGS)

Celso Aita
(Dr. Prof. UFSM)

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2005.

**“Sob a luz do amor,
não há mau que não tenha fim”**



**DEDICO a minha esposa Maria
Cristiane, as minhas filhas,
Eduarda e Alexandra, aos
meus pais Ido e Ivanir e ao
meu irmão Emerson, pelo
amor, paz, força,
compreensão, honestidade,
dignidade e oportunidade de
viver.**

**OFEREÇO a minha família e aos
mestres com carinho.**

AGRADECIMENTOS

Ao professor Leandro Souza da Silva pela orientação, incentivo, amizade, confiança, apoio, sugestões e conselhos em todos os momentos decisivos e importantes da minha trajetória e, pelo exemplo de dedicação às pessoas e ao ensino e pesquisa.

Ao professor Flávio Anastácio de Oliveira Camargo, pelos esclarecimentos, empréstimo de material, opiniões e incentivo ao trabalho.

Ao professor Celso Aita, pela amizade, empréstimo de material e incentivo ao trabalho.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, pela amizade, apoio durante toda minha trajetória no Mestrado e incentivo ao trabalho.

Aos bolsistas do setor de Química e Fertilidade do Solo, em especial a Darines Britzke, Fábio Mallmann, Fábio Graupe e Eliziane Benedetti pela amizade e ajuda na execução dos experimentos.

Aos colegas de curso, em especial Sidnei Kuster Ranno, Cleudson Michelin, André Hübner e Gustavo Brunetto pelas discussões, estudos e companheirismo.

Aos professores do Departamento de Solos da UFSM pela amizade, ensinamentos e convívio.

Aos funcionários do Departamento de Solos e do PPGCS, pela ajuda nos momentos de dificuldade.

À CAPES pelo auxílio financeiro e bolsa de estudos.

Ao CNPq e FAPERGS pela concessão de bolsas de iniciação científica.

À UFSM e ao Departamento de Solos, pela estrutura e oportunidade.

Aos colegas do IRGA pelo auxílio na coleta dos solos estudados.

À minha esposa Maria Cristiane da Cruz Paz, às minhas filhas Eduarda Cristina Rhoden e Alexandra Camille Rhoden por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem nas difíceis decisões da vida e proporcionarem momentos inesquecíveis.

Aos meus pais, Ido Vilibaldo Rhoden e Ivanir Jetane da Silva Rhoden e ao meu irmão Emerson Cledir Rhoden, que sempre estiveram presentes nestes dois anos de muito estudo e trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
LISTA DE APÊNDICES.....	xvii
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Ciclo do nitrogênio.....	3
2.1.1 Alterações decorrentes do alagamento do solo.....	4
2.1.2 Formas de N inorgânico no solo alagado.....	6
2.2 Adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado.....	7
2.3 Matéria orgânica do solo como fonte de N para as plantas e avaliação da disponibilidade de N.....	10
2.4 Modelos matemáticos para a predição do N mineralizado	12
2.5 Relação entre o N mineralizado e o N absorvido pelas culturas.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização do experimento.....	20
3.2 Coleta das amostras de solo.....	21
3.3 Preparo das amostras de solo.....	25
3.3.1 Análises dos solos em pré-incubação com calcário..	25
3.3.2 Análises dos solos em pós-incubação com calcário.	26
3.4 Estudo de casa de vegetação.....	26
3.4.1 Análises de tecido vegetal.....	31

3.5 Estudo de incubação anaeróbia (N mineralizado).....	32
3.5.1 Análise do N mineralizado.....	34
3.7 Estudos de correlação.....	34
3.8 Modelos matemáticos e a obtenção do potencial de mineralização do N.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Absorção de N por plantas de arroz irrigado durante 60 dias me dois cultivos sucessivos com diferentes solos de várzea do RS, em casa-de-vegetação, e a sua relação com características solo.....	37
4.1.1 Estudo de correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado durante o primeiro cultivo e atributos de solo.....	40
4.1.2 Estudo de correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado durante o segundo cultivo e atributos de solo.....	51
4.2 Estimativa <i>in vitro</i> da mineralização anaeróbia do N de diferentes solos de várzea do RS.....	58
4.3. Modelos matemáticos e a predição do N potencialmente mineralizável anaeróbiamente em solos de várzea do RS.....	72
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
7. ANEXOS.....	97
8. APÊNDICES.....	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Atributos físicos e químicos das 15 amostras de solo assim como coletadas (originais), da camada de 0-20 cm de profundidade.....	23
TABELA 02 - Aproximação da classificação dos quinze solos objetos de estudo, por unidade de mapeamento e classificação brasileira.....	24
TABELA 03 - Atributos físicos e químicos das 15 amostras de solo após incubação com calcário, da camada de 0-20 cm de profundidade.....	29
TABELA 04 - Doses de P_2O_5 para cada solo e dose de K_2O aplicadas nos 15 solos objetos de estudo..	30
TABELA 05 - Massa seca das plantas de arroz irrigado, percentagem de N no tecido e teor de N absorvido pelas plantas em dois cultivos sucessivos, em casa-de-vegetação, num período de 60 dias.....	39
TABELA 06 - Atributos físicos e químicos dos quinze solos objetos de estudo.....	40
TABELA 07 - Equações e coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas e o N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo, em casa-de-vegetação, durante 60 dias.....	41
TABELA 08 - Atributos de solo, coeficiente de determinação e equações de regressão múltipla para a obtenção do N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo de arroz irrigado, em casa-de-vegetação, num período de 60 dias.....	51
TABELA 09 - Equações e coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas e o N absorvido por plantas no segundo cultivo de arroz irrigado, em casa-de-vegetação, durante 60 dias.....	52

TABELA 10 - Atributos de solo, coeficiente de determinação e equação de regressão múltipla para a obtenção do N absorvido por plantas no segundo cultivo de arroz irrigado, em casa-de-vegetação, num período de 60 dias.....	55
TABELA 11 - N mineralizado acumulado a cada período analisado, diferença entre o N mineralizado no momento atual e o N mineralizado num momento anterior, N mineralizado acumulado final e relação Nm/Nt.....	62
TABELA 12 - Parâmetros do modelo de Stanford & Smith (1972) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia...	73
TABELA 13- Parâmetros do modelo de Inubushi et al. (1985) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia...	78
TABELA 14 - Parâmetros do modelo de Broadbent (1986) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	80
TABELA 15 - Parâmetros do modelo de Cabrera (1993) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	82
TABELA 16 - Parâmetros do modelo de Jones (1984) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	86
TABELA 17 - Resumo dos parâmetros dos modelos obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Rendimento relativo do arroz irrigado em função do teor de matéria orgânica do solo.....	8
FIGURA 02 - Mapa do RS com os respectivos municípios de coleta dos solos objetos de estudo e o material de origem de cada região.....	22
FIGURA 03 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de C orgânico do solo.....	42
FIGURA 04 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N total do solo.....	44
FIGURA 05 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de argila do solo.....	45
FIGURA 06 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N mineral inicial no solo.....	47
FIGURA 07 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N-NO ₃ inicial no solo.....	48
FIGURA 08 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N-NH ₄ inicial no solo.....	49
FIGURA 09 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e a relação C/N da MOS.....	50
FIGURA 10 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de C orgânico do solo.....	52

FIGURA 11 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de N total do solo.....	54
FIGURA 12 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de argila do solo.....	55
FIGURA 13 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e a relação C/N da MOS.....	56
FIGURA 14 - N mineralizado acumulado em função do tempo para os 15 solos objetos de estudo e diferença mínima significativa (DMS) e coeficiente de variação (cv) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	60
FIGURA 15 - Teor de N-NO ₃ na solução de alagamento do solo em função do tempo em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	67
FIGURA 16 - Teor de N-NH ₄ na solução de alagamento do solo em função do tempo em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	68
FIGURA 17 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	69
FIGURA 18 - Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de C orgânico do solo.....	69
FIGURA 19 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.....	70
FIGURA 20 - Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de N total do solo.....	71

FIGURA 21 - Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de argila do solo.....	71
FIGURA 22 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o N potencialmente mineralizável (N_0) estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972).....	75
FIGURA 23 - Correlação entre o N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o N potencialmente mineralizável estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972).....	76
FIGURA 24 - Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e a fração ativa do N potencialmente mineralizável (N_2) estimada pelo modelo de Jones (1984).....	84

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 01 - Ilustração demonstrando a coleta de solo (a), secagem ao ar (b), incubação com calcário em sacos plásticos e (c) abertura semanal dos sacos plásticos (d).....	97
ANEXO 02 - Ilustração demonstrando os vasos contendo os solos (a), plântulas de arroz logo após o trasplante e (b) plantas de arroz antes e após o alagamento (c, d).....	98
ANEXO 03 - Coleta da parte aérea das plantas de arroz irrigado (massa fresca) 60 dias após o transplante para os vasos.....	99
ANEXO 04 - Incubadora vertical onde se realizou a incubação anaeróbia durante 24 semanas.....	99
ANEXO 05 - Suportes de madeira e os tubos contendo os solos para incubação anaeróbia.....	100
ANEXO 06 - Aparato utilizado na coleta da solução de alagamento dos solos incubados anaerobiamente por 24 semanas..	100
ANEXO 07 - Destilação em destilador semi-micro Kjeldhal.....	101
ANEXO 08 - Massa seca das plantas de arroz irrigado dos dois cultivos sucessivos nos 15 solos objetos de estudo.....	102

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 01 - Teor de N mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.....	103
APÊNDICE 02 - Teor de N-NH ₄ mineralizado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.....	104
APÊNDICE 03 - Teor de N-NH ₄ mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.....	105
APÊNDICE 04 - Teor de N-NO ₃ mineralizado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.....	106
APÊNDICE 05 - Teor de N-NO ₃ mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.....	107

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO ANAERÓBIA DO NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: ANDERSON CLAYTON RHODEN
ORIENTADOR: LEANDRO SOUZA DA SILVA
CO-ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO CERETTA
CO-ORIENTADOR: DANILO RHEINHEIMER DOS SANTOS
Santa Maria, 23 de fevereiro de 2005.

O N orgânico do solo é a principal fonte de N para as culturas, o qual é disponibilizado mediante decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) pelos microrganismos. A adubação nitrogenada é baseada no teor de MOS, entretanto, a decomposição da MOS e mineralização do N em ambiente alagado apresenta uma dinâmica diferente com relação ao ambiente drenado, o que dificulta a estimativa da dose de adubo mineral nitrogenado a ser adicionado ao solo para a produção de arroz. Portanto, conhecendo-se a dinâmica da decomposição da MOS e o comportamento do N neste ambiente, pode-se melhorar as tabelas de indicação da adubação nitrogenada. Os objetivos do presente trabalho foram: (a) avaliar o potencial de mineralização anaeróbia do N de diferentes solos de várzea do RS em casa-de-vegetação e *in vitro*, bem como sua relação com características dos solos; b) ajustar modelos matemáticos que descrevem o potencial de mineralização do N e sua relação com a disponibilidade de N para o arroz irrigado. Foram coletadas 15 amostras da camada superficial (0-20 cm) de solos de várzea do RS. As amostras de solo foram secas ao ar e tamisadas em peneira malha 2mm. Para uniformizar o pH dos solos aplicou-se calcário dolomítico nas quantidades equivalentes para a elevação do pH a 5,5, estimado pelo índice SMP de cada solo. Após um período de 35 dias de incubação com o calcário, realizou-se a montagem dos vasos do experimento para o cultivo de plantas. As unidades experimentais constituíram de vasos contendo os solos com 4 repetições, em delineamento inteiramente casualizado. As plantas cresceram por um período de 60 dias em casa-de-vegetação, em 2 cultivos sucessivos. Colheu-se a parte aérea das plantas para análise do tecido vegetal e obtenção do N absorvido. Em laboratório realizou-se uma incubação anaeróbia dos 15 solos durante 24 semanas, onde se procederam a drenagens em períodos determinados da solução de alagamento do solo e nesta determinou-se o N mineralizado. A partir dos resultados do N mineralizado acumulado em função do tempo, aplicou-se 5 modelos matemáticos para a predição do potencial de mineralização do N e das taxas de mineralização. Avaliaram-se correlações dos atributos de solo, N mineralizado e parâmetros dos modelos com o teor de N absorvido pelas plantas. O teor de C orgânico do solo apresentou alta correlação com o teor de N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo e, o teor de argila do solo com o N absorvido no segundo cultivo. O N mineralizado acumulado apresentou elevada correlação com o N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo e com o teor de C orgânico do solo. O modelo de Jones (1984) foi o que melhor estimou o N potencialmente mineralizável (N_0) e as taxas de mineralização (k). O N_0 do modelo de Stanford & Smith (1972) apresentou elevada correlação com o N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo e o k apresentou elevada correlação com o teor de argila do solo. Já o parâmetro N_2 de Jones (1984) foi o que melhor se correlacionou com o teor de N absorvido pelas plantas no segundo cultivo.

ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

NITROGEN MINERALIZATION ANAEROBIC POTENTIAL IN PADDY SOIL FROM RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

AUTHOR: ANDERSON CLAYTON RHODEN
ADVISER: LEANDRO SOUZA DA SILVA
CO-ADVISER: CARLOS ALBERTO CERETTA
CO-ADVISER: DANILO RHEINHEIMER DOS SANTOS
Santa Maria, February, 23, 2005.

The soil organic nitrogen is the main source of N to crops, which is released from soil organic matter (SOM) decomposition by microorganisms. The N fertilization is based on SOM levels, however, the SOM decomposition and mineralization in flooded soils has a different dynamic compared to well-drained soils, what makes difficult the estimate of N fertilizer doses to rice production. Therefore, the understanding of anaerobic SOM decomposition dynamic and N behavior can improve the N fertilizer recommendations. The objective of this work were: (a) to evaluate the anaerobic N mineralization potential in different soils from Rio Grande do Sul state in greenhouse and *in vitro* and its relations with soil characteristics, and (b) to fit mathematical models to describe the N mineralization potential and its relations with N availability to rice. Fifteen soils samples from superficial layer (0 to 0,2m) of lowland soils from RS state were collected, air-dried, and passed through a 2 mm sieve. To standardize the soil pH, limestone was mixed to reach pH 5,5, based on SMP index of each soil. After a 35-days period, the soils were set in pots with four replications in an entirely randomized experimental design. The rice grew in a 60-day period in two successive cultivations in greenhouse and the shoot was taken to determine absorbed N. N anaerobic incubation was set for 24 weeks, where the flooded solution was collected and amount of N was measured. On these results, five mathematical models were fitted to estimate N mineralization potential and N mineralization rates. It was evaluated the correlations between absorbed N and soils characteristics, mineralized N, or model parameters. The soil organic carbon and clay content were high correlated, respectively, with absorbed N in first and second cultivations. The accumulated mineralized N presented high correlation with soil organic carbon and absorbed N in first cultivation. The better model to estimate the N potentially mineralizable (N_0) and mineralization rates (k) was of the Jones (1984). The N_0 and k estimated by Stanford & Smith (1972) model presented high correlations, respectively, with absorbed N in the second cultivation and clay. The N_2 estimated by Jones (1984) model was correlated with absorbed N in the second cultivation.

1 - INTRODUÇÃO

O arroz irrigado é uma das culturas mais relevantes para o Estado do Rio Grande do Sul, o qual foi responsável pela produção de cerca de 6,3 milhões de toneladas na safra 2003/2004, soma que representou, aproximadamente, 50% da produção nacional (www.irga.rs.gov.br). O RS possui uma área de cerca de 6 milhões de hectares de várzea, dos quais cultiva anualmente em torno de um milhão de hectares, predominantemente na metade Sul do Estado (Azambuja et al., 2004).

A produtividade média da lavoura orizícola vem aumentando a cada safra, atingindo patamares superiores a 6000 kg ha⁻¹ na safra 2003/2004 (www.irga.rs.gov.br). Os sucessivos aumentos na produtividade da cultura do arroz irrigado estão atrelados a utilização racional dos fatores de produção, com destaque para a adubação. A adubação consiste em fornecer nutrientes às plantas a fim de complementar a necessidade da cultura a partir do que o solo é capaz de fornecer. Boa parte dos nutrientes que as plantas absorvem provêm das reservas do solo e o desafio é conhecer o potencial do solo em fornecer os nutrientes necessários às plantas, contribuindo para a minimização dos custos de adubação e maximização do aproveitamento do recurso natural disponível.

Dos nutrientes essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade, sendo um dos mais importantes fatores que afetam a produção do arroz (Marumoto, 1986). Para atender a demanda em N das plantas, deve-se adicionar adubos nitrogenados, complementando o que o solo potencialmente pode fornecer. A recomendação da adubação nitrogenada para as culturas nos Estados do RS e SC é realizada com base no teor de matéria orgânica do solo (MOS), tanto para cultivos de sequeiro como para cultivos em solos alagados (Comissão..., 2004). Desta forma, a MOS é considerada a mais

importante fonte de N para as culturas, que é disponibilizado, entre outros nutrientes, após decomposição mediante atividade microbiana.

Contudo, a produtividade do arroz irrigado é muito variável com o teor de MOS. Têm-se observado tanto baixos como elevados rendimentos relativos do arroz irrigado em solos que apresentam baixos ou altos teores de MOS, independente da adubação nitrogenada (Scivittaro & Machado, 2004). O fato de que no solo alagado ocorrem períodos de atividade biológica em condições aeróbias e anaeróbias, os quais afetam a mineralização da MOS e a conseqüente disponibilidade de N às plantas, dificulta a estimativa da dose de fertilizante nitrogenado a ser indicada para a cultura do arroz irrigado por inundação a partir do teor de MOS.

Portanto, para aprimorar as tabelas de recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado para os Estados do RS e SC, é necessário conhecer o potencial de contribuição da MOS em liberar N através de estudos sobre a dinâmica da MOS e do N em ambiente alagado. Tais conhecimentos podem auxiliar para que se tenha um melhor manejo da adubação nitrogenada, diminuindo custos para o produtor, minimizando impactos ambientais e maximizando a utilização dos nutrientes que são potencialmente disponíveis no solo.

Na busca de informações para tentar elucidar algumas questões referentes ao N em solo alagado, conduziu-se este trabalho com os seguintes objetivos:

a) avaliar o potencial de mineralização anaeróbia do N de diferentes solos de várzea do RS em casa-de-vegetação e *in vitro*, em laboratório, bem como sua relação com características dos solos;

b) ajustar modelos matemáticos que descrevam o potencial de mineralização do N e sua relação com a disponibilidade de N para o arroz irrigado.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ambiente alagado para o cultivo do arroz irrigado por inundação é muito diferente do ambiente drenado, onde se cultivam culturas de sequeiro. A entrada da água na área de cultivo causa diversas alterações no solo, tanto de ordem física, pela expulsão do oxigênio e desagregação do solo, como biológica, pela modificação do metabolismo microbiano predominante passando de aeróbio na presença de oxigênio para anaeróbio na ausência de oxigênio, e química, decorrente da alteração do estado redox e do pH do solo, com reflexos diretos sobre a disponibilidade de nutrientes e sobre a dinâmica da MOS. Todos esses processos afetam a dinâmica do N e, conseqüentemente, dificultam a predição da disponibilidade deste nutriente para a cultura do arroz irrigado por inundação.

2.1 Ciclo do N

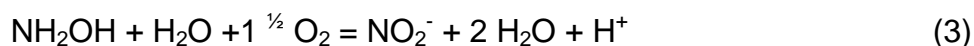
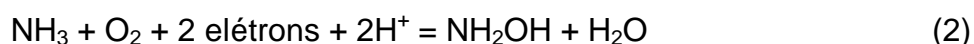
O N é um dos elementos mais importantes para que se complete o ciclo da vida, em qualquer ambiente, principalmente por fazer parte de aminoácidos, proteínas, RNA e DNA (Alexander, 1967). O ciclo do N está sujeito a uma complexa ordem de mecanismos regulatórios que envolvem fatores físico-químicos e biológicos e, principalmente, reações redox. A grande maioria das transformações do N é mediada metabolicamente por microrganismos autotróficos e heterotróficos, os quais são fortemente influenciados pelas condições físico-químicas prevalentes no ambiente (Herbert, 1999).

A grande reserva de N no solo é fundamentalmente de natureza orgânica, estando sujeita às transformações que determinam as relações de equilíbrio entre o N orgânico e mineral e as necessidades de plantas e microrganismos (Aita et al., 2003). Os microrganismos decompõem a

MOS e retiram elementos para promover a atividade e o crescimento celular, sendo o excesso descartado num processo denominado de *mineralização*, através do qual os nutrientes passam da forma orgânica, não disponível para as plantas, para a forma mineral, passível de absorção. O N é mineralizado tanto por microrganismos aeróbios e anaeróbios, passando à forma de NH_3 (um gás passível de *volatilização*). No solo, o NH_3 encontra-se em equilíbrio químico com o NH_4^+ (reação 1), cuja reação depende, principalmente, do pH:



O NH_4^+ pode ser utilizado por bactérias nitritadoras, que são aeróbias, tais como as do gênero *Nitrossomonas*, e por bactérias nitradoras, que também são aeróbias, tais como as do gênero *Nitrobacter*, resultando no fenômeno denominado *nitrificação*. Quimicamente, utilizam o NH_4^+ como doador de elétrons oxidando-o a NO_3^- e, o oxigênio como receptor de elétrons, reduzido-o a água. As reações 2 a 4 correspondem a oxidação do NH_3 à NO_3^- .



Em condições aeróbias, o NO_3^- é a principal forma de N mineral utilizada pelas plantas. Devido a sua baixa adsorção em colóides do solo, esta forma de N está sujeita a perdas através da percolação de água no perfil do solo, fenômeno conhecido por *lixiviação* de nitrato.

A entrada de água para a irrigação do arroz provoca diversas modificações no solo, inclusive de ordem microbiana, alterando definitivamente o ciclo do N neste novo ambiente.

2.1.1 Alterações decorrentes do alagamento do solo

O alagamento do solo provoca a expulsão do oxigênio do espaço poroso, exaurindo-o. Como conseqüência desta alteração, o tipo de

metabolismo microbiano predominante no solo é modificado, passando de aeróbio para anaeróbio. Somente nas camadas oxidadas do solo alagado, como a superfície do solo e a rizosfera, é que existem microrganismos cujo metabolismo é aeróbio (Patrick, 1982).

Em solos alagados a decomposição anaeróbia da MOS ocorre de forma mais lenta do que em solos drenados porque um grupo menor e menos eficiente de bactérias realizam essa função nestas condições (Vahl, 1999). Enquanto os microrganismos aeróbios crescem na presença de oxigênio molecular livre (O_2) e possuem alta eficiência energética, os microrganismos anaeróbios facultativos possuem como receptor final de elétrons um composto oxidado do solo, e isso faz com que possuam menor eficiência energética e menor capacidade de decomposição da MOS, favorecendo seu acúmulo neste ambiente. Os principais compostos oxidados do solo utilizados pelos microrganismos anaeróbios são o nitrato, óxidos de manganês, óxidos de ferro e sulfatos, entre outros, que são reduzidos a nitrogênio molecular livre (N_2), Mn^{+2} , Fe^{+2} e sulfetos, respectivamente (Bartlett & James, 1993).

A ausência de O_2 interrompe o processo de nitrificação, favorecendo o acúmulo de NH_4^+ no ambiente alagado, exceto nas zonas oxidadas que ainda podem fornecer NO_3^- ao solo nestas condições. Caso o NO_3^- gerado nestas zonas oxidadas difunda para regiões de anaerobiose, pode ser reduzido a NO_2^- e este ser reduzido a N_2 ou N_2O , que são voláteis, resultando em perdas de N do sistema solo por denitrificação. A reação 5 mostra, de forma simplificada, a redução do NO_3^- a N_2 .



Os microrganismos anaeróbios também podem utilizar como receptor final de elétrons compostos orgânicos do solo, que são produtos orgânicos intermediários das rotas metabólicas, no processo denominado de *fermentação*. Este tipo de metabolismo não envolve o ciclo de Krebs e nem a cadeia respiratória, sendo muito pouco eficiente energeticamente

(Aita et al., 2003). Este tipo de metabolismo transforma compostos orgânicos complexos em compostos orgânicos mais simples, tais como ácidos orgânicos, álcoois e mercaptanos, entre outros (Sousa et al., 2000). Os microrganismos fermentadores realizam oxidação incompleta de açúcares e, desta forma, grande parte da energia ainda vai estar presente nos produtos finais da fermentação. Este fato explica a baixa eficiência metabólica dos microrganismos fermentadores.

2.1.2 Formas de N inorgânico no solo alagado

A partir do início do alagamento do solo, os teores de amônio na solução do solo aumentam e os teores de nitrato diminuem. Isto se deve às modificações nos processos biológicos e no potencial redox do solo, o que favorece a amonificação, em detrimento da nitrificação. Desta forma, em ambientes alagados, o N tende a se acumular sob a forma de amônio. O NH_4^+ liberado pela mineralização da MOS mediante atividade microbiana anaeróbia pode ser retido na CTC do solo, absorvido pelas plantas, imobilizado na biomassa microbiana e, sofrer nitrificação em regiões aeróbias, especialmente a rizosfera. O excesso de oxigênio molecular que chega às raízes das plantas através dos tecidos denominados de aerênquimas, para a respiração radicular, pode ser liberado na rizosfera, podendo estimular a atividade de microrganismos nitrificadores, aumentando o processo de nitrificação no solo (Herbert, 1999).

Já o nitrato em solos alagados segue dois caminhos de transformações: i) assimilação ou redução do nitrato com a incorporação dos produtos em tecido celular e; ii) dissimilação ou respiração do nitrato, em que o nitrato funciona como receptor final de elétrons em substituição ao oxigênio (Ponnamperuma, 1972). Dessa forma, o nitrato pode ser imobilizado na biomassa microbiana, lixiviado em solos que apresentam alguma permeabilidade, absorvido pelas plantas, ou difundir-se à massa

de solo que está em anaerobiose e sofrer denitrificação a N_2O ou N_2 , que são voláteis, difundindo-se à atmosfera. Segundo Vahl (1999), a denitrificação explica o porquê da não recomendação da aplicação de fontes de N sob a forma nítrica quando o solo está alagado.

Portanto, o N no solo está sujeito a transformações de ordem química e biológica, e a intensidade destas transformações define a disponibilidade potencial de N às plantas. Embora a decomposição da MOS seja mais rápida em condições aeróbias do que em condições anaeróbias, o N inorgânico é liberado em maiores quantidades e mais rápido em condições anaeróbias pelo fato que existe uma menor imobilização do N na biomassa microbiana, relativamente ao N mineralizado, resultando em menor síntese de material celular e, conseqüentemente, menor crescimento microbiano (Ponnamperuma, 1972). Dessa forma, a quantidade de N que o solo pode fornecer à cultura depende da ação conjunta de todas as reações e que irá balizar a quantidade de fertilizante nitrogenado que deve ser adicionado ao solo para atender a necessidade da cultura.

