AVALIAÇÃO DA MINERALIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE
NITROGÊNIO PARA O TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
EM SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA
Químico

Orientador: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agro-
nomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 1987

048a

Oliveira, Sebastião Alberto de
Avaliação da mineralização e disponibi-
dade de nitrogênio para o trigo (*Triticum*
aestivum L.) em solos do Distrito Federal.
Piracicaba, 1987.
128p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Nitrogenio em solo. 2. Nitrogênio em
trigo. 3. Relação solo-planta. 4. Solo-Ni-
trogênio- Disponibilidade. 5. Tese. 6. Trigo-
Adubação nitrogenada - Modelo matemático. I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba.

CDD 631.4105817
633.1109817

AVALIAÇÃO DA MINERALIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE
NITROGÊNIO PARA O TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
EM SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA

Aprovada em 17.9.1987

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Toshiaki Kinjo	ESALQ/USP
Prof. Dr. Eurípedes Malavolta	CENA/USP
Prof. Dr. Antônio Roque Dechen	ESALQ/USP
Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl	ESALQ/USP
Dr. Heitor Cantarella	IAC

Prof. Dr. Toshiaki Kinjo
Orientador

A minha esposa Cristina
e aos meus filhos
Gabriel e Felipe,
dedico.

A
Nini
Ailton
José Domingos
D. Tereza
Juracy Freire
D. Sindá
Tia Nora,
Nerinha,
ofereço.

AGRADECIMENTOS

O autor é grato:

À Universidade de Brasília através do Departamento de Engenharia Agrônômica pelas facilidades oferecidas;

ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e ao Decanato de Pesquisa e Pós-graduação da UnB pela ajuda financeira;

ao Prof. Dr. Toshiaki Kinjo pela orientação na execução deste trabalho;

a minha esposa e aos meus filhos pelo apoio, paciência e compreensão que tiveram para comigo durante o desenvolvimento desse trabalho;

aos colegas Francisco S. Wechsler e Rui R. Fontes pelas valiosas sugestões apresentadas;

ao amigo e inventor Joaquim F. Lima pela construção e consertos dos microdestiladores;

aos colegas Fernando Neves, Casuhê, Eyiti Kato, Tânia Mara, e aos funcionários Wanderci, Sr. Jorge, Sr. Agnelo, Otacílio, José Pinto e Afonso, por todo tipo de ajuda que me foi prestada;

aos contemporâneos de doutorado na ESALQ, Aldi Fernandes S. França, Celso Luiz Prevedello, Francisco Maximiano Fernandes, Hércio Andrade, Huberto J. Kliemann, José Carlos Fachinello, José Carlos N. Epiphany, José Ubirajara Fontoura, Morel Pereira Barbosa Filho, Newton Bueno e aos pesquisadores do CE-NA, Dr. Boaventura Reis, Dr. Elias Zagatto e Dr. Virgílio F. Nascimento Filho pela felicidade da nossa amizade.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xiii
<i>CURRICULUM VITAE</i>	xiv
RESUMO	xvi
SUMMARY	xix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Fatores que afetam a disponibilidade de ni- trogênio no solo	6
2.1.1. Umidade	6
2.1.2. Temperatura	8
2.1.3. Lixiviação	9
2.1.4. Textura	11
2.1.5. Profundidade do solo	12
2.1.6. Matéria orgânica	14
2.1.7. Atividade microbiana	15

2.2.Avaliação da disponibilidade de nitrogênio	
no solo	17
2.2.1.Época de amostragem	18
2.2.2.Nitrogênio potencialmente mineralizável	19
2.2.2.1.Métodos biológicos	19
2.2.2.2.Métodos químicos	21
2.2.3.Nitrogênio inorgânico	34
2.4.Determinação da necessidade de adubação	34
3.MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1.Local dos experimentos	38
3.2.Amostragem e análise de solos	38
3.3.Testes de incubação	43
3.3.1.Incubação no laboratório	43
3.3.2.Incubação no campo	44
3.4.Teste de correlação	44
3.4.1.Absorção de nitrogênio pelo trigo	44
3.4.2.Métodos químicos para avaliação do nitrogênio facilmente mineralizável	45
3.4.2.1.Extração com $\text{KMnO}_4/\text{NaOH}$	45
3.4.2.2.Extração com $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$	46
3.4.2.3.Extração com H_2O_2	46
3.4.2.4.Extração com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$	47
3.4.2.5.Extração com H_2O_2 com uma noite de repouso	47

3.4.2.6.Extração com H_2O_2/MnO_2	48
3.4.2.7.Extração com Mehlich1	48
3.4.2.8.Extração com Na_2PO_4 /bórax	
Tampão pH=11,2	48
3.4.2.9.Extração com KCl 2M 100°C	49
3.4.2.10.Extração com KCl 2M 100°C/	
Tampão pH=11,2	49
3.5.Resposta do trigo à adubação nitrogenada	50
3.6.Análise estatística	51
3.6.1.Testes de incubação	51
3.6.2.Teste de correlação	52
3.6.3.Resposta do trigo à adubação nitro- genada	53
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1.Teste de incubação no laboratório	54
4.2.Teste de incubação no campo	69
4.3.Teste de correlação	72
4.4.Resposta do trigo à adubação nitrogenada	89
5.CONCLUSÕES	101
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
7.APÊNDICE	126

LISTA DE FIGURAS

Núm.	Título	Pág.
1	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 1.....	55
2	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 2.....	55
3	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 3.....	55
4	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 4.....	56
5	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 5.....	56
6	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 6.....	56
7	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 7.....	57
8	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 8.....	57
9	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 9.....	57
10	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 10.....	58
11	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 11.....	58
12	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 12.....	58
13	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 13.....	59
14	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 14.....	59

15	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 15.....	59
16	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 16.....	60
17	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 17.....	60
18	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 18.....	60
19	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 19.....	61
20	Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo número 20.....	61
21	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores iniciais de N-NO ₃	79
22	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores iniciais de N-NH ₄	79
23	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores iniciais de N-NH ₄ (incubação 6 semanas + inicial).....	79
24	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH ₄ (incubação 6 semanas no campo + inicial).....	80
25	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função do nitrogênio potencialmente mineralizável (No) MOLINA <i>et alii</i> (1980)	80
26	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N _f min (MOLINA <i>et alii</i> , 1980) N-NH ₄ inicial.....	80
27	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH ₄ extraídos com H ₂ O ₂ /MnO ₂	81
28	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH ₄ extraídos com tampão pH=11,2.....	81

29	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH ₄ extraídos com KCl 2M 100°C	81
30	Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH ₄ extraídos com KCl 2M 100°C / tampão pH=11,2.....	82
31	Teores de N-NH ₄ (inc. 6 sem.lab. + inicial) em função de Nfmin(MOLINA et alii, 1980) + N-NH ₄ inicial.....	82
32	Teores de N-NH ₄ (inc. 6 sem. lab. + inicial) em função de N-NH ₄ extraído com H ₂ O ₂ / MnO ₂	82
33	Teores de N-NH ₄ (inc. 6. sem. lab. + inicial) em função do N-NH ₄ extraído com tampão pH=11,2.....	83
34	Teores de N-NH ₄ (inc. 6 sem. lab. + inicial) em função de N-NH ₄ extraído com KCl 2M 100°C	83
35	Teores de N-NH ₄ (inc. 6 sem. lab. + inicial) em função de N-NH ₄ extraído com KCl 2M 100°C /tampão pH=11,2.....	83
36	Teores de Nfmin (MOLINA et alii, 1980) + N-NH ₄ inicial) em função de N-NH ₄ extraído com H ₂ O ₂ /MnO ₂	84
37	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. mineralizado por incubação durante 6 semanas.....	84
38	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com H ₂ O ₂ /MnO ₂ ..	84
39	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa N org. extraído com tampão pH=11,2.....	85
40	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com KCl 2M 100°C....	85
41	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa pra N org. extraído com KCl 2M 100°C /tampão pH=11,2.....	85
42	Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para Nfmin (MOLINA et alii, 1980).....	86

43	Efeito dos níveis de N sobre a produção do trigo.....	90
44	Efeito dos níveis de N sobre a produção de matéria seca do trigo.....	90
45	Efeito dos níveis de N sobre a eficiência biológica para a produção de grãos.....	90
46	Efeito do nitrogênio absorvido sobre a produção de grãos.....	93
47	Produção de grãos em função do N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) na prof. 0-25 cm extraído com KCl 1M.....	93
48	Produção de grãos em função do N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M.....	93
49	Produção de grãos em função do N(NH_4) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 1M.....	94
50	Produção de grãos em função do N(NH_4) na prof. 0-50 cm extraído com KCl 1M.....	94
51	Produção de grãos em função do N(NO_3) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 1M.....	94
52	Produção de grãos em função do N(NO_3) na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M.....	95
53	Produção de grãos em função do N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 2M 100°C	95
54	Produção de grãos em função do N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) na prof.de 0-50 cm extraído com KCl 2M 100°C.....	95
55	Produção de grãos em função do N(NH_4) na prof. de 0-25 cm extraído com solução tampão pH=11,2.....	96
56	Produção de grãos em função do N(NH_4) na prof. de 0-50 cm extraído com solução tampão pH=11,2.....	96
57	Produção de grãos em função do N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 1M e solução tampão pH=11,2.....	96

58	Produção de grãos em função do $N(NO_3+NH_4)$ na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M e solução tampão pH=11,2.....	97
59	Produção de grãos em função do $N(NO_3+NH_4)$ na prof. de 0-25 cm extraído com H_2O_2/MnO_2	97
60	Produção de grãos em função do $N(NO_3+NH_4)$ na prof. de 0-50 cm extraído com H_2O_2/MnO_2	97
61	Relação entre os níveis críticos de prod. grãos (eixo x) e prod.grãos/Nabs (eixo y) obtidos com as diferentes doses de nitro- gênio.....	98

LISTA DE TABELAS

Núm.	Título	Pág.
1	Solos do Distrito Federal utilizados nos testes de incubação e correlação.....	39
2	Análise física dos solos após a calagem utilizados nos testes de incubação e correlação....	39
3	Análise química dos solos após a calagem utilizados nos testes de incubação e correlação....	41
4	Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por STANFORD & SMITH (1972) para os diferentes solos.....	65
5	Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por MOLINA <i>et alii</i> (1980).....	66
6	Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por INUBUSHI <i>et alii</i> (1985) para os diferentes solos.....	67
7	Teores de nitrogênio mineralizado em função do tempo em incubação de campo.....	71
8	Matriz de correlação linear entre os diferentes métodos de extração de nitrogênio orgânico e trocável do solo.....	73
9	Valores de alfa para os diferentes métodos de avaliação do N orgânico facilmente mineralizável.....	87
10	Efeito dos níveis de N na produção de matéria seca e de grãos.....	89
11	Efeito dos níveis de nitrogênio na concentração e absorção de N,P,K pelo trigo.....	91
12	Níveis críticos de N($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) (ppm) no solo e coeficientes de regressão linear para os diferentes extratores.....	100

CURRICULUM VITAE

Sebastião Albeto de Oliveira é natural de Arraias - GO, onde concluiu o curso primário no Grupo Escolar "Silva Dourado" (1958/62). Coursou o ciclo ginásial no Ginásio Anchieta, Silvânia - GO (1963/67), e o ciclo científico no Centro de Ensino Médio "Elefante Branco", Brasília - DF e no Colégio Dom Bosco, Goiânia-Go (1970). Graduou-se em Química (1975) pelo Departamento de Química da Universidade de Brasília. Agraciado com uma bolsa de pós-graduação pelo governo mexicano, em 1978 obteve o título de *Maestro em Ciencias Especialista en Suelos*, concedido pelo Colegio de Postgraduados da Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo - México, tendo defendido a tese :*La influencia del boro en el crecimiento y nutrición mineral del Phaseolus vulgaris L..* Em 1979 foi contratado pelo Departamento de Engenharia Agrônômica da UnB na qualidade de Professor Assistente, para a área de Solos, tendo sido responsável pela montagem e funcionamento do Laboratório de Química do Solo no referido departamento. Atualmente além das atividades de pesquisa, é o principal responsável pela disciplina de Fertilidade e Biologia do Solo. Foi professor orientador de sete dissertações (Projeto Final) através dos quais os alunos obtém o título de Engenheiro Agrônomo, tendo participado de mais de vinte bancas examinadoras de projetos finais. Até o presente momento tem publicados sete

trabalhos científicos e três comunicações técnicas, além de um trabalho aceito para publicação, e quatro a serem submetidos à publicação. Atualmente desenvolve trabalhos sobre manejo de nitrogênio mineral e orgânico no solo, como também sobre balanço nutricional, e especiação iônica em meio aquoso.

AVALIAÇÃO DA MINERALIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE
NITROGÊNIO PARA O TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
EM SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

Autor: SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA

Orientador: Prof.Dr. TOSHIAKI KINJO

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivos: (a) avaliar a mineralização do nitrogênio proveniente da matéria orgânica de solos do Distrito Federal, em condições de campo e de laboratório; (b) estudar a correlação entre o nitrogênio absorvido pelo trigo e o nitrogênio do solo mediante o uso de diferentes extratores químicos e métodos de incubação; (c) elaborar uma matemática para a determinação da necessidade de adubação nitrogenada para o trigo em função dos teores de nitrogênio do solo. Para tanto foram conduzidos quatro experimentos: (a) incubação dos solos em condições de laboratório; (b) incubação dos solos em sacos plásticos enterrados no campo; (c) estudo de correlação utilizando o trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. BH-1146 como planta teste; (d) resposta do trigo à adubação nitrogenada.

No primeiro experimento observou-se que alguns solos apresentaram uma mineralização do tipo logarítmica, enquanto que um segundo grupo apresentou um comportamento linear, e um terceiro do tipo "crescimento logístico". O modelo matemático proposto por STANFORD & SMITH (1972) foi o que apresentou os maiores valores para o desvio padrão residual (DPR), além de subestimar o nitrogênio potencialmente mineralizável (No). O modelo indicado por MOLINA *et alii* (1980) resultou ser o melhor em virtude dos baixos valores do desvio padrão residual (DPR), além de prever a existência de dois "pools" de nitrogênio orgânico no solo. O modelo de INUBUSHI *et alii* (1985) apresentou as desvantagens do nitrogênio facilmente mineralizável estimado (Nfmin) resultar negativo nos solos com um período inicial de latência (fase lag), e por descrever um processo descontínuo com os dois componentes do modelo comportando-se de maneira independente.

O nitrogênio mineralizado em condições de campo apresentou um comportamento bastante variável. Conclui-se que a metodologia utilizada não é para se avaliar o nitrogênio potencialmente mineralizável (No) em condições de campo para um tempo de incubação maior que seis semanas.

Dentre os extratores químicos testados os que apresentaram maiores coeficientes de correlação linear com o nitrogênio mineralizado no processo de incubação durante seis semanas em condições de laboratório foram: NaOH 0,25N

($r=0,970$); KCl 2M 100°C /tampão pH=11,2 ($r=0,963$); KCl 2M 100°C ($r=0,959$); solução tampão pH=11,2 ($r=0,939$) e H_2O_2/MnO_2 ($r=0,925$). Todos estes extratores apresentaram altos ($p>0,01$) coeficientes de correlação linear entre si. Entretanto, com relação ao nitrogênio absorvido pelo trigo, os coeficientes de correlação múltipla obtidos foram: KCl 2M 100°C ($R=0,817$); H_2O_2/MnO_2 ($R=0,810$); tampão pH=11,2 ($R=0,792$) e KCl 2M 100°C /tampão pH=11,2 ($R=0,742$).

No experimento de adubação nitrogenada em condições de campo, observaram-se altas correlações entre a produtividade de grãos e o nitrogênio (mineral e orgânico) nas profundidades de 0-25 cm e 0-50 cm, extraídos com KCl 2M 100°C , tampão pH=11,2 e H_2O_2/MnO_2 . O nível crítico (NC) calculado pelo modelo linear-platô (BRAGA, 1983) variou com a profundidade e extrator utilizado.

EVALUATION OF NITROGEN MINERALIZATION AND AVAILABILITY
FOR WHEAT (*Triticum aestivum* L.) IN SOILS OF
THE FEDERAL DISTRICT

Author: SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA

Adviser: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

SUMMARY

The objectives of the present work were: (a) to evaluate the mineralization of nitrogen from organic matter in soils of the Federal District of Brazil, under field and laboratory conditions; (b) to study the correlation between absorbed nitrogen and available soil nitrogen determined by means of different extractants and incubation methods; (c) to develop a mathematical function to determine the need for nitrogen fertilization for wheat as a function of soil nitrogen content. Four experiments were conducted as follows: (a) soil incubation under laboratory conditions; (b) soil incubation in buried plastic bags in the field; (c) correlation studies using wheat (cultivar BH-1146) as test plant; (d) response of wheat to nitrogen fertilization.

In the first experiment it was observed in some soils a logarithmic mineralization, while other soils showed a linear trend and some others showed a logistic trend. The mathematical model proposed by STANFORD & SMITH (1972) showed the largest standard deviation and underestimated the potentially mineralizable nitrogen. The model proposed by MOLINA *et alii* (1980) proved to be the best, because it showed a small residual deviation, besides allowing for the existence of two organic nitrogen pools. The model of INUBUSHI *et alii* (1985) had the following disadvantages: (a) the estimates of easily mineralizable nitrogen turned out negative in soils showing an initial lag phase; (b) it describes a discontinuous process where the two components of the model behave independently.

Nitrogen mineralization under field conditions showed a highly variable behavior. It was concluded that the methodology used is not adequate for evaluating potentially mineralizable nitrogen under field conditions when incubation time exceeds six weeks.

The extractants showing the highest correlations with mineralized nitrogen (six-week incubation in the lab) were the following: .025N NaOH ($r=.970$); 2M KCl 100°C /buffer pH=11.2 ($r=.963$); 2M KCl 100°C ($r=.959$); buffer solution pH=11.2 ($r=.939$) and H_2O_2/MnO_2 ($r=.925$). These extractants showed high ($p < .01$) correlations among themselves. However, the multiple correlation coefficients between absorbed ni-

trogen and extracted nitrogen were: 2M KCl 100°C (R=.817); H_2O_2/MnO_2 (R=.810); buffer solution pH=11.2 (R=.792) and 2M KCl 100°C /buffer pH=11.2 (R=.742).

In the nitrogen fertilization field trial, high correlations were observed between grain yield and soil nitrogen- (mineral and organic) at the depth ranges of 0-25 cm and 0-50 cm, as extracted with 2M KCl 100°C , buffer solution pH=11.2 or H_2O_2/MnO_2 . The critical level estimated by means of a linear-plateau model (BRAGA,1983) varied according to soil depth and extractant.

