

# AValiação DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO<sup>1</sup>

SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA<sup>2</sup>

**RESUMO** - O presente trabalho teve por objetivo avaliar a disponibilidade de nitrogênio para o trigo através de diferentes métodos químicos. Dos 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 0,25 N ( $r = 0,970$ ); KCl 2M 100°C/tampão pH = 11,2; KCl 2M 100°C ( $r = 0,959$ ); solução-tampão pH = 11,2 ( $r = 0,939$ ) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> ( $r = 0,925$ ). 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 linear múltipla obtidos foram: KCl 2M 100°C ( $R = 0,817$ ); H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> ( $R = 0,810$ ); tampão pH = 1,2 ( $R = 0,792$ ) 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 cm - 25 cm e 0 cm - 50 cm, extraídos com KCl 2M 100°C, tampão pH = 11,2 e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>. O nível crítico (NC) calculado pelo modelo linear-plateau (Braga 1983) variou com a profundidade e com o extrator utilizado.

Termos para indexação: análise de solo, adubação nitrogenada, fertilidade do solo, trigo.

## EVALUATION OF NITROGEN AVAILABILITY IN SOIL

**ABSTRACT** - The objective of the present work was to evaluate the nitrogen availability in soils of the Federal District of Brazil. The extractants showing the highest correlations with mineralized nitrogen (six-week incubation in the lab) were the following: .025 N 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<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> ( $r = .925$ ). These extractants showed high ( $p > .01$ ) correlations among themselves. However, the multiple linear correlation coefficients between absorbed nitrogen and extracted nitrogen were: 2M KCl 100°C ( $R = .817$ ); H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> ( $R = .810$ ); 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 cm - 25 cm and 0 cm - 50 cm, as extracted with 2M KCl 100°C, buffer solution pH = 11.2 or H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>. The critical level estimated by means of a linear-plateau model (Braga 1983) varied according to soil depth and extractant.

Index terms: soil analysis, nitrogen fertilization, soil fertility, wheat.

## 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).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 23 de dezembro de 1988.

Trabalho solicitado pelo Conselho Editorial da PAB.

<sup>2</sup> Prof.-Adjunto, Dr. Dep. de Engenharia Agrônoma, Universidade de Brasília, (UnB), CEP 70910 Brasília, DF.

Segundo Hardy et al. (1975), o aumento da produção de alimentos no mundo, está freqüentemente 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 petróleo 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 1967, a eminência de uma possível escassez de petróleo no ocidente fez com que a partir de 1970 diversos países da Europa e a América do Norte intensificassem as pesquisas sobre a avaliação de N do solo.

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

Prova disto é o fato de o 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 Soil", 1982) apresenta 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 al. 1986).

De acordo com Salcedo et al. (1985), a baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada se deve à mineralização do N orgânico, que ocorre no período de pouso 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 kg/ha de N/ano, o suficiente para atender às necessidades da cana-de-açúcar, justificando assim a falta de resposta à adubação nitrogenada.

O fato de a cana-soca apresentar resposta mais freqüente à adubação nitrogenada em relação à cana-planta (Cavalcanti et al. 1979) poderia ser explicado pela redução de N mineral no perfil do solo ao final do ciclo da cana-planta (Salcedo & Sampaio 1984), e pela 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 al. 1985).

### MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE 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 al. (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 fornecer 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. Supondo que não existam limitações na atividade microbiana, e que 5% deste nitrogênio possa ser mineralizado, haveria em disponibilidade 135 kg/ha de N. 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.

#### 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 al. 1968 e Peterson & Attoe 1965), ou após a aplicação a lanço de todo o fertilizante (Prado & Rodríguez 1978) na semeadura (Soper et al. 1971), como também no início da fase de crescimento vegetativo (Ostergaard 1982 e Wehrman 1982).

#### MÉTODOS BIOLÓGICOS

Estes métodos apresentam a vantagem de usarem organismos vivos para avaliar a capacidade o 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 quanto à umidade, adicionando a um frasco plástico contendo 6 ml de água, com 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  $\text{NH}_4$  é quantificado, pois nestas condições as quantidades de  $\text{NO}_3$  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 nitrogênio produzido em condições anaeróbicas, e o N absorvido pelo azevém (*Lolium multiflorum*), enquanto

que Smith (1977) não encontrou correlação entre o  $\text{NH}_4$  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 condição aeróbica e anaeróbica ( $r = 0,77$  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.