2.2 Adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado

Cerca de 95% do N do solo é orgânico (Camargo et al., 1999b) e a sua mineralização pelos microrganismos libera N no sistema solo, portanto, o teor de MOS é a base para o manejo da adubação nitrogenada nos Estados do RS e SC (Comissão..., 2004). As tabelas de interpretação das doses de N para a adubação nitrogenada são baseadas em classes de teor de MOS, a partir da qual se obtêm as faixas de interpretação de disponibilidade de N. Entretanto, a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser indicado é muito próxima para as diferentes faixas de interpretação, considerando a mesma expectativa de produtividade do arroz. Parte disto é devido ao fato que a produtividade do arroz, independente da adubação mineral, pode apresentar diferentes

rendimentos relativos, tanto em solos com baixos ou com altos teores de MOS (Figura 01), prejudicando a predição da recomendação de adubação nitrogenada (Scivittaro & Machado, 2004). Somando-se a isto, a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada é muito dependente do clima, principalmente com relação à temperatura e à radiação solar (Vahl, 1999), o que pode superestimar ou subestimar a resposta da cultura.

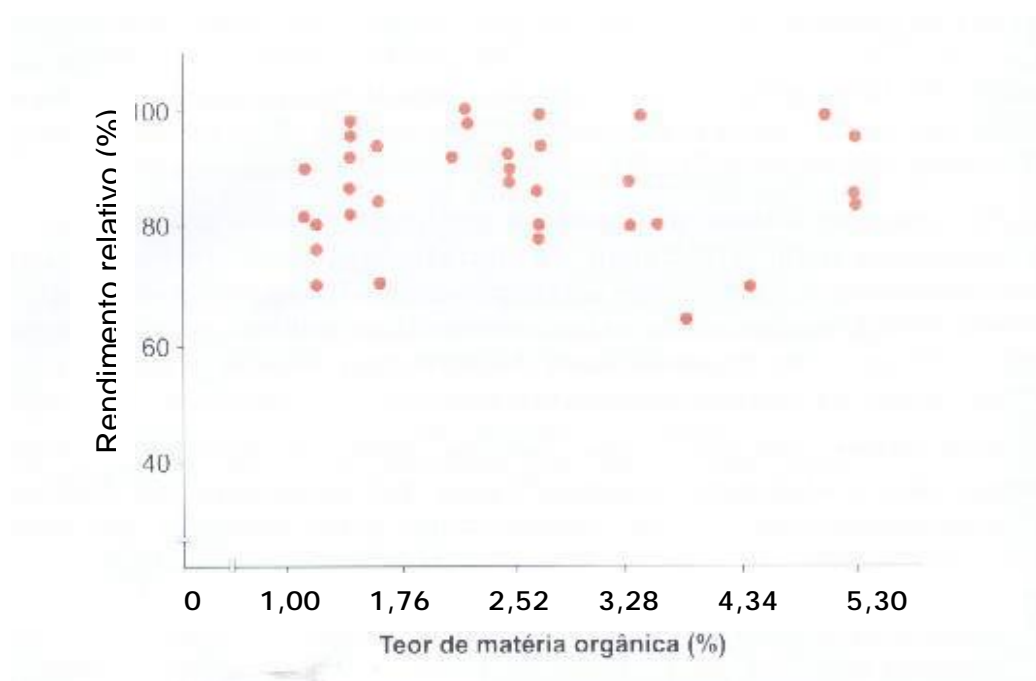


Figura 01. Rendimento relativo do arroz irrigado em função do teor de matéria orgânica do solo (Machado, 1993 *apud* Scivittaro & Machado, 2004).

Machado & Dias (1985) avaliando a produtividade do arroz irrigado cv Bluebelle em experimento com 5 anos de duração, evidenciou ausência de resposta à aplicação de diferentes doses de N. Os autores atribuem a ausência de respostas e as variações de produtividade entre os anos ao fator clima, principalmente temperatura e radiação solar. Entretanto, Sousa et al. (1991) observaram diferença significativa entre a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, em cobertura, ou parcelado, obtendo uma produtividade de 7280 kg ha⁻¹ com a aplicação somente em cobertura, 6105 kg ha⁻¹ com a aplicação metade na semeadura e metade

em cobertura e 5627 kg ha^{-1} com a aplicação somente na semeadura. Os autores comentam que no início do desenvolvimento da cultura a MOS forneceu o N necessário momentaneamente e, que a maior dose em cobertura forneceria o N necessário para o posterior desenvolvimento da cultura. Da mesma forma, Lopes et al. (1995) obtiveram diferença significativa dos tratamentos somente com relação à testemunha que não recebeu N, ao testar a aplicação do N sob a forma parcelada em diferentes combinações, na base, no perfilhamento e no IDP. Na literatura são encontrados vários outros experimentos em que o arroz responde à adubação nitrogenada e vários outros que mostram ausência ou somente pequena resposta do arroz, indicando que outros fatores afetam sobremaneira a resposta da cultura à adubação nitrogenada, e não somente a dose e época de aplicação do N e, especialmente, o teor de MOS.

O N mineral do solo tem sido sugerido como índice de disponibilidade de N nos solos, entretanto, Keeney & Bremner (1966) comentam que este não é considerado um índice seguro pelo fato de que o conteúdo de N mineral flutua rapidamente no tempo e os resultados de análises de N mineral em solos depende amplamente do momento da amostragem e do tratamento das amostras antes da análise. Desta forma, como o teor de MOS não varia rapidamente com o tempo e, sendo esta a principal fonte de N no solo, seu teor ainda é o atributo de solo base para se estabelecer a dose de adubo nitrogenado a ser adicionada ao solo a fim de suprimir a necessidade em N pelas plantas. Por isso, faz-se necessário conhecer a dinâmica de decomposição da MOS e a dinâmica da liberação do N para que se possa conhecer a potencial disponibilidade de N do solo.

2.3 Matéria orgânica do solo como fonte de N para as plantas e a avaliação da disponibilidade de N

Durante a decomposição da MOS mineraliza o N orgânico do solo em N mineral em diferentes velocidades em função da sua recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Camargo et al., 1997). Portanto, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS em quantidades e taxas diferentes, que dependem do tipo de solo (especialmente pH, condições redox, temperatura e textura), da atividade microbiana e das condições ambientais, além da entrada de N no sistema via adubação nitrogenada.

O processo de mineralização do N é influenciado pelo pH do solo (Silva et al., 1994). Os mesmos autores dizem que, de modo geral, a correção da acidez do solo aumenta a mineralização do N, fato atrelado à melhoria no ambiente solo, o que favorece a atividade microbiana e o aumento na mineralização do N.

A temperatura tem um efeito importante na liberação da amônia em solos alagados. Ponnampereuma (1972), citando vários autores, argumenta que houve produção de amônio praticamente em dobro quando a temperatura de incubação anaeróbia foi aumentada de 26° para 40°C. A produção de NH_4^+ em temperaturas consideradas baixas, tais como 15°C, é diferente do que se tem observado com temperaturas maiores e, desta forma, não há uma acumulação mais rápida de NH_4^+ no período inicial e sua relação com o tempo de alagamento é praticamente linear (Vahl, 1998).

O teor de argila do solo está diretamente associado ao teor de MOS, desta forma, solos mais argilosos possuem maior teor de MOS e, conseqüentemente, maior reserva orgânica e potencial de mineralização do N. A interação entre a argila e a MOS se dá através da proteção física e química que a argila exerce sobre a MOS. Camargo et al. (1997) observaram que o teor de argila também influenciou na percentagem de

mineralização do N, sendo que um dos solos estudados que apresentou a maior percentagem de mineralização apresentava o menor teor de argila, evidenciando a menor proteção da MOS à atividade microbiana. Desta forma, quanto maior o teor de argila do solo, maior a reserva orgânica e maior o potencial de mineralização do N, mesmo havendo proteção da MOS pela fração mineral. Silva et al. (1994) também observaram correlação significativa entre o N mineralizado e o teor de argila dos solos, na ausência e na presença de calcário, sob condições aeróbias. Ladd & Jackson (1982, *apud* Camargo et al., 1997) comentam que a argila participa na formação de complexos organo-minerais insolúveis, além de adsorverem enzimas, que podem resultar em proteção da MOS ao ataque microbiano, diminuindo a taxa de mineralização do N. Portanto, a fração argila do solo está intimamente relacionada a mineralização do N, tanto quanto ao potencial de mineralização como à taxa de mineralização.

O tipo de mineral de argila também atua sobre o potencial de mineralização do N do solo. Solos com o predomínio de minerais de argila do tipo 2:1 apresentam taxa de mineralização da fração lábil cerca de 1,8 vez maior do que em solos com o predomínio de argilas do tipo 1:1 (Inubushi et al., 1985). Yoshino & Dei (1977 *apud* Inubushi et al., 1985) comentam que a taxa de mineralização da fração recalcitrante foi de 0,14 e 0,083 semana⁻¹ para solos de argilas do tipo 2:1 e 1:1, respectivamente.

A capacidade do solo em fornecer N através do processo de mineralização pode ser estimada através da obtenção dos parâmetros N potencialmente mineralizável (N_0) e taxa de mineralização do N (k) (Stanford & Smith, 1972). Estes parâmetros podem ser usados na predição da disponibilidade do N em um determinado período de tempo (Stanford & Smith, 1972; Camargo et al., 1997; Camargo et al., 1999b). O potencial de mineralização do N é definido como a fração do N orgânico do solo suscetível a mineralização, enquanto que a taxa de mineralização é a velocidade com que o N é mineralizado (Camargo et al., 1997). O conhecimento das taxas de mineralização permite avaliar o suprimento de

N nas fases de maior disponibilidade e a necessidade de adubação em N para as culturas (Pöttker & Tedesco, 1979). Tais parâmetros podem ser obtidos através de modelos matemáticos a partir de experimentos que avaliam a liberação de N mineral em condições anaeróbias.

2.4 Modelos matemáticos para a predição do N mineralizado

Os modelos fazem uma tentativa de descrever matematicamente a dinâmica do ciclo do N através de resultados obtidos em experimentos de incubação-lixiviação, obtendo o N potencialmente mineralizável, que representa a provável liberação do N da reserva orgânica do solo em um determinado período de tempo (Camargo et al., 1999b). A utilização de modelos matemáticos visa estimar a mineralização do N orgânico, isto é, determinar o N potencialmente mineralizável, que é a fração do N orgânico suscetível a mineralização (Camargo et al., 1997) em um determinado período de tempo. Li et al. (2003) comentam que a predição da quantidade de N mineral liberado a partir da mineralização da MOS é essencial para o desenvolvimento de práticas que maximizem a eficiência no uso do N e minimizem impactos adversos ao meio ambiente, principalmente quando se considera a grande mobilidade e dinâmica do N, tanto em ambientes de sequeiro, como em ambientes alagados.

Existem diversos modelos matemáticos que visam obter a fração do N orgânico potencialmente mineralizável e a taxa com que este N é mineralizado. Dentre os modelos matemáticos propostos, o mais usado é o descrito por Stanford & Smith (1972). Os autores propuseram um modelo de cinética de primeira ordem, considerando somente um compartimento de N mineralizável em experimentos de incubação aeróbia de longa duração. A equação que descreve este modelo exponencial de primeira ordem é a seguinte:

$$N_m = N_o (1 - \exp^{-kt}), \text{ onde:}$$

N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg N kg^{-1})

N_0 = N potencialmente mineralizável (mg N kg^{-1})

k = constante de mineralização (semana^{-1})

t = tempo (semanas)

Parentoni et al. (1988) comentam que o índice N_0 seria o fator quantidade e o índice k, o fator intensidade. Este modelo considera somente um compartimento de N potencialmente mineralizável e que este ocorre em função do tempo t a uma taxa k (Parentoni et al., 1988; Camargo et al., 1999b).

As equações que utilizam cinéticas de primeira ordem são mais racionais do que equações parabólicas ou algumas exponenciais, porque nestas o N aumenta infinitamente com o tempo (Inubushi et al., 1985). Camargo et al. (2002), comparando diversos modelos matemáticos para predição do N_0 e do k em 10 solos do RS, observaram que os modelos exponenciais simples descrevem adequadamente a mineralização do N orgânico nos solos estudados. Benbi & Richter (2002) comentam que o modelo proposto por Stanford & Smith (1972) pode subestimar o N mineralizado no início e no final do período de incubação e que pode superestimar em momentos intermediários.

Li et al. (2003), estudando a mineralização do N em 6 solos Chineses, observou que a mineralização do N ocorreu em duas fases. A primeira fase de mineralização ocorreu de 0-14 dias, considerada fase rápida, alcançando de 4 a 15 mg de N kg^{-1} dia e, a partir do 14º dia, houve um rápido declínio numa fase considerada lenta. A mineralização da MOS é maior nos primeiros períodos de incubação devido à presença de compostos orgânicos de fácil decomposição e fatores que podem acelerar a decomposição da MOS, como o manuseio, a secagem, o congelamento e a moagem do solo. Pöttker & Tedesco (1979), estudando a mineralização de N em solos do RS, comentam que as taxas de mineralização do N diminuíram sensivelmente após as 3 primeiras semanas de incubação anaeróbia e, concluíram que durante a incubação há uma rápida liberação inicial de N, seguida de uma diminuição

gradativa. Já Camargo et al. (1997) observaram que esta diminuição ocorreu a partir da 4^o semana de incubação aeróbia.

Esses estudos evidenciaram que a mineralização do N poderia ser predita por modelos que assumem dois compartimentos de mineralização. Os modelos que assumem dois compartimentos de mineralização têm sido sugeridos como mais eficientes e que proporcionam melhor adequação dos resultados do que os modelos de cinética de primeira ordem, assumindo duas formas de N decomponíveis a taxas diferentes, (Lindemann & Cardenas, 1984; Deans et al., 1986).

Jones (1984) propôs um modelo exponencial simples que assume dois compartimentos de N potencialmente mineralizável, descrito a seguir:

$$N_m = N_1 + N_2 - (N_2 \exp^{-k_2 t}), \text{ onde:}$$

N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg N kg^{-1})

N_1 = N mineral inicial (mg N kg^{-1})

N_2 = fração ativa do N potencialmente mineralizável (mg N kg^{-1})

k_2 = constante de mineralização (semana^{-1})

t = tempo (semanas)

Este modelo indica que existem duas frações de N potencialmente mineralizável, sendo uma considerada como N mineral inicial (N_1) e a outra a fração ativa do N potencialmente mineralizável (N_2), mineralizada a uma taxa k (k_2). Camargo et al. (2002) estudando modelos empíricos para a predição da mineralização do N em dez solos do RS evidenciou que o modelo proposto por Jones foi o que melhor descreveu o processo de mineralização e o N orgânico potencial para ser liberado para o ambiente e tornar-se disponível às plantas. Segundo Camargo et al. (1999 *apud* Camargo et al., 1999b), a correlação entre os parâmetros de mineralização do N e a absorção do N por plantas de milho em 10 solos do RS evidenciou que o parâmetro N_2 (o qual representa a fração ativa do N) foi o que melhor se correlacionou com a absorção de N pelo milho. Camargo et al. (2002) comenta que o modelo proposto por Jones foi o que melhor estimou o N no tempo zero e que este modelo apresenta um

importante fator matemático na estimativa do N residual presente no início da mineralização. O modelo exponencial simples proposto por Jones foi o que apresentou os menores valores para a soma de quadrados do erro, quadrado médio do erro e desvio padrão do erro, o que poderia suportar a hipótese de que existem pelo menos dois compartimentos de N potencialmente mineralizável nos solos estudados (Camargo et al., 2002).

Já o modelo matemático proposto por Inubushi et al. (1985) foi desenvolvido com o intuito de ajustar o N potencialmente mineralizável em solos alagados do Japão e Filipinas, num período de incubação anaeróbia de 12 semanas. Os autores observaram nos resultados experimentais que existia uma relação linear entre o $\log (\Delta N/\Delta t)$ no período inicial da incubação anaeróbia e que gradualmente aproximava-se de uma relação linear com o tempo. Portanto, foi proposta a existência de dois compartimentos de mineralização, um de mineralização mais rápida e outro, de mineralização mais lenta. O compartimento da fração rápida é consumido no início do período de incubação, enquanto que o compartimento da fração lenta é consumido posteriormente e continua até o final da incubação. Neste modelo, a equação que descreve o N potencialmente mineralizável é uma exponencial dupla, que considera 2 compartimentos de N mineralizável, conforme descrita a seguir:

$$N_m = N_{oq} (1 - \exp^{-k_q t}) + N_{os} (1 - \exp^{-k_s t}), \text{ onde:}$$

N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg N kg^{-1})

N_{oq} = N potencialmente mineralizável da fração mais lábil (mg N kg^{-1})

N_{os} = N potencialmente mineralizável da fração mais recalcitrante (mg N kg^{-1})

k_q = constante de mineralização da fração mais lábil (semana^{-1})

k_s = constante de mineralização da fração mais recalcitrante (semana^{-1})

t = tempo (semanas)

Camargo et al. (1999b) comentam que o primeiro termo da equação descreve o N facilmente mineralizável (N_{oq}) e o segundo termo o N de maior recalcitrância (N_{os}) e que são descritos por reações do tipo

cinética de primeira ordem, decompostos a uma taxa k_q e k_s , respectivamente. Aplicando este modelo, Camargo et al. (2002) obteve resultados satisfatórios a partir da segunda semana de incubação aeróbia, em 10 solos do RS.

Corbet (1934, *apud* Broadbent, 1986) observou que o processo de decomposição da MOS poderia ser descrito através de um modelo matemático parabólico. Broadbent (1986), utilizando este modelo parabólico, que primeiramente foi descrito para determinar perdas de carbono em função do tempo, observou que poderia estimar preliminarmente o N_o pelo ajuste não linear (Camargo et al., 1999b).

$$N_m = A t^b, \text{ onde:}$$

N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg N kg^{-1})

A = N potencialmente mineralizável (mg N kg^{-1})

b = constante de mineralização (semana^{-1})

t = tempo (semanas)

Camargo et al. (2002), estudando modelos empíricos na predição da mineralização do N do solo, observou que o modelo proposto por Broadbent (1986), comparado a outros 7 modelos, foi o pior em estimar o N_o e o k .

Cabrera (1993) descreveu a mineralização do N considerando dois compartimentos, conforme descrito a seguir:

$$N_m = N_1 (1 - \exp^{-k_1 t}) + k_0 t, \text{ onde:}$$

N_m = N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg N kg^{-1})

N_1 = N potencialmente mineralizável (mg N kg^{-1})

k_0 = constante de mineralização do compartimento mais estável (semana^{-1})

k_1 = constante de mineralização (semana^{-1})

t = tempo (semanas)

Cabrera (1993) comenta que, para os modelos que consideram dois compartimentos de N mineralizável, um deles é assumido para ser mineralizado de acordo com uma cinética de primeira ordem e o outro

compartimento de acordo com uma cinética de ordem zero. O mesmo autor afirma que o modelo proposto por ele apresentou resultados significativamente melhores do que os modelos que consideram somente um compartimento de N mineralizável.

2.5 Relação entre o N mineralizado e o N absorvido pelas culturas

Os solos possuem diferentes capacidades de mineralizar N a partir da sua reserva orgânica e contribuir diretamente para com a nutrição das plantas de arroz irrigado e, desta forma, auxiliar na indicação da dose e época de aplicação do fertilizante nitrogenado a fim de maximizar a utilização do recurso natural disponível, minimizando custos e impactos ambientais pelo uso excessivo de adubos nitrogenados.

A relação entre o teor de MOS e a capacidade de suprimento de N pelo solo são fatores chaves na determinação da necessidade de fertilizante nitrogenado pelas culturas, além de que, a MOS pode contribuir para uma maior eficiência biológica e econômica no sistema de uso intensivo da cultura do arroz irrigado (Cassman et al., 1996). A mineralização do N pode ser utilizada como um indicador do potencial de disponibilidade do N orgânico às plantas (Camargo et al., 1999b). Desta forma, o N potencialmente mineralizável e a taxa de mineralização podem ser utilizados como indicadores da disponibilidade de N às plantas e, a partir da estimativa destas variáveis, ajusta-se à recomendação de adubação nitrogenada para as culturas. Isto porque a quantidade de N mineralizado é função do conteúdo e da taxa de mineralização do N orgânico, considerando-se que existe uma relação direta entre o N mineralizado e o N absorvido pelas plantas (Camargo et al., 1997).

A utilização dos estudos de correlação entre o N mineralizado e o N absorvido pelas plantas pode fornecer informações relevantes com relação à capacidade do solo em fornecer N, e este em ser absorvido

pelas culturas, podendo-se inferir o potencial do solo em fornecer N a partir de sua reserva orgânica. Estudando o potencial de mineralização do N em solos do RS em condições aeróbias, Camargo et al. (1997) observaram elevada correlação entre o N potencialmente mineralizável e a concentração e o acúmulo de N pelo milho, os quais foram altamente significativos ($r= 0,89$ e $0,88$, respectivamente). Estas constatações demonstram que o parâmetro N_0 , descrito pelo modelo exponencial simples de Stanford & Smith (1972), caracterizou adequadamente a absorção de N pelo milho em função do N mineralizado e concluem que o potencial de mineralização do N pode ser utilizado como um índice da disponibilidade de N para a cultura do milho.

Da mesma forma, Stanford & Legg (1968) comentam que o nitrato inicialmente presente no solo sob condições aeróbias apresenta alta correlação com o N absorvido pelas plantas, somando à contribuição do N mineralizado ao longo do tempo como forma importante de disponibilidade de N às plantas. Os autores evidenciaram que os teores de N mineral que estão presentes na zona de atuação do sistema radicular no início do cultivo também devem ser considerados na validação da predição da necessidade de fertilizante.

Dentre os diversos modelos exponenciais simples existentes, Camargo et al. (1999b) estudando a correlação entre os parâmetros cinéticos de mineralização do N e a absorção de N pelo milho em 10 solos do RS, observaram que o parâmetro descrito como a fração ativa do N (N_2) pelo modelo proposto por Jones (1984) foi o que melhor se correlacionou com a absorção de N pelo milho. Os autores comentam ainda que não foi evidenciada semelhante tendência para os parâmetros estimados pelos modelos exponenciais duplos.

A partir do exposto, postulou-se as seguintes hipóteses:

a) os solos de várzea do RS apresentam diferente potencial de mineralização do N em condições anaeróbias, o qual é influenciado, além do teor de MOS, por outros atributos relacionados com o processo de

redução do solo, o que se refletirá sobre a disponibilidade deste nutriente ao arroz irrigado por inundação;

b) o N potencialmente mineralizável, estimado matematicamente por modelos que descrevem a liberação do N em condições anaeróbias, pode ser usado na estimativa da absorção deste nutriente por plantas de arroz irrigado, enquanto que as taxas de mineralização de N, também obtidas pelos modelos, estão associadas com atributos de solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

O trabalho consta de dois experimentos, um instalado e conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e outro, instalado e conduzido no laboratório de Microbiologia do solo e no laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada no município de Santa Maria, no período de setembro de 2003 a julho de 2004. O município de Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, cujas coordenadas geográficas são 29° 41' 24" de latitude Sul, 53° 48' 42" de longitude Oeste e altitude média de 95 metros (Brasil, 1973).

Para a realização deste trabalho foram coletadas 15 amostras de solos de várzea de diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul, representativas da área de produção de arroz irrigado. Em um experimento realizou-se dois cultivos de arroz irrigado durante 60 dias em casa-de-vegetação, sem a aplicação de N. Em outro experimento realizou-se uma incubação anaeróbia em laboratório, onde os solos permaneceram alagados por 169 dias (24 semanas), determinando-se o N mineralizado em intervalos de tempo. Por fim, realizaram-se estudos de correlação com o objetivo de verificar a associação entre atributos de solo e o N absorvido por plantas de arroz irrigado e, aplicou-se modelos matemáticos para a estimativa do potencial de mineralização do N e das taxas de mineralização do N de cada solo.

3.2 Coleta das amostras de solo

Amostras de quinze (15) solos de várzea de diferentes regiões arrozeiras do Estado do RS (aproximadamente 150 kg da camada de 0 a 20 cm de profundidade) foram coletadas e trazidas para a UFSM, de modo a contemplar solos representativos das regiões arrozeiras do RS (Figura 02), com ampla faixa de variação de características químicas e físicas (Tabela 01). As amostras de solos contemplaram 13 diferentes municípios: Camaquã, Dom Pedrito, Uruguaiana (2 amostras), Caçapava do Sul, Santo Antônio da Patrulha, Santa Maria, São Gabriel, Cachoeirinha, Restinga Seca, Cachoeira do Sul (2 amostras), Santa Vitória do Palmar, Rosário do Sul e Paraíso do Sul.

Na tabela 02 é apresentada uma aproximação da classificação dos solos objetos de estudo, utilizando-se a correlação entre os locais de coleta e os mapas de Brasil (1973) e a caracterização de Streck et al. (2002). Tendo em vista a semelhança entre a nomenclatura de alguns solos, na discussão do presente trabalho foi utilizada a denominação dos solos pelo município onde foram coletados.