1. INTRODUÇÃO

A decomposição da matéria orgânica do solo é de fundamental importância para o desenvolvimento vegetal, pois mediante esse processo ocorre o fornecimento de macro e micronutrientes às plantas.

Dentre os nutrientes mineralizados encontra-se o nitrogênio. Não seria exagerado afirmar que sua deficiência no solo, é o principal fator limitante do crescimento das plantas pois estas o necessitam em grandes quantidades (BLACK, 1975 e MALAVOLTA, 1977, p.31).

Segundo HARDY *et alii* (1975) o aumento da produção de alimentos no mundo, está frequentemente relacionada à adição de nitrogênio ao solo, através de adubos verdes, fixação biológica e fertilizantes nitrogenados.

TRUOG (1954) foi talvez o primeiro pesquisador a avaliar a disponibilidade de nitrogênio no solo, extraído com $K_2Cr_2O_7/Na_2CO_3$, como índice para recomendação de adubação nitrogenada.

Provavelmente devido aos baixos preços do petró-

leo, e por conseguinte dos fertilizantes nitrogenados, os trabalhos sobre nitrogênio do solo não despertavam maiores interesses.

No entanto, com o advento dos conflitos bélicos no Oriente Médio em 1947, a eminência de uma possível escassez de petróleo no ocidente fez com que a partir de 1970 diversos países da Europa e América do Norte intensificassem as pesquisas sobre a avaliação de N do solo.

Com a alta nos preços do petróleo em 1973, e consequentemente dos fertilizantes nitrogenados, os trabalhos sobre a dinâmica de N no solo tiveram grande impulso.

Prova disto é o fato do livro "Soil Nitrogen" publicado em 1965 pela Sociedade Americana de Ciência do Solo ter apresentado poucos trabalhos sobre a avaliação da disponibilidade de N no solo. Enquanto que a última edição sobre o assunto ("Nitrogen in Agricultural Soils", 1982), apresentar um extenso capítulo escrito pelo Dr. George Stanford, intitulado "Assessment of soil nitrogen availability".

Em janeiro de 1982, em Leuven (Bélgica) foi realizado um congresso com a participação de países europeus, sobre o tema "Assessment of the nitrogen status of the soils".

O interesse pelo estudo do N do solo, ficou também evidenciado no último Simpósio Internacional Sobre Eletro - ultrafiltração, realizado em 1984 em Tulln (Áustria), no qual foram apresentados oito trabalhos sobre a avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo.

A decomposição da matéria orgânica do solo é geralmente o processo mais importante de suprimento natural de nitrogênio para as plantas. A contribuição da fixação biológica de nitrogênio, somente reveste-se de importância em se tratando de leguminosas (SUHET *et alii*, 1986).

De acordo com SALCEDO *et alii* (1985), a baixa resposta da cana planta à adubação nitrogenada, se deve à mineralização do N orgânico, que ocorre no período de pousio entre a colheita da última soca e o novo plantio. O nitrogênio produzido neste período, mais aquele mineralizado ao longo do ciclo da cultura, constituem as principais fontes de N para a cana-de-açúcar. Segundo os autores, solo de tabuleiro - costeiro da zona da mata de Pernambuco, apresenta um potencial de mineralização de 265 kgN/ha/ano, o suficiente para atender as necessidades da cana-de-açúcar, justificando assim a falta de resposta à adubação nitrogenada.

O fato da cana soca apresentar resposta mais frequente à adubação nitrogenada em relação à cana planta (CAVALCANTI *et alii*, 1979), poderia ser explicado pela redução de N mineral no perfil do solo ao final do ciclo da cana planta (SALCEDO & SAMPAIO, 1984), associada à possível diminuição na taxa de mineralização de N orgânico no decorrer do ciclo. Esta queda seria causada pelo esgotamento do carbono facilmente utilizável, já que a dinâmica de N está estreitamente relacionada com a do carbono (McGRILL & CHRISTIE, 1983 citado por SALCEDO *et alii*, 1985).

Em experimentos realizados em solos dos cerrados durante quatro anos consecutivos com milho (Cargill 111) , foi observado que as produções obtidas sem aplicação de nitrogênio atingiram cerca de 60% (3600 kg grãos/ha) daquela conseguida com 140 kgN/ha. Esta razoável produção sem a aplicação de nitrogênio , pode ser explicada pela decomposição da matéria orgânica do solo, em virtude da calagem, bem como pela fixação de nitrogênio atmosférico pelo *Spirillum* sp (EMBRAPA,1976).

Resultados semelhantes foram obtidos com trigo (IAC-5 e IAS-55), onde a produção do tratamento que recebeu apenas 20 kgN/ha no primeiro ano de plantio, apresentou no sexto ano uma produção cerca de 60% da produção máxima, que foi de 2500 kg grãos/ha (EMBRAPA,1979a). Isto dá uma idéia da boa capacidade de fornecimento de nitrogênio neste solo, possivelmente devido em grande parte à decomposição da matéria orgânica.

OLIVEIRA & LIMA* em um experimento de adubação NPK com aveia (UFRGS 78/05) em um solo Latossolo Vermelho - Amarelo muito argiloso do Distrito Federal, cultivado no primeiro ano, encontraram que o tratamento sem nitrogênio produziu 1160 kg grãos/ha , enquanto que no nível de 140 kgN/ha a produção foi de 1445 kg grãos/ha.

OLIVEIRA* em um experimento de carácter exploratório neste mesmo solo, avaliando o efeito da adubação nitrogenada no trigo (BH-1146), observou que o tratamento testemunha

* Dados não publicados.

produziu 63% da produção máxima (939 kg grãos/ha), obtida com a aplicação de 160 kgN/ha.

Os resultados obtidos nêstes experimentos, serviram de estímulo para o presente trabalho, cujos principais objetivos são:

1. Avaliar a mineralização do nitrogênio proveniente da matéria orgânica de solos do Distrito Federal, em condições de campo e laboratório.

2. Estudar a correlação entre o N absorvido pelo trigo e o nitrogênio do solo (mineral e potencialmente mineralizável), mediante o uso de diferentes extratores químicos, e métodos de incubação.

3. Elaborar uma função matemática para a determinação da necessidade de adubação nitrogenada do trigo, em função dos teores de nitrogênio existentes no solo.

As hipóteses levantadas foram as seguintes:

1. Os solos apresentam um comportamento diferenciado no que se refere à mineralização do nitrogênio proveniente da matéria orgânica.

2. Parte do nitrogênio mineralizado e o potencialmente mineralizável do solo, são absorvidos pelas plantas durante o período de crescimento.

3. Através da análise das diferentes formas de N do solo pode-se determinar a necessidade de adubação nitrogenada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO

O nitrogênio do solo, ao contrário dos demais nutrientes, está em constantes transformações, por ser bastante dinâmico dificulta uma avaliação precisa da sua disponibilidade. Dentre os principais fatores que afetam a disponibilidade do N no solo, podem ser citados: umidade, temperatura, lixiviação, textura, profundidade do solo, matéria orgânica e atividade microbiana.

2.1.1. Umidade

De acordo com SÁNCHEZ (1981), a umidade seja talvez o fator dominante que mais afeta a constante de mineralização do nitrogênio nos solos tropicais.

ALEXANDER (1961) afirma que de um modo geral os microorganismos do solo responsáveis pela nitrifica-

ção, são bastantes sensíveis à variação na umidade do solo, e que a maior atividade se verifica a um teor de umidade de aproximadamente dois terços da capacidade de campo.

A incubação de solos em condições de laboratório, pode chegar a resultados conflitantes com aqueles observados em condições de campo (SUHET *et alii*, 1986) no que se refere à importância da umidade na mineralização de N orgânico.

JUSTICE & SMITH (1962) trabalhando com tensões de umidade variando de 0,3 a 10 bars, não observaram nenhum efeito sobre a capacidade de mineralização de N do solo. Este resultado discorda dos obtidos por outros pesquisadores (ROBISON, 1957; MILLER & JOHNSON, 1964; REICHMAN *et alii*, 1966; STANFORD & EPSTEIN 1974 e CASSMAN & MUNNS, 1980), os quais encontraram efeito da umidade do solo no nitrogênio no intervalo de 0,2 a 15 bars, tendo a máxima constante de mineralização ocorrido à capacidade de campo.

CASSMAN & MUNNS (1980), ressaltam a importância da amostra de terra estar uniformemente úmida, o que pode ser obtido com o uso de membrana de pressão. Acreditam que o método de adicionar água a uma amostra seca de terra, não ocasiona uma distribuição uniforme da água, principalmente em solos com baixa capacidade de retenção. Relatam ainda que a maior constante de mineralização ocorreu a 25% de umidade no intervalo de temperatura de 15°C a 30°C. Estes resultados concordam com os obtidos por CHIANG *et alii* (1983).

De acordo com CAVALI & RODRIGUEZ

(1975), a capacidade de mineralização do solo está associada com a umidade relativa do mesmo através da equação:

$$Y = -0,138 + 1,11(\theta/\theta_0)$$

onde:

Y=mineralização relativa de nitrogênio

θ =umidade atual do solo (%)

θ_0 =umidade na capacidade de campo (%)

2.1.2. Temperatura

A capacidade de mineralização de N dos solos é profundamente influenciada pela temperatura normalmente encontrada nas condições de campo, as quais podem variar de 0°C a 45°C (STANFORD *et alii*, 1973), sendo que a 45°C enquanto a amonificação ainda continua, a nitrificação cessa completamente (HARMSSEN & KOLENBRANDER, 1965).

STANFORD *et alii* (1973) foram os primeiros pesquisadores a relacionar o efeito da temperatura sobre a capacidade de mineralização dos solos. Propuseram a seguinte função matemática:

$$\log k = 7,71 - 2758/T$$

onde:

k=constante de mineralização (1/semana)

T=temperatura absoluta (288°K a 308°K)

Para valores de temperatura variando de 5 ,15 ,25 e 35°C, a constante de mineralização (k) foi de 0,009 , 0,014, 0,029 e 0,055 (1/semana), respectivamente. Concluíram que a 5°C a capacidade de mineralização é bastante diminuída, e que nas condições normalmente encontradas no campo, o coeficiente de temperatura (Q_{10}) para mineralização de N é de aproximadamente 2, isto é, k varia de duas vezes para cada 10°C de variação de temperatura.

OYANEDEL & RODRIGUEZ (1977) utilizaram a equação proposta por STANFORD *et alii* (1973) para avaliar a capacidade de mineralização de solos no Chile, em função da umidade e temperatura média mensal.

2.1.3. Lixiviação

A baixa capacidade de adsorção de NO_3^- e NH_4^+ pelos solos, associada às condições de alta precipitação, ocasiona a lixiviação do nitrogênio para as camadas inferiores do perfil do solo.

VERDADE (1951) em observações realizadas em Terra Roxa Misturada, constatou variações para um mesmo local de 2 a 460 kg NO_3^- /ha/ano. Este trabalho teve por finalidade demonstrar a acentuada lixiviação de NO_3^- nos solos, e convencer os pesquisadores do Instituto Agrônomo-IAC, da necessidade de se fazer a aplicação parcelada dos fertilizan-

tes nitrogenados (VERDADE*).

CHIANG et alii (1983) em solos podzolizados arenosos, observaram que o aumento da precipitação intensifica a formação de NH_4 na camada arável, ocasionando ao mesmo tempo a lixiviação de NO_3 .

Esta acentuada lixiviação de NO_3 é o principal fator responsável pela baixa eficiência de aproveitamento (11 a 36%) dos fertilizantes nitrogenados para o feijoeiro cultivado em Terra Roxa Estruturada (NEPTUNE & MURAD-KA, 1978).

Em um experimento de milho, observou-se que a produção de grãos na parcela que não recebeu nitrogênio, foi inversamente proporcional à quantidade de chuva nos quatros primeiros meses de cultivo. Quanto maior a quantidade de chuva, menor o rendimento de grãos, sugerindo a ocorrência de lixiviação de nitrogênio mineralizado da matéria orgânica do solo. O coeficiente de correlação entre precipitação pluviométrica e a produção foi 0,94, significativo a 1% de probabilidade. Para os tratamentos de 60 e 140 kg N/ha aplicados anualmente, os coeficientes de correlação foram de -0,60 e 0,10, respectivamente, e não significativos. Esses dados sugerem um menor efeito negativo da chuva quanto havia mais nitrogênio no solo (EMBRAPA, 1980).

* VERDADE, F.C. (Fundação CARGILL, Campinas, SP), Comunicação pessoal, 1984.

2.1.4. Textura

CHIANG *et alii* (1983) observaram que solos arenosos (7,6% de argila) apresentam uma maior constante de mineralização ($k=0,016$; 1/dia) e 94 ppm de nitrogênio potencialmente mineralizável. Enquanto que solos argilosos (43,5 % de argila) apresentam um valor $k=0,012$ (1/dia) e N potencialmente mineralizável de 166 ppm. A menor constante de mineralização (k) dos solos argilosos, deve-se à formação de compostos organo-silicatados estáveis, dificultando a atividade microbiana. Assim sendo, do ponto de vista nutricional, os solos argilosos apresentam uma maior capacidade de suprimento de N para as plantas. E por apresentarem uma maior CTC, o nitrogênio mineral não facilmente lixiviado também é maior se comparado com os solos arenosos.

OLIVEIRA* observou em solos de cerrado a existência de uma lixiviação uniforme de N em profundidade, tanto em solos arenosos (18 % de argila), quanto em solos muito argilosos (72% de argila). O fertilizante nitrogenado na forma de sulfato de amônio, foi aplicado a lanço, incorporado, e a amostragem de terra realizada três meses após a adubação. As unidades experimentais foram mantidas sem cobertura vegetal, mediante capinas periódicas.

* Dados não publicados.

2.1.5. Profundidade do Solo

A profundidade do solo influencia na disponibilidade de nitrogênio através dos fatores: posição topográfica, gradiente textural e manejo do solo. Solos litólicos (Cambissol e Litossol) de relevo fortemente ondulado, apresentam uma maior facilidade de perdas de nitrogênio por arraste lateral da água, em relação aos solos de relevo plano a ondulado. A razão disto deve-se à pouca profundidade da rocha matriz, a qual impede a infiltração da água de percolação. A lixiviação de nitrogênio também é bastante pronunciada em solos de gradiente textural areia/média, em relação aos solos de gradiente textural areia/muito argilosa, para uma mesma posição topográfica.

A lixiviação de nitrogênio para camadas inferiores do perfil, torna às vezes necessário que a amostragem de terra seja feita a maiores profundidades que a da capa arável (KEENEY, 1982).

URQUIAGA *et alii* (1984) em um solo Terra Roxa Estruturada, observaram em um experimento de feijoeiro, que 71% do nitrogênio existente no solo proveniente do fertilizante, encontrava-se a uma profundidade de 0-30 cm, 21% na profundidade de 30-60 cm, e o restante (8%) na profundidade de 60-120 cm.

Em solos de cerrado existe uma quantidade apreciável de N nítrico acumulada no subsolo, tanto em

solos virgens como em solos cultivados. Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso cultivado com milho durante nove anos, apresentou um acúmulo de nitrato na profundidade de 180-300 cm, enquanto que o mesmo solo virgem, ou cultivado apenas um ano com soja, apresenta duas zonas de acúmulo: uma na profundidade de 0-30 cm, e outra na profundidade de 90-160 cm (EMBRAPA, 1982).

O nitrogênio existente no subsolo poderá ser absorvido pelas plantas, mediante o uso de práticas culturais que promovam um maior desenvolvimento radicular, e correção de toxidez de alumínio, tais como, calagem mais profunda e aplicação de gesso, e/ou de fertilizante superfosfato simples (COUTO & RITCHEY, 1986 e SOUZA *et alii*, 1986).

Segundo HERRON *et alii* (1968) em solos de loess moderadamente ácidos a alcalinos, o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas, permite a absorção de água e nutrientes até a profundidade de 150 a 180 cm. Consequentemente, o NO_3 residual existente no solo e o originado da mineralização da matéria orgânica, não podem ser considerado como perdido para efeito de uso pelas plantas. Esta situação difere daquela observada em regiões de climas úmidos, onde a penetração das raízes está limitada à camada arável, em virtude da elevada acidez, presença de horizontes adensados ou compactados, e outros fatores limitantes do desenvolvimento radicular.

2.1.6. Matéria Orgânica

Os microorganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica, absorvem os elementos carbono e nitrogênio na proporção de trinta partes de carbono, para uma parte de nitrogênio ($C/N=30/1$) (KIEHL, 1985).

BLACK (1975) ressalta que em virtude da grande variação existente na relação C/N , esta tem um valor muito limitado como índice de susceptibilidade de mineralização de nitrogênio orgânico do solo.

O cálculo da relação C/N é feito com base nos teores totais de carbono e nitrogênio. Isto talvez possa em parte explicar as baixas correlações existentes desta relação com o nitrogênio potencialmente mineralizável (BLACK, 1975). Possivelmente, a melhor maneira para se calcular a relação C/N , seria utilizar os teores de C e N facilmente oxidáveis, determinados no mesmo extrato ácido de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ (JACKSON, 1964 e SAHRAWAT, 1982c).

Dados de campo mostram, ainda que indiretamente, a importância agrícola de se incorporar adubos orgânicos de baixa relação C/N . Experimento realizado com milho em Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, mostrou que a incorporação de mucuna preta (*Styrolobium aterrimum*) ocasionou um aumento na produção de 1966 kg grãos/ha, em relação à testemunha (3.333 kg grãos/ha), enquanto que com a incorporação de palha de milho mais 20 kg N/ha, o incremento de produção

foi de apenas 1058 kg grãos/ha (EMBRAPA, 1985).

A disponibilidade de nitrogênio no solo, está também relacionada com a quantidade de matéria orgânica presente. SAHRAWAT (1982a) trabalhando em solos de arroz nas Filipinas, encontrou uma estreita correlação ($r=0,938$) entre matéria orgânica, e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica durante uma semana a 40°C.

2.1.7. Atividade Microbiana

Os microorganismos do solo são os principais agentes responsáveis pela mineralização da matéria orgânica, com consequente liberação de nutrientes. A temperatura, aeração, umidade e características químicas do solo, são os principais fatores limitantes da atividade microbiana. Mesmo assim, a população microbiana do solo tem limites de adaptação maiores que a das plantas superiores: podem respirar em solos bastantes secos que não permitam o crescimento vegetal, como também em solos saturados com água (BLACK, 1975).

DEHERAIN & DEMOUSSY (1896) (citados por BLACK, 1975) comprovaram que durante a incubação de um solo úmido, a produção de CO_2 aumentava com a aumento de temperatura no intervalo de 22 a 45°C, como consequência de um aumento da atividade microbiana.

DATTA & MAGNAYE (1969) ressaltam a importância da atividade microbiana em solos de arroz inundado.