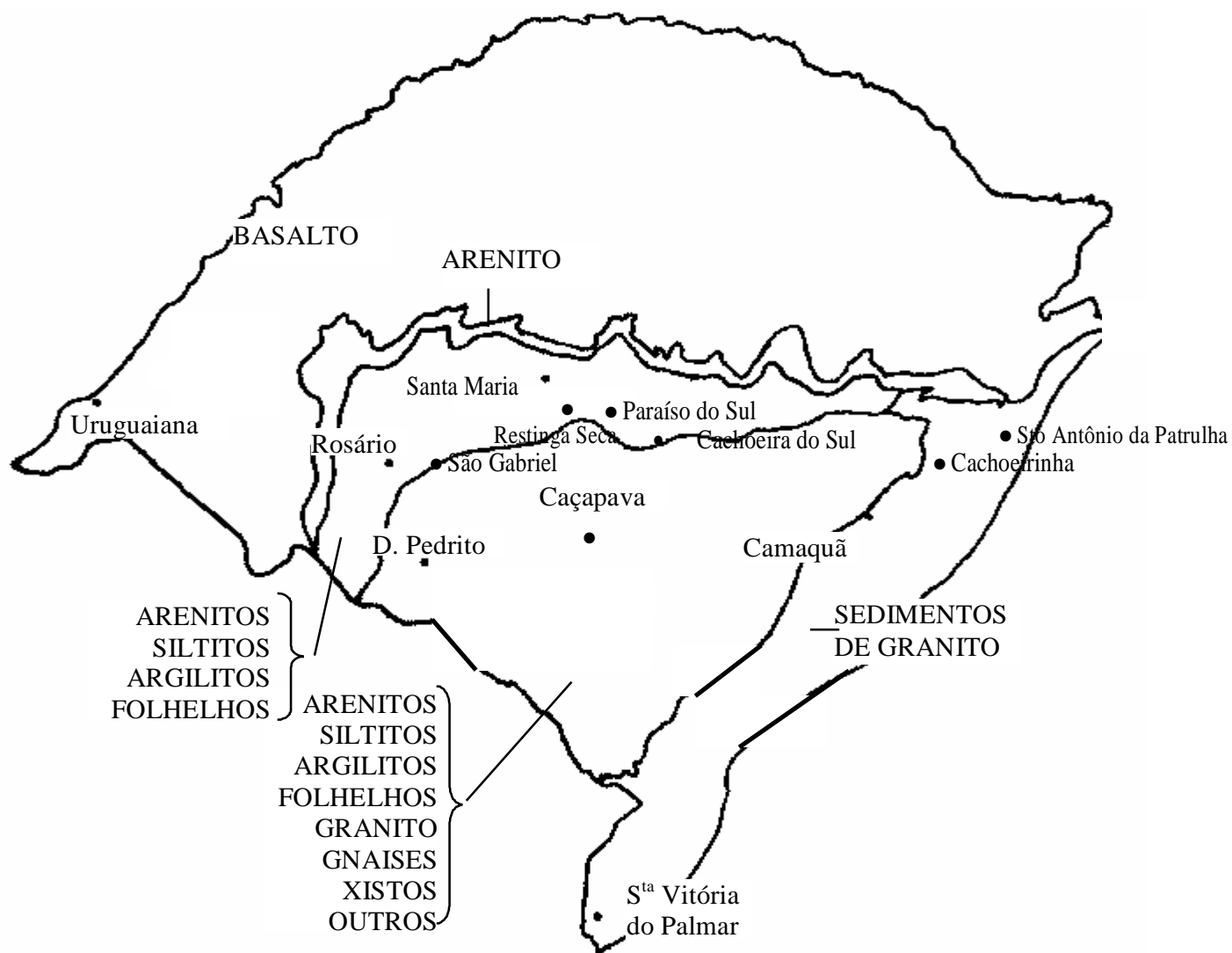


Figura 02. Mapa do RS com os respectivos municípios de coleta dos solos objetos de estudo e o material de origem de cada região (adaptado de Sousa et al. 2004).

Tabela 01. Atributos físicos e químicos das 15 amostras de solo assim como coletadas (originais), da camada de 0-20 cm de profundidade.

Solo	P	K	Argila	Silte	Areia	C org.	N total	N mineral	pH-H ₂ O	Índice SMP	Al	Ca	Mg
	----mg kg ⁻¹ ----		-----g kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹				-----cmol _c kg ⁻¹ -----	
Camaquã	13,8	117	804	152	44	37,2	0,42	125,9	5,0	5,0	1,2	12,0	2,7
Dom Pedrito	2,3	102	439	486	75	11,1	0,32	64,6	5,3	5,8	0,2	15,2	2,8
Uruguaiana 01	2,1	92	370	374	256	30,9	0,39	139,0	6,0	6,0	0,0	21,7	5,4
Uruguaiana 02	1,0	186	330	570	100	20,0	0,26	98,2	5,6	5,8	0,0	17,4	3,1
Caçapava do Sul	3,6	65	320	500	180	16,2	0,20	52,5	6,1	6,5	0,0	16,9	3,2
Sto Ant. da Patrulha	8,0	71	252	216	532	11,8	0,19	61,7	4,8	5,6	0,5	3,2	0,6
Santa Maria	8,0	47	245	384	371	9,5	0,18	70,5	4,4	5,1	1,4	4,4	0,9
São Gabriel	1,3	43	240	523	237	13,8	0,18	105,5	4,9	5,6	0,6	7,5	1,3
Cachoeirinha	5,1	43	200	437	363	10,9	0,17	76,3	4,6	5,8	1,1	2,8	0,5
Restinga Seca	3,0	132	187	301	512	8,3	0,10	42,8	4,7	5,2	1,8	1,5	0,2
Cachoeira do Sul 1	4,4	57	175	308	517	5,6	0,11	39,9	4,9	6,5	0,5	3,9	0,6
Cachoeira do Sul 2	7,1	65	128	462	409	4,4	0,09	47,2	5,7	6,5	0,0	3,4	0,8
Sta Vit. do Palmar	3,7	33	123	160	711	9,2	0,13	90,9	5,2	6,3	0,1	3,1	0,7
Rosário do Sul	13,6	34	83	157	744	5,5	0,08	89,4	4,8	6,2	0,5	1,8	0,2
Paraíso do Sul	8,9	49	88	175	739	7,3	0,07	40,3	5,2	6,0	0,4	2,1	0,4

Tabela 02. Aproximação da classificação dos quinze solos objetos de estudo, por unidade de mapeamento e classificação brasileira.

Município	Unidade de Mapeamento	Classificação Brasileira
	Brasil (1973)	Streck et al. (2002)
Camaquã	Itapeva	Gleissolo Melânico
Dom Pedrito	Banhado	Gleissolo Háplico
Uruguaiana 01	Escobar	Vertissolo Ebânico
Uruguaiana 02	Uruguaiana	Chernossolo Ebânico
Caçapava do Sul	São Gabriel	Planossolo Háplico
Sto Ant. da Patrulha	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico
Santa Maria	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico
São Gabriel	São Gabriel	Planossolo Háplico
Cachoeirinha	Banhado	Gleissolo Háplico
Restinga Seca	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico
Cachoeira do Sul 01	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico
Cachoeira do Sul 02	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico
Sta Vit. do Palmar	Pelotas	Planossolo Hidromórfico
Rosário do Sul	São Gabriel	Planossolo Háplico
Paraíso do Sul	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico

3.3 Preparo das amostras de solo

Após a coleta dos solos em seus respectivos locais de origem (Anexo 1a), estes foram trazidos a UFSM, secos ao ar (Anexo 1b), moídos em moedor específico para solo e tamisados em peneira malha 2 mm. De cada solo, uma sub-amostra foi reservada para análises químicas e físicas, sendo estas consideradas análises do solo original. Realizou-se a determinação do pH do solo e do índice SMP, conforme descrito em Tedesco et al. (1995). A partir dos resultados foi realizada a correção da acidez do solo através da adição de calcário dolomítico (PRNT 75%) em doses individuais necessárias para elevar o pH dos solos a 5,5 (Comissão..., 2004). Após a adição do calcário aos solos, o volume de cada solo coletado foi dividido e acomodado em sacos plásticos contendo 4 kg de solo e umedecidos com água destilada, de modo a não saturá-los. Os sacos plásticos contendo os solos permaneceram fechados durante um período de 35 dias (29/11/03 a 03/01/04), em casa-de-vegetação (Anexo 01c), a fim de acelerar a reação do calcário com o solo, elevando o pH para próximo ao valor desejado.

Durante o período de incubação, os sacos plásticos eram abertos duas vezes por semana e os solos revolvidos a fim de promover trocas gasosas provenientes da atividade microbiana e da reação do calcário com o solo e reumedecidos (Anexo 01d), em umidade próxima a 80% da capacidade de campo para facilitar a reação de dissolução do calcário. Para cada local de coleta, preparou-se 5 sacos contendo 4 kg de solo, dos quais 4 foram destinados ao cultivo de plantas e um à análises laboratoriais em pós-incubação dos solos com calcário.

3.3.1 Análises dos solos em pré-incubação com calcário

Dos solos originais, assim como coletados, retirou-se uma alíquota de solo moída e tamisada a 2mm para avaliação do pH-H₂O, índice SMP Al,

Ca, Mg trocáveis e, P e K disponíveis, seguindo-se a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) (Tabela01).

3.3.2 Análises dos solos em pós-incubação com calcário

Após o período de 35 dias incubação dos solos com o calcário, coletou-se uma alíquota de cada solo para análises laboratoriais. Analisaram-se os solos quanto ao pH-H₂O, índice SMP, Ca, Mg e Al trocáveis e, P e K disponíveis, seguindo-se a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Determinou-se também o C orgânico, pelo método de Mebius modificado, descrito por Nelson & Sommers (1982), o N total e o N mineral dos solos, conforme descrito em Tedesco et al. (1995) e, a textura do solo pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) (Tabela 02).

3.4 Estudo de casa-de-vegetação

No dia 03/01/04, ao término do período de incubação, os solos foram transferidos dos sacos plásticos para vasos de plástico com capacidade para 8 L (Anexo 2a). Para cada amostra de solo coletada foram utilizadas 4 repetições, as quais correspondiam a vasos com 4 kg de solo cada, totalizando 60 vasos ou unidades experimentais, conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. Após a adequação das unidades experimentais, iniciou-se o cultivo do arroz irrigado por inundação, utilizando-se sementes de arroz da cultivar IRGA-417 pré-germinadas.

A pré-germinação das sementes foi obtida pela submersão em água destilada por um período de 36 horas para sua embebição, e após, mais 36 horas em bandejas com papel toalha umedecido, em condições favoráveis de temperatura (25-28°C) e umidade. Desta forma buscou-se evitar problemas com a germinação das sementes quando semeadas diretamente nos vasos, garantindo um adequado estande inicial de

plântulas e possibilitando crescimento mais rápido e homogêneo das plantas. As sementes pré-germinadas foram transplantadas no dia 04/01/04, com 8 sementes por vaso (Anexo 02b) e, quatro dias após o transplante, realizou-se o alagamento dos solos, utilizando-se água destilada, até a obtenção de uma lâmina de água de aproximadamente 2,5 cm de altura. Após as plântulas atingirem adequado desenvolvimento, aumentou-se a lâmina de água para, aproximadamente, 5 cm de altura (Anexo 02 c e d). Durante o período de cultivo foram realizadas irrigações sempre que necessário, utilizando-se sempre água destilada e mantendo-se a lâmina de água próxima a 5 cm de altura.

Logo após a semeadura foi realizada a adubação do arroz irrigado utilizando-se os nutrientes P e K. No presente trabalho não houve aplicação do nutriente nitrogênio (N) pelo fato que as avaliações consistem na capacidade de fornecimento do N pelo solo. O nutriente fósforo (P) foi aplicado em diferentes doses para cada solo a fim de manter na solução do solo uma concentração de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, sendo esta concentração considerada adequada para o desenvolvimento das culturas, conforme Novais & Smith (1999).

Para se atingir esta concentração na solução do solo, avaliou-se a capacidade máxima de adsorção de P de cada solo. Detalhes do procedimento para a obtenção das doses individuais de P encontram-se descritos em Ranno (2004). A fonte de P utilizada foi fosfato de potássio monobásico P.A. (KH_2PO_4). No intuito de melhorar a distribuição do fertilizante nos vasos e facilitar a manipulação das pequenas quantidades de P aplicadas em cada vaso, diluiu-se as respectivas quantidades em água destilada no momento da aplicação. Considerando-se o fato de que a fonte de P utilizada (KH_2PO_4) contém potássio (K) em sua molécula, e que a aplicação de diferentes doses de P utilizando esta fonte implica na adição de diferentes doses de K, foi realizado um complemento à adubação potássica utilizando-se KCl P.A. aos tratamentos que

receberam menos K, buscando-se obter a mesma adubação potássica para todos os vasos (Tabela 04).

Após o estabelecimento das plântulas foi realizado o desbaste destas a fim de se obter uma população uniforme de 6 plantas por vaso. Posteriormente, dia 23/01/2004, realizou-se a aplicação de micronutrientes a fim de fornecer o, maior número possível de nutrientes essenciais para o arroz irrigado, garantindo-lhe uma nutrição adequada e suprimindo uma possível carência de algum solo em nutrientes. Os micronutrientes foram aplicados sob a forma de solução, diluídos em água destilada, com o auxílio de uma seringa. As doses e fontes de micronutrientes foram as seguintes: ácido bórico (4 mg kg^{-1} ou 13 kg ha^{-1}), sulfato de cobre (3 mg kg^{-1} ou 10 kg ha^{-1}), cloreto de zinco (1 mg kg^{-1} ou 4 kg ha^{-1}) e molibdato de sódio ($0,15 \text{ mg kg}^{-1}$ ou $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$).

Tabela 03. Atributos físicos e químicos das 15 amostras de solo após incubação com calcário, da camada de 0-20 cm profundidade.

Solo	P	K	Argila	Silte	Areia	C org.	pH-H ₂ O	Índice SMP	Al	Ca	Mg
	-----mg kg ⁻¹ ----		-----g kg ⁻¹ -----						-----cmol _c kg ⁻¹ -----		
Camaquã	13,8	117	804	152	44	37,2	5,3	6,0	0,0	18,3	3,2
Dom Pedrito	2,3	102	439	486	75	11,1	5,6	6,3	0,0	35,6	4,8
Uruguaiana 01	2,1	92	370	374	256	30,9	6,0	5,8	0,0	28,6	9,4
Uruguaiana 02	1,0	186	330	570	100	20,0	5,6	6,2	0,0	25,0	6,9
Caçapava do Sul	3,6	65	320	500	180	16,2	6,1	6,3	0,0	19,0	4,7
Sto Ant. da Patrulha	8,0	71	252	216	532	11,8	5,9	6,7	0,0	8,1	2,4
Santa Maria	8,0	47	245	384	371	9,5	5,9	6,7	0,0	11,8	4,1
São Gabriel	1,3	43	240	523	237	13,8	5,6	6,2	0,0	12,9	3,6
Cachoeirinha	5,1	43	200	437	363	10,9	5,4	6,6	0,0	6,6	3,9
Restinga Seca	3,0	132	187	301	512	8,3	6,4	6,8	0,0	6,8	1,8
Cachoeira do Sul 01	4,4	57	175	308	517	5,6	5,1	6,4	0,0	4,4	1,1
Cachoeira do Sul 02	7,1	65	128	462	409	4,4	5,7	6,6	0,0	4,0	1,5
Sta Vit. do Palmar	3,7	33	123	160	711	9,2	5,2	6,0	0,0	5,5	1,3
Rosário do Sul	13,6	34	83	157	744	5,5	5,3	6,7	0,0	4,3	0,8
Paraíso do Sul	8,9	49	88	175	739	7,3	5,9	6,6	0,0	5,5	1,2

Tabela 04. Doses de P_2O_5 para cada solo e dose de K_2O aplicadas nos 15 solos objetos de estudo.

Solos	Doses de P_2O_5 aplicadas		Dose de K_2O aplicada	
	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹ (8)	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹ (6)
Camaquã	70,8	141,6	100	200
Dom Pedrito	32,2	64,4	100	200
Uruguaiana 01	33,6	67,2	100	200
Uruguaiana 02	25,6	51,2	100	200
Caçapava do Sul	27,8	55,6	100	200
Santo Antônio da Patrulha	36,4	72,8	100	200
Santa Maria	37,4	74,8	100	200
São Gabriel	22,3	44,6	100	200
Cachoeirinha	15,5	31,0	100	200
Restinga Seca	63,7	127,4	100	200
Cachoeira do Sul 01	16,2	32,4	100	200
Cachoeira do Sul 02	9,8	19,6	100	200
Santa Vitória do Palmar	5,9	11,8	100	200
Rosário do Sul	7,2	14,4	100	200
Paraíso do Sul	11,9	23,8	100	200

*considerando uma camada de 0-20 cm de profundidade e densidade de solo 1 g cm⁻³

O arroz irrigado foi cultivado de 03/01/2004 até 04/03/2004, totalizando um período de 60 dias. No dia 04/03/2004 realizou-se a colheita da parte aérea das plantas, procedendo-se um corte entre 2 e 3 cm acima do solo (Anexo 03). Esta altura de corte foi realizada com o objetivo de preservar o ponto de crescimento das plantas, visando o rebrote para proceder a um segundo cultivo de arroz irrigado, sucessivo ao primeiro.

Imediatamente após o corte da parte aérea das plantas, estas foram pesadas em balança de precisão (0,01g), correspondendo ao peso da matéria verde das plantas. Em seguida, levou-se o material vegetal verde à estufa de ventilação forçada a 60°C, onde permaneceu secando por um período de 5 dias, até atingir peso constante. Determinou-se a matéria seca da parte aérea através de pesagem do material em balança de precisão (0,01g) e, posteriormente realizou-se a moagem do material seco em moinho específico

para material vegetal.

Como o rebrote da soca do arroz não foi eficiente, isto é, não houve um rebrote homogêneo para que se permitisse um cultivo contínuo de arroz irrigado, no dia 15/03/2004 procedeu-se a segunda sementeira do arroz irrigado, utilizando-se a mesma cultivar, IRGA-417, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima para a obtenção das sementes pré-germinadas. Foram semeadas 7 sementes pré-germinadas por vaso e, dia 25/03/2004, realizou-se o desbaste das plântulas, deixando 6 plantas por vaso.

Durante o desenvolvimento do segundo cultivo de arroz irrigado não foram realizadas adubações à cultura, onde as plantas cresceram utilizando os nutrientes remanescentes do primeiro cultivo e o N a partir da mineralização da MOS. Durante o período compreendido entre a sementeira e a colheita do segundo cultivo foram realizadas irrigações com água destilada, sempre que necessário, para a manutenção da lâmina de água próxima a 5 cm de altura.

Após 60 dias de cultivo realizou-se a colheita das plantas de arroz irrigado, no dia 17/05/2004, procedendo-se o corte da parte aérea rente ao solo. Logo após a colheita realizou-se a pesagem da matéria verde das plantas. As plantas colhidas foram embaladas e deixadas ao ar para uma pré-secagem e no dia seguinte conduzidas a estufa de ventilação forçada a 60 °C para proceder à secagem. Após 5 dias a matéria seca das plantas de arroz irrigado foi retirada da estufa e pesada em balança de precisão (0,01g). Em seguida a matéria seca foi moída em moinho específico para material vegetal.

3.4.1 Análises de tecido vegetal

No tecido vegetal da parte aérea das plantas de arroz determinou-se o teor de N na matéria seca por digestão úmida, seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). As quantidades de N acumulada na parte aérea das plantas foram calculadas a partir das quantidades de matéria seca produzida por vaso e os seus respectivos teores de N na matéria seca.

O N determinado na matéria seca da parte aérea das plantas corresponde à quantidade de nitrogênio absorvido pela cultura num período de 60 dias, o qual é proveniente da mineralização do N.

3.5 Estudo de incubação anaeróbia (N mineralizado)

Para avaliação do N mineralizado a partir da decomposição anaeróbia da MOS realizou-se um experimento de incubação anaeróbia em incubadora vertical, localizada no setor de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS (Anexo 04).

Para a realização deste estudo utilizou-se suportes de madeira para encaixe dos tubos de vidro, os quais possuem forma cilíndrica com estreitamento em direção a parte inferior, assemelhando-se a um funil (Anexo 05). Estes tubos de vidro foram vedados na parte inferior com garrote (borrachas de soro) e como base para o solo, no fundo dos tubos de vidro, utilizou-se cerca de 2 cm de altura de lã-de-vidro, uma camada de 25 gramas de areia fina lavada com ácido (HCl 1M) e posteriormente com água em abundância, que serviriam também como agente filtrante da água de drenagem após cada período de incubação e, uma mistura de 25 gramas de solo + 25 gramas de areia fina lavada (Anexo 05) para cada amostra de solo. Esta mistura atuaria como facilitador para a drenagem da água de alagamento dos solos durante o período de incubação anaeróbia (Camargo, 2004 – Comunicação pessoal).

Os solos foram alagados com 30 ml de solução nutritiva contendo sulfato de magnésio - $MgSO_4$ ($0,002 \text{ mol L}^{-1}$) e fosfato de cálcio monobásico - $Ca(H_2PO_4)_2$ ($0,005 \text{ mol L}^{-1}$), conforme Pöttker & Tedesco (1979) e Gonçalves et al. (2001). Assim, esta solução atuaria como fornecedora de nutrientes para a atividade microbiana, além de manter a força iônica da solução, pois a drenagem semanal da solução de alagamento do solo carrega consigo nutrientes disponíveis que estão nela dissolvidos, além de causar uma modificação na dinâmica dos nutrientes na interface fase sólida-solução do

solo.

Os tubos de vidro para incubação foram cobertos com filme plástico contendo um orifício no centro, a fim de facilitar trocas gasosas entre o interior dos tubos e o meio exterior. Foram incubados os mesmos solos do estudo realizado em casa-de-vegetação (15 solos), utilizando-se 3 repetições, totalizando 45 tubos de vidro, que representam as unidades experimentais, mais 5 tubos para o branco, onde utilizou-se somente lã de vidro e areia, realizando-se o mesmo procedimento dos tubos contendo solo, os quais foram acomodados em espaços pré-delimitados em suportes de madeira, denominados de "séries", totalizando 4 séries contendo os tubos de vidro.

Os solos foram alagados e incubados a uma temperatura de 30 °C, \pm 1°C, em incubadora vertical. A temperatura de 30°C foi tomada devido a ser uma temperatura média entre as citadas na literatura, que variam de 24°C (Pöttker & Tedesco, 1979) a 35°C (Stanford & Smith, 1972; Camargo et al., 2002), de modo a não ser restritiva a atividade microbiana. O estudo de incubação anaeróbia teve início no dia 03/03/2004. Foram realizadas sucessivas extrações da solução de alagamento do solo contida nos tubos utilizando-se uma bomba de vácuo sob tensão de 600 mm de Hg, durante as primeiras 8 semanas de incubação e, após necessitou-se aumentar a tensão da bomba de vácuo para 760 mm Hg, pois a drenagem da solução de alagamento dos solos começou a ficar prejudicada devido a compactação do solo na parte inferior dos tubos. A bomba de vácuo estava conectada a um kitasato e a solução coletada via sucção, passando dos tubos incubados para tubos de ensaio (Anexo 06). Posteriormente, a solução foi acondicionada em copos de 50 ml (copos de cafezinho) até que se extraísse a solução de todos os 45 tubos incubados.

A solução de alagamento dos solos acondicionada nos copos de 50 ml foi pesada e posteriormente a solução era repostada em cada tubo de vidro de incubação, em equivalente de peso de solução extraída dos tubos, para que se retornasse os tubos à incubadora com um volume de solução muito próximo ao volume inicial de 30 ml. Após estes procedimentos, os tubos de vidro

retornavam à incubadora onde permaneciam a 30 °C, \pm 1°C, até a próxima extração da solução. Uma alíquota de 20 ml da solução coletada era transferida para tubos de destilação de 100 ml e levados ao destilador semi-micro Kjeldhal para destilação e obtenção do N mineral.

As extrações foram realizadas semanalmente até o dia 08/06/2004, correspondendo a 14^o semana de incubação. Do dia 08/06/2004 até o dia 06/07/2004, na 18^o semana de incubação, realizaram-se extrações de duas em duas semanas e, do dia 06/07/2004 até o 17/08/2004, na 24^o e última semana de incubação, realizaram-se extrações de três em três semanas, totalizando 169 dias de incubação anaeróbia.

3.5.1 Análise do N mineralizado

O N mineralizado corresponde a soma dos teores de N-NH₄, N-NO₃ e N-NO₂, obtidos através da destilação da solução de alagamento dos solos drenada após cada período de incubação anaeróbia.

A obtenção do N mineral foi realizada em duas etapas, de forma seqüencial. Na primeira etapa, destilou-se as amostras contendo 20 ml da solução de alagamento com óxido de magnésio, obtendo-se o N-NH₄ e, na segunda etapa, destilou-se a amostra resultante da primeira etapa com liga devarda, obtendo-se o N-(NO₃+NO₂) (Anexo 07). O N mineralizado avaliado em ambas destilações era captado em solução indicadora contendo ácido bórico, sob a forma de borato de amônio. Esta solução contendo borato de amônio foi posteriormente titulada com solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,04167N, padronizado com TRIS, conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Este ácido sulfúrico padronizado neutraliza, em equivalente de N, 0,5833 mg N ml⁻¹ de H₂SO₄.

3.7 Estudos de correlação

Realizaram-se estudos de correlação a fim de se conhecer quais são as características de solo que estão associadas ao teor de N absorvido pelas plantas de arroz irrigado e, quais estão associadas ao N mineralizado pelos solos.

Efetuarão-se análises de correlação linear simples de Pearson entre o teor de N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo e o teor de C orgânico, teor de N total, teor de argila, teor de N mineral antes do início do cultivo, teor de N-NH₄ antes do início do cultivo, teor de N-NO₃ antes do início do cultivo e relação C/N da MOS. Para o segundo cultivo de arroz irrigado correlacionou-se o teor de N absorvido pelas plantas com o teor de C orgânico, N total, argila e relação C/N da MOS.

Avaliaram-se também as correlações entre o N mineralizado e o teor de N absorvido pelas plantas em ambos cultivos, teor de C orgânico, teor de N total e teor de argila.

Para os estudos de correlação utilizou-se o programa SAS, em nível de significância superior a 95% ($\alpha < 0,05$).

3.8 Modelos matemáticos e a obtenção do potencial de mineralização do N

No presente trabalho aplicaram-se 5 modelos matemáticos para o estudo do potencial de mineralização do N e das taxas de mineralização durante um período de incubação anaeróbia de 24 semanas (169 dias).

A expressão matemática dos modelos está descrita a seguir:

- a) $N_m = N_o (1 - \exp^{-kt})$ - proposto por Stanford & Smith (1972);
- b) $N_m = N_1 + N_2 - (N_2 \exp^{-k_2 t})$ - proposto por Jones (1984);
- b) $N_m = N_{oq} (1 - \exp^{-kqt}) + N_{os} (1 - \exp^{-kst})$ - proposto por Inubushi et al. (1985);
- c) $N_m = A t^b$ - proposto por Broadbent (1986);
- d) $N_m = N_1 (1 - \exp^{-k_1 t}) + k_0 t$ - proposto por Cabrera (1993).

Para a obtenção dos parâmetros N potencialmente mineralizável e a taxa de mineralização utilizou-se o programa SAS-Proc Nlin e o algoritmo de Marquardt e o programa SIGMAPLOT, a partir do N mineralizado acumulado em função do tempo e do tempo de incubação anaeróbia.

Correlacionaram-se também os principais parâmetros dos modelos com as principais características de solo e com o N absorvido pelas plantas nos dois cultivos sucessivos.

O significado dos parâmetros dos modelos supracitados estão descritos no item 2.4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho serão discutidos em dois capítulos: (i) absorção de N por plantas de arroz irrigado durante 60 dias em dois cultivos sucessivos com diferentes solos de várzea do RS, em casa de vegetação, e a sua correlação com características de solo; e (ii) estimativa da mineralização anaeróbia de N de diferentes solos de várzea do RS *in vitro* e aplicação de modelos matemáticos para a predição do N potencialmente mineralizável e das taxas de mineralização.