Para os autores, a mineralização de nitrogênio que se processa em condições de inundação, se detém na fase de amonificação, visto que somente microorganismos aeróbicos podem oxidar NH_4 a NO_3 . Ressaltam ainda que a uma menor constante de mineralização, os microorganismos anaeróbicos podem transformar nitrogênio orgânico em amônio em relações C/N mais altas, contribuindo assim com o fornecimento de nitrogênio para o arroz.

Dentre os fatores relacionados com fertilidade do solo, a reação do solo seja talvez o principal fator condicionador da atividade microbiana (EMBRAPA, 1976).

Estudo da influência de níveis de fósforo na atividade dos microorganismo celulolíticos, no que se refere à decomposição de liteiras, mostrou que esta aumentava à medida que aumentava a dose de fósforo, se estabilizando ao nível de 300 kg P_2O_5 /ha. Considerando que a atividade dos microorganismos celulolíticos dá uma idéia da atividade microbiana total, observa-se a grande importância do abastecimento nutricional do solo na mineralização da matéria orgânica (EMBRAPA, 1978).

2.2. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO NO SOLO.

PURVIS & LEO (1961) empregaram pela primeira vez o termo "nitrogênio potencialmente mineralizável" para o nitrogênio facilmente hidrolizável da matéria orgânica, incluindo uma pequena fração do NH_4 trocável presente no solo.

SMITH *et alii* (1977) definem "nitrogênio potencialmente mineralizável" como sendo aquela quantidade de nitrogênio orgânico susceptível de mineralização de acordo com a cinética de primeira-ordem (STANFORD, 1969). Enquanto que para SCARSBROOK (1965), "nitrogênio disponível" é aquele nitrogênio próximo à rizosfera cuja espécie química é facilmente absorvida pelas raízes. Estas formas de nitrogênio são provenientes de diferentes fontes, tais como: fertilizantes nitrogenados, fixação biológica, mineralização da matéria orgânica e resíduos de outras culturas. Parte do nitrogênio orgânico do solo encontra-se em formas facilmente mineralizáveis, especialmente aminoácidos (arginina, cistina, cisteína e ácido hidroxiamino) e hexosaminas (galactosamina e glucosamina), os quais são capazes de fornecerem nitrogênio às plantas (STEVENSON, 1982).

Na grande maioria dos solos, uma quantidade significativa de nitrogênio é mineralizada durante o crescimento vegetal (KEENEY, 1982).

O nitrogênio total da maioria dos solos sob cerrados, varia de 0,08 a 0,14%, com valor médio de 0,09%. Para uma profundidade de 30 cm, isto corresponde a 2,7 t/ha.- Considerando que não exista limitações na atividade microbiana, e que 5% deste nitrogênio possa ser mineralizado, haveria em disponibilidade 135 kg N/ha. Esta quantidade seria suficiente para uma colheita média da maioria das culturas (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

A época de amostragem e a avaliação da capacidade do solo em fornecer N orgânico às plantas, quantificadas através de métodos biológicos e químicos, tem sido uma das maiores dificuldades no estudo do nitrogênio do solo.

2.2.1. ÉPOCA DE AMOSTRAGEM

Ao contrário do fósforo, cuja amostragem do solo para análise nos testes de correlação é feita após a colheita (MIRANDA, 1979), para o nitrogênio que é um nutriente mais dinâmico e sujeito a transformações, a melhor época de retirada de amostras para análise é imediatamente antes do plantio (FOX & PIEKIELEK, 1978; HERRON *et alii*, 1968 e PETERSON & ATTOE, 1965), ou após a aplicação a lanço de todo o fertilizante (PRADO & RODRIGUEZ, 1978) na semeadura (SOPER *et al.*, 1971), como também no início da fase de crescimento vegetativo (OSTERGAARD, 1982 e WEHRMAN, 1982).

OLIVEIRA* em um experimento de carácter exploratório com trigo, encontrou uma estreita correlação

* Dados não publicados.

($r=0,989$) entre produção de grãos e os teores de $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ do solo, na fase de espigamento.

2.2.2. NITROGÊNIO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL.

2.2.2.1. MÉTODOS BIOLÓGICOS

Estes métodos apresentam a vantagem de usarem organismos vivos para avaliar a capacidade do solo em fornecer nitrogênio. No entanto, apresentam a desvantagem de serem bastante morosos para emprego em análise de rotina.

a) Incubação Aeróbica

Segundo BREMNER (1965) esta técnica é a mais satisfatória para se avaliar a capacidade do solo em fornecer N às plantas, visto que os microorganismos utilizados são os mesmos existentes no solo. No entanto, as condições em que é realizada a incubação no laboratório (STANFORD & SMITH, 1972), não são as mesmas que ocorrem no campo.

Para obtenção de resultados confiáveis, deve-se padronizar os métodos de amostragem, secamento, peneiramento, estocagem e incubação das amostras de terra. O controle da umidade durante a incubação, é o principal fator limitante quando se trabalha com solos de diferentes capacidades de retenção de água (BREMNER, 1965).

KEENEY & BREMNER (1967) obtiveram resultados satisfatórios referente à umidade, adicionando a um frasco plástico contendo 6 ml de água, com uma mistura areia:solo na proporção de 30:10.

Alguns autores (ROBISON, 1968; RYAN *et al.*, 1971) encontraram estreitas correlações entre as quantidades de N mineralizadas por este método, e as quantidades de N absorvidas pelas plantas.

b) Incubação Anaeróbica

Neste método o solo é mantido inundado durante a incubação. WARING & BREMNER (1964) trabalhando com uma relação solo/água de 1:2,5 (5 g:12,5 ml), obtiveram uma estreita correlação ($r=0,96$) entre o N mineralizado em condições anaeróbicas e o mineralizado em condições aeróbicas. Sendo que os teores de N produzidos em condições anaeróbicas, foram em média 23% maiores que os obtidos por incubação aeróbica.

Os autores mencionam as seguintes vantagens deste método:

1- trata-se de um procedimento simples, preciso e aplicável a amostras secas e úmidas;

2- dispensa o uso de condicionadores (areia ou vermiculita), como também estudos preliminares da quantidade de água a ser usada no caso de incubação aeróbica;

3- maiores facilidades de análise, dado que somente o NH_4 é quantificado, pois nestas condições as quantidades de NO_3 são desprezíveis;

4- não há necessidade de aeração do solo durante a incubação;

5- requer menor tempo de incubação, geralmente uma semana é suficiente.

KEENEY & BREMNER (1966a) em um trabalho conduzido com 25 solos de Iowa (USA), encontraram uma estreita correlação ($r=0,83$) entre o ^{N-NH₄⁺} nitrogênio produzido em condições anaeróbicas, e o N absorvido pelo azevém (*Lolium multiflorum*), enquanto que SMITH (1966) não encontrou correlação entre o NH₄ mineralizado por incubação anaeróbica e o N absorvido por *Dactylis glomerata* L.

OZUS & HANWAY (1966) utilizando o azevém (*Lolium sp*) como planta teste, encontraram uma estreita correlação entre o N absorvido, e o nitrogênio mineralizado em condições aeróbica e anaeróbicas ($r=0,77$ e $r=0,85$, respectivamente). DOLMAT *et.al* (1980), concluíram ser este o melhor método de se avaliar a disponibilidade de nitrogênio para o arroz.

2.2.2.2.MÉTODOS QUÍMICOS.

KEENEY (1982) apresenta uma excelente revisão bibliográfica, sobre os diferentes métodos empregados para quantificar o N orgânico facilmente mineralizável. Algumas considerações serão feitas acerca dos principais métodos:

a) Permanganato de potássio em meio alcalino.

É o extrator mais estudado, tendo sido proposto por Emil Truog na década de 30 (RICHARD *et alii*, 1960), e mais tarde indicado pela "Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists" em 1950, para a caracterização do nitrogênio orgânico dos adubos orgânicos (SUBBIAH & ASIJA, 1956). TRUOG (1954) foi o primeiro pesquisador a utilizar esta solução extratora para estimar o nitrogênio orgânico do solo de fácil mineralização, chegando a propor uma tabela de adubação nitrogenada para algumas culturas. Foram utilizados os níveis críticos estabelecidos por M.M. Shihata em 1951, em sua tese de doutorado, sob a orientação do Prof. Emil Truog (RICHARD *et alii*, 1960).

SUBBIAH & ASIJA (1956) em um trabalho pioneiro, no qual foram estudadas diferentes concentrações de KMnO_4 e NaOH , na extração de N orgânico e sua correlação com o nitrogênio mineralizado por incubação aeróbica durante 45 dias, encontrou que a melhor solução foi a de KMnO_4 0,32% + NaOH 4%.

KRESGE & MERKLE (1957) utilizando uma solução mais concentrada que a indicada por SUBBIAH & ASIJA (1956), obtiveram correlação significativa ($r=0,89$) com o nitrogênio mineralizado por incubação aeróbica.

RICHARD *et alii* (1960), encontraram uma baixa correlação ($r=0,651$) entre o N extraído segundo M. M.

Shihata, e o nitrogênio absorvido por plantas de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por PETERSON *et alii* (1960), para o tabaco. Admite-se como adequado, o extrator cujo coeficiente de correlação (r) é maior ou igual a 0,71, isto é, explica pelos menos 50% da associação entre as variáveis.

KEENEY & BREMNER (1966a) encontraram baixa correlação entre o nitrogênio extraído segundo SUBBIAH & ASIJA (1956), e o N absorvido pelo azevém (*Lolium multiflorum*). Estes resultados divergentes são devidos a fatores, tais como, clima, natureza da matéria orgânica do solo e tipo de cultura que está sendo estudada (RICHARD *et alii*, 1960).

STANFORD & LEGG (1968) utilizando a metodologia proposta por KRESGE & MERKLE (1957), encontraram estreita correlação do N extraído com o valor A ($r=0,784$), e com o N absorvido pela aveia ($r=0,849$). Concluíram que este é um método satisfatório para avaliar a disponibilidade do nitrogênio mineralizável do solo.

Correlações não significativas foram obtidas por JENKINSON (1968), com a metodologia proposta por SUBBIAH & ASIJA (1956), ligeiramente modificada por KEENEY & BREMNER (1966a), utilizando o azevém (*Lolium sp*) como planta teste. Resultados semelhantes foram posteriormente obtidos por DOLMAT *et alii* (1980).

STANFORD (1978), em um criterioso trabalho, estudando o efeito de diferentes concentrações de $KMnO_4$

e NaOH, e utilizando solos de diferentes grandes grupos, encontrou estreita correlação ($r=0,84$) entre o N extraído, e o nitrogênio potencialmente mineralizável.

SAHRAWAT (1982b) utilizando a metodologia de SUBBIAH & ASIJA (1956), encontrou correlação significativa ($r=0,81$), entre o N extraído e o N absorvido por plantas de arroz. Segundo o autor estes resultados concordam com os obtidos por outros pesquisadores indianos.

O fato da grande maioria dos trabalhos realizados nas Filipinas, encontrarem correlações significativas com varios extratores químicos (SAHRAWAT, 1982a, 1982b), deve-se ao fato de utilizarem geralmente o arroz como planta teste, e por se tratarem de solos de arroz inundado, as condições são favoráveis para estabilização da matéria orgânica do solo.

HUSSAIN & MALIK (1985b) trabalhando com trinta e cinco diferentes solos do Paquistão, e utilizando a metodologia modificada por SAHRAWAT & BURFORD (1982), que permite a inclusão de nitratos, encontraram correlações significativas com o N absorvido por plantas de trigo ($r=0,76$), e o nitrogênio mineralizado por incubação aeróbica ($r=0,84$).

b) Permanganato em meio ácido

Este método foi proposto por STANFORD & SMITH (1978), os quais encontraram uma estreita correlação ($r=0,92$) entre o N oxidado por uma solução de $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ 1N,

e o nitrogênio potencialmente mineralizável. Resultados semelhantes foram obtidos por NUSKE & RICHTER (1981) na Alemanha, SAHRAWAT (1982a, 1982b) nas Filipinas, HUSSAIN *et alii*, (1984) e HUSSAIN & MALIK (1985a) no Paquistão.

JUMA & PAUL (1984) relatam que a metodologia proposta por STANFORD & SMITH (1978), é capaz de extrair entre 0,72 e 0,84% do nitrogênio orgânico total.

c) Ácido sulfúrico diluído

TIURIN & KONONOVA (1935) (citados por RICHARD *et alii* (1960)), foram os primeiros pesquisadores a utilizarem uma solução de H_2SO_4 0,5N, para avaliação da adubação nitrogenada, em base a análise de solo. O princípio do método se baseia na hidrólise de compostos orgânicos do solo que contém nitrogênio (aminas e amidas) e $NO_3 + NH_4$, durante repouso por uma noite. Todo o nitrogênio orgânico hidrolisado é posteriormente atacado com uma solução de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ concentrado, seguido da análise de NH_4 (KAURICHEV, 1984). Trata-se de um procedimento bastante laborioso.

RICHARD *et alii* (1960) trabalhando com trinta e nove solos, encontraram uma baixa correlação ($r=0,63$), entre o N extraído com uma solução de H_2SO_4 0,25N, durante cinco minutos de digestão, com o N absorvido por plantas de milho. Estes resultados discordam dos obtidos por PETERSON *et alii* (1960) para plantas de tabaco no segundo cultivo, e concordam com os obtidos por KEENEY & BRMMER

(1966a) para com o azevém (*Lolium multiflorum*). Resultados conflitantes entres os autores, provavelmente sejam em parte devidos às modificações introduzidas pelos mesmos, no que se refere à concentração da solução ácida, e o tempo de extração.

FOX & PIEKIELEK (1978) utilizando a metodologia proposta por PURVIS & LEO (1961), não encontraram correlação significativa entre o N extraído, e o N absorvido por plantas de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por DOLMAT *et alii* (1980), em vinte e quatro experimentos em campos de arroz inundado.

d) Hidróxido de sódio diluído

CORNFIELD (1980) propôs um método bastante simples para extração do nitrogênio orgânico, utilizando uma solução de NaOH 1N, tendo encontrado uma estreita correlação ($r=0,845$) entre o N extraído e o N mineralizado por incubação aeróbica.

STANFORD & LEGG (1968) utilizando essa metodologia, encontraram correlação significativa a 1% de probabilidade ($r=0,857$), com o nitrogênio absorvido por plantas de aveia.

STANFORD (1978) utilizando diferentes concentrações de NaOH, concluiu que a solução de 0,125 N NaOH foi a que proporcionou maior correlação ($r=0,75$) com o nitrogênio potencialmente mineralizável (No).

e) Dicromato de potássio/Ácido sulfúrico concentrado.

SAHRAWAT (1982c) utilizando a solução oxidante proposta por WALKLEY & BLACK (1934) para avaliação do carbono orgânico, encontrou uma correlação altamente significativa ($r=0,985$), entre o N extraído e o N mineralizado por incubação anaeróbica. O autor concluiu ser este um método adequado para avaliação de nitrogênio orgânico facilmente mineralizável, em solos de arroz inundado. Entretanto, em relação ao N absorvido por plantas de arroz (SAHRAWAT, 1982b), a correlação encontrada ($r=0,74$), pode ser considerada como sendo apenas satisfatória.

f) Hidróxido de cálcio

FRASAD (1965) utilizando vários hidróxidos de metais alcalinos e alcalinos-terrosos, concluiu que o Ca(OH)_2 foi o que apresentou melhor correlação ($r=0,841$) entre o N hidrolisado e o N absorvido pelo milho.

Com este extrator, JENKINSON (1968) encontrou uma correlação de 0,76, com o N mineralizado por incubação aeróbica. Em relação a N absorvido pelo azevém, os coeficientes de correlação variaram de 0,74 a 0,93, em função dos grupos de solos utilizados.

Estes resultados, mostram claramente a necessidade de se fazer um agrupamento dos solos, em função

dos principais fatores que afetam a absorção de um dado nutriente em um estudo de correlação com diferentes extratos.

g) Bicarbonato de sódio

JENKINSON (1968) utilizando a metodologia proposta por McCLEAN (1964), encontrou estreita correlação apenas entre o N extraído, e o N produzido por incubação aeróbica. Em relação ao nitrogênio absorvido pelo azevém (*Lolium sp*), as correlações encontradas podem ser consideradas baixas em se tratando de um teste de correlação.

Correlação significativa ($r=0,77$) entre o N extraído e a capacidade do solo em suprir nitrogênio, foi encontrada por FOX & PIEKIELEK (1978).

Para MICHIRINA *et alii* (1980), 92% do nitrogênio extraído com uma solução de NaHCO_3 0,01N, encontra-se na forma de proteínas.

h) Bicarbonato de sódio/Carbonato de sódio

PRASAD (1965) encontrou um coeficiente de correlação múltipla altamente significativo ($r=0,86$), entre o N inorgânico inicial mais o N extraído com NaHCO_3 0,25N + Na_2CO_3 0,25N, e o nitrogênio absorvido pelo milho.

i) Dicromato de sódio/Ácido fosfórico.

NØMMIK (1976) utilizando uma solução de Na_2CrO_4 1,45M + H_3PO_4 0,76M, encontrou uma estreita correlação ($r=0,877$) entre o nitrogênio mineralizável, e o N produzido por incubação aeróbica. A extração foi feita em água a 100°C , durante duas horas.

j) Pirofosfato de sódio.

STANFORD (1968), encontrou uma estreita correlação ($r=0,975$) entre o N extraído durante duas horas com uma solução de pirofosfato de sódio 0,5N neutra, e o nitrogênio extraído com CaCl_2 0,01M em ebulição durante 16 horas. A solução de pirofosfato de sódio extraiu de 28 a 45% de N total, enquanto que a extração de N orgânico com cloreto de cálcio, variou de 15 a 28%. Estreita correlação ($r=0,993$) foi obtida com o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica. Este procedimento apresenta a desvantagem de consumir muito tempo (STANFORD & DEMAR, 1970).

k) Água em ebulição.

KEENEY & BREMNER (1966a) utilizando a metodologia de extração com água em ebulição proposta por J. Livens, encontraram uma estreita correlação ($r=0,77$), com o nitrogênio absorvido pelo azevém (*Lolium multiflorum*). Este resultado, discorda dos obtidos por JENKINSON (1968), o qual utilizou o mesmo procedimento e planta teste.

1) Água em ebulição/Sulfato de potássio.

É o mesmo procedimento descrito por KEE-NEY & BREMNER (1966a), exceto que, após esfriarem o extrato, os autores adicionaram 20 ml de K_2SO_4 10%, seguida de agitação, filtragem e destilação. A correlação encontrada com o nitrogênio absorvido pelo azevém (*Lolium multiflorum*) foi de 0,79.

m) Cloreto de cálcio em ebulição.