4.1 Absorção de N por plantas de arroz irrigado durante 60 dias em dois cultivos sucessivos com diferentes solos de várzea do RS, em casa-de-vegetação, e a sua correlação com características de solo

O teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado durante um período de 60 dias de cultivo apresentou diferenças entre os 15 solos estudados, em ambos cultivos, o que demonstra que existem diferenças entre os solos na capacidade de mineralização do nitrogênio (N), tanto no primeiro quanto no segundo cultivo (Tabela 05). Os solos possuem características intrínsecas que atuam diretamente sobre a decomposição da MOS e, aliadas às condições do solo estar alagado ou não, determinam a capacidade do solo em mineralizar N. Desta forma, diferenças na capacidade dos solos em mineralizar N resultam em diferenças na disponibilidade de N e, conseqüentemente, na absorção de N por plantas de arroz irrigado.

O N absorvido por plantas de arroz irrigado, em ambos cultivos, foi proveniente da mineralização do N da MOS. Deve-se considerar que no primeiro cultivo de arroz irrigado, quando em pré-semeadura, os solos estavam sob condições aeróbias, desta forma, a decomposição da MOS e mineralização do N foi aeróbia, o que resultou num elevado teor de N mineral inicial (Tabela

06), além de haverem frações mais lábeis da MOS para decomposição. Este pode ter sido absorvido pelas plantas no início de seu crescimento, portanto, quando da determinação do teor de N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo, quantificou-se o N mineralizado aerobiamente (pré-alagamento) e o N mineralizado anaerobiamente (pós-alagamento). Além disso, a manipulação dos solos e a incubação com calcário, provavelmente, aceleraram a atividade microbiana, o que favoreceu a mineralização do N, além de haverem frações mais lábeis, afetando diretamente o N absorvido pelas plantas. Já no segundo cultivo de arroz os solos permaneceram sempre alagados, em anaerobiose, sendo o N absorvido pelas plantas proveniente somente da decomposição anaeróbia da MOS, além de haver frações mais recalcitrantes da MOS para a decomposição microbiana.

Tabela 05. Massa seca das plantas de arroz irrigado, percentagem de N no tecido e teor de N absorvido pelas plantas em dois cultivos sucessivos, em casa-de-vegetação, num período de 60 dias.

Solos	1º cultivo				Solos	2º cultivo			
	Massa seca	Teor de N	N absorvido			Massa seca	Teor de N	N absorvido	
	g vaso ⁻¹	%	mg vaso ⁻¹		g vaso ⁻¹	%	mg vaso ⁻¹		
Uruguaiana 1	22,69	1,36	307,7	a*	Camaquã	10,33	1,33	113,59	a*
Uruguaiana 2	23,44	1,19	278,6	ab	São Gabriel	2,82	1,16	58,20	b
Camaquã	20,67	1,25	257,7	b	Dom Pedrito	3,08	1,14	41,14	c
Caçapava	13,73	0,95	130,1	c	Sto Ant. Patrulha	3,13	1,04	36,82	cd
São Gabriel	10,15	1,13	114,7	d	Santa Maria	2,93	1,10	33,91	cd
Sto Ant. da Patrulha	11,93	0,87	104,4	de	Uruguaiana 1	2,19	1,29	33,60	cd
Sta Vit. do Palmar	12,44	0,80	99,8	def	Cachoeirinha	3,55	0,85	33,60	cd
Santa Maria	9,76	0,93	91,7	ef	Uruguaiana 2	2,68	1,12	32,91	cd
Dom Pedrito	9,99	0,88	88,1	f	Caçapava	3,60	0,84	32,15	cd
Cachoeirinha	10,70	0,67	71,7	g	Cachoeira do Sul 2	2,79	0,73	23,34	cde
Rosário do Sul	7,29	0,79	57,4	h	Cachoeira do Sul 1	2,09	0,78	20,36	def
Cachoeira do Sul 2	6,21	0,72	44,8	hi	Sta Vit. Palmar	2,55	0,64	20,25	def
Paraíso do Sul	4,98	0,86	42,8	i	Rosário do Sul	1,64	0,78	11,48	f
Cachoeira do Sul 1	4,38	0,79	37,4	ij	Restinga Seca	1,31	0,80	11,12	f
Restinga Seca	3,22	0,77	24,7	j	Paraíso do Sul	1,30	0,71	9,84	f

Tabela 06. Atributos físicos e químicos dos quinze solos objetos de estudo.

Solos	C org.	N total	C/N	Argila	N mineral inicial		
					N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻
	%	%		%	-----mg kg ⁻¹ -----		
Camaquã	3,72	0,42	8,86	80	33,1	92,8	125,9
Dom Pedrito	1,11	0,32	3,47	44	31,6	33,1	64,6
Uruguaiana 01	3,09	0,39	7,92	37	111,8	27,2	139,0
Uruguaiana 02	2,00	0,26	7,69	33	18,5	79,7	98,2
Caçapava	1,62	0,20	8,10	32	19,4	33,1	52,5
Sto Ant. da Patrulha	1,18	0,19	6,21	25	11,2	50,6	61,7
Santa Maria	0,95	0,18	5,28	24	12,6	57,8	70,5
São Gabriel	1,38	0,18	7,67	24	15,6	89,9	105,5
Cachoeirinha	1,09	0,17	6,41	20	18,5	57,8	76,3
Restinga Seca	0,83	0,10	8,30	19	17,0	25,8	42,8
Cachoeira do Sul 01	0,56	0,11	5,09	18	17,0	22,8	39,9
Cachoeira do Sul 02	0,44	0,09	4,89	13	12,6	34,5	47,2
Sta Vit. do Palmar	0,92	0,13	7,08	12	33,1	57,8	90,9
Rosário do Sul	0,55	0,08	7,19	9	15,6	73,9	89,4
Paraíso do Sul	0,73	0,07	10,43	8	11,2	40,3	51,5

4.1.1 Estudo de correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado durante o primeiro cultivo e atributos de solo

O N absorvido por plantas de arroz no primeiro cultivo correlacionou-se com o C orgânico, N total, argila, N mineral inicial e suas formas, não sendo significativo apenas com a relação C/N (Tabela 07).

Tabela 07. Equações e coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas e o N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo, em casa-de-vegetação, durante 60 dias.

Correlação	Equação	Coefficiente de correlação (r)
C org x N absorvido	$N_{abs} = - 2,25 + 88,53 C\%$	0,90**
N total x N absorvido	$N_{abs} = - 17,65 + 695,52 Nt\%$	0,82**
Argila x N absorvido	$N_{abs} = 26,47 + 3,41 \text{ argila}\%$	0,67**
Relação C/N x N absorvido	$N_{abs} = 23,90 + 13,32 C/N$	0,29ns
N-NH ₄ ⁺ inicial x N absorvido	$N_{abs} = 56,91 + 2,36 N-NH_4^+$	0,65**
N-NO ₃ ⁻ inicial x N absorvido	$N_{abs} = 56,17 + 1,17 N-NO_3^-$	0,31*
N mineral inicial x N absorvido	$N_{abs} = - 51,73 + 2,18 N \text{ mineral}$	0,75**

** significativo a 1% de probabilidade.

* significativo a 5% de probabilidade.

ns = não significativo.

O teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado foi alta e significativamente correlacionado com o teor de carbono (C) orgânico dos solos ($r = 0,90$; $p < 0,01$) (Tabela 07; Figura 03). Deve-se salientar que o coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que mede o grau de associação entre as variáveis e, desta forma, grande parte da variação no teor de N absorvido pelas plantas está associada à variação no teor de C orgânico do solo. Kai et al. (1984, *apud* Cassman et al., 1996) e Sahrawat (1983, *apud* Cassman et al., 1996) também observaram elevada e positiva correlação entre o teor de C orgânico e de N total do solo com o N-NH₄ acumulado, em experimento de incubação anaeróbia em laboratório e também com o N absorvido por plantas de arroz irrigado em testes em vasos em casa-de-vegetação.

Camargo et al. (1997), estudando o potencial de mineralização aeróbia do N em solos de sequeiro do RS, também observou tendência de aumento no teor de N no tecido do milho com o aumento no teor de C orgânico do solo. Os autores também observaram que existem solos que

não apresentam comportamento semelhante à maioria dos solos, assim como o observado no presente trabalho (Figura 03).

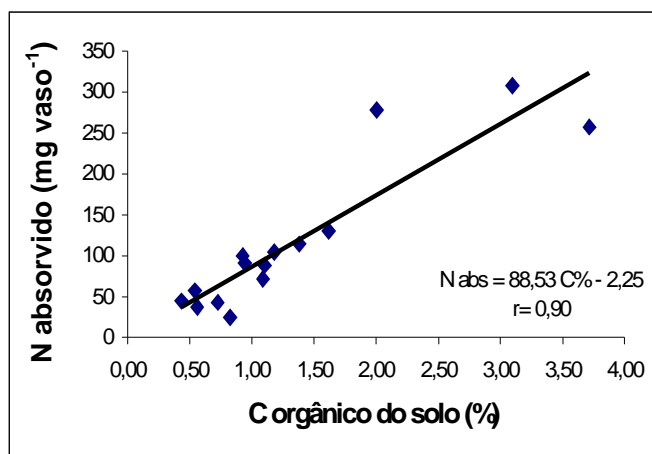


Figura 03. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de C orgânico do solo.

Esta constatação pode, possivelmente, estar relacionado a maior estabilidade da MOS, tanto pela sua proteção na fração argila do solo, como pela presença de frações orgânicas mais recalcitrantes, fatores que afetam sobremaneira à atividade microbiana, resultando em diferenças na decomposição da MOS e na mineralização do N. Estes fatos podem explicar, em parte, os resultados obtidos com os solos Camaquã e Restinga Seca. Efeito contrário deve ter ocorrido com o solo Uruguiana 02, o qual proporcionou N absorvido acima do estimado pela associação com o teor de C orgânico do solo. Também se deve considerar o fato de que o experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, o que eliminou os fatores climáticos que poderiam afetar a resposta das plantas de arroz à adubação nitrogenada, bem como às correlações do teor de C orgânico e de N total com o N absorvido pelas plantas.

Scivittaro & Machado (2004) comentam que o teor de C orgânico do solo não é um bom indicador para se estimar a disponibilidade de N medida pelo rendimento relativo de grãos de arroz irrigado. Esta afirmação contraria o observado no presente estudo, indicado pela

elevada correlação entre o teor de C orgânico do solo e o N absorvido pelas plantas. Este comportamento pode estar atrelado ao N mineral inicial do solo, originado aerobiamente, em pré-alagamento dos solos, momento em que foram manipulados e ajustados às unidades experimentais, o que pode ter estimulado a atividade microbiana e influenciado na disponibilidade e na absorção de N pelas plantas. Isso pode explicar, em parte, a elevada correlação obtida entre estes atributos no primeiro cultivo de plantas e a ausência de significância para os mesmos atributos quando em outros trabalhos.

Na tabela 06 pode-se verificar a grande variação no teor de C orgânico dos solos (0,44 a 3,72%). Considerando apenas os solos que apresentam menos do que 1% de C orgânico (1,8% de MOS), o que representaria praticamente metade dos solos estudados, o coeficiente de correlação cairia para 0,57 e não significativo ($p < 0,05$), evidenciando baixa associação entre os atributos avaliados nestas condições. Esta observação permite indicar que, quando se considera solos com baixos teores de MOS, pequenas diferenças no teor de C orgânico são acompanhadas por grandes variações no teor de N absorvido pelas plantas e, neste caso haveria concordância com Scivittaro & Machado (2004).

A correlação entre o teor de N total do solo e o N absorvido pelas plantas foi alta e significativa ($r = 0,82$; $p < 0,01$) (Tabela 07 e Figura 04), porém, inferior a obtida com o C orgânico, mesmo considerando o N total do solo a origem do N mineral passível de absorção pelas plantas. Keeney & Bremner (1966) observaram alta e significativa correlação entre o teor de N total do solo e o N absorvido pelas plantas de azevém no primeiro corte, entretanto, houve baixa correlação ($r = 0,52$) quando do segundo e terceiro cortes.

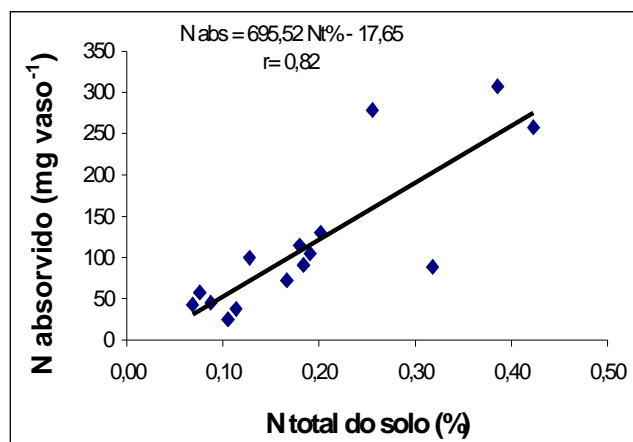


Figura 04. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N total do solo.

O teor de C orgânico do solo, a proteção da MOS pela fração mineral e/ou sua recalcitrância podem resultar em diferenças na capacidade dos solos em mineralizar N, o que pode afetar diretamente a correlação total do solo e N absorvida pelas plantas. Desta forma, o teor de N total do solo poderá ser elevado, como no caso do solo de Dom Pedrito, porém a mineralização poderá ser lenta ou pequena, possivelmente devido ao baixo teor de C orgânico, resultando em baixos teores de N absorvido pelas plantas. O solo Uruguaiana 02 apresentou efeito contrário, assim como o verificado na correlação com o teor de C orgânico do solo. Este fato pode estar relacionado a menor recalcitrância da MOS e ao teor de argila do solo, o que favoreceu a atividade microbiana e, conseqüentemente, a absorção de N.

O coeficiente de correlação entre o teor de argila do solo e o N absorvido pelas plantas foi significativo ($r = 0,67$, $p < 0,01$) (Tabela 07 e Figura 05), porém inferior ao obtido com o teor de C orgânico e de N total do solo (Tabela 07). Parte deste comportamento pode ser explicado pelo fato que o teor de C orgânico e de N total do solo apresentam tendência de aumento com o teor de argila do solo, apresentando elevadas e significativas correlações entre tais atributos de solo ($r = 0,86$ e $r = 0,90$, respectivamente, $p < 0,01$). Este comportamento está atrelado à íntima

relação entre a fração argila do solo e a MOS, que propicia proteção física à MOS, a qual se liga a argila e dificulta o acesso microbiano, e química, pelas ligações existentes entre os minerais de argila e a MOS. Portanto, solos mais argilosos tendem a apresentar maior teor de MOS e N total e, conseqüentemente, maior capacidade de mineralizar N, o que resulta em maior teor de N absorvido pelas plantas. Contrapõe-se a esta afirmação os solos de Dom Pedrito e de Restinga Seca que, mesmo não possuindo os menores teores de argila, apresentaram baixo teor de N absorvido, o que pode ser devido a maior recalcitrância da MOS, assim como o solo Camaquã.

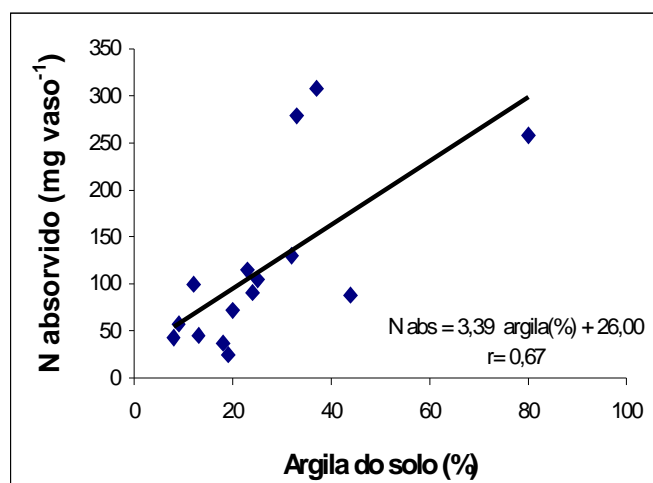


Figura 05. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de argila do solo.

Efeito contrário ocorreu com os solos Uruguaiana 01 e Uruguaiana 02, os quais apresentaram elevado teor de N absorvido em função do teor de argila do solo. Isto pode ter ocorrido devido a menor recalcitrância da MOS e ao teor de argila dos solos, havendo pouca proteção à atividade microbiana, proporcionando elevados teores de N absorvido pelas plantas.

Ladd & Jackson (1982, *apud* Camargo et al., 1997) comentam que a argila participa na formação de complexos organo-minerais insolúveis,

além de adsorver enzimas, que pode resultar em proteção da MOS ao ataque microbiano, diminuindo a mineralização do N. Desta forma, as ligações do tipo complexo entre argila e a MOS favorecem a retenção de C orgânico no solo (Camargo et al., 1997) e, conseqüentemente, do N total, o que não representa, necessariamente, menor potencial de mineralização do N. Solos mais argilosos tendem a possuir maiores teores de MOS e podem apresentar, relativamente ao seu teor total de N, baixa mineralização, corroborando com o comentário de Ladd & Jackson.

Os teores de N mineral (NH_4+NO_3) inicial (em pré-alagamento) variaram amplamente entre os solos estudados (39,9 a 125,9 mg kg^{-1} de solo) (Tabela 06), e o coeficiente de correlação deste com o N absorvido foi significativo ($r= 0,75$; $p<0,01$) (Tabela 07 e Figura 06). Cabe destacar que o N mineral inicial dos solos foi determinado em pré-alagamento, o qual foi originado a partir da decomposição aeróbia da MOS. O N mineral inicial, independente da sua origem, foi em parte absorvido pelas plantas posteriormente à sua emergência.

Estes resultados evidenciam que o teor de N mineral inicial do solo pode ser importante para determinar o N absorvido pelas plantas e pode ser um atributo auxiliar nos estudos de predição do N absorvido por plantas de arroz irrigado e na predição da dose e época de aplicação da adubação nitrogenada. Entretanto, Keeney & Bremner (1966) comentam que este não é considerado um índice seguro pelo fato de que o conteúdo de N mineral varia rapidamente no tempo e os resultados de análises de N mineral em solos dependem amplamente do momento da amostragem e do tratamento das amostras antes da análise, além de que, a dinâmica do N é favorável a rápidas perdas a partir do alagamento do solo devido à alteração do metabolismo microbiano predominante, favorecendo a denitrificação.

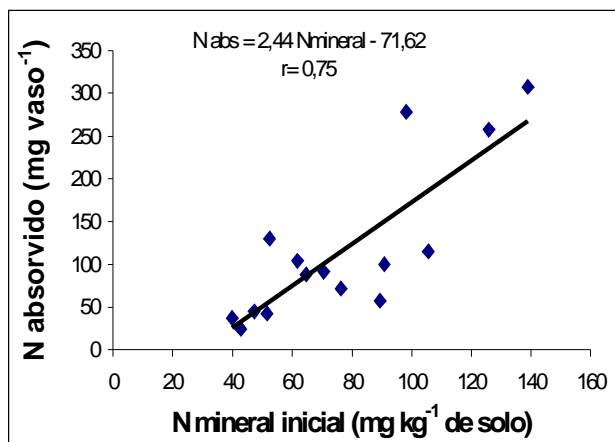


Figura 06. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N mineral inicial no solo.

Stanford & Legg (1968) comentam que se elevados teores de N mineral estão presentes na zona de atuação do sistema radicular no início do cultivo, este possui uma contribuição potencial, tanto quanto o N orgânico do solo, para o suprimento inicial de N às plantas e é quantificado junto com o N mineralizado quando se avalia o teor de N no tecido.

Quando se correlaciona o teor de N-NO₃ inicial (pré-alagamento) com o N absorvido por plantas de arroz irrigado, evidencia-se baixa e significativa associação entre os atributos ($r = 0,31$; $p < 0,05$) (Tabela 07 e Figura 07). Esta constatação pode estar associada às transformações que o N-NO₃ sofre após o alagamento do solo. A entrada da água no solo causa a expulsão do oxigênio, criando um ambiente de anaerobiose. Neste ambiente, o nitrato é utilizado como receptor final de elétrons na cadeia respiratória de microrganismos anaeróbios facultativos, sendo reduzido a N₂ ou N₂O (denitrificação), os quais são voláteis, incorrendo em perdas de N do sistema solo.

Stanford & Legg (1968) comentam que o nitrato inicialmente presente no solo apresenta alta correlação com o teor de N absorvido pelas plantas e, que a contribuição do N mineralizado também se apresenta de forma importante, porém estas constatações foram realizadas em solos sob condições aeróbias, diferentemente das condições do presente trabalho. Cabe salientar a baixa correlação existente entre o teor de N-NO_3 e o teor de N absorvido e a irregular distribuição do N-NO_3 nos solos (Figura 07). Portanto, a manipulação dos solos pode ter favorecido o processo de nitrificação e influenciado no N absorvido, mas somado a instabilidade do N-NO_3 em ambiente alagado, pode ter prejudicado a correlação entre estes atributos.

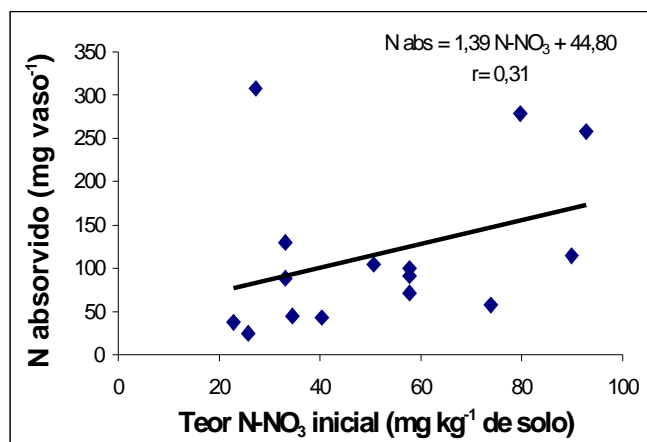


Figura 07. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N-NO_3 inicial no solo.

Ao contrário do nitrato, o N-NH_4 inicial (pré-alagamento) possui comportamento mais estável em ambiente alagado, o que favorece a sua predominância e permanência no solo neste ambiente. Sua correlação com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado se apresenta superior à do N-NO_3 e também significativa ($r = 0,65$; $p < 0,01$) (Tabela 07 e Figura 08).

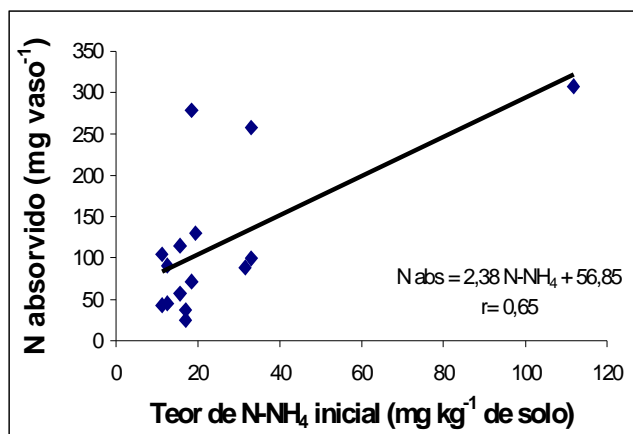


Figura 08. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N-NH₄ inicial no solo.

Entretanto, analisando a figura 08, visualiza-se que os pontos observados distribuem-se irregularmente ao longo da linha de tendência, isto é, as observações concentram-se irregularmente em baixos teores de N-NH₄ e somente uma observação com elevado teor de N-NH₄ e, quando se exclui esta observação, a correlação passa a não ser significativa, indicando que o teor de N-NH₄ não é um bom atributo que possa explicar o N absorvido pelas plantas.

Estes fatos permitem afirmar que o teor de N-NH₄, assim como o N-NO₃, não são bons atributos de solo para predição do N absorvido pelas plantas de arroz irrigado e, conseqüentemente, nem para a predição da adubação nitrogenada, principalmente por serem afetados pelas condições ambientais e pela atividade microbiana, podendo sofrer rápidas variações no tempo, além de estarem em pequenas concentrações na solução do solo, o que causa uma flutuação relativa maior, além das dificuldades metodológicas que se encontram para se estimar as disponibilidades.

A relação C/N da MOS é dada pela razão C orgânico e N total do solo que apresentou, com o teor de N absorvido pelas plantas, baixo e não significativo coeficiente de correlação ($r = 0,29$; $p < 0,05$) (Tabela 07 e Figura 09). Portanto, solos com baixa relação C/N não possuem, necessariamente, maior capacidade de mineralizar N, do que solos com

alta relação C/N, demonstrando que a proteção da MOS pela fração mineral do solo, a recalcitrância e/ou a maneira com que o N está incorporado à MOS e o ambiente em questão atuam mais fortemente do que a relação C/N na capacidade do solo em mineralizar N, que influenciará no teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado.

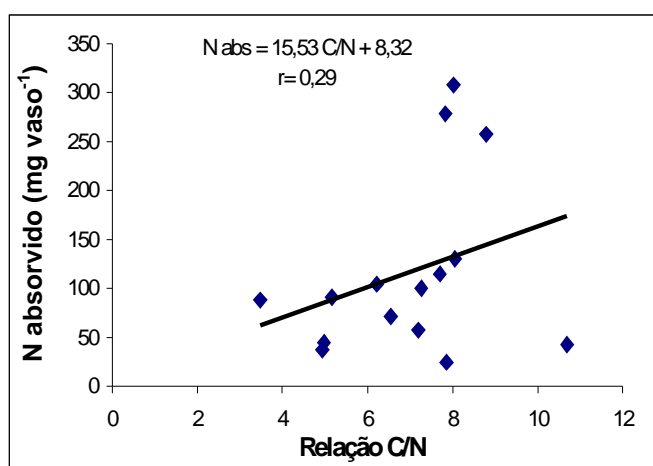


Figura 09. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e a relação C/N da MOS.

Avaliando-se os atributos de solo em análise de regressão múltipla com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado, observa-se que os atributos C orgânico, argila e N total do solo foram os mais importantes para se estimar o teor de N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo (Tabela 08)

O atributo C orgânico do solo foi considerado o mais importante na análise de regressão múltipla, fato confirmado pelo elevado r^2 (0,80). Quando se incluiu o atributo teor de argila do solo, o r^2 aumenta para 0,84 e, quando se incluiu o atributo N total do solo, o r^2 aumenta para 0,87, sendo todos significativos ($p < 0,05$). Cabe ressaltar que nenhum dos outros atributos de solo foi selecionado no modelo de regressão múltipla em nível de 5% de significância.

Tabela 08. Atributos de solo, coeficiente de determinação e equação de regressão múltipla para a obtenção do N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo de arroz irrigado, em casa-de-vegetação, num período de 60 dias.