STANFORD (1968) relaciona as seguintes vantagens com relação à extração com água, utilizando uma solução $CaCl_2$ 0,01M em ebulição: 1) a concentração e o pH da solução salina mantem-se constante durante a extração; 2) a solução de cloreto de cálcio evita a dispersão da fração argila durante o processo de extração. Foi encontrado um coeficiente de correlação significativo ($r=0,975$) com o nitrogênio extraído com uma solução de pirofosfato de sódio.

FOX & PIEKIELEK (1978), encontraram uma estreita correlação ($r=0,86$) com o nitrogênio absorvido pelo milho. Estes resultados discordam dos obtidos por DOLMAT *et alii* (1980).

n) Cloreto de cálcio em autoclave.

STANFORD & DEMAR (1969) estimulados com os resultados favoráveis obtidos com a solução de $CaCl_2$ 0,01M

em ebulição, e considerando que a esterilização de solos em autoclave hidrolisa uma apreciável quantidade de amônio, propuseram o método de extração de N orgânico com esta solução, a 121°C e 15 lb/pol², durante 16 horas. Os autores obtiveram um coeficiente de correlação de 0,76, entre as diferentes frações extraídas e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica (STANFORD, 1968). Posteriormente STANFORD & DEMAR (1970) encontraram uma estreita correlação ($r=0,96$) entre o N extraído e analisado pelo método de difusão de Conway, e o nitrogênio mineralizado durante 13 semanas. No método de difusão, as aminas são as principais fontes de NH_3 , enquanto que pelo processo de destilação, a NH_3 é proveniente principalmente de aminoácidos. Os autores também encontraram, uma estreita correlação ($r=0,98$) entre o N extraído e analisado por destilação, e os teores de glicose hidrolizada. Estes resultados concordam com os obtidos por SMITH & STANFORD (1971), segundo os quais os teores de glicose constituem um melhor índice da capacidade dos solos para mineralizar nitrogênio, quando comparados com os teores totais de carbono e nitrogênio. A glicose é proveniente da hidrólise de polissacarídeos, e reflete o "pool" da biomassa do solo (JENKINSON, 1968).

Apesar da extração em autoclave ter mostrado resultados satisfatórios (STANFORD & SMITH, 1976; FOX & PIEKIELEK, 1978), apresenta a desvantagem devido às variações na pressão de vapor durante a extração, normalmente feita à

noite, e difícil de ser controlada pelo operador (FOX & PIEKIELEK, 1978). Mesmo assim, é o procedimento recomendado por KEENEY (1982), em recente revisão bibliográfica feita sobre a avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo.

o) Água oxigenada.

SAHRAWAT (1980) encontrou uma estreita correlação ($r=0,81$) entre o nitrogênio extraído com H_2O_2 30% e o nitrogênio absorvido pelo arroz. Correlação significativa ($r=0,86$), foi também obtida com o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica (SAHRAWAT, 1982a), indicando ser este um extrator bastante promissor. Estes resultados foram posteriormente confirmados pelo autor (SAHRAWAT, 1982b).

p) Solução tampão pH=11,2

TRACEY (1952) baseando-se em observações de MORGAN (1936), segundo o qual os açúcares aminados (glucosamina e galactosamina) liberam N na forma de NH_3 em solução alcalina, quando aquecida a $100^\circ C$, propôs um método de extração de nitrogênio orgânico com solução de Na_2PO_4 /bórax a pH=11,2. Esta solução apresenta a vantagem de hidrolisar também o nitrogênio presente em aminas e amidas (TRACEY, 1952).

GIANELLO (1985) em um criterioso trabalho com esta solução, encontrou uma estreita correlação ($r=0,96$) entre o nitrogênio extraído, e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica. Trata-se de um método sim-

ples, rápido, e fornece resultados reproduzíveis. O coeficiente de variação variou de 1,6 a 2,7%, o qual pode ser considerado baixo para o tipo de análise a que se propõe.

q) Cloreto de potássio.

OIEN e SELMER-OLSEN (1980) propuseram um método para quantificação do nitrogênio potencialmente mineralizável, utilizando uma solução de KCl 2M, a 80°C durante 20 horas. Coeficiente de correlação altamente significativo ($r=0,98$), foi obtido entre o N extraído, e o nitrogênio mineralizado por incubação aeróbica.

SELMER-OLSEN *et alii* (1981) utilizando esta solução extratora, obtiveram estreita correlação ($r=0,87$) com o N absorvido pela aveia, em um experimento com trinta e seis solos da Dinamarca.

GIANELLO (1985) após fazer algumas modificações nesse método, obteve uma alta correlação ($r=0,95$) entre o N hidrolisado a 100°C durante 4 horas, e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica. A elevação da temperatura, ocasionou uma redução no tempo de extração, o que permite seu emprego em análise de rotina.

O teste de hidrólise de N orgânico, com oito compostos nitrogenados, revelou a seguinte ordem decrescente de extração: galactosamina (49%) > glucosamina (42%) > uréia (34%) > glucosamina (31%) > cisteína (14%) > asparagina (12%) > cistina (6%) > N-acetilglucosamina (3%).

Este método, além de simples, rápido e preciso (CV de 1,0 a 3,4%), permite analisar no mesmo extrato, nitrogênio facilmente mineralizável, e os teores iniciais $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ do solo.

2.2.3. NITROGÊNIO INORGÂNICO.

Em virtude da baixa energia de adsorção do nitrato e do amônio pelo complexo sortivo do solo, o N mineral é facilmente extraído com uma solução de KCl 2M ou KCl 1M, seguido da destilação com MgO em presença da liga de Devarda (BREMNER, 1965) e analisado por colorimetria (OLIVEIRA, 1986).

2.4 DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE ADUBAÇÃO

Apesar do nitrogênio do solo ser um nutriente bastante dinâmico e muito susceptível de lixiviação, PETERSON & ATTOE (1965), ressaltam a importância de se conhecer os teores de nitrato do solo, para se determinar a necessidade de adubação nitrogenada.

JAMES *et alii* (1977) após quatro anos de pesquisas com beterraba açucareira, encontraram que os teores iniciais de nitrato do solo, tanto influenciaram na produção quanto na qualidade do produto, avaliada através dos teores de sacarose.

GASSER (1961) em função dos teores de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ extraídos com uma solução acidificada de K_2SO_4 , estabeleceu parâmetros de adubação nitrogenada para a cevada.

Com o objetivo de determinar as necessidades de fertilizantes nitrogenados para o trigo em solos da região central do Chile, PRADO & RODRIGUEZ (1978), utilizaram o modelo matemático adaptado e proposto por STANFORD (1973), cuja expressão é a seguinte:

$$N_f = (N_y - (E_r N_r + E_p N_m)) / E_f$$

onde:

N_f = Necessidade de adubação nitrogenada (kg/ha)

N_y = Exigência de N pela cultura (kg/ha)

N_r = Nitrogênio residual presente no solo (kg/ha)

N_m = Nitrogênio mineralizável do solo

E_r = Eficiência de aproveitamento de N_r (valor médio de 0,50)

E_p = Eficiência de aproveitamento de N mineralizado (valor médio de 0,40)

E_f = Eficiência de aproveitamento do fertilizante (valor médio de 0,50)

O coeficiente de correlação entre as doses estimadas e as aplicadas em condições de campo foi de 0,93. Não obstante, vários pesquisadores (GILES *et alii*, 1975; PETERSON *et alii*, 1960; ROBERTS *et alii*, 1980 e STEELE *et alii*,

1982) têm utilizado apenas os teores iniciais de nitrogênio do solo, como índice para adubação nitrogenada.

BROWN *et alii* (1984) após três anos de experimentos com milho, concluíram que os teores de nitrato do solo, não servem como parâmetros para adubação nitrogenada, em virtude da sua alta variabilidade, dificuldade na amostragem, e baixa correlação entre os teores iniciais de nitrogênio do solo com os dados de produção.

SOPER *et alii* (1971) após sete anos de pesquisas com cevada em vinte e dois campos experimentais no estado de Manitoba (Canadá), encontraram alta correlação ($r=0,92$) entre os teores de nitrato no solo na semeadura e o nitrogênio extraído pelas plantas.

Para a determinação da adubação nitrogenada, o seguinte modelo foi utilizado:

$$N = [a^2 \cdot 76 + 0,00047Y - (2,03 + 2,57 X - 0,016 X^2)] \times (100/52)$$

onde:

N=Nitrato de amônio (kg/ha)

Y=Produção desejada de cevada (kg/ha)

X=N no solo até a prof. de 0- 60 cm (kg/ha)

100/52=Eficiência de utilização do nitrato de amônio.

No Brasil os trabalhos sobre a avaliação da dispo-

nibilidade de nitrogênio no solo, são bastantes escassos.

O Instituto Agronômico de Campinas, foi talvez o primeiro centro de pesquisa a utilizar por algum tempo os teores de matéria orgânica, como critério para a determinação da adubação nitrogenada. No entanto, em virtude das baixas correlações encontradas entre produção e matéria orgânica do solo (RAIJ *et alii*, 1981), esse critério deixou de ser adotado (QUAGGIO*).

MONDARDO & GRIM (1974), concluíram que o teor de nitrogênio mineral ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) por ser um fator intensidade não é um bom índice para avaliar a capacidade do solo em suprir nitrogênio para o milho.

OLIVEIRA** em um experimento de caráter exploratório sobre adubação nitrogenada com trigo (BH-1146), em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso do Distrito Federal, encontrou uma estreita correlação ($r=0,989$) entre os teores de nitrogênio do solo (NO_3+NH_4) extraídos com a solução de Mehlich1 e produção de grãos ($Y=269,36+27,9 X - 0,28 X^2$). As amostras de terras foram coletadas na época do espigamento, e a 25 cm de profundidade.

* QUAGGIO, J.A. (Instituto Agronômico, Campinas, SP.)

Comunicação pessoal, 1984.

** Dados não publicados

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos de incubação no campo, teste de correlação e resposta do trigo à adubação nitrogenada, foram realizados na Fazenda Água Limpa/UnB. A incubação de laboratório, as análises de solos e de material vegetal, foram feitas no Lab. de Química do Solo, Dept. Engenharia Agronômica, Universidade de Brasília (UnB).

3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DOS SOLOS.

Foram coletadas amostras de terra na camada arável de vinte localidades do Distrito Federal (Tabela 1), as quais foram utilizadas nos testes de incubação e correlação. As análises granulométricas (Tabela 2) e químicas (Tabela 3) realizadas após a calagem, foram feitas segundo EMBRAPA (1979b). A matéria orgânica facilmente oxidável, o nitrogênio total e o pH em CaCl_2 0,01M, foram analisados segundo JACKSON (1964); BREMNER (1965) e RAIJ & QUAGGIO (1983), respectivamente. A calagem foi feita para o nível de 60% de saturação

de bases (RAIJ *et alii*, 1985), com calcário dolomítico (PRNT=94,30%, CaO=31,9% e MgO=15,00%), permanecendo os solos umidecidos em incubação por 45 dias.

TABELA 1. Solos do Distrito Federal utilizados nos testes de incubação e correlação.

N#	Grande grupo	Localização
1	LV	Unid. Catetinho/FAL
2	LE	Unid. Sussuarana/FAL
3	LV	Unid. Flexa/FAL
4	LV	Unid. Boa Vista/FAL
5	LV	Unid. Novacap/milho/FAL
6	LV	Unid. Novacap/café/FAL
7	LE	Unid. Sussuarana/pomar/FAL
8	LV	Rod.BR 060 Km 19
9	LV	Rod.BR 060/BR 02
10	LE	Res.Ecológica IBGE
11	LE	Rod.BR 251 Km 14
12	LE	Jardim Botânico
13	LV	PADF
14	LV	CNPH/EMBRAPA
15	LV	CNPH/EMBRAPA
16	LE	CNPH QI 08/EMBRAPA
17	LV	Rod.DF 17 Km 9
18	LE	CPAC/EMBRAPA
19	LE	Est. Biológica/UnB
20	LV	CPAC/EMBRAPA

FAL= Fazenda Água Limpa/UnB

PADF=Plano de Assentamento Dirigido do Distrito Federal

CPAC=Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados.

CNPH=Centro Nacional de Pesquisa de Hortalças.

TABELA 2. Análise física dos solos após a calagem utilizados nos testes de incubação e correlação.

N#	Areia	Limo	Argila	Textura
	%			
1	72	11	17	Franco-arenosa
2	27	8	65	Muito argilosa
3	27	20	53	Argilosa
4	25	22	53	Argilosa
5	31	26	43	Argilosa
6	25	20	55	Argilosa
7	20	16	64	Muito argilosa
8	20	16	64	Muito argilosa
9	48	8	44	Argila arenosa
10	20	11	69	Muito argilosa
11	22	19	59	Argilosa
12	30	8	62	Muito argilosa
13	14	5	80	Muito argilosa
14	22	22	56	Argilosa
15	28	16	56	Argilosa
16	18	10	72	Muito argilosa
17	77	6	17	Franco-arenosa
18	42	13	45	Argilosa
19	25	10	65	Muito argilosa
20	38	5	57	Argilosa

TABELA 3. Análise química dos solos após a calagem utilizados nos testes de incubação e correlação.

N#	pH	pH	H+Al	Ca+Mg	CTC	P	K	Sat.bases
	H ₂ O	CaCl ₂	meq/100 ml			ppm		%
1	6,3	6,0	1,7	2,5	4,2	tr	33	61
2	6,3	5,9	4,1	4,1	8,3	tr	18	50
3	6,6	5,8	5,1	4,1	9,3	tr	48	45
4	5,7	5,1	4,8	4,7	9,6	tr	28	50
5	6,1	5,8	3,8	4,6	8,6	8	79	56
6	5,9	5,5	5,6	4,0	9,7	6	38	42
7	6,1	5,6	4,8	3,8	8,7	2	38	45
8	6,0	5,5	4,8	2,9	7,7	tr	18	38
9	5,8	5,6	3,8	3,3	7,1	1	18	47
10	6,1	5,6	4,3	3,9	8,2	tr	23	48
11	5,6	5,2	6,4	4,5	11,6	4	249	44
12	6,1	5,5	6,3	4,9	11,3	1	48	45
13	6,0	5,6	4,6	4,6	9,3	1	23	50
14	5,6	5,3	4,5	4,5	9,1	tr	68	51
15	6,2	5,7	3,5	2,8	6,3	tr	28	45
16	5,7	5,4	6,4	5,5	12,1	13	78	47
17	6,3	5,9	2,1	2,2	4,4	tr	28	51
18	5,8	5,3	8,3	5,3	13,6	1	28	39
19	6,2	5,6	5,0	3,7	8,7	1	28	43
20	6,1	5,6	4,8	3,4	8,3	tr	28	42

tr=traços

=====>

TABELA 3. Continuação

N#	MO (1)	N (1)	MO (2)	N (2)	C/N (1)	C/N (2)
	%					
1	1,10	0,067	0,85	0,063	9,6	7,4
2	4,02	0,123	3,10	0,092	19,0	14,7
3	5,97	0,183	4,60	0,101	19,0	14,6
4	4,87	0,211	3,75	0,095	13,4	10,3
5	4,48	0,135	3,45	0,088	19,3	14,9
6	4,15	0,140	3,20	0,092	17,2	13,3
7	2,66	0,086	2,05	0,075	18,0	13,9
8	3,76	0,168	2,90	0,096	13,0	10,0
9	2,53	0,100	1,95	0,083	14,7	11,3
10	3,83	0,123	2,95	0,096	18,1	13,9
11	4,28	0,175	3,30	0,108	14,2	11,0
12	4,87	0,175	3,75	0,101	16,2	12,5
13	4,61	0,156	3,55	0,090	17,2	13,2
14	2,99	0,131	2,30	0,095	13,2	10,2
15	3,70	0,112	2,85	0,087	19,2	14,8
16	5,19	0,187	4,00	0,098	16,1	12,4
17	1,23	0,056	0,95	0,055	12,8	9,9
18	3,89	0,131	3,00	0,098	17,3	13,3
19	4,41	0,150	3,40	0,096	17,1	13,2
20	3,57	0,127	2,75	0,092	16,3	12,6

(1) Teores totais de MO(matéria orgânica) e N.

(2) Teores de MO (JACKSON,1964) e N (SAHRAWAT,1982c) facilmente oxidáveis.

3.3 TESTES DE INCUBAÇÃO.

3.3.1 Incubação no laboratório.

Utilizou-se a metodologia proposta por STANFORD & SMITH (1972). Misturou-se em duplicata, 15 g de solo com 15 g de areia de rio de diâmetro 0,42-0,84 mm. A areia foi previamente tratada com ácido sulfúrico concentrado, na proporção de 1000 g areia : 500 ml H_2SO_4 e deixada em repouso por uma noite. Após este período, foi lavada com água de torneira até alcançar o pH da água, seguido de lavagem com água destilada e secagem a 70°C por 4 horas. Transferiu-se a mistura para recipientes plásticos tipo chupeta de "catchup" (os quais foram cortados 8 cm abaixo do bico), tendo na extremidade inferior um pedaço de espuma de acrílico. O nitrogênio mineral inicial foi lixiviado com 100 ml de $CaCl_2$ 0,01M, e o excesso de solução removida mediante o vácuo de 40 cm Hg. A seguir, adicionou-se 25 ml de uma solução nutritiva composta de $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 0,005M, $MgSO_4$ 0,002M, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 0,005M e K_2SO_4 0,0025M seguido da aplicação do vácuo. Os recipientes foram cobertos com tampa plástica, e incubados a temperatura ambiente em caixa de papelão fechada para evitar a formação de algas (POTTKER & TEDESCO, 1979), por 3, 6, 10, 14, 20, 26 semanas. Ao final de cada período, foi feita a lixiviação com $CaCl_2$ 0,01M seguida da adição da solução nutritiva como descrito anteriormente.

Para a análise de $NO_3^- + NH_4^+$, transferiu-se 25

ml do percolado para microdestilador Kjeldhal, adicionou-se 0,2 g de MgO, uma pitada (0,2g) da mistura de Devarda e destilação por 4 minutos. O destilado foi coletado em balão volumétrico contendo 10 ml de H_2SO_4 0,5N e feita a dosagem do amônio por colorimetria com o reagente de Nessler (OLIVEIRA, 1986).

3.3.2 Incubação no campo.

Em sacos plásticos de 5x10 cm e 0,02 mm de espessura, colocou-se em duplicata, 15 g de solo umidecido com 6 ml da solução nutritiva descrita anteriormente, e enterrados a 25 cm de profundidade no campo ao lado do experimento de adubação nitrogenada com trigo. Não foi feita a lixiviação de $NO_3^- + NH_4^+$ inicial do solo. Ao final de 3, 6, 10, 14, 20 e 26 semanas, foi feita a análise de $NO_3^- + NH_4^+$ extraído com 100 ml de KCl 1N, mediante agitação por uma hora. Pipetou-se 25 ml do sobrenadante procedendo-se a destilação e análise do amônio como indicado no item 3.3.1.