Parâmetros	Coeficiente de determinação (r^2) ¹	Equação
C orgânico	0,80	$N_{abs} = - 10,60 + 95,34 C_{org\%} -$
C org. + argila	0,84	$2,93 argila\% + 398,23 Nt\%$
C org + argila + N total	0,87	

¹ parâmetros significativos à 5% de probabilidade.

4.1.2 Estudo de correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado durante o segundo cultivo e atributos de solo

O segundo cultivo de arroz irrigado foi conduzido posteriormente ao primeiro cultivo e as plantas também permaneceram crescendo por um período de 60 dias em casa-de-vegetação, não recebendo nenhum tipo de tratamento com relação à demanda de nutrientes.

Em relação ao primeiro cultivo, observou-se variação no teor de N no tecido (Tabela 05), entretanto, a massa das plantas cultivadas em todos os solos foi inferior ao cultivo, o que resultou em menor teor de N absorvido pelas plantas (Tabela 05).

Do mesmo modo que no primeiro cultivo, houve correlação significativa ($r= 0,78$; $p<0,01$) entre o teor de C orgânico do solo e o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado (Tabela 09 e Figura 10), porém inferior ao obtido no primeiro cultivo. Esta constatação, provavelmente, está atrelada ao fato que durante o primeiro cultivo houve decomposição da fração lábil da MOS, restando posteriormente, frações

mais recalcitrantes para serem decompostas no decorrer do segundo cultivo.

Tabela 09. Equações e coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas e o N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo, em casa-de-vegetação, durante 60 dias.

Correlação	Equação	Coefficiente de correlação (r)
C org x N absorvido	$N \text{ abs} = - 0,14 + 24,56 C\%$	0,78**
N total x N absorvido	$N \text{ abs} = - 5,97 + 200,98 Nt\%$	0,74**
Argila x N absorvido	$N \text{ abs} = - 5,91 + 1,46 \text{ argila}\%$	0,90**
Relação C/N x N absorvido	$N \text{ abs} = 19,78 + 1,88 C/N$	0,13ns

** significativo a 1% de probabilidade

ns = não significativo

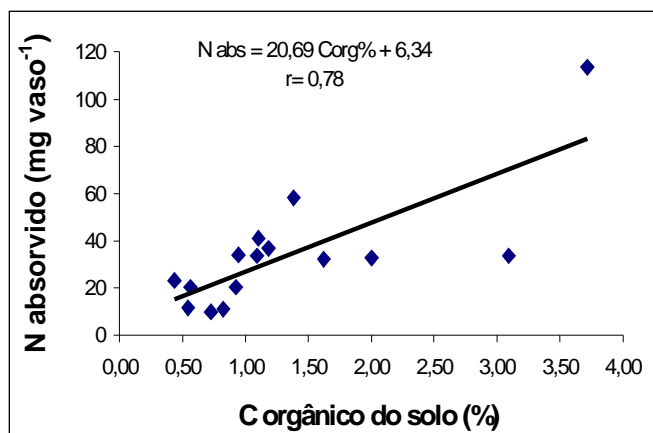


Figura 10. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de C orgânico do solo.

Desta forma, a atividade microbiana foi prejudicada com relação à qualidade do substrato orgânico como fonte de energia e nutrientes para seu crescimento, o que resultou em menor mineralização do N e disponibilidade para as plantas e, conseqüentemente, menor teor de N absorvido. Também, como a priori não houve mineralização aeróbia no

segundo cultivo de arroz irrigado, diferentemente do ocorrido no primeiro cultivo, a ausência do N mineralizado aerobiamente deve ter causado a diminuição na correlação obtida.

Observando a correlação entre o teor de C orgânico e o teor de N absorvido, evidencia-se que os solos se distribuem irregularmente ao longo da linha de tendência da regressão linear, o que leva a crer que alguns solos podem estar favorecendo os resultados observados. Isso pode ser verificado quando se exclui o solo de Camaquã da correlação ($r=0,45$; $p<0,05$), corroborando com os resultados discutidos por Scivittaro & Machado (2004) e os relatados por Cassman et al. (1996), que observaram ausência de correlação entre o teor de C orgânico do solo e o rendimento de grãos de arroz irrigado e, com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado, respectivamente.

O teor de N total dos solos apresentou correlação significativa com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo ($r=0,74$; $p<0,01$) (Tabela 09 e Figura 11). A observação que o N absorvido pelas plantas cultivadas em alguns solos foge à associação com o N total, sugere que existem outros fatores que afetaram os resultados obtidos e que influenciaram com maior importância a mineralização e a absorção do N pelas plantas.

A correlação entre o teor de argila do solo e o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado também foi altamente significativa ($r=0,90$; $p<0,01$) (Tabela 09 e Figura 12), superior à obtida no primeiro cultivo. A elevada correlação observada entre o teor de argila do solo e o N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo sugere que o processo de redução do solo afetou a mineralização do N, além da presença de frações mais recalcitrantes da MOS com relação ao primeiro cultivo, o que conferiu menor teor de N absorvido pelas plantas, favorecendo a correlação. A argila do solo é formada por compostos inorgânicos oxidados, como o ferro e o manganês, entre outros, que podem ser utilizados como receptores de elétrons por microrganismos

anaeróbios. Portanto, quando estes entregam os elétrons para os compostos oxidados do solo, que fazem parte dos minerais de argila, ocorre a redução e a dissolução de uma porção do mineral, o que afeta parte da proteção da MOS, facilitando o ataque microbiano à MOS e favorecendo sua decomposição e mineralização do N.

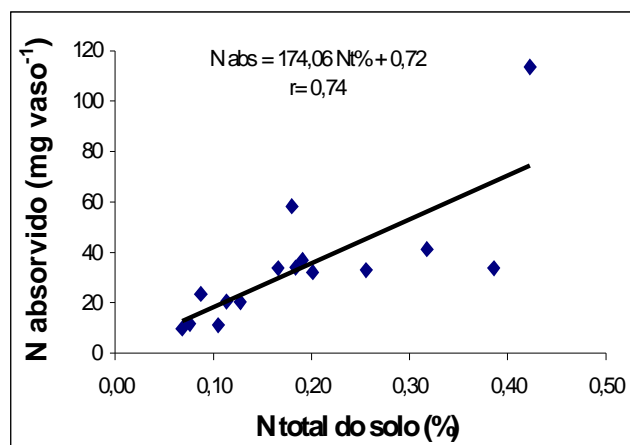


Figura 11. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de N total do solo.

A correlação entre a relação C/N e o teor de N absorvido pelas plantas foi muito baixa e não significativa ($r = 0,13$; $p < 0,05$) (Tabela 09 e Figura 13), demonstrando que a relação C/N da MOS não está associada a capacidade do solo em fornecer N às plantas, assim como o observado no primeiro cultivo. Este fato confirma o que foi comentado no item 4.1.1 com relação a este atributo e a sua ausência de significância para com a absorção de N pelas plantas.

A análise de regressão múltipla entre os atributos de solo avaliados e o N absorvido pelas plantas de arroz irrigado no segundo cultivo demonstrou que o teor de argila do solo foi o único atributo de solo associado significativamente, em nível de 5% de probabilidade, para estimar o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado ($r^2 = 0,80$) (Tabela 10). Neste cultivo o teor de C orgânico e de N total do solo não possuem a mesma significância ($p < 0,05$) e importância para a predição

do N absorvido pelas plantas de arroz irrigado do que quando do primeiro cultivo.

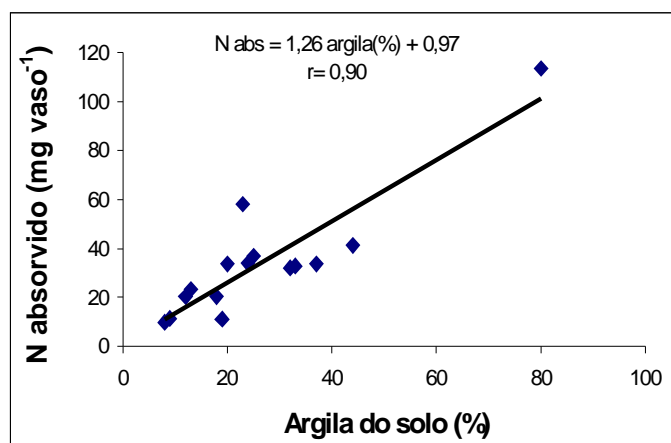


Figura 12. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de argila do solo.

Esta constatação corrobora, em parte, com o comentário de Scivittaro & Machado (2004), em que o teor de C orgânico do solo não seria um bom atributo de solo para se estimar o rendimento relativo de grãos de arroz irrigado e, com Cassman et al. (1996), que observou ausência de correlação entre o teor de C orgânico do solo e o de N total do solo com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado.

Tabela 10. Atributo de solo, coeficiente de determinação e equação de regressão múltipla para a obtenção do N absorvido por plantas no segundo cultivo de arroz irrigado em casa-de-vegetação num período de 60 dias.

Atributos	Coeficiente de determinação (r^2) ¹	Equação
Argila	0,80	$N \text{ abs} = - 5,90 + 1,46 \text{ argila}\%$

¹ atributo significativo à 5% de probabilidade.

Este estudo evidencia a dificuldade que se encontra quando se tenta correlacionar atributos de solo com o teor de N absorvido por

plantas de arroz irrigado, o que é demonstrado pelos diferentes coeficientes de correlação obtidos entre os atributos de solo e o N absorvido pelas plantas nos dois cultivos. Fato que se confirma porque os mesmos solos, em condições iniciais de cultivo diferentes, podem apresentar respostas diferentes em termos de N mineralizado e de N absorvido pelas plantas.

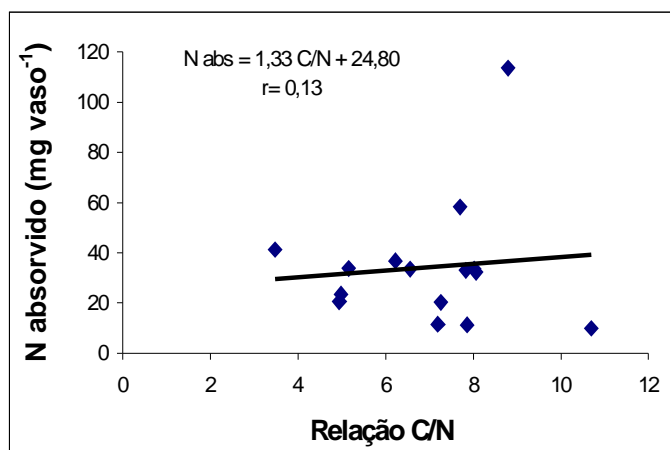


Figura 13. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e a relação C/N da MOS.

O teor de C orgânico do solo mostrou-se um atributo eficiente quando correlacionado com o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo, superando os demais atributos avaliados, evidenciando que, mesmo em ambiente alagado, a MOS é fundamental para se estabelecer às indicações de adubação nitrogenada e que este atributo é importante para se estimar a capacidade do solo em fornecer N às plantas e a partir daí, realizar-se o manejo das doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado. Já para o segundo cultivo, a maior expressão da fração argila do solo e a menor expressão do C orgânico do solo permite concluir que se deve também avaliar o tipo e teor de argila do solo e sua influência sobre a dinâmica das frações da MOS, que contribuem para que, em alguns casos, o C orgânico do solo possa ser

eficiente e, em outros casos não, na estimativa do N absorvido por plantas.

Cabe aqui ressaltar que os atributos de solo C orgânico, N total e argila podem ser facilmente obtidos em laboratório, auxiliando nos estudos de N absorvido pelas plantas e da adubação nitrogenada e para o aperfeiçoamento das tabelas de indicação da adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado.

4.2 Estimativa *in vitro* da mineralização anaeróbia do N de diferentes solos de várzea do RS

Os solos apresentaram diferentes quantidades de N mineralizado acumulado [soma de $\text{NH}_4 + (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)$] em condições anaeróbias num período de 24 semanas, variando de 98,30 a 191,34 mg kg^{-1} de solo (Figura 14). Vários autores comentam que a mineralização do N e sua intensidade depende de vários fatores, tais como: tipo de solo, teor de MOS, teor de N total, da relação C/N, pH do solo, temperatura, umidade, aeração, da interação planta-solo e da presença de outros nutrientes, além do pré-tratamento recebido pela amostra de solo (Black, 1968; Pöttker & Tedesco, 1979; Inubushi et al., 1985; Parentoni et al., 1988; Silva et al., 1994; Camargo et al., 1997; Vahl, 1999; Camargo et al., 1999b; Benbi & Richter, 2002).

Desde o início do período de incubação anaeróbia os solos apresentaram diferentes quantidades de N mineralizado acumulado, fato que está atrelado ao teor de MOS, atividade microbiana e, possivelmente, aos diferentes teores de N mineral inicial (Tabela 06) estimulado pela manipulação das amostras de solo em pré-incubação. A secagem ao ar e o preparo dos solos nos tubos para a incubação pode ter favorecido a atividade microbiana e o processo de nitrificação, pois naquele momento havia ambiente aeróbio. Entretanto, torna-se difícil evitar a manipulação dos solos quando em pré-incubação, pois se necessita adequar os solos as unidades experimentais, fato que pode ser minimizado em termos experimentais quando da homogeneização da manipulação para todos os solos estudados e unidades experimentais. Este tipo de situação apresenta semelhança quando comparada à condição de campo, a partir da instalação da cultura do arroz irrigado no sistema de cultivo convencional. O preparo do solo com arações e gradagens manipula o solo e expõe camadas subsuperficiais, aumentando a atividade microbiana pela aeração do solo e exposição da MOS ao ataque microbiano, o que,

conseqüentemente, aumenta a mineralização do N e a nitrificação.

Na figura 14 observa-se que a velocidade de mineralização do N foi maior no período inicial compreendido até a quarta semana, em relação aos períodos posteriores. Em média, 52% (39-58%) do N mineralizado, foi obtido até a quarta semana de incubação. Estas constatações podem estar atreladas à decomposição da MOS mais lábil, sendo que, no geral, solos com maior teor de C orgânico e de N total apresentaram os maiores valores de N mineralizado acumulado. Entretanto, a partir da quinta semana de incubação os solos passaram a se diferenciar ainda mais com relação ao N mineralizado acumulado, demonstrando as características intrínsecas de cada solo e a sua capacidade em mineralizar N.

A partir deste período a mineralização atingiu patamares mais estáveis. No período compreendido entre o início e a oitava semana de incubação e décima segunda, em média, o N mineralizado chegou a 80% (69-84%) e 86% (82-88%) do N mineralizado ao final de 24 semanas, respectivamente. A partir da oitava semana de incubação, o processo de mineralização aproximou-se de uma cinética de ordem zero, com diminuição do N mineralizado em função do tempo, assim como o observado por Camargo et al. (1997). Pöttker & Tedesco (1979) comentam que nos solos estudados as taxas de mineralização do N diminuíram sensivelmente após as 3 semanas iniciais de incubação, e concluíram que durante a incubação há uma rápida liberação inicial de N, seguida de uma diminuição gradativa.

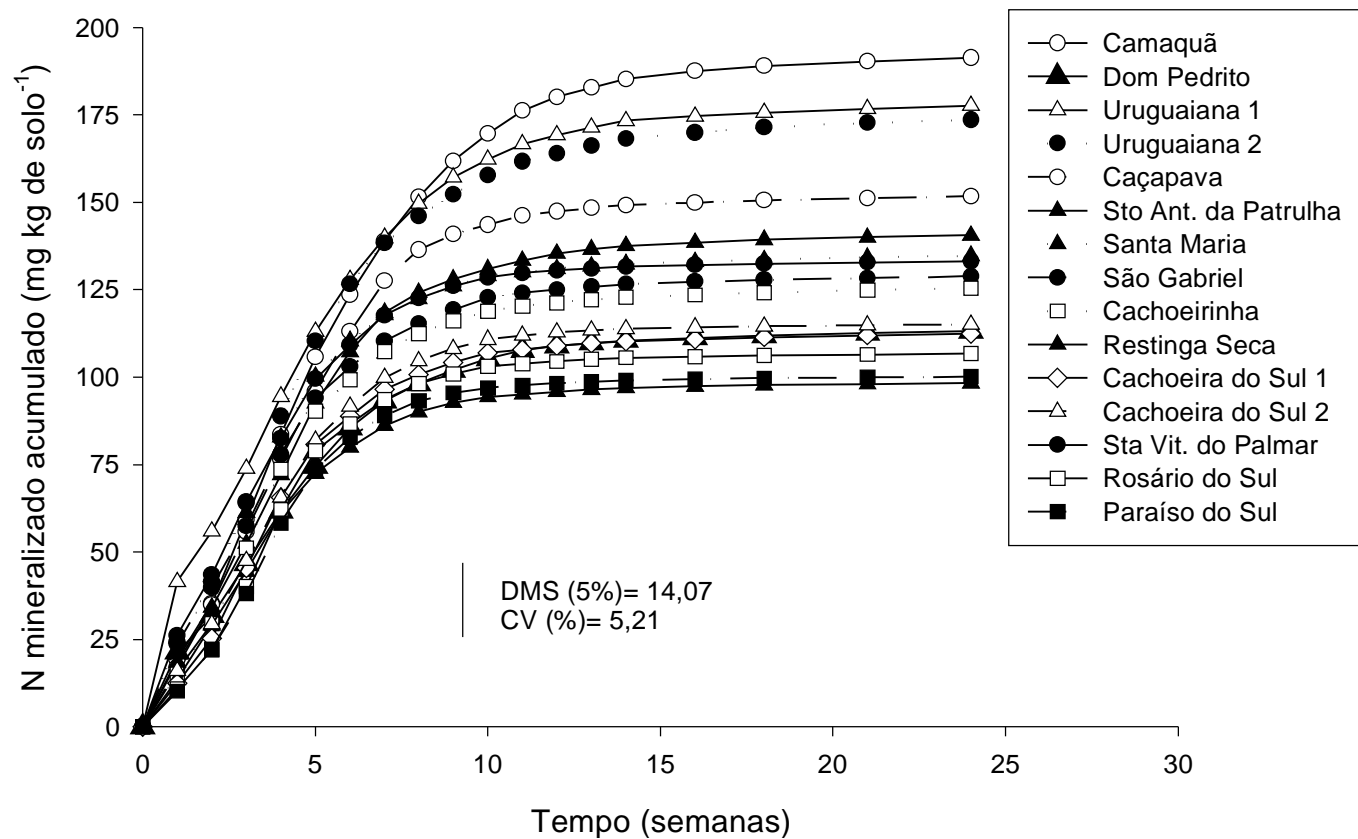


Figura 14. N mineralizado acumulado em função do tempo para os 15 solos objetos de estudo e diferença mínima significativa (DMS) e coeficiente de variação (cv) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No presente trabalho foi observado que as taxas de mineralização aumentaram até a quarta semana de incubação, diminuindo posteriormente. O aumento ocorre pelo consumo da MOS lábil primeiramente, resultando em menor atividade microbiana e mineralização do N sobre uma MOS mais recalcitrante em fases posteriores. Li et al. (2003), estudando a mineralização do N em 6 solos Indianos, observaram que a mineralização do N ocorreu em duas fases. De 0-14 dias, numa fase considerada rápida, e a partir do 14^o dia havendo um rápido declínio, numa fase considerada lenta. Resultado semelhante foi evidenciado no presente trabalho, onde do início da incubação até a quarta semana houve uma fase rápida de mineralização, alcançando de 15,03 a 24,80 mg de N kg⁻¹ semana⁻¹, com posterior diminuição, entrando numa fase considerada lenta.

O solo de Camaquã apresentou o maior valor de N mineralizado acumulado (191,3 mg kg⁻¹ de solo), mas apresentou as menores percentagens de mineralização em cada período, com relação ao N mineralizado acumulado ao final das 24 semanas de incubação anaeróbia (Tabela 11). Já os solos de Restinga Seca e de Paraíso do Sul apresentaram elevadas percentagens de N mineralizado em cada período avaliado, entretanto, cabe ressaltar que apresentaram os menores valores de N mineralizado acumulado ao final da 24^o semana de incubação (98,3 e 100,1 mg kg⁻¹ de solo, respectivamente).

Tabela 11. N mineralizado acumulado a cada período analisado, diferença entre o N mineralizado no momento atual e o N mineralizado num momento anterior, N mineralizado acumulado final e relação Nm/Nt.

Solos	4 ^o	Diferença	8 ^o	Diferença	12 ^o	Diferença	18 ^o	24 ^o	Relação
	semana	(8 ^o - 4 ^o)	semana	(12 ^o - 8 ^o)	semana	(18 ^o - 12 ^o)	semana	semana (Nm final)	
-----mg kg ⁻¹ -----									%
Camaquã	75,4	57,1	132,5	23,9	156,4	32,6	189,0	191,3	4,52
Dom Pedrito	58,3	31,4	89,7	9,0	98,7	13,2	111,8	113,1	3,56
Uruguaiana 01	88,3	46,9	135,2	16,2	151,4	24,3	175,6	177,7	4,60
Uruguaiana 02	80,8	48,5	129,3	14,9	144,2	27,3	171,5	173,5	6,79
Caçapava	69,8	51,1	121,0	9,2	130,2	20,3	150,5	151,7	7,54
Sto. Ant. Patrulha	65,8	45,0	110,8	9,3	120,1	19,2	139,3	140,5	7,38
Santa Maria	76,4	34,6	110,9	7,0	118,0	15,6	133,6	134,7	7,33
São Gabriel	72,6	32,7	105,3	8,0	113,3	14,4	127,8	128,8	7,16
Cachoeirinha	67,4	33,7	101,1	7,3	108,5	15,7	124,2	125,4	7,54
Restinga Seca	56,8	24,9	81,7	4,6	86,3	11,3	97,7	98,3	9,36
Cach. Do Sul 01	60,2	30,4	90,6	6,5	97,1	14,3	111,4	112,3	9,88
Cach. Do Sul 02	60,6	34,0	94,6	6,2	100,8	13,7	114,5	115,1	13,15
Sta Vit. Palmar	76,9	34,8	111,7	5,8	117,5	14,9	132,5	133,1	10,45
Rosário do Sul	55,9	31,2	87,1	5,1	92,2	14,0	106,2	106,7	14,07
Paraíso do Sul	52,5	29,9	82,4	4,1	86,5	13,1	99,7	100,1	14,71

O padrão de mineralização do N acumulado com o tempo foi distinto entre os solos (Figura 14), todavia, os valores obtidos permitiram separar, a primeira vista, as curvas de N mineralizado em função do tempo em 3 grupos de solos distintos com padrão de mineralização similar, assim como o verificado por Camargo et al. (1997) ao estudar 10 solos do RS em incubação aeróbia. O primeiro grupo seria representado pelos 6 solos com os menores valores de N mineralizado acumulado, que, em termos médios, foi de $107,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (Restinga Seca, Paraíso do Sul, Rosário do Sul, Cachoeira do Sul 01, Dom Pedrito e Cachoeira do Sul 02). Para os 6 solos intermediários, representando o segundo grupo, o valor médio de N mineralizado foi de $135,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (Cachoeirinha, São Gabriel, Santa Vitória do Palmar, Santa Maria, Santo Antônio da Patrulha e Caçapava) e, para os 3 solos restantes, formando o terceiro grupo, o N mineralizado médio foi de $180,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (Uruguaiana 02, Uruguaiana 01 e Camaquã).

Entretanto, uma análise comparativa de médias pelo teste de Tukey mostrou que, com um DMS (5%) de $14,07 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, há formação de apenas dois grupos de solos e, desta forma, tem-se 12 solos num grupo, apresentando uma média de $121,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo formado por todos os solos exceto os do grupo formado pelos três solos, com valor médio de $180,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo de N mineralizado ao final das 24 semanas de incubação anaeróbia (Uruguaiana 02, Uruguaiana 01 e Camaquã).

O uso de testes menos rigorosos, como o teste-t e o Duncan, indicam a formação de 5 grupos de solos. O primeiro grupo é formado pelos 6 solos com os menores valores de N mineralizado acumulado, numa média de $107,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (Restinga Seca, Paraíso do Sul, Rosário do Sul, Cachoeira do Sul 01, Dom Pedrito e Cachoeira do Sul 02), o segundo grupo é formado por 5 solos com uma média de $132,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo de N mineralizado (Cachoeirinha, São Gabriel, Santa Vitória do Palmar, Santa Maria e Santo Antônio da Patrulha), o terceiro grupo é

formado somente pelo solo de Caçapava, com N mineralizado de 151,7 mg kg⁻¹ de solo, o quarto grupo é formado pelos dois solos de Uruguaiana, que apresentaram um N mineralizado médio de 175,6 mg kg⁻¹ de solo e, o quinto grupo é formado somente pelo solo de Camaquã, com um N mineralizado de 191,3 mg kg⁻¹ de solo.

Numa análise global, considerando 5 grupos de solos, observa-se que o primeiro grupo é formado por solos que possuem baixo teor de C orgânico e de N total e que são mais arenosos, componentes do solo que poderiam explicar a baixa quantidade de N mineralizado acumulado final, com exceção do solo de Dom Pedrito. O segundo grupo de solos possui maiores teores de C orgânico, de N total e de argila, o que poderia explicar a maior mineralização de N com relação ao primeiro grupo de solos, assim como os demais solos no terceiro, quarto e quinto grupos.

Outra avaliação que pode ser feita com relação a mineralização do N pelos solos é a relação N mineralizado/N total, a qual variou de 3,6 a 14,7% (Tabela 11), mostrando a grande diferença com relação a capacidade dos solos em mineralizar N em função da sua reserva orgânica. Pode-se verificar que existe uma tendência de aumento na relação N mineralizado/N total à medida que diminui o teor de argila do solo. O mesmo acontece quando se considera o teor de C orgânico e de N total do solo, existindo tendência de aumento na relação N mineralizado/N total com a diminuição do teor de C orgânico e de N total dos solos.

Entretanto, em condições de campo a mineralização do N pode apresentar um padrão diferenciado com relação ao obtido em laboratório, visto que a presença de plantas pode alterar os teores de carbono e nitrogênio do solo e a aeração na rizosfera que, conseqüentemente, afetam a atividade microbiana, resultando em efeito direto sobre a mineralização do N. O sistema de raízes das plantas de arroz irrigado possui uma considerável influência na população microbiana do solo e na sua atividade através da exsudação de compostos orgânicos de variado

conteúdo de C e N, o que pode resultar numa grande soma de material orgânico facilmente decomponível para o solo, afetando a mineralização do N e a sua disponibilidade para as plantas (Kundu & Ladha, 1997). Além disso, o crescimento de raízes pode aumentar a nitrificação na rizosfera pelo incremento de oxigênio para a respiração radicular. Os autores também evidenciaram que um mês após o alagamento do solo o N mineral disponível foi de 9,6 mg N kg⁻¹ na ausência de plantas e de 12,6 mg N kg⁻¹ na presença de plantas. Os mesmos autores comentam que houve aumento de 31% na mineralização do N em solos cultivados, quando comparados a solos não cultivados, concluindo que esse aumento na mineralização do N foi devido ao crescimento das raízes das plantas. Além de produzirem exsudatos radiculares com variável quantidade de C e N, as plantas promovem a reciclagem de raízes, que pode resultar em grande adição de material orgânico decomponível ao solo, resultando, também, num estímulo a mineralização do N.