3.4. TESTE DE CORRELAÇÃO:

3.4.1. Absorção de nitrogênio pelo trigo.

Transferiu-se 2 kg de cada solo em triplicata, para sacos plásticos de 2,5 litros de capacidade. A adubação fosfatada foi feita em função da capacidade de adsorção, avaliada segundo WAUGH & FITTS (1966). Para a adubação potássica tomou-se por base a análise do solo, e realizada

para atingir o nível de 150 ppm de K. Cada saco plástico foi semeado com 12 sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivar BH-1146, ficando 6 plantas por vaso após o desbaste. Os sacos foram enterrados aleatoriamente no campo à uma profundidade de 25 cm, próximo ao experimento de adubação nitrogenada.

A colheita da parte aérea e raízes foi feita aos 45 dias após o plantio. Todo o material foi lavado com água destilada, secado a 60°C em estufa com circulação de ar por 72 horas, pesado, moído e tendo o nitrogênio total sido analisado por colorimetria (OLIVEIRA, 1986).

3.4.2. Métodos químicos para avaliação do nitrogênio facilmente mineralizável (No).

3.4.2.1. Extração com $\text{KMnO}_4/\text{NaOH}$ (STANFORD & SMITH, 1978)

Colocou-se em duplicata, 2 g de solo passado em peneira N#50, em frasco plástico de 100 ml seguido da adição de 25 ml da solução extratora (0,2 g KMnO_4 em 20 ml NaOH 0,25N), e agitação por uma hora. Após este período o extrato juntamente com o solo foram transferidos para o microdestilador, tendo o destilado sido recolhido em balão volumétrico de 100 ml, contendo 20 ml de H_2SO_4 2,5N. Para quantificação do N-NH_4 , pipetou-se 25 ml do destilado e analisou-se por colorimetria (OLIVEIRA, 1986). Paralelamente foi feita ou-

tra extração utilizando apenas NaOH 0,25 N com o objetivo de avaliar a capacidade de hidrólise do N orgânico por esta solução alcalina.

3.4.2.2. Extração com $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ (STANFORD & SMITH, 1978)

Colocou-se em duplicata 1 g de solo em frasco plástico de 100 ml, adicionou-se 25 ml da solução extratora (3,16 g $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ 1N), seguido de agitação por 1 hora. A seguir, transferiu-se todo o material para o microdestilador, adicionou-se 10 ml de NaOH 30%, e o destilado foi recolhido durante 4 minutos em balão volumétrico contendo 10 ml de H_2SO_4 0,5N. O NH_4 foi analisado por colorimetria (OLIVEIRA, 1986). Paralelamente foi feita uma extração utilizando apenas o H_2SO_4 1N, com o objetivo de avaliar a capacidade de hidrólise de N orgânico por parte da solução ácida.

3.4.2.3. Extração com H_2O_2 (SAHRAWAT, 1982b)

Colocou-se em duplicata 5 g de solo em erlenmeyer de 125 ml, 5 ml de H_2O_2 30% (100 volumes), e repouso por 1 hora. Adicionou-se 50 ml de KCl 2N, seguido de agitação por 1 hora. Transferiu-se 20 ml do sobrenadante para o microdestilador e adição de 0,2 g de MgO. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.4. Extração com $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ (SAHRA-WAT, 1982c)

Colocou-se em duplicata 0,5 g de solo em um becker de 250 ml, seguido da adição de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,17M e 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após 30 minutos de repouso, adicionou-se 100 ml de água destilada e transferiu-se uma alíquota de 15 ml para o microdestilador, seguido de 15 ml de NaOH 20%. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.5. Extração com H_2O_2 com uma noite de repouso.

Colocou-se em duplicata 2 g de solo em becker de 50 ml, seguido da adição de 2 ml de H_2O_2 30% e repouso por uma noite. O material foi transferido para o microdestilador, seguido da adição de 0,2 g de MgO. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.6. Extração com H_2O_2/MnO_2 .

Após alguns testes preliminares de laboratório utilizando H_2O_2 como extrator, chegou-se ao seguinte procedimento: 2 g de solo em becker de 100 ml, seguido da adição de 2 ml de H_2O_2 30% e repouso por 30 minutos. O excesso de H_2O_2 foi eliminado com a adição de 0,1g de MnO_2 (BESSLER*), após a efervescência adicionou-se 15 ml de água destilada. Todo o material foi transferido para o microdestilador, adicionou-se 0,2 g de MgO , tendo a destilação e análise sido feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.7. Extração com Mehlich1

Colocou-se em duplicata 2 g de solo em becker de 100 ml, 20 ml da solução extratora (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N), repouso por uma noite. No dia seguinte todo o material foi transferido para o microdestilador, seguido da adição de 10 ml de $NaOH$ 15%. A destilação e análise foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.8. Extração com solução de Na_3PO_4 /Bórax (Tampão pH=11,2) (GIANELLO, 1985).

Transferiu-se em duplicata 2,5 g de solo para o microdestilador, seguido da adição de 25 ml da solução tampão pH=11,2 (200 g de $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ e 50 g de bórax em 2000 ml de água). A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

* BESSLER, K.E. (Departamento de Química/UnB, Brasília, DF)
Comunicação pessoal, 1986.

3.4.2.9. Extração com KCl 2M a 100°C (GIANELLO, 1985).

Colocou-se em duplicata 3 g de solo em tubo de digestão marca Pirex (200 mm x 25 mm), seguido da adição de 20 ml de KCl 2M. O tubo foi tampado com rolha de borracha, a qual foi amarrada com barbante, colocado no bloco digestor de alumínio previamente aquecido a 100°C, e mantido nesta temperatura por 4 horas. Transferiu-se em seguida todo o material para o microdestilador, e adicionou-se 0,2 g de MgO. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.4.2.10. Extração com KCl 2M a 100°C/Tampão
pH=11,2

A extração foi feita exatamente como descrito no item 3.4.2.9. Após a extração transferiu-se todo o material para o microdestilador, e adicionou-se 25 ml da solução tampão pH=11,2. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado no item 3.4.2.2.

3.5. RESPOSTA DO TRIGO À ADUBAÇÃO NITROGENADA.

Foi instalado um experimento em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, com as seguintes características químicas: pH=5,5 , Al+H=8,3 meq/100cc , Ca+Mg=1,1 meq/100cc , P=traços , K=13 ppm , CTC=9,41 meq/100cc e M.O.=4,0%. Quarenta e cinco dias antes do plantio foram aplicados 6700 kg/ha de calcário dolomítico PRNT=60% (metade da dose antes da aração e metade antes da gradagem). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis tratamentos de N (0-70-140-210-280-350 kg/ha) aplicados a lanço e incorporados com enxada, na forma de sulfato de amônio, com quatro repetições em parcelas de 5x1m, com espaçamento de 20 cm entre linhas. As quatro linhas centrais formaram a parcela útil.

Na adubação de plantio empregou-se com 150 kg P_2O_5 /ha na forma de superfosfato simples, 100 kg K_2O /ha na forma de cloreto de potássio e 20 kg/ha de sulfato de zinco. Na semeadura (17/1/86) foram utilizadas 110 sementes/metro linear, do cultivar BH=1146 com índice de germinação de 80%. Aos dezoito dias após o plantio (04/2/86) coletou-se amostras de terra nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm, no total de dez amostras por parcela. As amostras foram secadas a 70°C (PETERSON & ATTOE, 1965) em estufa com circulação de ar durante 3 horas, passadas em peneira de 2 mm e acondicionadas em sacos plásticos. Para fins de análise foliar, coletou-se a primeira folha abaixo da panícula em fase de formação aos 45

dias após o plantio.

Em virtude da ocorrência de veranico aos 20 dias após o plantio, foram feitas irrigações suplementares por aspersão.

Durante a condução do experimento não houve necessidade de se fazer controle fitossanitário.

Na colheita (23/4/86) foi avaliada também a produção de parte aérea cortada rente ao solo, e de raízes. A amostragem de raízes foi feita coletando-se um bloco de solo de 30x20x20 cm (HEINZMANN, 1985), e o material vegetal foi separado mediante lavagem. Nos grãos, na parte aérea e nas raízes foram analisados nitrogênio, fósforo e potássio (OLIVEIRA, 1986).

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.6.1. Testes de incubação

O nitrogênio potencialmente mineralizável (No), o nitrogênio facilmente mineralizável (Nfmin e N1) e o de difícil mineralização (Ndmin e N2) foi calculado segundo os modelos matemáticos abaixo:

$$N_t = N_o (1 - e^{-k_1 t}) \quad (\text{STANFORD \& SMITH, 1972})$$

$$N_t = N_1 (1 - e^{-k_1 t}) + N_2 (1 - e^{-k_2 t}) \quad (\text{INUBUSHI et alii, 1985})$$

$$N_t = N_0 S (1 - e^{-k t}) + N_0 (1 - S) (1 - e^{-h t})$$
 (MOLINA *et alii*, 1980)

onde:

t=tempo de incubação (semana)

k,h=constantes de mineralização (1/semana)

No=N potencialmente mineralizável (ppm)

N1=N facilmente mineralizável (ppm)

N2= N de difícil mineralização (ppm)

S= fração do No mineralizável

Os parâmetros dos modelos matemáticos foram estimados pelo método não-linear dos mínimos quadrados (NLMQ) (BORATTO, 1984).

3.6.2. Teste de correlação

As correlações lineares entre os diversos métodos de extração de nitrogênio facilmente mineralizável, foram calculados segundo SNEDECOR & COCHRAN (1977).

O cálculo da fração do N orgânico (valor α) que contribuiu para o fornecimento de nitrogênio para as plantas no teste de correlação, foi feito em função dos valores de No determinados no teste de incubação aeróbica, do nitrogênio absorvido pelas plantas e pelo extraído com diferentes extratores químicos. Foi utilizado o modelo matemático proposto por GEIST *et alii* (1970).

$$Y = B_0 + B_1(X_1 + \alpha X_2) + B_2(X_1 + \alpha X_2)^2$$

onde:

Y=quantidade de N absorvida (mg/vaso)

X1=NO₃+NH₄ do solo (ppm)

X2=N facilmente mineralizável (ppm)

α =constante

B0, B1, B2=coeficientes de regressão.

O valor " α " escolhido foi aquele que proporcionou o menor desvio padrão residual (DPR).

3.6.3. Resposta do trigo à adubação nitrogenada.

Os dados de produção foram ajustados ao modelo booleano linear-platô (BRAGA, 1983):

$$Y = (a + bX)(X \leq NC) + c(X > NC)$$

onde:

a, b, c=coeficientes de regressão

Y=produtividade (kg/ha)

X=nitrogênio no solo (ppm)

NC=nível crítico (ppm)

Para o cálculo estatístico e na elaboração dos gráficos foram utilizados programas escritos em BASIC APFLESOFT desenvolvidos pelo autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTE DE INCUBAÇÃO NO LABORATÓRIO

Nas Figuras de 1 a 20 são apresentados os valores de nitrogênio mineralizado para diferentes solos em função do tempo, por incubação aeróbica em condições de laboratório. Os parâmetros dos modelos matemáticos testados (INUBUSHI *et alii*, 1985; MOLINA *et alii*, 1980 e STANFORD & SMITH, 1972), são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Mediante uma análise comparativa observa-se facilmente que os solos apresentam um comportamento diferenciado referente à mineralização de nitrogênio. Os solos 1, 2, 3, 6, 8, 10, 12, 13, 15, 19 e 20 apresentaram uma mineralização do tipo logarítmo, enquanto que os solos 4 e 9 apresentaram um comportamento do tipo linear, e os solos 5, 7, 11, 14, 16, 17 e 18 do tipo "crescimento logístico" (SNEDCOR & COCHRAN, 1977).

A influência do manejo dos solos na mineralização do nitrogênio, fica bastante evidente ao se comparar os resultados obtidos para os solos 3, 5, 6 e 12. Os solos 5 e 6 apesar

Fig.1. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#1.

Fig.2. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#2.

Fig.3. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#3.

Fig.4. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#4.

Fig.5. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#5.

Fig.6. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#6.

Fig.7. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#7.

Fig.8. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#8.

Fig.9. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#9.

Fig.10. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#10.

Fig.11. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#11.

Fig.12. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#12.

Fig.13. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#13.

Fig.14. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#14.

Fig.15. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#15.

Fig.16. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#16.

Fig.17. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#17.

Fig.18. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#18.

Fig.19. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#19.

Fig.20. Nitrogênio mineralizado em função do tempo para o solo n#20.

de pertencerem a um mesmo tipo de solo (Tabela 1), o primeiro apresenta uma menor constante de mineralização, provavelmente ocasionado por um cultivo intensivo, e aplicação anual de herbicidas, enquanto que o segundo por estar cultivado com cafeeiro, e a eliminação das ervas daninhas ser feita mediante capinas. Estes resultados concordam com os obtidos por EL-HARIS *et alii* (1983) os quais observaram uma diminuição do nitrogênio mineralizado nos solos submetidos a um cultivo intensivo. O solo 12 foi o que apresentou a maior quantidade de nitrogênio mineralizado (147 ppm) por estar localizado em uma reserva ecológica, seguido do solo 3 (128 ppm) por se tratar de um solo de pastagem nativa, e apresentar flutuações periódicas do lençol freático. Segundo SÁNCHEZ (1981) a umidade talvez seja o fator dominante que mais afeta a constante de mineralização de nitrogênio nos solos tropicais.

As constantes de mineralização (k e h) ao assumirem valores próximos para diferentes solos, sugerem que as principais fontes de nitrogênio mineralizável sejam semelhantes (STANFORD & SMITH, 1972). No entanto os autores não fazem nenhuma referência à atividade microbiana, a qual tem papel importante na mineralização do N orgânico.

O modelo matemático proposto por STANFORD & SMITH (1972) (Tabela 4) foi o que apresentou maiores valores para o desvio padrão residual (DPR), além de subestimar o nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0). Estes resultados estão de

acordo com as críticas apresentadas por MOLINA *et alii* (1980), sobre o rápido comportamento assintótico deste mode-

Os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6 indicam que o modelo proposto por MOLINA *et alii* (1980) resultou ser o melhor, em virtude dos baixos valores para o desvio padrão residual (DPR), como também por prever a existência de dois "pools" de nitrogênio no solo. Estes resultados concordam com os obtidos por LINDERMAN & CARDENAS (1984).

O modelo proposto por INUBUSHI *et alii* (1985) (Tabela 6) apesar de também prever a existência de dois "pools" de nitrogênio, apresenta a desvantagem do nitrogênio facilmente mineralizável estimado (N1) resultar negativo nos solos com um período inicial de latência (fase lag), devido à multiplicação microbiana. Neste intervalo de tempo os microorganismos se adaptam às condições de incubação, sem ocasionar variações significativas no substrato (GALLAGHER & BARTHOLOMEW, 1964). Resultados semelhantes foram obtidos por KRESGE & MERKLE (1957) em experimentos de incubação com solos que haviam sido cultivados com batata.

O modelo de MOLINA *et alii* (1980) apesar de também não prever a existência de uma fase de latência, é o que melhor se ajusta a estes casos. Um aspecto importante é o fato do mesmo considerar a mineralização do nitrogênio como sendo um processo contínuo, com os dois componentes da função interligados pelo parâmetro S. Enquanto que o modelo de INUBUSHI *et*

alii (1985) descreve um processo descontínuo, com os dois componentes da função comportando-se de maneira independente.

Na Tabela 5 observa-se que os solos 18 e 12 foram os que apresentaram o menor valor (0 ppm) e o maior valor (110 ppm) respectivamente, para o nitrogênio facilmente mineralizável (Nfmin). A maior constante de mineralização (valor k) foi obtida para o solo 1, e a menor para os solos 5 e 11. Apesar do solo 18 apresentar um valor zero para o nitrogênio facilmente mineralizável, não significa dizer que o mesmo seja incapaz de mineralizar nitrogênio. A Figura 18 mostra que este solo mineralizou 26 ppm (52 kg/ha) de N durante as dez primeiras semanas de incubação, um aporte considerável de nitrogênio para as principais culturas (MALAVOLTA,1977, p.31).

Admite-se como facilmente mineralizável o nitrogênio presente em aminoácidos e açúcares aminados (glucosamina e galactosamina) (STEVENSON,1982). Nas Tabelas 5 e 6 observa-se que esta fração representa menos de 6% do nitrogênio total. Isto talvez explique em parte o fato de não se obter estreitas correlações entre o N total e o N absorvido ou a produção de grãos. O nitrogênio total do solo nem sempre reflete a capacidade de suprimento de nitrogênio às plantas (STANFORD et alii, 1965).Em experimento com cana-de-açúcar realizado no Havaí não obtiveram correlações significativas entre o nitrogênio total do solo e o absorvido pelas plantas. Entretanto em solos cultivados com arroz sob condições de inundação, de

Tabela 4. Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por STANFORD & SMITH (1972) para os diferentes solos.

N#	No ppm	k 1/semana	DPR ppm	R ²
1	38	0,249	4,27	0,921
2	74	0,075	3,70	0,977
3	127	0,111	8,03	0,970
4	113	0,033	3,46	0,985
5	43	0,039	3,31	0,939
6	103	0,040	2,91	0,989
7	43	0,038	2,50	0,962
8	106	0,039	2,97	0,990
9	74	0,041	2,92	0,981
10	59	0,043	2,60	0,977
11	100	0,050	11,65	0,909
12	158	0,092	1,91	0,999
13	92	0,062	2,60	0,992
14	86	0,043	6,53	0,946
15	59	0,041	4,87	0,922
16	128	0,053	7,70	0,969
17	40	0,042	1,56	0,981
18	92	0,042	5,17	0,965
19	115	0,069	1,87	0,998
20	96	0,052	2,59	0,992

1. No=nitrogênio potencialmente mineralizável.
2. k=constante de mineralização.
3. DPR=desvio padrão residual.
4. R² ≥ 0,700 significativo a 1%.

Tabela 5. Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por MOLINA *et alii* (1980) para os diferentes solos.