A temperatura também é um fator importante que deve ser considerado, sendo este um fator abiótico ímpar nas reações químico-biológicas, atuando diretamente sobre a velocidade metabólica dos microrganismos, podendo acelerar ou retardar a atividade microbiana, atuando na regulação da decomposição da MOS e na mineralização do N. A literatura comenta que temperaturas variando entre 25-35°C são indicadas como as mais adequadas à atividade microbiana durante estudos de incubação. No presente trabalho sustentou-se uma temperatura de incubação de 30°C, intermediária às citadas na literatura (25-35°C) e, que potencialmente não prejudicaria a atividade microbiana. Stanford & Smith (1972) estudando o potencial de mineralização do N em ambiente drenado, utilizaram temperatura de incubação de 35°C, alegando que esta temperatura estaria próxima da ideal para a nitrificação, mas provavelmente menor que a ótima para a amonificação. Keeney & Bremner (1966), Cabrera (1993) e Cassman et al. (1996), entre outros, utilizaram temperatura de 30°C em seus estudos de incubação e

mineralização do N e, que esta temperatura seria adequada à atividade microbiana. Li et al. (2003) estudando a mineralização do N em 6 solos Chineses sob condições de alagamento evidenciaram que houve mineralização de 4-7,7% do N total quando a temperatura foi de 25°C, e de 6,3-9,4% quando a temperatura foi de 35°C e, que o N mineralizado acumulado diferiu grandemente entre os solos e as diferentes temperaturas após 120 dias de incubação anaeróbia. Inubushi et al. (1985) observaram que a mineralização do N da fração rápida ou lábil, que acontece no período inicial de incubação, é dependente da temperatura, sendo seguida de uma mineralização da fração lenta ou recalcitrante, a qual não é dependente da temperatura.

Considerando separadamente o comportamento das formas de N-NO_3 e N-NH_4 , o N-NO_3 foi detectado até a sétima semana de incubação anaeróbia (Figura 15), evidenciando que mesmo após o início do alagamento havia o processo de nitrificação no solo, o que identifica microrganismos aeróbios, e que mesmo assim, observou-se uma intensa denitrificação do nitrato inicialmente. Este fato pode estar relacionado ao teor de MOS, a qual é fornecedora de elétrons aos microrganismos e o nitrato um dos primeiros compostos oxidados do solo a ser utilizado como receptor de elétrons pelos microrganismos. Outra possibilidade seria estar havendo alguma adsorção do N-NO_3 no solo contido nos tubos de incubação, permanecendo por período maior neste ambiente. Porém, o teor de N-NO_3 diminuiu ao longo do tempo, desaparecendo, em todos os solos, após a sétima a oitava semana de incubação. Ponnampertuma (1972) e Vahl (1999) comentam que o nitrato no solo, em condições anaeróbias, desaparece após 3 semanas de incubação. Entretanto, podem ser encontradas altas concentrações de nitrato mesmo após várias semanas de alagamento (Vahl, 1999). Este mesmo autor comenta que foram encontradas, em experimentos de campo desenvolvidos no IRRI, concentrações de aproximadamente 20 mg L^{-1} de N-NO_3 após 90 dias de alagamento do solo e que esta concentração foi mantida

praticamente constante desde o início de alagamento. Já Li et al. (2003), avaliando a mineralização do N em solos Chineses, encontrou $N-NO_3$ somente nos dois primeiros dias de incubação anaeróbica, confirmando a predominância de $N-NH_4$ nestas condições, o que se deve à estabilidade do amônio e à instabilidade do nitrato neste ambiente.

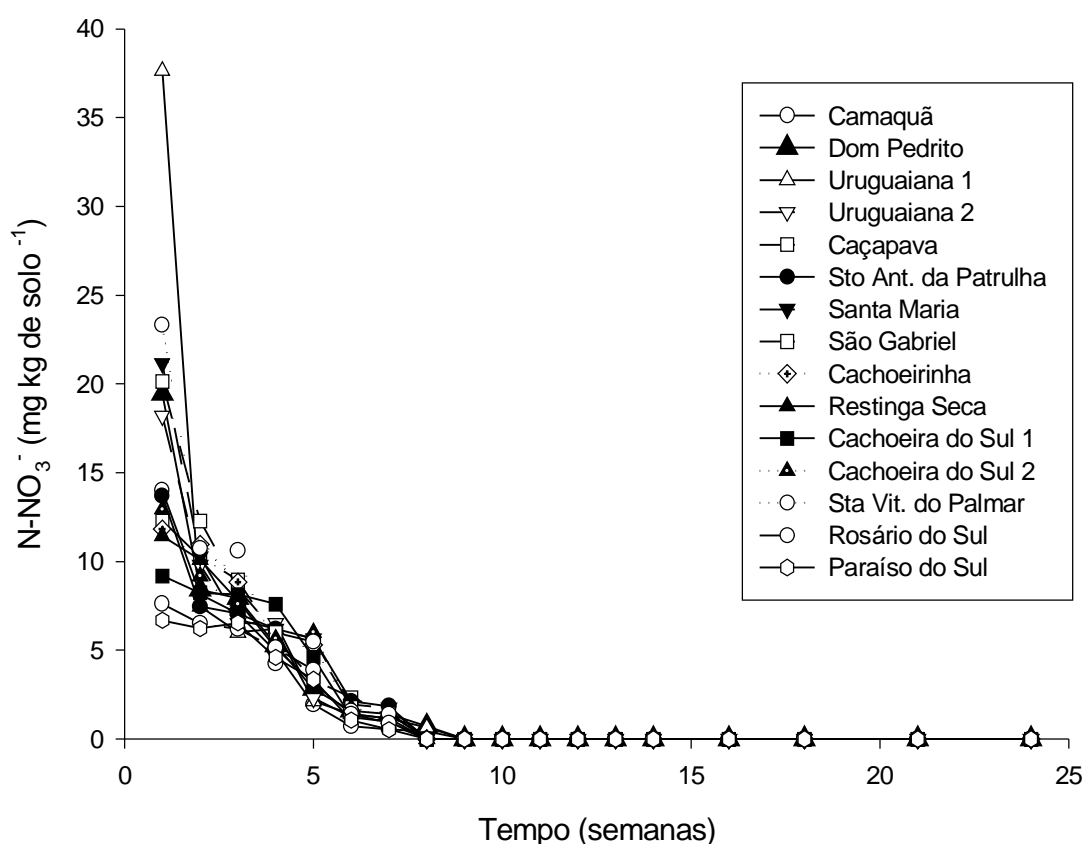


Figura 15. Teor de $N-NO_3$ na solução de alagamento do solo em função do tempo em 24 semanas de incubação anaeróbica.

O teor de $N-NH_4$ aumentou ao longo do tempo até a quinta a sexta semana de incubação, ocorrendo posteriormente diminuição (Figura 16). Vahl (1999) comenta que em experimentos de incubação anaeróbica em laboratório, as taxas de produção de $N-NH_4$ são altas nos primeiros dias de alagamento e decrescem posteriormente. Segundo este autor, a quantidade de amônio acumulado, com o passar do tempo, aproxima-se assintoticamente de um valor máximo. Após, a mineralização do N diminui com o passar do tempo, pois o substrato orgânico considerado lábil é

consumido primeiramente, restando materiais de maior recalcitrância, de modo que a mineralização do N diminui de intensidade pela restrição do substrato à atividade microbiana. O aumento inicial no teor de N-NH_4 e a sua posterior diminuição são dependentes do tipo de solo, do teor e qualidade da MOS, da atividade microbiana e das condições ambientais, principalmente da temperatura.

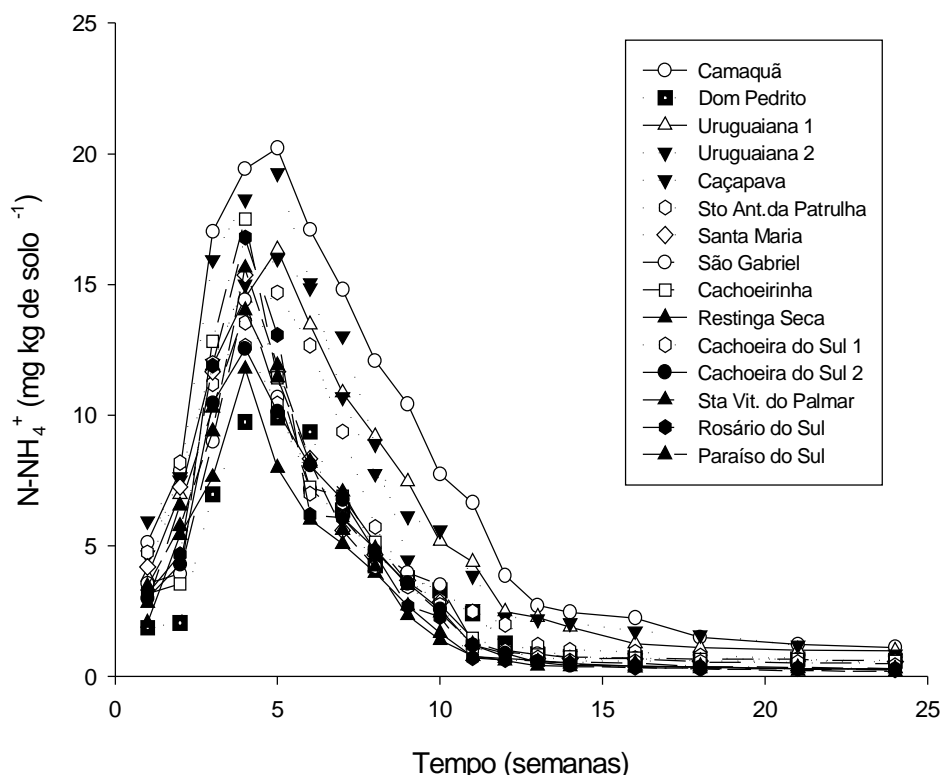


Figura 16. Teor de N-NH_4 na solução de alagamento do solo em função do tempo em 24 semanas de incubação anaeróbia.

O N mineralizado acumulado em 24 semanas apresentou elevada e significativa associação com o N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo ($r= 0,92$; $p<0,01$) (Figura 17). Observa-se também que o C orgânico está alta e significativamente correlacionado com o N mineralizado ($r= 0,91$; $p<0,01$) (Figura 18), evidenciando a importância deste atributo na capacidade do solo em mineralizar N e na estimativa do N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo.

A correlação entre o N mineralizado e o N absorvido por plantas de

arroz irrigado no segundo cultivo também foi significativa, ($r= 0,70$; $p<0,01$) (Figura 19), porém inferior a observada no primeiro cultivo e com grande dispersão dos pontos, evidenciando que outros fatores podem ter afetado a disponibilidade de N.

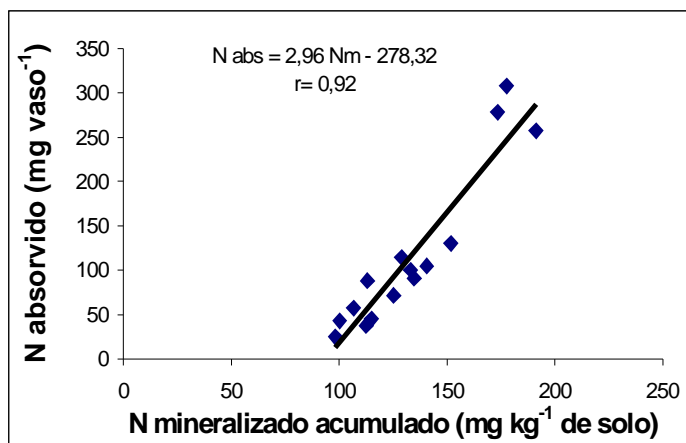


Figura 17. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

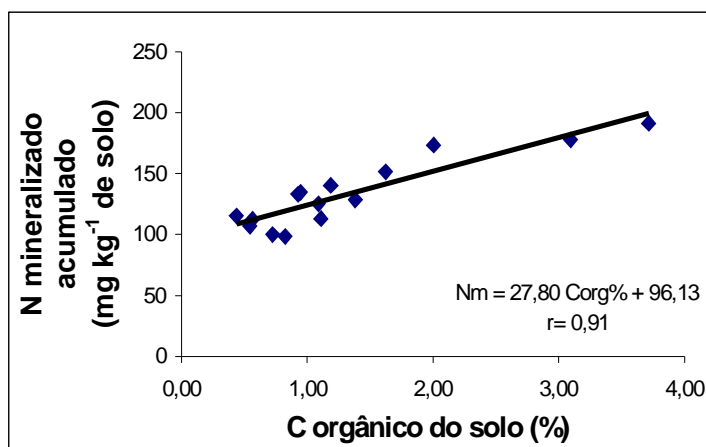


Figura 18. Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de C orgânico do solo.

Quando se avalia a correlação N mineralizado e N total do solo, obtém-se uma associação significativa ($r= 0,80$; $p<0,01$) (Figura 20).

Diversos são os trabalhos que mostram elevada e significativa correlação entre o N total do solo e o N mineralizado.

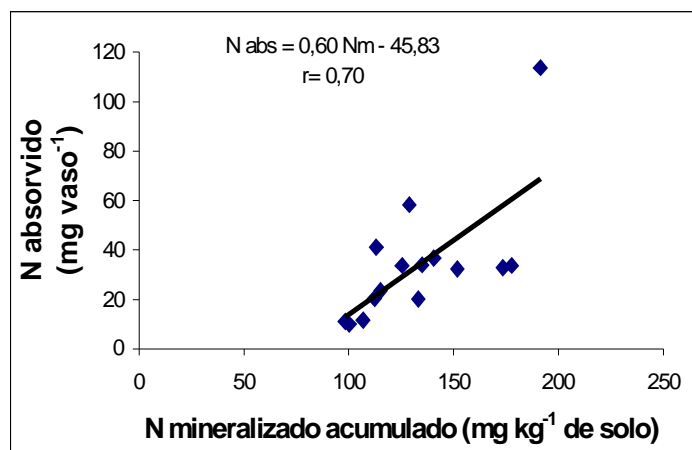


Figura 19. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Pöttker & Tedesco (1979) estudando a mineralização do N em diversos solos do RS observaram que a correlação entre o N total dos solos e o N mineralizado é maior do que as obtidas entre o N mineralizado e a MOS, 0,85 e 0,75, respectivamente. Desta forma, concluem que o teor de MOS e o teor de N total dos solos podem ser usados como índices da disponibilidade de N, pois apresentam alta correlação com ao N mineralizado anaerobiamente. Diversos autores argumentam que existe uma grande importância com relação ao conhecimento dos teores de MOS e de N total na predição do N potencialmente mineralizável, pois estes possuem elevada e significativa correlação (Pöttker & Tedesco et al., 1979; Silva et al., 1994; Inubushi et al., 1985; Camargo et al., 1997; Gonçalves et al., 2001; Li et al., 2003).

O teor de argila do solo também é um importante atributo de solo que deve ser considerado quando do estudo do N mineralizado, fato comprovado pela associação entre o teor de argila do solo e o N absorvido pelas plantas no primeiro e, principalmente, no segundo cultivo

de arroz irrigado.

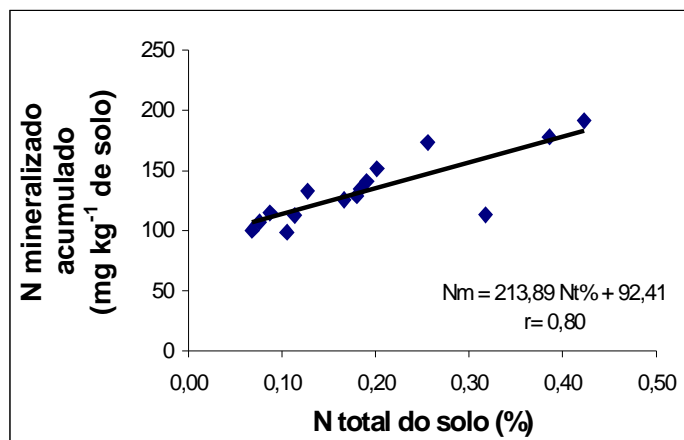


Figura 20. Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de N total do solo.

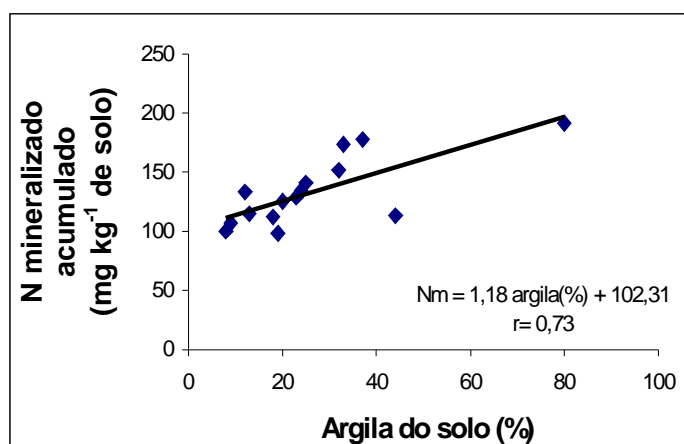


Figura 21. Correlação entre o teor de N mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia e o teor de argila do solo.

A correlação entre o teor de argila do solo e o N mineralizado foi, relativamente, alta e significativa ($r = 0,73$; $p < 0,01$) (Figura 21). Camargo et al. (1997) estudando o potencial de mineralização do N aerobiamente observaram que o teor de argila influenciou na percentagem de mineralização do N, o que está atrelado à formação de complexos organo-minerais entre a argila e a MOS.

4.3 Modelos matemáticos e a predição do potencial de mineralização anaeróbia do N em solos de várzea do RS

Os modelos matemáticos fazem uma tentativa de prever fatos passíveis de ocorrerem realmente, permitindo que partes de um sistema sejam modeladas e identificadas, utilizando dados empíricos ou observados que são ajustados a equações matemáticas (Leal & De-Polli, 1999). A utilização de modelos matemáticos visa estimar a mineralização do N orgânico, isto é, determinar o N potencialmente mineralizável, que é a fração do N orgânico do solo suscetível a mineralização (Camargo et al., 1997) em um determinado período de tempo. No presente trabalho foram utilizados os seguintes modelos matemáticos a fim de estimar o N potencialmente mineralizável e as taxas de mineralização: exponencial simples que considera somente um compartimento de N mineralizável (Stanford & Smith, 1972); exponencial simples que considera um compartimento de N mineral inicial (Jones, 1984); exponencial simples que considera dois compartimentos de N mineralizável (Cabrera, 1993); exponencial duplo que considera dois compartimentos de N mineralizável (Inubushi et al., 1985) e; parabólico (Broadbent, 1986).

O modelo proposto por Stanford & Smith é um exponencial simples que considera somente um compartimento de N potencialmente mineralizável, o qual é decomposto a uma taxa proporcional ao tamanho deste compartimento (Broadbent, 1986; Camargo et al., 2002), a partir de dados de N mineralizado em função do tempo. Este modelo apresentou elevado r^2 (0,986), com N_0 e k de 139,65 mg kg⁻¹ e 0,2058 semana⁻¹, respectivamente, na média dos quinze solos (Tabela 12).

Tabela 12. Parâmetros do modelo de Stanford & Smith (1972) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Solos	N_0 mg N kg ⁻¹	K semana ⁻¹	r	r ²	r ² aj	SQe	QMe	EPE
Camaquã	207,64	0,1492	0,992	0,985	0,984	1360,87	80,05	8,95
Dom Pedrito	117,32	0,2036	0,995	0,990	0,989	219,02	12,88	3,59
Uruguaiana 01	183,51	0,1984	0,997	0,994	0,993	327,17	19,24	4,39
Uruguaiana 02	181,59	0,1836	0,993	0,989	0,986	718,67	42,27	6,50
Caçapava	161,01	0,1881	0,990	0,980	0,979	1180,36	69,43	8,33
Sto Ant. Patrulha	147,64	0,1935	0,992	0,985	0,978	779,58	45,86	6,77
Santa Maria	138,41	0,2379	0,995	0,989	0,987	358,75	21,10	4,59
São Gabriel	132,59	0,2292	0,994	0,989	0,988	290,51	17,09	4,13
Cachoeirinha	130,47	0,2120	0,993	0,987	0,976	678,22	39,89	6,32
Restinga Seca	101,70	0,2313	0,992	0,984	0,983	281,89	16,58	4,07
Cachoeira 01	117,30	0,2096	0,991	0,983	0,973	613,66	36,10	6,01
Cachoeira 02	120,58	0,2132	0,992	0,984	0,977	534,35	31,43	5,61
Sta Vit. Palmar	137,09	0,2438	0,994	0,989	0,988	308,56	18,15	4,26
Rosário do Sul	112,44	0,2097	0,990	0,982	0,967	831,93	48,94	6,99
Paraíso do Sul	105,44	0,2133	0,990	0,982	0,967	732,07	43,06	6,56
Média	139,65	0,2058	0,993	0,986	0,981	614,37	36,14	5,80

N_0 = N potencialmente mineralizável; k= taxa de mineralização; r= coeficiente de correlação; r²= coeficiente de determinação; r² aj= coeficiente de determinação ajustado; SQe= soma de quadrados do erro; QMe= quadrado médio do erro; EPE= erro padrão estimado.

De modo geral, à medida que aumenta o N_0 menor é o valor de k , desta forma, solos com maiores valores de N_0 mineralizam N a uma taxa menor, porém, a mineralização poderá ocorrer por um maior período de tempo devido ao maior N_0 destes solos. Entretanto, os solos situados na posição intermediária da tabela 12 apresentaram elevados valores para a taxa de mineralização, o que demonstra que estes solos têm capacidade de mineralizar N mais rapidamente. O presente modelo foi eficiente em descrever o N_0 e o k para os solos de Uruguaiana 01 e de Dom Pedrito, os quais apresentaram os maiores valores de r^2 (0,994 e 0,990, respectivamente), além de baixos valores para os parâmetros SQe, QMe e EPE.

Os baixos valores de r^2 observados para os solos de Rosário do Sul e Paraíso do Sul indicam que este modelo não foi eficiente na estimativa do N_0 e do k (0,982 para ambos solos) (Tabela 12). O N_0 obtido pelo modelo de Stanford & Smith (1972) está alta e significativamente associado ao teor de C orgânico do solo ($r=0,91$, $p<0,01$), ao teor de N total do solo ($r=0,81$, $p<0,01$) e ao teor de N absorvido pelas plantas quando do primeiro cultivo ($r=0,93$, $p<0,01$) (Figura 22). Este comportamento reforça o fato de que o teor de C orgânico e de N total do solo são atributos importantes na estimativa da capacidade do solo em mineralizar N e do N_0 na estimativa do N absorvido por plantas de arroz irrigado, principalmente quando do primeiro cultivo. A correlação N_0 e o teor de argila do solo foi significativa, ($r=0,76$, $p<0,01$), evidenciando que o teor de argila do solo também possui grande importância quando da estimativa da capacidade do solo em mineralizar N.

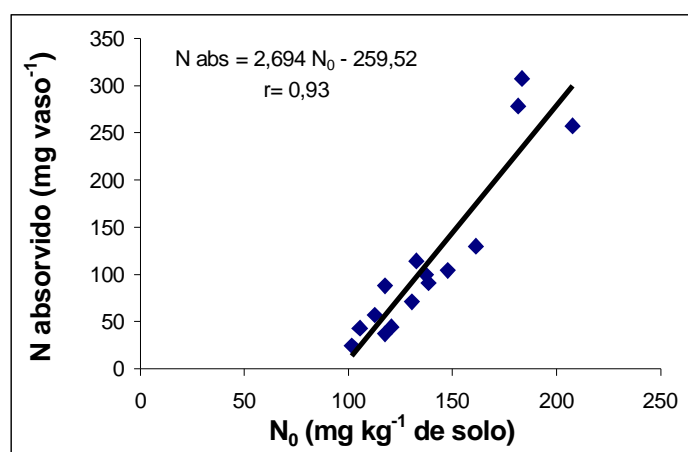


Figura 22. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e o N potencialmente mineralizável (N_0) estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972).

Também é evidenciada significativa correlação entre o N_0 e o N absorvido pelas plantas no segundo cultivo de arroz irrigado ($r=0,70$, $p<0,01$) (Figura 23). Entretanto, quando se exclui o solo de Camaquã, a correlação cai para 0,46 ($p<0,05$), demonstrando o comportamento diferenciado do segundo cultivo em relação ao primeiro.

A constante de mineralização do N (k) obtida pelo modelo de Stanford & Smith (1972) possui significativa correlação com o teor de C orgânico do solo ($r=0,71$, $p<0,01$) e com o teor de argila ($r=0,77$, $p<0,01$), sendo superior às correlações com as demais variáveis. Inubushi et al. (1985), estudando a decomposição da MOS em solos alagados e a aplicação de um modelo que propõe dois compartimentos de N mineralizável, comentam que a constante de mineralização está associada ao teor de argila do solo, e também, ao tipo de mineral de argila. Isto se deve a capacidade de interação da argila com a MOS, protegendo-a química e fisicamente, o que afeta a decomposição da MOS e, conseqüentemente, a taxa com que a mineralização do N ocorre.

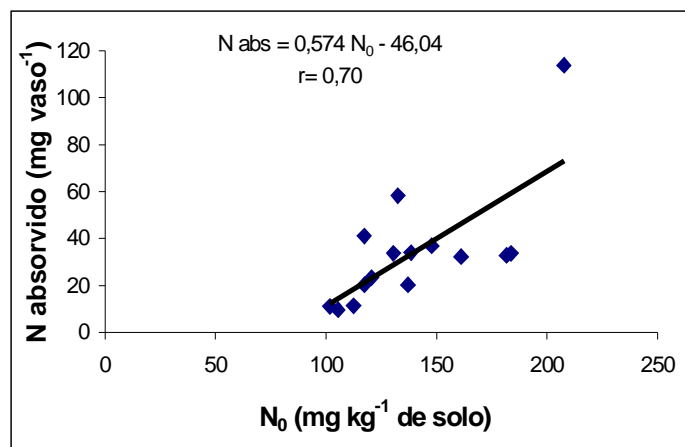


Figura 23. Correlação entre o teor N absorvido por plantas de arroz irrigado no segundo cultivo e o N potencialmente mineralizável estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972).

Como consequência, observa-se que, de modo geral, à medida que diminui o teor de C orgânico, de N total e de argila do solo, diminui o N_0 e aumenta o k (Tabela 12).