N#	No ppm	S	Nfmin -----ppm-----	Ndmin	k 1/semana	h.10 ⁻³ ppm	DPR	R ²
1	199	0,11	22(3)	177(26)	1,226	4,74	1,60	0,993
2	425	0,04	17(1)	408(33)	0,713	5,05	1,35	0,998
3	672	0,07	46(3)	626(34)	0,567	5,41	1,06	0,999
4	477	0,02	11(1)	466(22)	0,046	5,50	2,45	0,995
5	238	0,01	2(0,1)	236(17)	0,008	5,42	2,49	0,979
6	423	0,02	10(1)	413(31)	0,123	6,35	2,03	0,997
7	278	0,01	2(0,2)	276(32)	0,061	4,35	2,06	0,984
8	449	0,02	10(1)	439(26)	0,127	5,54	1,89	0,997
9	329	0,01	4(0,4)	325(33)	0,147	6,50	1,03	0,999
10	450	0,01	3(0,2)	447(36)	1,075	3,66	1,27	0,997
11	538	0,02	8(0,5)	530(30)	0,008	6,90	8,01	0,974
12	557	0,20	110(6)	447(26)	0,128	3,57	1,63	0,999
13	328	0,13	44(3)	284(18)	0,113	4,63	2,74	0,994
14	515	0,02	10(1)	505(39)	0,015	5,32	3,58	0,990
15	372	0,01	5(0,3)	367(20)	0,350	3,70	2,02	0,989
16	592	0,04	26(4)	566(94)	0,094	6,12	8,39	0,978
17	246	0,03	7(1)	239(18)	0,115	3,65	1,89	0,984
18	416	0,00	0(0)	416(28)	0,539	7,11	3,21	0,992
19	579	0,07	39(3)	540(36)	0,182	4,53	1,54	0,999
20	454	0,03	14(1)	440(35)	0,231	5,89	0,95	0,999

1. No=nitrogênio potencialmente mineralizável.
2. S=fração mineralizável de No.
3. Nfmin=nitrogênio facilmente mineralizável.
4. Ndmin=nitrogênio dificilmente mineralizável.
5. Os números entre parênteses rsresentam a porcentagem do total.
6. k,h=constantes de mineralização.
7. R²>=0,920 significativo a 1%.

Tabela 6. Valores dos parâmetros obtidos com o modelo matemático proposto por INUBUSHI *et alii* (1985) para os diferentes solos.

N#	No	N1	N2	k	$h \cdot 10^{-2}$	DPR	R^2
		-----ppm-----		1/semana		ppm	
1	231	22(3)	209(31)	1,069	0,39	1,60	0,993
2	431	16(1)	415(34)	0,717	0,50	1,35	0,998
3	424	45(2)	379(21)	0,609	0,96	0,97	0,999
4	315	1(tr)	314(15)	0,217	0,97	2,44	0,995
5	365	1(tr)	364(27)	0,010	0,35	2,44	0,980
6	334	11(1)	323(23)	0,104	0,81	1,95	0,997
7	94	-2	96(11)	0,810	1,66	1,56	0,991
8	278	10(1)	268(16)	0,105	1,06	1,71	0,998
9	227	1(tr)	226(23)	0,338	1,02	1,03	0,999
10	455	3(tr)	452(37)	1,291	0,37	1,08	0,998
11	189	-14	204(12)	1,45	2,81	3,30	0,999
12	486	103(6)	383(22)	0,135	0,50	1,71	0,999
13	325	19(1)	306(20)	0,324	0,79	1,82	0,998
14	225	-4	229(17)	1,270	1,49	2,44	0,999
15	241	5(tr)	236(21)	0,350	0,60	2,05	0,989
16	236	2(tr)	234(13)	-0,07	2,49	7,51	0,982
17	104	3(1)	101(17)	0,156	1,11	1,93	0,983
18	328	4(tr)	324(25)	0,022	0,90	3,23	0,992
19	379	43(3)	336(22)	0,158	0,70	1,42	0,999
20	299	46(4)	253(20)	0,072	0,60	1,45	0,999

1. No=nitrogênio potencialmente mineralizável.
2. N1=nitrogênio facilmente mineralizável.
3. tr= traços.
4. N2=nitrogênio dificilmente mineralizável.
5. Os números entre parênteses representam a porcentagem do total.
6. k,h=constantes de mineralização.
7. DPR=desvio padrão residual.
8. $R^2 \geq 0,920$ significativo a 1%.

vido a uma maior homogeneidade e estabilidade da matéria orgânica, tem-se encontrado estreitas correlações entre o N total do solo e o N absorvido (KAI *et alii*, 1984 e SAHRA-WAT, 1980, 1982a, 1982b).

O nitrogênio de difícil mineralização (N_{dmin} e N₂) tem pouca importância agronômica, por estar fazendo parte de estruturas de difícil decomposição pela atividade microbiana.

Nas Figuras de 1 a 20 observa-se que mesmo em condições favoráveis de incubação, a mineralização de nitrogênio é muito pequena nos primeiros dias. Pode-se inferir portanto que amostras de terras secas a 70°C (PETERSON & ATTOE, 1965) com circulação de ar durante quatro horas, podem ser guardadas em sacos plásticos para serem analisadas posteriormente, sem ocorrência de variações significativas nos teores iniciais de NH₄ e NO₃ para fins de fertilidade. Segundo KEENEY & BREMNER (1966a) amostras de terras secas ao ar e armazenadas por até 16 semanas, apresentam pequenas variações nos teores de nitrogênio avaliados através de métodos químicos.

Os modelos matemáticos propostos por MOLINA *et alii* (1980) e por INUBUSHI *et alii* (1985) apesar de apresentarem um bom ajuste à maioria dos solos, apresentam a desvantagem de serem empíricos e não desenvolvidos a partir de premissas biológicas, tal como o modelo de crescimento generalizado (PRUITT *et alii*, 1979). Um modelo adequado para o estudo da

mineralização de nitrogênio do solo, deveria atender aos seguintes requisitos:

- 1) prever a existência de dois ou mais "pools" de nitrogênio orgânico;
- 2) prever ou não a existência da fase de latência (fase lag) e da fase logarítmica (fase log);
- 3) estar embasado em premissas biológicas;
- 4) ser derivado a partir de modelos diferenciais;
- 5) considerar como "zero" o nitrogênio mineralizado no tempo "zero";
- 6) as constantes de mineralização devem ser menores que um.

Após a conclusão deste trabalho o autor pretende trabalhar no desenvolvimento de um modelo matemático que atenda aos requisitos acima mencionados.

4.2 TESTE DE INCUBAÇÃO NO CAMPO

Em condições de campo o nitrogênio mineralizado durante vinte e seis semanas (Tabela 7), apresentou um comportamento bastante variável. Até a sexta semana (a excessão dos solos 1, 4 e 17) os solos apresentaram uma tendência no aumento do nitrogênio mineralizado. Resultados semelhantes foram obtidos por CARSKY* para um Latossolo Vermelho - Escuro

* CARSKY, R. (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/ EMBRAPA, Brasília, DF). Comunicação pessoal, 1987.

do CPAC/EMBRAPA. A partir desta data até a vigésima semana a maioria dos solos apresentaram uma tendência de diminuição do nitrogênio mineralizado, voltando a aumentar até a vigésima sexta semana.

A variabilidade observada a partir da sexta semana, foi ocasionada por uma possível diminuição da atividade microbiana, devido as variações na umidade e temperatura do solo, ocorridas durante o período no qual as sacos plásticos ficaram enterrados no campo (ENO, 1960). No teste de incubação em laboratório pelo fato do nitrogênio inicial ter sido lixiviado e a temperatura e umidade mantidas constantes, a massa microbiana sob condições energéticas e nutricionais desfavoráveis apresenta uma maior eficiência na decomposição da matéria orgânica e mineralização do nitrogênio. O mesmo não acontece na incubação realizada em condições de campo.

Isso sugere que a metodologia utilizada, não serve para avaliação do nitrogênio potencialmente mineralizável (No) em condições de campo para um tempo de incubação maior que seis semanas. Em experimento de curta duração (SMITH *et alii*, 1977) encontraram estreitas correlações entre o nitrogênio mineralizado em sacos plásticos enterrados no campo durante um mês, com o nitrogênio potencialmente mineralizável (No).

Tabela 7. Teores de nitrogênio mineralizado em função do tempo em incubação no campo.

N#	Tempo (semanas)					
	0	3	6	10	14	20
	N (ppm)					
1	66	57	96	42	65	21
2	65	71	115	98	118	59
3	68	89	110	127	120	125
4	55	53	79	89	91	87
	43	44	73	55	41	57
	53	57	107	77	82	88
	19	21	39	30	33	39
	40	47	69	67	49	83
	42	44	86	60	48	53
10	45	50	91	65	63	73
11	45	49	87	75	59	93
12	61	92	199	139	83	88
13	57	64	130	104	51	42
14	61	61	111	75	71	37
15	40	41	72	55	46	22
16	46	49	103	107	95	114
17	38	35	62	45	54	50
18	41	44	83	77	62	102
19	39	65	130	111	117	96
20	23	40	73	65	82	28

4.3 TESTE DE CORRELAÇÃO

Dos diferentes métodos empregados para avaliação do nitrogênio facilmente mineralizável, os que apresentaram maiores coeficientes de correlação linear (Tabela 8), com o nitrogênio determinado por incubação em condições de laboratório durante seis semanas (42 dias) foram: N facilmente mineralizável (Nfmin) calculado segundo MOLINA *et alii* (1980) ($r=0,956$); N-NH₄ extraído com NaOH 0,25N ($r=0,970$); N-NH₄ extraído com solução tampão pH=11,2 ($r=0,939$); N-NH₄ extraído com KCl 2M 100°C durante quatro horas ($r=0,959$); N-NH₄ extraído com KCl 2M 100°C durante quatro horas e destilado com a solução tampão pH=11,2 (0,963); N-NH₄ extraído com H₂O₂/MnO₂ durante trinta minutos ($r=0,925$) e o N-NH₄ mineralizado durante 6 semanas em condições de campo ($r=0,851$). A razão de se utilizar o nitrogênio mineralizado durante seis semanas (42 dias) em incubação de laboratório, foi devido ao fato do mesmo ter apresentado o maior coeficiente de correlação múltipla ($R=0,792$) com o nitrogênio absorvido pelo trigo durante os quarenta e cinco dias (Fig. 23), enquanto que o coeficiente de correlação (R) com o nitrogênio mineralizado durante seis semanas no campo, foi de 0,722 (Fig.24). Além disso, o nitrogênio mineralizado em condições de laboratório tem sido utilizado por diversos autores (GALLAGHER & BARTHOLOMEW, 1964; GIANELLO, 1985; JENKINSON, 1968; KEENEY & BREMNER, 1966a, 1966b; NUSKE & RICHTER, 1981; SMITH & STANFORD, 1971 e

Tabela 8. Matriz de correlação linear entre os diferentes métodos de extração de nitrogênio orgânico e trocável do solo.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X20	0,851	0,472	0,926	0,269	0,492	0,583	0,396	0,560	0,837	0,237
X19	0,416	0,726	0,403	0,889	0,836	0,817	0,754	0,769	0,539	0,721
X18	0,755	0,840	0,709	0,779	0,932	0,870	0,858	0,908	0,860	0,710
X17	0,963	0,495	0,875	0,281	0,693	0,615	0,647	0,583	0,953	0,195
X16	0,959	0,558	0,866	0,379	0,767	0,667	0,722	0,682	0,979	0,317
X15	0,939	0,613	0,866	0,500	0,788	0,714	0,729	0,740	0,972	0,402
X14	0,925	0,435	0,944	0,381	0,628	0,631	0,555	0,647	0,914	0,309
X13	0,734	0,502	0,770	0,591	0,630	0,633	0,562	0,662	0,759	0,431
X12	0,896	0,597	0,889	0,524	0,758	0,690	0,709	0,691	0,895	0,383
X11	0,271	0,809	0,257	0,834	0,655	0,646	0,590	0,793	0,439	0,822
X10	0,255	0,658	0,265	0,718	0,651	0,689	0,565	0,905	0,408	1,000
X9	0,970	0,634	0,914	0,437	0,775	0,725	0,708	0,757	1,000	
X8	0,633	0,766	0,615	0,717	0,827	0,831	0,734	1,000		
X7	0,657	0,737	0,565	0,711	0,968	0,678	1,000			
X6	0,637	0,694	0,633	0,686	0,840	1,000				
X5	0,705	0,779	0,634	0,756	1,000					
X4	0,325	0,772	0,347	1,000						
X3	0,956	0,471	1,000							
X2	0,526	1,000								
X1	1,000									

=====>

Tabela 8. Continuação

	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X20	0,312	0,797	0,719	0,878	0,736	0,751	0,770	0,646	0,359	1,000
X19	0,838	0,595	0,635	0,470	0,565	0,496	0,386	0,830	1,000	
X18	0,769	0,814	0,755	0,745	0,855	0,815	0,754	1,000		
X17	0,257	0,835	0,677	0,883	0,940	0,974	1,000			
X16	0,348	0,865	0,702	0,874	0,977	1,000				
X15	0,416	0,851	0,736	0,880	1,000					
X14	0,346	0,908	0,890	1,000						
X13	0,543	0,909	1,000							
X12	0,458	1,000								
X11	1,000									

$r \geq 0,561$ significativo a 1%.

onde:

X1=N-NH₄ inc.6 sem. lab. + N-NH₄ trocável
 X2=N potenc. mineralizável (MOLINA et alii,1980)
 X3=Nfmim (MOLINA et alii,1980) + N-NH₄ trocável
 X4=N total
 X5=KMnO₄/H₂SO₄ 1N
 X6=H₂SO₄ 1N
 X7=N-NH₄ oxidação ácida (X5 - X6)
 X8=KMnO₄/NaOH 0,25N
 X9=NaOH 0,25N
 X10=N-NH₄ oxidação básica (X8 - X9)
 X11=K₂Cr₂O₇/H₂SO₄ conc.
 X12=H₂O₂/KCl 1M
 X13=H₂O₂/noite de repouso
 X14=H₂O₂/MnO₂
 X15=Solução de Na₃PO₄/Bórax
 X16=KCl 2M 100°C
 X17=KCl 2M 100°C/Solução de Na₃PO₄/Bórax
 X18=Mehlich1
 X19=Matéria orgânica total
 X20=N-NH₄ inc. 6 sem. campo + N-NH₄ trocável

STANFORD, 1978) como padrão nos estudos de correlação com extratores químicos. STANFORD *et alii* (1965) encontraram estreitas correlações entre o nitrogênio mineralizado em condições aeróbicas durante duas semanas e o nitrogênio absorvido pela cana-de-açúcar em diferentes estádios fenológicos. Acreditam os autores que o nitrogênio mineralizado neste espaço de tempo sirva de índice para fins de adubação nitrogenada nesta cultura. Resultados semelhantes foram obtidos para o tomateiro (EAGLE, 1961).

Apesar do alto coeficiente de correlação ($r=0,970$) entre o nitrogênio mineralizado por incubação durante seis semanas e o $N-NH_4$ extraído com $NaOH$ 0,25N, o método não apresenta uma reprodutibilidade confiável. CORNFIELD (1960) utilizando simultaneamente o $NaOH$ 1N como solução extratora e o ácido bórico para recolher a NH_3 liberada durante o processo de extração, encontrou estreita correlação ($r=0,85$) entre o nitrogênio hidrolisado e o mineralizado por incubação durante três semanas. Trata-se de uma metodologia simples apesar da necessidade de extração durante 48 horas.

O $N-NH_4$ extraído com H_2O_2/MnO_2 foi o que melhor se correlacionou ($r=0,944$) com o nitrogênio facilmente mineralizável calculado segundo MOLINA *et alii* (1980), seguido do $N-NH_4$ extraído com $NaOH$ 0,25N ($r=0,914$) (Tabela 8).

Os baixos coeficientes de correlação entre o N total e o $N-NH_4$ mineralizado por incubação em condições de laboratório ($r=0,325$) e de campo ($r=0,347$), indicam que o nitrogê-

nio total não é um bom índice para avaliação do nitrogênio orgânico potencialmente assimilável em solos bem drenados. Por outro lado, em solos inundados o nitrogênio total tem revelado ser um bom índice para fins de adubação nitrogenada (KAI *et alii*, 1984 e SAHRAWAT, 1980, 1982a, 1982b, 1982c).

A fração do nitrogênio orgânico extraída com permanganato de potássio em meio ácido e alcalino, apresentou baixas correlações ainda que significativas, com o nitrogênio produzido por incubação no laboratório (Tabela 8). A baixa eficiência destes extratores pode ser devido ao fato dos mesmos terem sido calibrados em relação ao nitrogênio potencialmente mineralizável (No) (STANFORD, 1978 e STANFORD & SMITH, 1978). O No representa uma fração do nitrogênio orgânico total que seria mineralizado a longo prazo de acordo com a cinética de primeira ordem (SMITH *et alii*, 1977), portanto de pouco interesse do ponto de vista nutricional. Além de não apresentar uma boa correlação com o nitrogênio absorvido pelas plantas (Fig. 25). Enquanto que o nitrogênio facilmente mineralizável (Nfmin) apresentou uma estreita correlação com o nitrogênio absorvido pelas plantas (Fig. 26). TRUOG (1954) foi talvez o primeiro pesquisador a propor a extração do nitrogênio orgânico com uma solução de permanganato em meio alcalino como critério para fins de adubação nitrogenada para diversas culturas no estado de Wisconsin (USA). Teores de N $\leq$ 75 lb/ac eram considerados baixos e $\geq$ 225 lb/ac tidos como altos. HUSSAIN *et alii* (1985) encontraram correlação significa-

tiva ($r=0,76$) entre o nitrogênio extraído com esta solução e o absorvido pelo trigo. Correlação significativa ($r=0,72$) foi também obtida com o nitrogênio extraído com uma solução de $\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,05N (HUSSAIN *et alii*, 1984).

A grande dispersão que se observa entre o nitrogênio absorvido e os teores iniciais de nitrato (Fig.21), provavelmente deve-se ao fato das sacos plásticos contendo amostras deformadas de terras terem sido enterrados no campo, ocasionando a lixiviação do nitrato (WEBSTER & GASSER, 1959) no período mais chuvoso. Enquanto que o amônio menos lixiviável apresentou melhor correlação ($r=0,754$) (Fig.22). Em experimentos conduzidos em casa de vegetação tem-se encontrado estreita correlação ($r=0,932$) entre o nitrogênio absorvido pelo milho e azevém (*Lolium multiflorum*) e os teores iniciais de nitrato (OZUS & HANWAY, 1966). Correlações significativas foram também obtidas com o azevém perene (*Lolium perene*) ($r=0,91$) (RODRIGUEZ & SEPULVEDA, 1977) e o milho ($r=0,77$) (RICHARD *et alii*, 1960).

Os teores iniciais de NH_4 presentes em solos de arroz sob condições de inundação, têm sido sugeridos como índices para fins de adubação nitrogenada (SCHON *et alii*, 1985). Os autores encontraram correlação altamente significativa ($r=0,967$) entre os teores iniciais de amônio e a produção de grãos.

Dentre os extratores químicos testados, os que apresentaram melhor correlação com o nitrogênio absorvido pelo

trigo, em ordem decrescente foram: KCl 2M 100°C (Fig.29) > H_2O_2/MnO_2 (Fig.27) > Tampão pH=11,2 (Fig.28) > KCl 2M 100°C /Tampão pH=11,2 (Fig.30). Todos eles apresentaram estreitos coeficientes de correlação linear com o nitrogênio mineralizado durante 6 semanas (Fig. 31 a 36).

Utilizando-se a metodologia proposta por GEIST *et alii* (1970), calculou-se a contribuição da fração do N orgânico (valor α) absorvida pelas plantas, para os extratores que revelaram os mais promissores (Fig.37 a 42). Na Tabela 9 observa-se que todo o nitrogênio orgânico extraído com KCl 2M 100°C durante quatro horas, bem como o nitrogênio mineralizado no laboratório durante seis semanas, foram absorvidos pelas plantas, enquanto que apenas 0,23 (23%) do nitrogênio facilmente mineralizável (Nfmin) contribuiu no abastecimento das plantas. Os extratores tampão pH=11,2 e H_2O_2/MnO_2 apresentaram valores de alfa bastantes próximos entre si, 0,70 e 0,68, respectivamente. Isso sugere que esses extratores estão extraíndo nitrogênio orgânico de uma mesma fonte ("pool"). O método da solução tampão pH=11,2 foi originalmente utilizado por TRACEY (1952) para quantificação de glucosamina e galactosamina, e adaptado por GIANELLO (1985) para análise de nitrogênio orgânico do solo. O autor encontrou uma estreita correlação ($r=0,960$) entre o nitrogênio extraído e o mineralizado durante sete dias em condições anaeróbicas.

Fig.21.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores iniciais de N-NO₃.

Fig.22.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores iniciais de N-NH₄.

Fig.23.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH₄(inc.6 sem.lab.+inicial)

Fig.24.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N-NH₄ (inc.6 sem. campo + inicial)

Fig.25.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função do nitrogênio potencialmente mineralizável (No) (MOLINA et alii 1980).

Fig.26.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de N_{fmin}(MOLINA et alii 1980) + N-NH₄ inicial.

Fig.27.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de $N-NH_4$ extraídos com H_2O_2/MnO_2 .

Fig.28.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de $N-NH_4$ extraídos com tampão $pH=11,2$

Fig.29.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de $N-NH_4$ extraídos com KCl 2M a $100^\circ C$.

Fig.30.Nitrogênio absorvido pelo trigo em função dos teores de $N-NH_4$ extraídos com KCl 2M $100^\circ C$ /tampão $pH=11,2$

Fig.31.Teores de $N-NH_4$ (inc.6 sem.lab.+ inicial) em função de N_{fmin} (MOLINA et alii 1980) + $N-NH_4$ inicial.

Fig.32.Teores de $N-NH_4$ (inc.6 sem.lab.+ inicial) em função de $N-NH_4$ extraído com H_2O_2/MnO_2 .

Fig.33.Teores de N-NH₄ (inc.6 sem.lab.+ inicial) em função de N-NH₄ extraído com tampão pH=11,2

Fig.34.Teores de N-NH₄ (inc.6 sem.lab.+ inicial) em função de N-NH₄ extraído com KCl 2M 100°C.

Fig.35.Teores de N-NH₄ (inc.6 sem.lab.+inicial) em função de N-NH₄ extraído com KCl 2M 100°C /tampão pH=11,2

Fig.36. Teores de N_{fmin} (MOLINA et alii 1980) + N-NH₄ inicial em função de N-NH₄ extraído com H₂O₂/MnO₂.

Fig.37. Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. mineralizada por incubação no laboratório durante 6 semanas.

Fig.38. Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com H₂O₂/MnO₂.

Fig.39.Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com solução tampão pH=11,2

Fig.40.Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com KCl 2M a 100 °C.

Fig.41.Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para N org. extraído com KCl 2M a 100 °C/tampão pH=11,2

Fig.42.Desvio padrão residual (DPR) em função de alfa para Nfmin (MOLINA et alii 1980).

Tabela 9. Valores de alfa para os diferentes métodos de avaliação do N orgânico facilmente mineralizável.

Método de extração	Valor alfa
KCl 2M 100°C	1,00
Tampão pH=11,2	0,70
H ₂ O ₂ /MnO ₂	0,68
Incubação 6 semanas lab.	1,00
Nfmin/MOLINA <i>et alii</i> (1980)	0,23

As principais vantagens e desvantagens dos extratores químicos que revelaram ser mais promissores para análise de N orgânico facilmente mineralizável do solo, são:

1) Método KCl 2M 100°C

a) Vantagem

- permite a análise conjunta no mesmo extrato de nitrato e amônio;

b) Desvantagens

- maior gasto de tempo e energia;
- exige equipamento apropriado para extração.

2) Método Tampão pH=11,2

a) Vantagem

- rapidez e simplicidade;

b) Desvantagens

- excessiva formação de espuma em presença de liga metálica;
- exige a análise em separado do nitrato.

3) Método KCl 2M 100°C/Tampão pH=11,2

a) Vantagem

- maior correlação com o N-NH₄ mineralizado durante seis semanas;

b) Desvantagens

- maior gasto de tempo e energia;
- exige equipamento apropriado para extração;
- excessiva formação de espuma em presença de liga metálica;
- exige a análise em separado do nitrato.

4) Método H₂O₂/MnO₂

a) Vantagens

- rapidez e simplicidade;
- pouco consumo de reagentes;
- pouca formação de espuma em presença de liga metálica;
- permite a análise conjunta no mesmo extrato de nitrato e amônio.

b) Desvantagem

- provavelmente não adequado para solos derivados de rochas básicas e ricos em óxido de manganês.

4.4 RESPOSTA DO TRIGO À ADUBAÇÃO NITROGENADA.

Na Tabela 10 observa-se o efeito da adubação nitrogenada na produtividade de grãos e matéria seca do trigo, tendo as produtividades máximas sido obtidas com 207 e 377 kg N/ha, respectivamente (Figuras 43 e 44). Enquanto que para a máxima produção de grãos /N absorvido seria necessário apenas 153 kg N/ha (Tabela 11, Figura 45). As raízes e os talos mais folhas contribuíram em média com 46% e 31%, respectivamente, em relação ao peso seco total da planta.

Tabela 10. Efeito dos níveis de N na produção de matéria seca e de grãos.

N	Raques	Raízes	Talos+Folhas	Grãos	Total
kg/Ha					
0	542(10)	2533(45)	2110(37)	479(8)	5664
70	546(9)	2954(49)	1869(31)	697(11)	6066
140	641(10)	2883(44)	1925(30)	1033(16)	6482
210	631(9)	3313(47)	1933(27)	1167(17)	7044
280	582(8)	3400(47)	2063(28)	1197(17)	7242
350	678(9)	3204(44)	2140(30)	1218(17)	7240

Os valores entre parênteses representam a porcentagem do total

Estes resultados mostram a importância de amostragem do sis-

Fig.43.Efeito dos níveis de N sobre a produção do trigo.

Fig.44.Efeito dos níveis de N sobre a produção de matéria seca do trigo.

Fig.45.Efeito dos níveis de N sobre a eficiência biológica para a produção de grãos.

tema radicular do trigo nos trabalhos de campo sobre absorção de nutrientes. HEINZMANN (1985) observou que do nitrogênio total absorvido pelo trigo 50% ficou retido nas raízes.

Os resultados da Tabela 12 mostram que o nitrogênio seguido do potássio foram os nutrientes mais absorvidos pelo trigo, e que a eficiência no aproveitamento do nitrogênio proveniente do fertilizante nitrogenado decresce com o aumento dos níveis de N aplicado. Esta baixa eficiência (11 a 20%) observada reforça a importância do nitrogênio orgânico facilmente mineralizável na nutrição mineral e na produção de grãos pelo trigo. Estes resultados são comparáveis aos obtidos por NEPTUNE & MURAKA (1978). Segundo SANCHEZ (1981) a taxa de recuperação de N aplicado na forma de fertilizante mineral oscila entre 20 e 70%. Os valores mais altos são comuns em culturas com sistemas radiculares extensos, tais como as pastagens. Enquanto que a menor eficiência ocorre mais frequentemente nas áreas sujeitas a umedecimento e secagem alternadas.

Tabela 11. Efeito dos níveis de nitrogênio na concentração e absorção de N,P,K pelo trigo

Trat.	N	P	K	Ef.	N	P	K	Prod.grãos/N abs.
kg/ha				%				
0	51	6	34	-	4,0	0,19	2,6	9,4
70	65	7	30	20	4,3	0,19	2,5	10,7
140	78	7	29	19	4,3	0,19	2,3	12,2
210	89	8	29	18	4,3	0,18	2,3	13,1
280	87	7	30	13	4,6	0,19	2,3	13,8
350	91	7	31	11	4,5	0,19	2,3	13,4

RICO & DATTA (1982) em um excelente trabalho sobre absorção de N utilizando N¹⁵ em 44 variedades de arroz, observaram que com o desenvolvimento das plantas decresce a absorção de N proveniente do fertilizante, ao mesmo tempo que aumenta a absorção de N proveniente da matéria orgânica do solo. No início de formação das panículas, mais de 60% do N absorvido era proveniente da fração orgânica do solo.

Na Figura 46 observa-se que para cada quilo de N absorvido são produzidos 19 quilos de grãos, sendo este valor inferior ao encontrado por PINO & RODRIGUEZ (1980) que foi de 32 kg grãos/ kg N absorvido. Esta diferença provavelmente deve-se aos fatores genéticos e edafo-climáticos ocorridos nos experimentos.

Nas Figuras 47 a 60 são apresentados os dados de produtividade de grãos em função do nitrogênio extraído por diferentes extratores a duas profundidades. Verifica-se existência de estreitas correlações entre o $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ e a produtividade de grãos, tendo o nível crítico (NC) variado em função da profundidade e do extrator utilizado. As menores correlações observadas para o NO_3 , indicam que quando analisado individualmente não é um índice confiável para fins de adubação nitrogenada, em virtude da predominância do fator intensidade sobre o fator capacidade.

Na Figura 61 foram colocados em gráficos os valores dos níveis críticos obtidos para produtividade de grãos e

Fig.46.Efeito do nitrogênio absorvido sobre a produção do trigo.

Fig.47.Produção de grãos em função do N(NO₃+NH₄) na prof. 0-25 cm extraído com KCl 1M.

Fig.48.Produção de grãos em função do N(NO₃+NH₄) na prof. 0-50 cm extraído com KCl 1M.

Fig.49. Produção de grãos em função do N(NH4) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 1M.

Fig.50. Produção de grãos em função do N(NH4) na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M.

Fig.51. Produção de grãos em função do N(NO3) na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 1M.

Fig. 52. Produção de grãos em função do $N(NO_3)$ na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M.

Fig. 53. Produção de grãos em função do $N(NO_3 + NH_4)$ na prof. de 0-25 cm extraído com KCl 2M 100 °C.

Fig. 54. Produção de grãos em função do $N(NO_3 + NH_4)$ na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 2M 100 °C.

Fig.55.Produção de grãos em função do N(NH₄) na prof.de 0-25 cm extraído com solução tampão pH=11,2

Fig.56.Produção de grãos em função do N(NH₄) na prof.de 0-50 cm extraído com solução tampão pH=11,2

Fig.57.Produção de grãos em função do N(NH₄+NO₃) na prof.de 0-25 cm extraído com KCl 1M e solução tampão pH=11,2

Fig.58.Produção de grãos em função do N(NO₃+NH₄) na prof. de 0-50 cm extraído com KCl 1M e solução tampão pH=11,2

Fig.59.Produção de grãos em função do N(NO₃+NH₄) na prof. de 0-25 cm extraído com H₂O₂/MnO₂.

Fig.60.Produção de grãos em função do N(NO₃+NH₄) na prof. de 0-50 cm extraído com H₂O₂/MnO₂.

Fig.61.Relação entre os níveis críticos de prod.grãos (eixo x) e prod.grãos/N abs.(eixo y) obtidos com as diferentes doses de nitrogênio.

produtividade de grãos/N absorvido em função das formas de N (NH_4 e NO_3) extraídos por diferentes métodos a duas profundidades. O alto coeficiente de correlação linear ($r=0,995$) e o coeficiente angular ($b=1,04$) mostram que o nível crítico de N no solo determinado pelo modelo booleano linear-plateau em função dos dados de produção, corresponde também ao nível crítico de máxima eficiência biológica.

Considerando que o sistema radicular do trigo se desenvolve à profundidade maior que 25 cm; a facilidade de lixiviação do NO_3 e NH_4 , e os maiores valores dos coeficientes de correlação encontrados na profundidade de 0-50 cm, isso sugere ser esta a profundidade mais indicada de amostragem de solo para fins de adubação nitrogenada para o trigo.

As estreitas correlações obtidas com os três métodos de extração nas diferentes profundidades, indicam ser os mesmos bastante promissores na avaliação do nitrogênio mineral e o facilmente mineralizável do solo.

Os níveis críticos de N no solo e os coeficientes de regressão linear entre o N extraído por diferentes extratores na profundidade de 0-50 cm (variável dependente) em função do N aplicado como fertilizante (variável independente) são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12. Níveis críticos de N ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) (ppm) no solo e coeficientes de regressão linear para os diferentes extratores.

Extrator	NC	a	b	r
KCl 2M 100°C	206	66,05	0,649	0,971
Tampão pH=11,2/KCl 1M	200	66,53	0,661	0,989
H ₂ O ₂ /MnO ₂	235	100,75	0,624	0,987

A determinação da necessidade de adubação por ser calculada de acordo com a fórmula abaixo:

$$N_f = (NC - N_s) / b$$

onde:

N_f = nitrogênio fornecido pelo fertilizante (kg/ha)

NC = nível crítico (ppm) (Fig. 54,58,60)

N_s = nitrogênio do solo (ppm)

b = coeficiente angular

Em virtude da estreita relação entre o N do solo com a umidade, temperatura e atividade microbiana, para se utilizar este modelo é necessário a realização de experimentos de campo com adubação nitrogenada (de preferência a nível regional) a fim de se determinar o nível crítico (NC) e o coeficiente angular (b) da reta de regressão.

5. CONCLUSÕES

1. Os solos apresentaram um comportamento diferenciado no que se refere à mineralização de nitrogênio da fração orgânica, avaliada através dos testes de incubação em condições de laboratório e de campo.

2. O modelo matemático proposto por MOLINA *et alii* (1980) é o mais indicado para quantificar o nitrogênio orgânico facilmente mineralizável e o nitrogênio potencialmente mineralizável (No). Apresenta no entanto a desvantagem de não prever a existência da fase de latência (fase lag).

3. A incubação de solos em sacos plásticos e enterrados no campo não é recomendada para se avaliar o nitrogênio potencialmente mineralizável (No), em se tratando de testes de incubação por mais de seis semanas.

4. Dentre os extratores testados os que apresentaram melhor correlação com o nitrogênio absorvido pelo trigo, em ordem crescente foram: KCl 2M 100°C > H₂O₂/MnO₂ > Tampão

pH=11,2 > KCl 2M 100°C /Tampão pH=11,2.

5. Todo o nitrogênio orgânico extraído em KCl 2M 100°C foi absorvido pelo trigo no teste de correlação. Enquanto que o índice de aproveitamento de N orgânico extraído com solução tampão pH=11,2 e H_2O_2/MnO_2 foi de 0,70 e 0,68, respectivamente.

6. Os teores de nitrogênio mineral e orgânico do solo extraídos com os diferentes extratores químicos a duas profundidades, apresentaram altos coeficientes de correlação com a produtividade de grãos.

7. O nível crítico de nitrogênio no solo determinado pelo modelo booleano linear-platô em função dos dados de produção corresponde também ao nível crítico de máxima eficiência biológica.

8. Conhecendo-se o nível crítico, o teor de nitrogênio no solo e o coeficiente angular da regressão linear entre o N extraído por um determinado extrator químico em função do N aplicado, pode-se determinar a quantidade do fertilizante nitrogenado a ser usada para alcançar uma produtividade desejada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. *An introduction to soil microbiology*. New York, John Willey and Sons, 1961. 472p.

BLACK, C.A. *Relaciones agua-suelo-planta*. Buenos Aires , Ed. Hemisfero Sur, 1975.v.2. 865p.

BORATTO, F. *Basic para engenheiros e cientistas*. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1984. 120p.

BRAGA, J.M. *Avaliação da fertilidade do solo. Ensaio de campo*. Viçosa, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1983.101p. (Publicação 156).

BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In:BLACK, C.A., ed.*Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1179-1237

BROWN, J.R.; RICE, W.C.; HOETTE, G.D. Soil nitrate measurements for predicting of N response by corn in a Udollic Ochraqualf. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 15(3):239-251, 1984

CASSMANN, K.G. & MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44: 1233-1237, 1980

CAVALCANTI, F.J.A.; FERNANDES, C.S.; GOMES, R.V.P.; MOURA, R.J.M. Lucro de adubação NPK na cana-de-açúcar em Pernambuco - primeira soca. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife, 3:39-50, 1979

CAVALLI, I. & RODRIGUEZ, J.S. Efecto del contenido de humedad en la mineralización del nitrógeno en nueve suelos de la provincia de Santiago. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, 2(2):101-112, 1975

CHIANG, C.; SOUDI, B.; MORENO, A. Soil nitrogen mineralization and nitrification under maroccan conditions. In: PROCEEDINGS OF THE 17TH COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, Rabat, 1983. *Nutrient balances and the need for fertilizers in semi-arid and arid re-*

gions. Rabat, International Potash Institute, 1983.
p.129-139

CORNFIELD, A.H. Ammonia release on treating soils with N sodium hydroxide as a possible means of predicting the nitrogen-supplying power of soils. *Nature*, London, 16(187):260-261. 1960.

COUTO, W. & RICHEY, K.D. Enxofre. In: GOEDERT, W.J., coord. *So-
los dos cerrados. Tecnologia e estratégias de manejo*.
São Paulo, Livraria Nobel, 1986. p.223-235.

DATTA, S.K. & MAGNAYE, C.R. A survey of forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. *Soils and Ferti-
lizer*, Farnham Royal Slough, 32:103-109. 1969.

DOLMAT, M.T.; PATRICK Jr., W.H.; PETERSON, J.F. Relation of available nitrogen to rice yield. *Soil Science*, Baltimore, 129(4):229-237. 1980.

EAGLE, D.J. Determinations of nitrogen status of soils in the west midlands. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, 12:712-717. 1961.

EL-HARIS, M.K.; COCHRAN, V.L.; ELLIOTT, L.F.; BEZDICK, D.F.