O modelo proposto por Inubushi et al. (1985) considera a existência dois compartimentos de N potencialmente mineralizável, cada um com uma taxa específica. Este modelo apresentou $r^2 = 0,987$, na média dos quinze solos estudados, pouco superior ao obtido com o modelo de Stanford & Smith (1972). Na média dos quinze solos estudados, a fração N_{0q} , que é a fração de mineralização rápida de N, apresentou $80,53 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo mineralizado a uma taxa de $0,2077 \text{ semana}^{-1}$. Já a fração N_{0s} , que é a fração lenta de mineralização do N, $59,06 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo de N mineralizado a uma taxa de $0,2077 \text{ semana}^{-1}$ (Tabela 13). Observando as taxas de mineralização do N, evidencia-se que apresentaram valores iguais, o que indica que não haveria dois compartimentos de N potencialmente mineralizável para os solos estudados. Este modelo foi pouco mais eficiente do que o modelo de Stanford & Smith (1972) na estimativa do N_0 e do k devido ao valor do r^2 , além de que, a igual taxa de mineralização para os dois

compartimentos indicaria que a mineralização do N ocorre em igual velocidade, não havendo compartimentos distintos de mineralização de N, principal vantagem deste modelo em relação ao anterior.

Kenney & Bremner (1966) *apud* Camargo et al. (1999b) avaliaram o N orgânico de 26 solos antes e após um ano de incubação e observaram que não houve diferença significativa entre o N orgânico e o amônio trocável recuperado entre os dois períodos de avaliação, confirmando a não contribuição da fração recalcitrante para com o N orgânico mineralizado. Camargo et al. (2002) comentam que durante as 32 semanas de incubação em ambiente aeróbio, também não houve contribuição da fração recalcitrante para com o balanço do N orgânico mineralizado, corroborando com as observações do presente trabalho.

Quando se faz a soma do N potencialmente mineralizável estimado dos dois compartimentos propostos pelo presente modelo ($80,53 + 59,06 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo de N mineralizado, $N_{0q} + N_{0s}$, respectivamente), obtêm-se um valor médio de $139,59 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo de N potencialmente mineralizável, mineralizado a uma taxa de $0,2077 \text{ semana}^{-1}$, sendo estes valores muito próximos aos estimados pelo modelo de Stanford & Smith (1972). Observa-se que o solo de Camaquã apresentou os maiores valores para os compartimentos de N mineralizável e o solo de Restinga Seca os menores valores, assim como o verificado quando do modelo de Stanford & Smith (1972). Os solos de Uruguaiana 01 e de Dom Pedrito foram os melhores no ajuste do modelo em estimar o N_0 e o k ($r^2 = 0,994$ e $0,992$, respectivamente), além de terem produzido baixos valores para os parâmetros SQe, QMe e EPE (Tabela 13).

Tabela 13. Parâmetros do modelo de Inubushi et al. (1972) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Solos	N_{0q} mg N kg ⁻¹	k_q semana ⁻¹	N_{0s} mg N kg ⁻¹	k_s semana ⁻¹	r	r ²	r ² aj	SQe	QMe	EPE
Camaquã	109,40	0,1491	98,27	0,1491	0,990	0,981	0,991	1360,88	90,72	9,52
Dom Pedrito	65,58	0,2036	51,74	0,2036	0,996	0,992	0,995	219,05	14,60	3,82
Uruguaiana 01	99,12	0,1984	83,39	0,1984	0,997	0,994	0,997	327,20	21,81	4,67
Uruguaiana 02	101,57	0,1836	80,02	0,1836	0,993	0,987	0,993	718,76	47,91	6,92
Caçapava	92,90	0,1880	68,14	0,1880	0,992	0,985	0,987	1180,36	78,69	8,87
Sto Ant. Patrulha	85,33	0,1934	62,32	0,1934	0,993	0,986	0,99	779,59	51,97	7,21
Santa Maria	85,52	0,2379	52,89	0,2379	0,994	0,988	0,994	358,74	23,92	4,89
São Gabriel	76,22	0,2291	56,37	0,2291	0,994	0,989	0,994	290,52	19,37	4,40
Cachoeirinha	75,71	0,2120	54,75	0,2120	0,993	0,987	0,988	678,22	45,21	6,72
Restinga Seca	62,68	0,2314	39,01	0,2314	0,994	0,988	0,992	281,91	18,79	4,33
Cachoeira 01	68,30	0,2097	48,99	0,2097	0,996	0,991	0,987	613,67	40,91	6,39
Cachoeira 02	70,17	0,2132	50,41	0,2132	0,995	0,990	0,989	534,36	35,62	5,98
Sta Vit. Palmar	85,64	0,2438	51,45	0,2438	0,994	0,989	0,995	308,56	20,57	4,53
Rosário do sul	66,83	0,2097	45,60	0,2097	0,991	0,982	0,982	831,92	55,46	7,44
Paraíso do Sul	62,91	0,2134	42,47	0,2134	0,991	0,983	0,981	732,09	48,80	6,98
Média	80,52	0,2077	59,05	0,2077	0,994	0,987	0,980	614,39	40,96	6,18

N_{0q} = N potencialmente mineralizável da fração lábil; k_q = taxa de mineralização da fração lábil; N_{0s} = N potencialmente mineralizável da fração recalcitrante; k_s = taxa de mineralização da fração recalcitrante.

Broadbent (1986) propôs um modelo parabólico que considera somente um compartimento de N potencialmente mineralizável a uma taxa b . Este modelo apresentou um r^2 de 0,786 (Tabela 14), na média dos quinze solos estudados, sendo o mais baixo dentre os modelos avaliados. O N potencialmente mineralizável estimado pelo modelo foi de 45,66 mg kg^{-1} de solo, inferior ao observado nos demais modelos e, a taxa de mineralização foi de 0,3855 semana^{-1} , muito superior à dos demais modelos, considerando a média dos quinze solos. Portanto, o modelo proposto por Broadbent (1986) foi o que apresentou os piores resultados para a estimativa do potencial de mineralização do N e da taxa de mineralização, mesmo que estes possam ser assumidos como estimativa preliminar do N_0 e da taxa de mineralização.

O N potencialmente mineralizável e a taxa de mineralização apresentaram baixa correlação com o N total e N absorvido pelas plantas, tanto no primeiro como no segundo cultivo de arroz irrigado. Assim como o verificado por Camargo et al. (2002), este modelo foi o mais inadequado dentre os modelos estudados para se estimar o N potencialmente mineralizável e as taxas de mineralização. No presente trabalho também foi observado que existe um desvio entre a curva estimada pelo modelo proposto por Broadbent (1986) e a curva efetivamente obtida a partir dos valores medidos experimentalmente, o que corrobora com os comentários de (Benbi & Richter, 2002). Os mesmos autores comentam que os valores de N mineralizado estimados pelos modelos de primeira ordem são subestimados quando do início e do final do período de incubação e, superestimados nos períodos intermediários. Entretanto, no presente trabalho observou-se situação contrária, onde os valores do N mineralizado foram superestimados quando do início e do final do período de incubação e subestimados em períodos intermediários.

Tabela 14. Parâmetros do modelo de Boadbert (1986) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Solos	A	b	r	r ²	r ² aj	SQe	Qme	EPE
	mg N kg ⁻¹	semana ⁻¹						
Camaquã	49,60	0,4773	0,897	0,805	0,745	7007,70	412,22	20,30
Dom Pedrito	38,99	0,3825	0,896	0,803	0,743	2186,09	128,59	11,34
Uruguaiana 01	60,80	0,3816	0,908	0,825	0,755	3894,50	229,09	15,13
Uruguaiana 02	54,04	0,4157	0,895	0,801	0,731	5493,09	323,12	17,97
Caçapava	48,45	0,4134	0,879	0,772	0,712	5891,46	346,56	18,61
Sto Ant. Patrulha	45,88	0,4037	0,885	0,783	0,787	4511,92	265,41	16,29
Santa Maria	52,37	0,3445	0,886	0,785	0,789	3610,34	212,37	14,57
São Gabriel	48,66	0,3537	0,894	0,800	0,805	3151,46	185,38	13,61
Cachoeirinha	43,79	0,3819	0,876	0,768	0,800	3942,53	231,91	15,23
Restinga Seca	37,14	0,3561	0,880	0,774	0,795	2248,11	132,24	11,50
Cachoeira 01	38,83	0,3863	0,881	0,776	0,796	3321,92	195,41	13,98
Cachoeira 02	40,98	0,3774	0,879	0,772	0,785	3310,57	194,74	13,95
Sta Vit. Palmar	53,09	0,3371	0,885	0,784	0,780	3521,45	207,14	14,39
Rosário do sul	37,02	0,3882	0,873	0,762	0,763	3582,48	210,73	14,52
Paraíso do Sul	35,30	0,3831	0,872	0,761	0,762	3192,25	187,78	13,70
Média	45,66	0,3855	0,886	0,786	0,770	3924,39	230,85	15,01

A= N potencialmente mineralizável; b= taxa de mineralização.

O modelo proposto por Cabrera (1993) descreve dois compartimentos de N potencialmente mineralizável. O valor do N potencialmente mineralizável (N_1) foi de 205,3 mg kg⁻¹ de solo, a taxa de mineralização do compartimento mais lábil (k_1) de 0,1504 semana⁻¹ e a taxa de mineralização do N do compartimento mais estável (k_0) ou recalcitrante foi negativa, de -2,7075 semana⁻¹, na média dos quinze solos estudados (Tabela 15). Este modelo apresentou elevado r^2 (0,987), não superior ao obtido pelo modelo de Inubushi et al. (1985), mas ligeiramente superior ao do modelo de Stanford & Smith (1972). Como o modelo considera dois compartimentos de N potencialmente mineralizável e o ajuste matemático do modelo se dá com base nesses dois compartimentos, o valor negativo da taxa de mineralização da fração recalcitrante indica que não há presença de um compartimento mais recalcitrante contribuindo com N mineralizado. O valor do N potencialmente mineralizável produzido por este modelo foi o maior dentre os modelos avaliados, além das menores taxa de mineralização para o compartimento mais lábil, o que foi devido ao valor negativo estimado para o k_0 , considerando que os valores foram estimados pelo ajuste da equação.

Tabela 15. Parâmetros do modelo de Cabrera (1993) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Solos	N ₁	k ₁	k ₀	R	r ²	r ² aj	SQe	QMe	EPE
	mg N kg ⁻¹	semana ⁻¹	semana ⁻¹						
Camaquã	505,38	0,0733	-9,7536	0,994	0,988	0,984	652,16	40,76	6,45
Dom Pedrito	152,81	0,1539	-1,6150	0,992	0,985	0,983	125,14	7,82	4,98
Uruguaiana 01	224,23	0,1598	-1,8509	0,993	0,987	0,980	209,18	13,07	3,78
Uruguaiana 02	261,18	0,1287	-3,3487	0,994	0,988	0,984	445,25	27,83	4,69
Caçapava	272,17	0,1147	-4,5514	0,993	0,986	0,975	719,10	44,94	5,23
Sto Ant. Patrulha	220,59	0,1302	-3,1324	0,996	0,993	0,980	506,65	31,66	5,27
Santa Maria	165,03	0,1936	-1,3455	0,996	0,992	0,986	245,09	15,31	4,59
São Gabriel	160,15	0,1846	-1,3612	0,995	0,991	0,980	187,46	11,72	4,03
Cachoeirinha	175,59	0,1550	-2,0946	0,992	0,985	0,982	495,11	30,94	5,11
Restinga Seca	127,10	0,1799	-1,2545	0,993	0,987	0,974	193,35	12,08	5,57
Cachoeira 01	162,25	0,1497	-2,0618	0,992	0,985	0,981	445,93	27,87	4,30
Cachoeira 02	168,41	0,1503	-2,2033	0,992	0,984	0,982	341,21	21,32	5,66
Sta Vit. Palmar	163,56	0,1978	-1,3529	0,991	0,983	0,981	188,15	11,76	4,55
Rosário do sul	166,24	0,1412	-2,4328	0,994	0,989	0,981	609,54	38,10	4,58
Paraíso do Sul	154,75	0,1441	-2,2542	0,994	0,988	0,982	531,94	33,25	6,25
Média	205,30	0,1504	-2,7075	0,994	0,987	0,981	393,02	24,56	5,07

N_{0q}= N potencialmente mineralizável; k₁= taxa de mineralização; k₀= taxa de mineralização da fração recalcitrante

O parâmetro N_1 do presente modelo apresentou elevada correlação com o N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo ($r= 0,84$; $p<0,01$), com o C orgânico ($r= 0,83$; $p<0,01$) e argila ($r= 0,86$; $p<0,01$) e, mediana correlação com o N total ($r= 0,70$; $p<0,01$). Já o k_1 não apresentou adequadas correlações com os atributos de solo e nem com o N absorvido em ambos cultivos. O k_0 apresentou elevada correlação somente com a argila do solo ($r= 0,80$; $p<0,01$).

Este modelo, assim como o de Inubushi et al. (1985) permite sugerir que, para os quinze solos estudados em incubação anaeróbia durante um período de 24 semanas, não houve duas fases de mineralização do N e que a fração mais estável da MOS não foi decomposta neste período ou apresentou pequena contribuição para com o N mineralizado.

O modelo proposto por Jones (1984) considera a presença de um compartimento de N mineral inicial (N_1) e uma fração ativa de mineralização do N (N_2) em função do tempo a uma taxa k_2 (Camargo et al., 2002). Os valores para o N_1 , na média dos quinze solos, foi de $-8,45$ mg N kg^{-1} de solo, o que evidencia que não se apresentou um compartimento de N mineral inicial para os solos estudados. Benbi & Richter (2002) comentam que valores negativos poderiam indicar que está ocorrendo uma potencial imobilização do N do solo, que pode estar relacionada à decomposição da fração mais lábil da MOS e incorporação do N na biomassa microbiana. A fração ativa N_2 apresentou valores de $146,8$ mg N kg^{-1} de solo e a taxa de mineralização valores de $0,2248$ semana $^{-1}$, na média dos quinze solos (Tabela 16). O r^2 foi o maior dentre os modelos avaliados (0,988).

O presente modelo apresentou elevada eficiência na estimativa dos parâmetros para os solos de Uruguaiana 02, de Restinga Seca e de Cachoeira 01 e 02, o que se deve ao elevado r^2 (0,993, 0,993, 0,992, e 0,992 respectivamente). Avaliando os parâmetros N_1 e N_2 do presente modelo, constata-se que a subtração do parâmetro N_2 pelo parâmetro N_1

produz resultados semelhantes com relação ao valor do N_0 estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972). Este fato poderia indicar que, para os solos estudados, o N_0 estimado pelo modelo de Stanford & Smith (1972) seria o valor mais correto na predição do N potencialmente mineralizável, não havendo uma potencial imobilização inicial de N nos solos, como conceitua o modelo de Jones (1984) e nem dois compartimentos de mineralização do N, além de que, o modelo de Stanford & Smith (1972) é mais simples em função do número de parâmetros e apresenta, relativo, elevado r^2 .

Correlacionando-se os parâmetros estimados pelo presente modelo com os atributos de solo e o N absorvido pelas plantas, constatou-se que N mineral inicial do modelo (N_1) não se correlacionou eficientemente com nenhum dos atributos de solo ou N absorvido pelas plantas, todos os r^2 relativamente baixos.

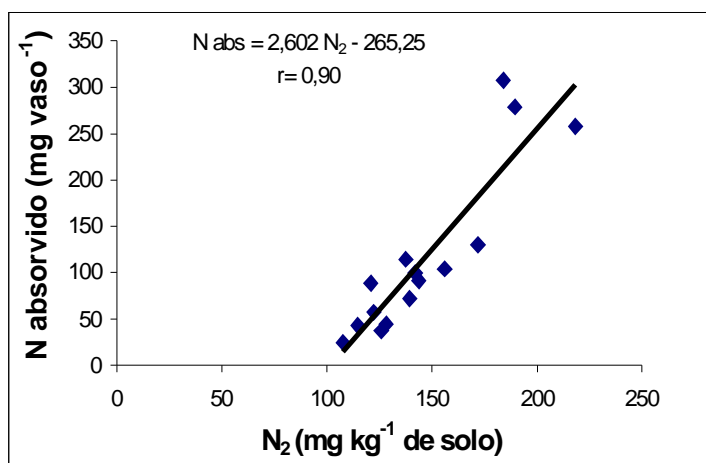


Figura 24. Correlação entre o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo e a fração ativa do N potencialmente mineralizável (N_2) estimada pelo modelo de Jones (1984).

Entretanto, a fração ativa do N mineralizado (N_2) apresentou elevada correlação com o N absorvido pelas plantas no primeiro cultivo (0,90; $p < 0,01$) (Figura 24) e com o C orgânico do solo (0,90; $p < 0,01$) e,

menor correlação com o N total do solo (0,78; $p < 0,01$), argila, (0,76; $p < 0,01$) e N absorvido pelas plantas no segundo cultivo (0,71; $p < 0,01$).

Entretanto, quando se exclui o solo de Camaquã, a correlação cai para 0,43 ($p < 0,05$), demonstrando o comportamento diferenciado do segundo cultivo em relação ao primeiro, assim como o evidenciado quando da aplicação do parâmetro N_0 do modelo de Stanford & Smith (1972). Para os demais parâmetros as correlações foram inferiores às acima comentadas.

O parâmetro N_2 , que descreve a fração ativa do N mineralizado, foi um dos parâmetros do modelo que melhor se correlacionou com o teor de N absorvido pelas plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo (Figura 25). Camargo et al. (1999, *apud* Camargo et al., 1999b) avaliando a correlação dos parâmetros de mineralização do N e a absorção de N pelo milho em dez solos do RS, observaram que o parâmetro N_2 descrito por Jones foi o que melhor se correlacionou com a absorção de N pelo milho. Entretanto, no presente trabalho, o parâmetro N_0 descrito por Stanford & Smith (1972) como o N potencialmente mineralizável foi o que melhor se correlacionou com o N absorvido pelas plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo.

Tabela 16. Parâmetros do modelo de Jones (1984) obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Solos	N ₁	N ₂	k ₂	r	r ²	r ² aj	SQe	QMe	EPE
	mg N kg ⁻¹	mg N kg ⁻¹	semana ⁻¹						
Camaquã	-14,47	218,28	0,1667	0,994	0,989	0,985	962,18	60,14	5,85
Dom Pedrito	-4,16	120,82	0,2136	0,994	0,988	0,984	190,14	11,88	4,05
Uruguaiana 01	-0,59	183,98	0,1993	0,994	0,989	0,985	326,59	20,41	4,17
Uruguaiana 02	-9,89	189,65	0,1982	0,996	0,993	0,989	546,95	34,18	4,20
Caçapava	-12,84	171,87	0,2086	0,994	0,988	0,984	893,11	55,82	6,08
Sto Ant. Patrulha	-10,16	156,22	0,2118	0,994	0,989	0,985	603,43	37,71	5,42
Santa Maria	-6,12	143,82	0,2511	0,995	0,991	0,987	300,42	18,78	5,22
São Gabriel	-5,63	137,51	0,2417	0,992	0,984	0,980	240,44	15,03	4,25
Cachoeirinha	-10,31	139,45	0,2337	0,994	0,989	0,985	504,23	31,51	5,19
Restinga Seca	-6,74	107,67	0,2505	0,996	0,993	0,989	210,42	13,15	5,12
Cachoeira 01	-9,94	125,95	0,2327	0,996	0,992	0,988	450,95	28,18	4,66
Cachoeira 02	-8,63	128,12	0,2328	0,996	0,992	0,988	411,78	25,74	5,81
Sta Vit. Palmar	-5,66	142,12	0,2563	0,994	0,989	0,985	259,26	16,20	5,25
Rosário do sul	-11,13	122,24	0,2358	0,989	0,978	0,974	626,22	39,14	4,98
Paraíso do Sul	-10,40	114,65	0,2394	0,989	0,978	0,974	553,41	34,59	6,35
Média	-8,44	146,82	0,2248	0,994	0,988	0,984	471,97	29,50	5,11

N₁= N mineral inicial; N₂= N potencialmente mineralizável; k₂= taxa de mineralização.

De modo geral, as taxas de mineralização do N obtidas no presente trabalho foram superiores às evidenciadas na literatura para solos de outros países, entretanto, próximas às encontradas por Camargo et al. (2002) para os solos do RS. As altas taxas de mineralização também podem ter sofrido efeito da manipulação das amostras quando em pré-incubação, o que pode ter favorecido a mineralização do N no período inicial de incubação e após esta ter entrado numa fase de estabilização, quando comparada ao período inicial. Por este motivo, Stanford & Smith (1972) recomendam negligenciar as duas primeiras semanas de incubação a fim de iniciar os cálculos de mineralização do N, enquanto que Matar et al. (1991 *apud* Camargo et al., 2002) iniciaram os cálculos de mineralização do N a partir da quarta semana de incubação.

Li et al. (2003) comentam que a rápida mineralização inicial seguida da diminuição do teor de N mineralizado após o décimo quarto dia seriam efeitos da manipulação dos solos. Entretanto, os autores afirmam que o solo onde se cultiva o arroz irrigado passa por ciclos de alagamento e secagem na prática, e isso poderia ser um efeito semelhante ao da manipulação dos solos quando em pré-incubação, portanto, não seria justificável ignorar o N mineralizado inicialmente, fato que levou a não negligenciar as primeiras semanas de incubação no presente trabalho, iniciando seus cálculos a partir da primeira semana de incubação.

Avaliando os cinco modelos estudados na estimativa do N_0 e do k para um período de incubação anaeróbia de 24 semanas, verifica-se que o modelo de Jones (1984) apresentou o maior valor para o parâmetro r^2 (0,988), já o modelo de Cabrera (1993) apresentou r^2 de 0,987, assim como o modelo de Inubushi et al. (1985), o modelo de Stanford & Smith (1972) apresentou r^2 de 0,986 e, o menor valor para o r^2 foi obtido pelo modelo de Broadbent (1986) (0,786) (Tabela 17). Estes resultados evidenciam que os modelos exponenciais simples foram os mais eficientes em estimar o N_0 e o k , na média dos quinze solos estudados, e

destes, o modelo de Jones (1984), que considera um compartimento de N mineral inicial, foi o que melhor estimou o parâmetro N potencialmente mineralizável e a taxa de mineralização. Camargo et al. (1999b) comentam que os modelos exponenciais duplos não estimam frações do N do solo e, por isso, não recomendam seu uso. Camargo et al. (2002), ao avaliarem modelos empíricos para prever o N_0 e o k observaram que os modelos exponenciais duplos não melhoram a estimativa do N_0 e do k em relação aos exponenciais simples, além de que, os modelos com mais de três parâmetros não produziram os melhores resultados devido ao baixo número de graus de liberdade (Tabela 17), corroborando aos resultados observados.

O modelo de Broadbent (1986) foi o que apresentou o pior resultado dentre os modelos testados, fato verificado pelo baixo r^2 , além dos elevados valores para os parâmetros SQe, QMe e EPE (Tabela 17), que confirmam a ineficiência deste modelo em estimar o N potencialmente mineralizável e as taxas de mineralização.

Na média dos quinze solos estudados, o modelo de Stanford & Smith (1972) apresentou adequado r^2 , mas não o maior dentre os modelos avaliados, sendo semelhante ao obtido nos modelos de Cabrera (1993) e Inubushi et al. (1985), além de que, os parâmetros estatísticos SQe, QMe e principalmente o EPE, considerados elevados, também contribuíram para que este modelo não fosse o mais eficiente em prever o N_0 e o k (Tabela 17).

Inubushi et al. (1985) propôs um modelo que conceitua dois compartimentos de N mineralizável a fim de estimar o N potencialmente mineralizável e as taxas de mineralização, entretanto, os valores de r^2 , SQe, QMe e EPE sugerem que este modelo também não é o mais adequado para os solos objetos de estudo, apresentando somente adequada eficiência em estimar o N_0 e o k (Tabela 17).

O modelo de Cabrera (1993) apresentou resultados semelhantes aos do modelo de Inubushi et al. (1985) com relação ao r^2 , entretanto, os

menores valores para a SQe, QMe e EPE revelaram que o modelo de Cabrera (1993) foi mais eficiente em estimar o N potencialmente mineralizável do que os modelos supracitados (Tabela 17).

Jones (1984) propôs um compartimento de N mineral inicial e este modelo foi o mais eficiente em estimar o N potencialmente mineralizável e as taxas de mineralização, pois apresentou o maior valor para o r^2 , além de baixos valores para os parâmetros SQe, QMe e EPE (Tabela 17), o que indica que este modelo foi o mais eficiente na estimativa do N potencialmente mineralizável e das taxas de mineralização para a média dos quinze solos objetos de estudo.

Tabela 17. Resumo dos parâmetros dos modelos obtidos pelo ajuste do N orgânico mineralizado acumulado em 24 semanas de incubação anaeróbia.

Modelos	Fração do N_0 mg N kg ⁻¹	Fração k semana ⁻¹	A	r	r ²	r ² aj	GLe	SQe	QMe	EPE
Stanford & Smith	$N_0 = 139,65$	$k = 0,2058$	2	0,993	0,986	0,981	17	614,37	36,14	5,80
Inubushi et al.	$N_{0q} = 80,53$ $N_{0s} = 59,06$	$k_s = 0,2077$ $k_s = 0,2077$	4	0,994	0,987	0,980	15	614,37	40,96	6,18
Broadbent	$A = 45,67$	$b = 0,3855$	2	0,886	0,786	0,770	17	3924,39	230,85	15,01
Cabrera	$N_1 = 205,29$	$k_0 = -2,7070$ $K_1 = 0,1504$	3	0,994	0,987	0,981	16	393,02	24,56	5,07
Jones	$N_1 = -8,45$ $N_2 = 146,83$	$k_2 = 0,2248$	3	0,994	0,988	0,984	16	471,97	29,50	5,11

5. CONCLUSÕES

1) Os solos de várzea do RS apresentaram diferente potencial de mineralização do N, sendo a absorção de N no primeiro cultivo de arroz (posterior a um ciclo aeróbio) relacionada com o teor de C orgânico do solo, associado também com os teores de argila e de N total do solo, enquanto a absorção de N no segundo cultivo de arroz (posterior a um ciclo anaeróbio com plantas) foi relacionada com o teor de argila dos solos. Dessa forma, o teor de C orgânico é um importante atributo de solo na estimativa do teor de N absorvido por plantas de arroz, entretanto, não deve ser o único atributo de solo considerado para se avaliar a disponibilidade de N no solo e o teor de N absorvido por plantas de arroz irrigado por inundação.

2) Os teores de N mineral inicial ($N-NH_4$ e $N-NO_3$) nos solos de várzea do RS, gerados em condições aeróbias precedentes ao alagamento do solo, afetaram a disponibilidade de N e a conseqüente absorção deste nutriente por plantas de arroz irrigado por inundação. Entretanto, esses atributos isoladamente não são eficazes na estimativa do N absorvido por planta de arroz irrigado.