Effect of tillage, cropping and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 47:1157-1161. 1983.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. *Relatório Técnico Anual*, Brasília, 1976. 150p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. *Relatório Técnico Anual 1976-1977*, Brasília, 1978. 183p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. *Relatório Técnico Anual 1978-1979*, Brasília, 1979a. 195p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*, Rio de Janeiro, 1979b.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. *Relatório Técnico Anual 1979-1979*, Brasília, 1980. 170p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina.

tina. *Relatório Técnico Anual 1980-1981*, Brasília, 1982.
163p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecária dos Cerrados, Planaltina. *Relatório Técnico Anual 1981-1982*, Brasília, 1985.
177p.

ENO, F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bag. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 24:277-279. 1960.

FOX, R.H. & PIEKIELEK, W.P. Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 42:747-750. 1978.

GALLAGHER, P.A. & BARTHOLOMEW, W.V. Comparison of nitrate production and others procedures in determining nitrogen availability in southeastern coastal plain soils. *Agronomy Journal*, Madison, 56:179-184. 1964.

GASSER, J.K.R. Soil nitrogen. VI. Correlations between laboratory measurements of soil mineral-N and crops fields and response in pot and field experiments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, 12:562-573. 1961.

GEIST, J.M.; REUSS, J.O.; JOHNSON, D.D. Prediction of nitrogen

fertilizer requirements of field crops.2. Application of theoretical models to malting barley.*Agronomy Journal*, Madison,62:385-389.1970.

BIANELLO,C. Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil.Ames, 1985. 93p. (PhD Thesis - Iowa State University).

GILES,J.F.;REUSS,J.O.;LUDWICK,A.E. Prediction of nitrogen status of sugarbeet by soil analysis.*Agronomy Journal*, Madison,67:454-459.1975.

HARDY,R.W.F.;FILNER,P.;HAGEMAN,R.H.Nitrogen input. In: BROWN, A.W.A.;BYELY,T.C.;GIBS,M.;PIETRO San,A., ed. *A crop productivity research imperatives*.East Lansing, Agricultural Experimental Station, 1975.p.133-136.

HARMSSEN,G.W. & KOLLENBRANDER,G.J. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW,W.V. & CLARK, F.E., ed. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy,1965.p.43-92.

HEINZMANN,F. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*,Brasília, 20(9):1021-1030.1985.

HERRON,G.M.; Terman,G.L.;DREIER,A.F. Residual nitrate nitro-

gen in fertilizer deep loess-derived soils. *Agronomy Journal*, Madison, 60:477-482.1968.

HUSSAIN,F. & MALIK,K.A. Modification of the acid permanganate method for obtaining an index of soil nitrogen availability. *Plant and Soil*, Hague, 84:143-146.1985a.

HUSSAIN,F. & MALIK, K.A. Evaluation of alkaline permanganate method and its modification as an index of soil nitrogen availability. *Plant and Soil*, Hague, 84:277-282.1985b.

HUSSAIN,F.; MALIK,K.A.; AZAM,F. Evaluation of acid permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. *Plant and Soil*, Hague, 79:249-254.1984.

INUBUSHI,K.; WADA,H.; TAKAY,Y. Easily decomposable organic matter in paddy soil. VI. Kinetics of nitrogen mineralization in submerged soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 31(4):563-572.1985.

JACKSON,M.L. *Análisis químico del suelos*. Barcelona, Ed. Omega, 1964. 662p.

JAMES, D.W.; FRANCOM, F.J.; WELLS,R.F.; SISSON,D.V. *Control of soil fertility for high sugarbeet yield and quality*. Logan, Utah Agricultural Experimental Station. 1977. (Bul-

letin 496).

JENKINSON, D.S. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, 19:160-168. 1968.

JUMA, N.G. & PAUL, E.A. Mineralization of the soil nitrogen: Amounts and extractability ratios. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48:76-80. 1984.

JUMA, N.G.; PAUL, E.A.; MARY, B. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48:753-757. 1984.

JUSTICE, J.K. & SMITH, R.L. Nitrification of ammonium sulfate in a calcareous soil as influenced by combinations of moisture temperature, and levels of added nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 26:246-250. 1962.

KAI, H.; MASAYNA, W.; YAMADA, Y. Nitrogen behavior in tropical wetland rice soils. 1. Nitrogen-supplying capacities. *Fertilizer Research*, Dordrecht, 5:259-271. 1984.

KAURICHEV, I.S. *Prácticas de edafología*. Moscú, Ed. Mir Moscú, 1984. 285p.

- KEENEY, D.R. Nitrogen-availability indices. In: PAGE, A.L., ed. *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.711-733.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining a index of soil nitrogen availability. *Agronomy Journal*, Madison, 58:498-503. 1966a.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. A chemical index of soil nitrogen availability. *Nature*, London, 211:892-893. 1966b.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. Determination of isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. VI. Mineralizable nitrogen. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, 31:34-39. 1967.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo, Ed. Agrônômica Ceres, 1985. 492p.
- KRESGE, C.B.; MERKLE, F.G. A Study of the validity of laboratory techniques in appraising the available nitrogen producing in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 21:516-521. 1957.

LINDERMAN, W.C. & CARDENAS, M. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48:1072-1077. 1984.

MALAVOLTA, E. *O potássio e a planta*. Piracicaba, Instituto do Potássio e do Fosfato, 1977. 60p. (Boletim Técnico 1).

MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. *Desordens nutricionais no cerrado*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.

MICHRINA, B.P.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. A comparison of laboratory, greenhouse and field indications of nitrogen availability. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 12:519-535. 1981.

MILLER, R.D. & JOHNSON, D.D. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28:644-647. 1964.

MIRANDA, L.N. *Métodos de avaliação da fertilidade do solo*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agrope-

cuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1979. 149p. (Publicação Avulsa 6).

MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E.; LARSON, W.E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: The simple exponential model does not apply for first 12 weeks of incubation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:442-444. 1980.

MONDARDO, A. & GRIMM, S.S. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à adubação nitrogenada em cinco solos do Rio Grande do Sul em função do teor de matéria orgânica do solo. *Agronomia Sulriograndense* 10(2): 297-312. 1974.

MORGAN, W.T.J. Studies on imuno-chemistry. I. The preparations and properties of a specific polysaccharide from *B. dysenteriae* (SHIGA). *Biochemical Journal*, Colchester, 30:909-925. 1936.

MACLEAN, A.A. Measurement of nitrogen-supplying power of soils by extraction with sodium bicarbonate. *Nature*, London, 203:1307-1308. 1964.

NEPTUNE, A.M.L. & MURAOKA, T. Aplicação da uréia-N¹⁵ em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar carioca.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2:
51-55. 1978.

NØMMIK, H. Predicting the nitrogen-supplying power of
acid forest soils from data on the release of CO_2
and NH_3 on partial oxidation. *Communication in Soil
Science and Plant Analysis*, New York, 7(6):569-584.
1976.

NUSK, A. & RICHTER, J. N-mineralization in loss-parabro-
weathers. Incubation experiments. *Plant and Soil*,
Hague, 59:237-247. 1981.

OIEN, A. & SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for
evaluation of available nitrogen in soil. *Acta Agri-
culturae Scandinavica*, Stockholm, 30:149-156. 1980.

OLIVEIRA, S.A. Método simplificado para determinação
colorimétrica de nitrogênio em plantas. *Ciência
e Cultura*, São Paulo, 38(1):178-180. 1986.

OSTERGAAD, H.S. Predicting nitrogen fertilizer demands
in Denmark. In: ASSESSMENT OF THE NITROGEN STATUS
OF THE SOILS, Leuven, 1982. p.48-63.

OYANEDEL, C. & RODRIGUEZ, J.S. Estimación of N mineralization in soils. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, 4:33-44.1977.

OZUS, T. & HANWAY, J.J. Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorus availability in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30:224-228.1966.

PETERSON, L.A. & ATTOE, O.J. Importance of soil nitrates determinations on need and recovery fertilizer nitrogen. *Agronomy Journal*, Madison, 57:572-574.1965

PETERSON, L.A.; ATTOE, O.J.; OGEN, W.B. Correlations of nitrogen soil tests with nitrogen uptake by the tobacco plant. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 24:205-209.1960.

PINO, N. & RODRIGUEZ, J.S. Economía de nitrógeno en genotipos de trigo (*triticum aestivum* L.) y triticales (*Triticosecale* sp). I. Efecto del nitrógeno en la producción de materia seca, grano y proteína. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid, XXXIX (7-8):1369-1377.1980.

POTTKER, D. & MARINO, 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3:20-24.1979.

PRADO, O. & RODRIGUEZ, J.S. Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, 5(2):29-40. 1978.

PRASSAD, R. Determination of potentially available nitrogen in soils. A rapid procedure. *Plant and Soil*, Hague, 23(2):261-265.1965.

PRUITT, K.; MUTH, R.E.; TURNER Jr., M.E. Practical application of generic growth theory and the significance of the growth curve parameters. *Growth*, Lakeland, 43:19-35.1979.

PURVIS, E.R. & LEO, M.W.M. Rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions. *Journal of the Food and Agricultural Chemistry*, Columbus, 9:15-17.1961.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo*

para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico 81).

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.F.; PETINELLI, A.; NERY, C. A análise do solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. *Bragantia*, Campinas, 40:57-75. 1981.

RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI Jr., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônômico, 1980. 107p. (Boletim Técnico nº100).

REICHMAN, G.A.; GRUNES, D.L.; VIETS Jr., F.G. Effect of moisture on ammonification and nitrification in two northern plains soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30:363-366. 1966.

RICHARD, T.A.; ATTOE, O.J.; MOSKAL, S.; TROUG, E. Chemical method for determining available soil nitrogen. In: 7TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Madison, 1960.v.2. p.28-35.

RICO, G.B. & DATTA, S.K. Diferencia varietal del arroz en

la utilización del nitrógeno del suelo bajo condiciones de riego usando N¹⁵ depleted. *Agronomia Tropical*, Maracay, 32(1-6):171-185.1982.

ROBERTS, S.; WEVER, W.H.; PHELPS, J.F. Use of the nitrate soil test to predict sweet corn response to nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:306-308.1980.

ROBISONS, J.B.D. The critical relationship between soil moisture content in the region of the wilting point and mineralization of native soil nitrogen. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 49:100-105.1957.

ROBISON, J.B.D. A simple available soil nitrogen index. I. Laboratory and greenhouse studies. *Journal of Soil Science*, Oxford, 19:269-279.1968.

RODRIGUEZ, J.S. & SEPULVEDA, G. Correlación de métodos químicos y biológicos con la absorción de N de plantas de bellica en suelos de la zona central. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, 4(2):101-108. 1977.

RYAN, J.A.; SIMS, J.L.; PEASLEE, D.E. Laboratory methods for estimating plant available nitrogen in soil. *Agrono-*

my Journal, Madison, 63:48-51.1971.

SAHRAWAT, K.L. Evaluation of some chemical indexes for predicting mineralizable nitrogen in tropical rice soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 13(15):363-377.1982a.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical rice soils. *Plant and Soil*, Hague, 65:111-121. 1982b.

SAHRAWAT, K.L. Simple modification of the Walkley-Black method for simultaneous determination of carbon and potentially mineralizable nitrogen in tropical rice soils. *Plant and Soil*, Hague, 69:73-77.1982c.

SAHRAWAT, K.L. Modification of alkaline permanganate method for assessing the availability of soil nitrogen in upland soils. *Soil Science*, Baltimore, 133(1):53-57.1982.

SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de N-NO₃ e N-NH₄ no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19:1103-1108.1984.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ALVES, G.D. Mineralização do

carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 9:33-38.1985.

SÁNCHEZ, P. A. *Suelos del trópico. Características y manejo*. San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1981, 633p.

SCARSBROOK, C.E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W.W.; CLARK, F.E., ed. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.481-502.

SELMER-OLSEN, A.R.; OIEN, A.; BAERUG, R.; LYGSTAD, I. Evaluation of a KCl-hydrolysing method for available nitrogen in soil by pot experiment. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Stockholm, 31:251-255.1981.

SMITH, S.J. & STANFORD G. Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. *Soil Science*, Baltimore, 111(4):228-232.1971.

SMITH, S.J.; YOUNG, L.B.; MILLER, G.E. Evaluation of soil nitrogen mineralization potential under modified field conditions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 41:74-76.1977.

SNEDCOR, G.W. & COCHRAN, W.G. *Métodos estadísticos*. México ,
Comp. Editorial Continental, 1977. 703p.

SOPER, R.J. RACZ, G.J.; FEHR, P.I. Nitrate nitrogen in the soil
as a means of predicting fertilizer nitrogen require-
ments of barley. *Canadian Journal of Soil Science*, Ot-
tawa, 51:45-49. 1971.

SOUZA, D.M.G.; CARVALHO, L.J.C.B.; MIRANDA, L.N.; Correção da
acidez do solo. IN: GOEDERT, W.J., coord. *Solos dos cerra-
dos. Tecnologia e estratégias de manejo*. São Paulo
Livraria Nobel, 1986. p.99-127.

STANFORD, G. Extractable organic nitrogen and nitrogen mine-
ralization in soils. *Soil Science*, Baltimore, 106(5):345-
351. 1968.

STANFORD, G. Extraction of soil organic nitrogen by autocla-
ving in water. II. A kinetic approach to estimating the
NaOH-distilable fraction. *Soil Science*, Baltimore, 107(
5):323-328. 1969.

STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization
in corn production. *Journal of Environmental Quality*,
Madison, 2(2):159-166. 1973.

- STANFORD, G. Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability. *Soil Science*, Baltimore, 122(2):71-76. 1976.
- STANFORD, G. Evaluation of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. *Soil Science*, Baltimore, 126(4):244-253. 1978.
- STANFORD, G.; AYRES, A. S.; DOI, M. Mineralizable soil nitrogen in relation to fertilizer on sugarcane in Hawaii. *Soil Science*, Baltimore, 99:132-137. 1965.
- STANFORD, G. & DEMAR, W. H. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. I. The NaOH-distillable fractions as an index of nitrogen availability in soils. *Soil Science*, Baltimore, 107(3):203-205. 1969.
- STANFORD, G. & DEMAR, W. H. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. 3. Diffusible NH_3 as an index of soil nitrogen availability. *Soil Science*, Baltimore, 109:190-196. 1970.
- STANFORD, G. & EPSTEIN, E. Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 38:103-107. 1974.

STANFORD, G. & LEGG, J.O. Correlation of soil N availability index with N uptake by plants. *Soil Science*, Baltimore, 105(5):320-326. 1968.

STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 36:465-472. 1972.

STANFORD, G. & SMITH, S.J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. *Soil Science*, Baltimore, 126(4):210-218. 1978.

STANFORD, G.; FRERE, M.H.; SCHWANINGER, D.H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. *Soil Science*, Baltimore, 115(4):321-323. 1973.

STEELE, K.W.; COOPER, D.M.; DYSON, C.B. Estimating nitrogen fertilizer requirements in maize grain production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Wellington, 25(2):198-206. 1982.

STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J., ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, America Society of Agronomy, 1982. p.67-122.

SUBBIAH, B.V. & ASIJA, G.L. A rapid procedure for the estima-

tion of available nitrogen in soils. *Current Science*, Bangalore, 8:259-260.1956.

SUEHT, A.R.; PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J., ed. *Solos dos Cerrados. Tecnologia e estratégias de manejo*. São Paulo, Livraria Nobel, 1986. p.167-202.

TRACEY, M.V. The determination of glucosamine by alkaline decomposition. *Biochemical Journal*, Colchester, 52: 265-267.1952.

TROUB, E. Test for available soil nitrogen. *Commercial Fertilizer*, Atlanta, 88(4):72.1954.

URQUIAGA, S.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. MORAES, S.O.; VICTORIA, R.L. Variação do nitrogênio nativo e o proveniente do fertilizante em Terra Roxa Estruturada durante o desenvolvimento da cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8:223-227.1984.

VERDADE, F.C. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo Terra Roxa Misturada. *Bragantia*, Campinas, 11:269-276.1951.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method. .124.

thod for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Baltimore, 37:29-38. 1934.

WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, London, 201:951-952. 1964.

WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. *Estudo para interpretação de análise de solo em condição de laboratório e em vasos*. Washington, International Soil Testing, 1965. (Boletim Técnico 2).

WEBSTER, R. & GASSER, J.K.R. Soil nitrogen. V. Leaching of nitrate from soil in laboratory experiments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, 10:584-588. 1959.

WEHRMANN, J. Determination of nitrogen fertilizer requirements by nitrate analysis of the soil and of the plant. In: *ASSESSING OF THE NITROGEN STATUS OF THE SOILS*, Leuven, 1982. p.54-62.

7. APENDICE

Tabela 1. Nitrogênio absorvido em função dos teores de N extraído por diversos extratores e pelo modelo matemático de MOLINA *et alii* (1980). Os dados foram ajustados à função $Y=B_0 + B_1X + B_2\sqrt{X}$

X	B0	B1	B2	R
X1	-23,132	-2,083	49,889	0,792
X2	136,892	0,287	-3,261	0,480
X3	76,694	-0,797	26,336	0,738
X4	148,114	856,482	-149,925	0,417
X5	5,821	0,085	10,792	0,471
X6	1016,325	12,049	-202,234	0,526
X7	-99,986	-0,693	32,617	0,460
X8	575,864	4,367	-85,180	0,526
X9	-257,810	-5,891	113,100	0,780
X10	113,704	0,069	6,783	0,186
X11	1659,71	2,236	-116,275	0,453
X12	-346,117	-5,388	115,802	0,765
X13	-176,016	-1,534	55,008	0,745
X14	-252,765	-5,675	109,285	0,810
X15	-220,332	-5,092	101,502	0,792
X16	-156,768	-6,029	102,414	0,817
X17	-94,743	-3,010	68,679	0,742
X18	233,533	3,225	-34,999	0,635
X19	380,919	113,412	-322,629	0,522
X20	-17,104	-0,477	-29,834	0,722

$R^2=0,575$ significativo a 1%.

onde:

X1=N-NH₄ inc.6 sem. lab. + N-NH₄ trocável
X2=N potenc. mineralizável (MOLINA *et alii*,1980)
X3=Nfmim (MOLINA *et alii*,1980) + N-NH₄ trocável
X4=N total
X5=KMnO₄/H₂SO₄ 1N
X6=H₂SO₄ 1N
X7=N-NH₄ oxidação ácida (X5 - X6)
X8=KMnO₄/NaOH 0,25N
X9=NaOH 0,25N
X10=N-NH₄ oxidação básica (X8 - X9)
X11=K₂Cr₂O₇/H₂SO₄ conc.
X12=H₂O₂/KCl 1M
X13=H₂O₂/noite de repouso
X14=H₂O₂/MnO₂
X15=Solução de Na₃PO₄/Bórax

X16=KCl 2M 100°C

X17=KCl 2M 100°C/Solução de Na_2PO_4 /Bórax

X18=Mehlich1

X19=Matéria orgânica total

X20=N-NH₄ inc. 6 sem. campo + N-NH₄ trocável