3) O modelo de Jones (1984) foi o mais eficiente em estimar o N potencialmente mineralizável e a taxa de mineralização em diferentes solos de várzea do RS. O parâmetro N_0 (N potencialmente mineralizável) do modelo de Stanford & Smith (1972) foi o que melhor se correlacionou com o N absorvido por plantas de arroz irrigado no primeiro cultivo, enquanto que o parâmetro N_2 (fração ativa do N potencialmente mineralizável) do modelo de Jones (1984) foi o que melhor se correlacionou com o N absorvido pelas plantas no segundo cultivo. A taxa de mineralização do N do modelo de Stanford & Smith (1972) (k) está altamente associado ao teor de argila dos solos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C; HUBNER, A. P.; ANTONIOLLI, Z.I; FRIES, R.M. **Microbiologia agrícola**. Santa Maria, 2003, 121 p, mimeografado.
- ALEXANDER, M. Mineralization and immobilization of nitrogen. In: ALEXANDER, M. (ed) **Introduction to soil microbiology**, 4. ed. New York: John Wiley, 1967. p. 248-271.
- AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI Jr, F. J.; MAGALHÃES Jr. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr, A. M. (eds) **Arroz irrigado no sul do Brasil**, 1. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44.
- BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 50, p. 151-208, 1993.
- BENBI, D.; RICHTER, J. A critical review of some approaches to modelling nitrogen mineralization. **Bio. Fertil. Soils**, v.35, p. 168-183, 2002.
- BLACK, C. A. Nitrogen: Mineralization and immobilization. In: BLACK, C. A. (ed) **Soil-Plant Relationship**, 2. ed. New York, John Wiley, 1968. p. 419-452.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (DNPEA. Boletim técnico, 30).
- BROADBENT, F. E. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. **Soil Sci.**, Baltimore, v.141, p. 208-213, 1986.
- CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p. 63-66, 1993.
- CAMARGO, F. A., O. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <andersonrhoden@mail.ufsm.br> em 15 Fev. 2004.
- CAMARGO, F. A., O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; RIBOLDI, J.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. **Ciência Rural**, v.12, n.3, p. 393-399, 2002.

- CAMARGO, F. A., O.; SANTOS, G. A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, v.29, n.1, p. 171-179, 1999a.
- CAMARGO, F. A., O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F.A., O., SANTOS, F.A. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre, Gênese, 1999b, p.117-137.
- CAMARGO, F. A., O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.21, p. 575-579, 1997.
- CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, P. C.; STA CRUZ, P. C.; GINES, G. C.; et al. Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. **Plant and Soil**, v.182, p. 267-278, 1996.
- CASSMAN, K. G.; MUNNS, D. N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.44, p. 1233-1237, 1980.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400 p.
- DEANS, Jr., MOLINA, J. A. E.; CLAPP, C. E. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.50, p. 323-326, 1986.
- DOLMAT, M. T.; PATRICK, W. H.; PETERSON, F. J. Relation of available soil nitrogen to rice yield. **Soil Sci.**, v.129, p. 229-237, 1980.
- EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.25, p. 601-616, 2001.
- HERBERT, R. A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. **FEMS Microbiology Reviews**, v.23, p. 563-590, 1999.
- INUBUSCHI, K.; WADA, H.; TAKAI, Y. Easily decomposable organic matter in paddy soil. VI. Kinetics of nitrogen mineralization in submerged soils. **Soil Sci. Plant Nutrition**, Tokyo, v.4, p. 563-572, 1985.

- IRGA. **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Disponível em: <URL: http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra>. Acesso em: 15 Nov. 2004.
- JONES, A. Estimation of an active fraction of soil nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15, p. 23-32, 1984.
- KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. **Agronomy J.**, v.58, september-october, p. 498-503, 1966.
- KILHAM, O.; ALEXANDER, M. A basis for organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. **Adv. Appl. Microbiol.**, p. 419-427, 1984.
- KUNDU, D. K.; LADHA, J. K. Effect of growing rice on nitrogen mineralization in flooded soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.61, p. 839-845, 1997.
- LEAL, M. A. A.; DE-POLLI, H. Aplicação de modelos ao estudo da matéria orgânica. In: CAMARGO, F.A., O., SANTOS, F.A. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre, Gênese, 1999, p. 245-263.
- LI, H., HAN, Y., CAI, Z. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu region of China under anaerobic conditions: dynamic and model fitting. **Geoderma**, v. 115, p. 161-175, 2003.
- LIESACK, W.; SCHNELL, S., REVSBECH, N. P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, v.24, p. 625-645, 2000.
- LINDEMANN, W. C.; CARDENAS, M. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.48, p. 1072-1077, 1984.
- LOPES, S. I. G.; LOPES, M. S.; MACEDO, V. R. M. Efeito do tipo de grânulo de uréia e época de aplicação para a cultivar IRGA 416. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 163-166.
- MACHADO, M. O.; DIAS, A. D. Resposta do arroz irrigado (cv. Bluebelle) ao nitrogênio, em cinco anos de cultivo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14., 1985, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 241-249.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

- MARUMOTO, T. Microbial nitrogen fixation and its availability to rice plants as revealed with the use of ^{15}N in Japan. In: Tropical Agriculture Research Center (ed) **Behavior of nitrogen in paddy soils and rice plants. A review on ^{15}N studies in Japan.** v.20, n.2, 1986, p. 108-114.
- MOLINA, J. A. E.; CLAPP, C. E.; LARSON, W. E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v.4, p. 442-443, 1980.
- NELSON, O. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D.R. (eds) **Methods of soil analysis.** Madison: ASA/SSSA, 1982, p. 539-594.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa:UFV. 339p., 1999.
- PARENTONI, S. N.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v.12, p. 225-229, 1988.
- PATRICK JR., W. H. Nitrogen transformations in submerged soils. In: (ed) **Nitrogen in Agriculture Soils.** Madison, Wisconsin, EUA, p. 449-465, 1982.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p. 29-96, 1972.
- PONNAMPERUMA, F. N. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. **Los Bãnos: IRRI**, 32p. Research Paper Serie, 1977.
- PÖTTKER, D.; TEDESCO, M. J.; Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.3, p. 20-24, 1979.
- RANNO, S. K. **Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS.** 2004. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- SAS System Institute. **Sas procedure guide.** Release 6,03. Edition Cary, NC: SAS Institute Inc., 441 p. 1988.
- SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR, A. M. (eds) **Arroz irrigado no sul do Brasil**, 1^o ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004, p. 259-303.

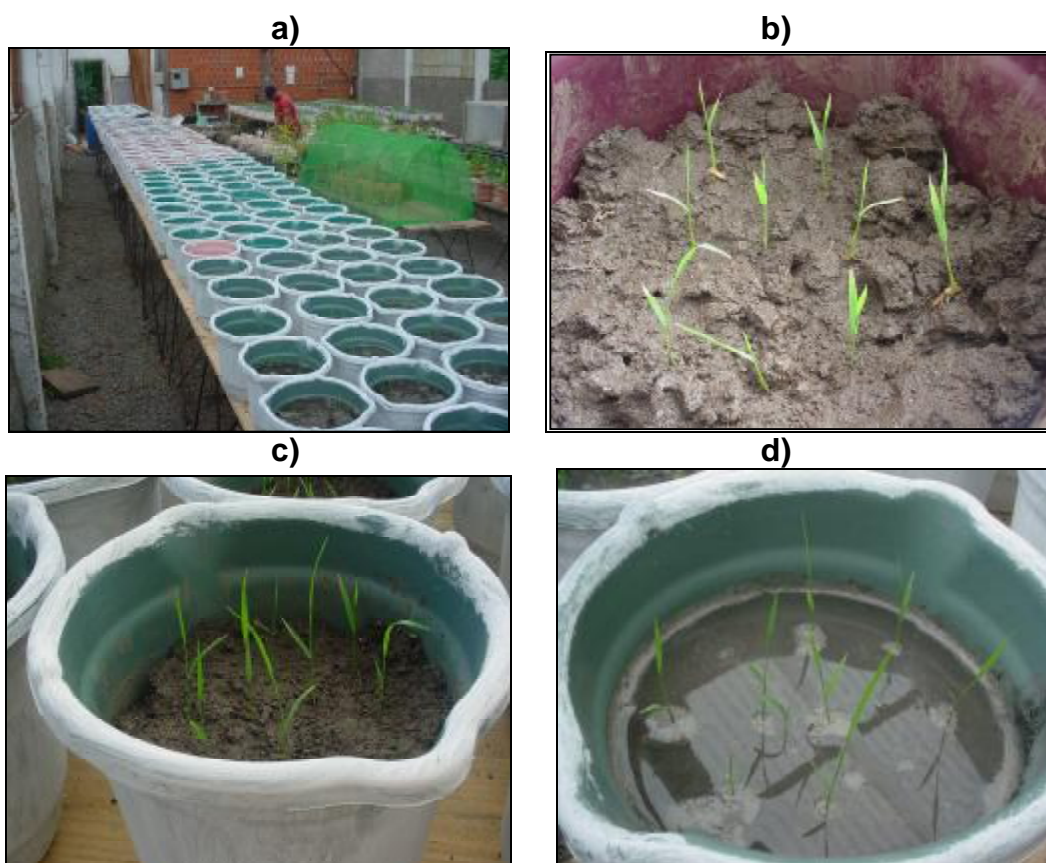
- SILVA, C. A.; VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. L. G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p. 471-476, 1994.
- SOUSA, R. O.; GOMES, A. S.; VAHL, L. C. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR, A. M. (eds) **Arroz irrigado no sul do Brasil**, 1º ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004, p. 305-337.
- SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados. In: Meurer, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre:Gênesis, 2000, p. 126-149.
- SOUSA, R. O.; GOMES, A. S.; DIAS, A. D.; MACHADO, M. O. Efeito do manejo do nitrogênio na cultura do arroz irrigado semeado em plantio direto. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 19.; 1991, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** EMPASC, p.148-152, 1991.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.36, p. 465-472, 1972.
- STANFORD, G. & LEGG, J. O. Correlation of soil N availability indexes with N uptake by plants. **Soil Sci.**, v.105, n.5, p. 320-326, 1968.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:UFRGS, 2002, 107p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. (eds.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 119-162.
- VAHL, L. C.; LOPES, S. I. G. Nutrição de plantas. In: PESQUE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. (eds.) **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 1998. p. 149-206.
- WATANABE, I. Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Organic Matter and Rice**. Los Baños: IRRI, 1984.

7. ANEXOS

Anexo 01. Ilustrações demonstrando a coleta do solo (a), secagem ao ar (b), incubação com calcário em sacos plásticos (c) e abertura semanal dos sacos plásticos (d).



Anexo 02. Ilustração demonstrando os vasos contendo os solos (a), plântulas de arroz logo após o transplante (b) e plantas de arroz antes e após o alagamento (c,d).



Anexo 03. Coleta da parte aérea das plantas de arroz irrigado (massa fresca) 60 dias após o transplante para os vasos.



Anexo 04. Incubadora vertical onde se realizou a incubação anaeróbica durante 24 semanas.



Anexo 05. Suportes de madeira e os tubos contendo os solos para incubação anaeróbia.



Anexo 06. Aparato utilizado na coleta da solução de alagamento dos solos incubados anaerobiamente por 24 semanas.



Anexo 07. Destilação em destilador semi-micro Kjeldhal.



Anexo 08. Massa seca das plantas de arroz irrigado dos dois cultivos sucessivos nos 15 solos objetos de estudo.

Solos	Massa seca das plantas		Solos	Massa seca das plantas	
	1º cultivo	2º cultivo		1º cultivo	2º cultivo
	-----g vaso ⁻¹ -----			-----g vaso ⁻¹ -----	
Camaquã	20,74	10,39	São Gabriel	10,26	2,45
Camaquã	19,45	9,03	São Gabriel	9,64	1,14
Camaquã	20,94	15,63	Cachoeirinha	10,70	2,29
Camaquã	21,53	6,26	Cachoeirinha	10,78	4,78
Dom Pedrito	10,31	4,38	Cachoeirinha	10,6	4,44
Dom Pedrito	9,30	3,86	Cachoeirinha	10,70	2,69
Dom Pedrito	10,27	1,48	Restinga Seca	3,46	1,61
Dom Pedrito	10,06	2,61	Restinga Seca	3,13	1,14
Uruguaiana 01	19,25	0,96	Restinga Seca	3,16	1,04
Uruguaiana 01	21,57	2,83	Restinga Seca	3,14	1,43
Uruguaiana 01	29,01	2,25	Cachoeira 01	4,37	3,92
Uruguaiana 01	20,92	2,73	Cachoeira 01	3,98	1,12
Uruguaiana 02	24,34	3,77	Cachoeira 01	5,06	1,89
Uruguaiana 02	22,64	1,87	Cachoeira 01	4,09	1,41
Uruguaiana 02	22,75	2,39	Cachoeira 02	6,30	4,24
Uruguaiana 02	24,04	2,69	Cachoeira 02	6,27	1,71
Caçapava	14,09	4,64	Cachoeira 02	5,82	3,64
Caçapava	14,01	3,51	Cachoeira 02	6,43	1,43
Caçapava	13,75	3,35	S. V. do Palmar	13,01	2,78
Caçapava	13,05	2,90	S. V. do Palmar	12,87	2,56
S. A. da Patrulha	12,49	3,65	S. V. do Palmar	13,03	2,02
S. A. da Patrulha	11,89	4,35	S. V. do Palmar	10,84	2,83
S. A. da Patrulha	11,73	1,85	Rosário do Sul	6,19	1,55
S. A. da Patrulha	11,60	2,67	Rosário do Sul	8,82	1,79
Santa Maria	9,14	2,72	Rosário do Sul	7,94	1,49
Santa Maria	9,39	2,47	Rosário do Sul	6,19	1,74
Santa Maria	10,42	3,69	Paraíso do Sul	5,27	1,08
Santa Maria	10,10	2,83	Paraíso do Sul	5,30	1,41
São Gabriel	10,70	5,02	Paraíso do Sul	4,52	1,64
São Gabriel	10,01	2,65	Paraíso do Sul	4,81	1,06

8. APÊNDICES

Apêndice 01. Teor de N mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.

Tempo	Cama- quã	Dom Pedrito	Urug 01	Urug 02	Caça- pava	Sto Ant Pat.	Santa Maria	São Gabriel	Cacho- eirinha	Rest. Seca	Cacho- eira 01	Cacho- eira 02	Sta Vit. Palmar	Rosário	Paraíso
Semanas	-----mg kg ⁻¹ de solo-----														
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	19,12	21,31	41,46	24,15	16,93	18,44	25,34	23,68	14,99	13,49	12,35	15,92	26,13	10,79	10,14
2	35,16	31,76	55,88	41,47	34,83	34,09	42,86	39,88	29,51	29,02	25,26	29,39	43,40	21,99	22,11
3	59,25	46,69	73,79	63,95	55,74	52,36	61,24	57,37	51,18	44,41	45,39	47,45	64,27	40,08	38,03
4	83,61	61,72	94,48	88,75	76,40	72,08	82,79	77,78	73,63	61,30	65,63	65,64	82,51	62,01	58,25
5	105,78	74,45	112,94	110,31	95,75	92,43	100,11	93,93	90,36	72,41	80,65	81,79	99,42	78,96	73,51
6	123,58	85,40	127,82	126,61	112,94	107,21	110,37	102,87	99,19	79,82	88,89	91,64	109,18	86,56	82,80
7	138,91	93,19	139,83	138,27	127,48	118,44	117,73	110,35	107,31	86,04	96,51	99,82	117,65	93,51	88,93
8	151,43	98,14	149,67	146,04	136,38	124,15	122,40	115,25	112,44	90,00	100,71	104,60	122,55	98,17	93,13
9	161,85	101,91	157,12	152,17	140,84	127,94	126,07	119,21	116,05	92,70	104,15	108,16	126,05	100,86	95,47
10	169,59	105,21	162,31	157,77	143,53	130,86	128,91	122,71	118,80	94,36	106,89	110,73	128,50	103,13	96,87
11	176,24	107,64	166,69	161,64	146,12	133,34	130,08	124,06	120,25	95,12	107,94	111,93	129,72	103,84	97,65
12	180,10	108,90	169,17	163,91	147,38	135,34	130,96	124,98	121,26	95,82	108,92	112,81	130,48	104,47	98,25
13	182,81	109,71	171,44	166,10	148,36	136,56	131,66	125,84	122,08	96,44	109,64	113,36	131,04	105,05	98,66
14	185,27	110,47	173,33	168,14	149,16	137,58	132,34	126,54	122,82	96,92	110,24	113,78	131,58	105,55	99,04
16	187,51	111,17	174,59	169,88	149,86	138,51	133,00	127,22	123,52	97,32	110,82	114,18	132,08	105,89	99,38
18	189,01	111,85	175,69	171,48	150,52	139,31	133,60	127,77	124,18	97,70	111,38	114,52	132,46	106,19	99,68
21	190,23	112,52	176,71	172,68	151,14	139,99	134,18	128,29	124,83	98,00	111,92	114,82	132,80	106,47	99,90
24	191,34	113,12	177,69	173,54	151,72	140,54	134,74	128,79	125,41	98,30	112,34	115,08	133,10	106,71	100,10

Apêndice 02. Teor de N-NH₄ mineralizado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.

Tempo	Cama- quã	Dom Pedrito	Urug 01	Urug 02	Caça- pava	Sto Ant Pat.	Santa Maria	São Gabriel	Cacho- eirinha	Rest. Seca	Caho- eira 01	Cacho- eira 02	Sta Vit. Palmar	Rosário	Paraíso
Semanas	-----mg kg ⁻¹ de solo-----														
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	5,12	1,87	3,82	5,95	4,64	4,75	4,19	3,55	3,17	2,05	3,17	2,99	2,80	3,17	3,46
2	7,87	2,05	6,96	7,52	7,63	8,18	7,25	3,92	3,55	5,41	4,67	4,29	6,53	4,67	5,75
3	17,02	6,97	11,90	15,94	11,96	11,20	11,67	9,00	12,83	7,62	12,00	10,46	10,27	11,90	9,37
4	19,42	9,73	14,50	18,26	15,00	13,54	15,36	14,40	17,50	11,76	12,64	12,53	14,00	16,80	15,63
5	20,22	9,90	16,34	19,26	16,00	14,69	11,66	10,67	11,43	7,98	10,43	10,14	11,43	13,07	11,90
6	17,10	9,36	13,46	15,06	14,86	12,66	8,32	7,17	7,23	6,00	7,00	8,09	8,17	6,18	8,23
7	14,80	6,37	10,86	10,69	13,03	9,37	5,60	6,07	6,88	5,06	6,65	6,77	7,06	6,07	5,60
8	12,07	4,24	9,19	7,76	8,90	5,72	4,67	4,90	5,13	3,97	4,20	4,78	4,90	4,67	4,20
9	10,42	3,77	7,45	6,13	4,46	3,79	3,67	3,97	3,62	2,70	3,44	3,56	3,50	2,68	2,33
10	7,74	3,30	5,18	5,60	2,68	2,92	2,83	3,50	2,74	1,66	2,74	2,57	2,45	2,27	1,40
11	6,65	2,42	4,38	3,86	2,59	2,48	1,17	1,34	1,46	0,76	1,05	1,20	1,22	0,71	0,78
12	3,86	1,26	2,48	2,27	1,26	1,99	0,88	0,92	1,00	0,70	0,98	0,88	0,76	0,63	0,60
13	2,71	0,82	2,27	2,20	0,98	1,22	0,70	0,86	0,82	0,62	0,72	0,55	0,56	0,58	0,41
14	2,46	0,76	1,90	2,04	0,80	1,02	0,68	0,70	0,74	0,48	0,60	0,42	0,54	0,50	0,38
16	2,24	0,70	1,26	1,74	0,70	0,93	0,66	0,68	0,70	0,40	0,58	0,40	0,50	0,34	0,34
18	1,50	0,68	1,10	1,60	0,66	0,80	0,60	0,55	0,66	0,38	0,56	0,34	0,38	0,30	0,30
21	1,22	0,66	1,02	1,20	0,62	0,68	0,58	0,52	0,65	0,30	0,54	0,30	0,34	0,28	0,22
24	1,11	0,60	0,98	0,86	0,58	0,55	0,56	0,50	0,58	0,30	0,42	0,26	0,30	0,24	0,20

Apêndice 03. Teor de N-NH₄ mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.

Tempo	Cama- quã	Dom Pedrito	Urug 01	Urug 02	Caça- pava	Sto Ant Pat.	Santa Maria	São Gabriel	Cacho- eirinha	Rest. Seca	Caho- eira 01	Cacho- eira 02	Sta Vit. Palmar	Rosário	Paraíso
Semanas	-----mg kg ⁻¹ de solo-----														
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	5,12	1,87	3,82	5,95	4,64	4,75	4,19	3,55	3,17	2,05	3,17	2,99	2,80	3,17	3,46
2	13,00	3,92	10,78	13,48	12,28	12,94	11,44	7,47	6,72	7,47	7,84	7,28	9,33	7,84	9,20
3	30,01	10,89	22,68	29,41	24,24	24,14	23,10	16,47	19,55	15,09	19,84	17,74	19,60	19,74	18,58
4	49,43	20,62	37,17	47,68	39,24	37,67	38,46	30,87	37,05	26,85	32,48	30,27	33,60	36,54	34,21
5	69,65	30,52	53,52	66,94	55,24	52,36	50,13	41,53	48,48	34,83	42,90	40,41	45,03	49,60	46,11
6	86,75	39,88	66,98	82,00	70,09	65,02	58,44	48,71	55,72	40,83	49,90	48,50	53,20	55,79	54,34
7	101,54	46,26	77,84	92,69	83,12	74,39	64,04	54,78	62,60	45,89	56,55	55,27	60,25	61,85	59,94
8	113,62	50,49	87,03	100,45	92,03	80,11	68,71	59,67	67,73	49,86	60,75	60,05	65,15	66,52	64,14
9	124,03	54,26	94,48	106,58	96,49	83,90	72,38	63,64	71,35	52,56	64,19	63,61	68,65	69,20	66,47
10	131,77	57,56	99,67	112,19	99,18	86,82	75,22	67,14	74,09	54,21	66,94	66,17	71,10	71,48	67,87
11	138,42	59,98	104,05	116,05	101,77	89,30	76,38	68,48	75,55	54,97	67,99	67,37	72,32	72,19	68,65
12	142,28	61,24	106,53	118,32	103,03	91,29	77,26	69,40	76,55	55,67	68,97	68,25	73,08	72,82	69,25
13	145,00	62,06	108,80	120,52	104,01	92,51	77,96	70,26	77,37	56,29	69,69	68,80	73,64	73,40	69,66
14	147,46	62,82	110,70	122,56	104,81	93,53	78,64	70,96	78,11	56,77	70,29	69,22	74,18	73,90	70,04
16	149,70	63,52	111,96	124,30	105,51	94,46	79,30	71,64	78,81	57,17	70,87	69,62	74,68	74,24	70,38
18	151,20	64,20	113,06	125,90	106,17	95,26	79,90	72,19	79,47	57,55	71,43	69,96	75,06	74,54	70,68
21	152,42	64,87	114,08	127,10	106,79	95,94	80,48	72,71	80,13	57,85	71,97	70,26	75,40	74,82	70,90
24	153,53	65,47	115,06	127,96	107,37	96,49	81,04	73,21	80,71	58,15	72,39	70,52	75,70	75,06	71,10

Apêndice 04. Teor de N-NO₃ mineralizado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.

Tempo	Cama- quã	Dom Pedrito	Urug 01	Urug 02	Caça- pava	Sto Ant Pat.	Santa Maria	São Gabriel	Cacho- eirinha	Rest. Seca	Cahoe -ira 01	Cachoe- ira 02	Sta Vit. Palmar	Rosário	Paraíso
Semana	-----mg kg ⁻¹ de solo-----														
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	14,00	19,44	37,64	18,20	12,29	13,69	21,15	20,13	11,82	11,44	9,18	12,93	23,33	7,62	6,69
2	8,17	8,40	7,47	9,80	10,27	7,47	10,27	12,29	10,97	10,11	8,24	9,18	10,73	6,53	6,22
3	7,07	7,95	6,01	6,54	8,95	7,07	6,72	8,48	8,84	7,78	8,13	7,60	10,61	6,19	6,54
4	4,95	5,30	6,19	6,54	5,66	6,19	6,19	6,01	4,95	5,13	7,60	5,66	4,24	5,13	4,60
5	1,94	2,83	2,12	2,30	3,36	5,66	5,66	5,48	5,30	3,13	4,60	6,01	5,48	3,89	3,36
6	0,71	1,59	1,41	1,24	2,33	2,12	1,94	1,77	1,59	1,41	1,24	1,77	1,59	1,41	1,06
7	0,53	1,41	1,15	0,97	1,50	1,86	1,77	1,41	1,24	1,15	0,97	1,41	1,41	0,88	0,53
8	0,45	0,72	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Apêndice 05. Teor de N-NO₃ mineralizado acumulado num período de 24 semanas de incubação anaeróbia, para os 15 solos objetos de estudo.

Tempo	Cama- quã	Dom Pedrito	Urug 01	Urug 02	Caça- pava	Sto Ant Pat.	Santa Maria	São Gabriel	Cacho- eirinha	Rest. Seca	Cahoe -ira 01	Cachoe- ira 02	Sta Vit. Palmar	Rosário	Paraíso
Semanas	-----mg kg ⁻¹ de solo-----														
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	14,00	19,44	37,64	18,20	12,29	13,69	21,15	20,13	11,82	11,44	9,18	12,93	23,33	7,62	6,69
2	22,17	27,84	45,11	28,00	22,55	21,15	31,42	32,42	22,79	21,55	17,42	22,11	34,06	14,15	12,91
3	29,24	35,80	51,12	34,54	31,50	28,22	38,14	40,90	31,63	29,33	25,55	29,71	44,67	20,34	19,45
4	34,18	41,10	57,30	41,08	37,16	34,41	44,32	46,91	36,57	34,45	33,15	35,36	48,91	25,47	24,05
5	36,13	43,93	59,43	43,38	40,52	40,07	49,98	52,39	41,88	37,58	37,75	41,37	54,39	29,36	27,40
6	36,84	45,52	60,84	44,61	42,85	42,19	51,92	54,16	43,47	39,00	38,99	43,14	55,98	30,77	28,47
7	37,37	46,93	61,99	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
8	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
9	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
10	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
11	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
12	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
13	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
14	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
16	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
18	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
21	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00
24	37,82	47,65	62,64	45,59	44,35	44,04	53,69	55,57	44,71	40,15	39,96	44,56	57,40	31,65	29,00