### 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 al 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 al. 1960).

Subbiah & Asija (1956), em um trabalho no qual foram estudadas diferentes concentrações de  $\text{KMnO}_4$  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  $\text{KMnO}_4$  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 al (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 al. (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 al. 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 al. (1980).

Stanford (1978), em um criterioso trabalho, estudando o efeito de diferentes concentrações de  $\text{KMnO}_4$  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.

A grande maioria dos trabalhos realizados nas Filipinas encontrou correlações significativas com vários extratores químicos (Sahrawat 1982a, 1982b). Isto se deve ao fato de utilizarem geralmente o arroz como planta-teste, e por se tratar de solos de arroz inundado, condição favorável para estabilização da matéria orgânica do solo.

Hussain & Malik (1985b), trabalhando com 35 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 de potássio 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 Nusk & Richter (1981) na Alemanha, Sahrawat (1982a, 1982b) nas Filipinas, Hussain et al. (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 al. (1960), foram os primeiros pesquisadores a utilizarem uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 N para avaliação da adubação nitrogenada, com base na análise de solo. O princípio do método se baseia na hidrólise de compostos orgânicos do solo que contêm nitrogênio (aminas e amidas) e  $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ , durante repouso por uma noite. Todo o nitrogênio orgânico hidrolisado é posteriormente atacado com uma solução de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, seguido da análise de  $\text{NH}_4$  (Kadričev 1984). Trata-se de um procedimento bastante laborioso.

Richard et al. (1960), trabalhando com 39 solos, encontraram uma baixa correlação ( $r = 0,63$ ) entre o N extraído com uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25N, durante cinco minutos de digestão, com o N absorvido por plantas de milho. Estes resultados discordam dos obtidos por Peterson et al. (1960) para plantas de tabaco no segundo cultivo, e concordam com os obtidos por Keeney & Bremner (1966a) para o azevém (*Lolium multiflorum*). Resultados conflitantes entre os autores provavelmente são em parte devidos às modificações introduzidas por eles, no que se refere à concentração da solução ácida e ao tempo de extração.

Fox & Piekielek (1978), utilizando a metodologia proposta por Purvis & Leo (1961), não encontram correlação significativa entre o N extraído e o N absorvido por plantas de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por Dolmat et al. (1980), em 24 experimentos em campos de arroz inundado.

#### d. Hidróxido de sódio diluído

Comfield (1960) 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

Prasad (1965), utilizando vários hidróxidos de metais alcalinos e alcalino-terrosos, concluiu que o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  foi o que apresentou melhor correlação ( $r = 0,841$ ) entre o N hidrolisado e o N absorvido pelo milheto.

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 extratores.

#### g. Bicarbonato de sódio

Jenkinson (1968) utilizando a metodologia proposta por MacClean (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 Michrina et al. (1982), 92% do nitrogênio extraído com uma solução de  $\text{NaHCO}_3$  0,01 N, 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  $\text{NaHCO}_3$  0,25 N +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,25 N e o nitrogênio absorvido pelo milho.

#### i. Dicromato de sódio/Ácido fosfórico

Nõmmik (1976), utilizando uma solução de  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  1,45 M +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,76 M, encontrou uma estreita correlação ( $r = 0,877$ ) entre o nitrogênio mineralizável, e o N produzido por incubação aeróbica. A extração foi feita a  $100^\circ\text{C}$  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 0,5 N neutra e o nitrogênio extraído com  $\text{CaCl}_2$  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.

#### l. Água em ebulição/Sulfato de potássio

É o mesmo procedimento descrito por Keeney & Bremner (1966a), exceto que, após esfriarem o extrato, os autores adicionaram 20 ml de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  10%, seguida de agitação, filtração 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  $\text{CaCl}_2$  0,01 M em ebulição: 1) a concentração e o pH da solução salina mantêm-se constantes 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 al. (1980).

#### n. Cloreto de cálcio em autoclave

Stanford & Demar (1969), estimulados com os resultados favoráveis obtidos com a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M 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  $121^\circ\text{C}$  e 15 lb/pol<sup>2</sup>, 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  $\text{NH}_3$ , enquanto que pelo processo de destilação, a  $\text{NH}_3$  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 de a extração em autoclave ter mostrado resultados satisfatórios (Stanford & Smith 1976, Fox & Piekielek 1978), apresenta desvantagem, dadas as 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  $\text{H}_2\text{O}_2$  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 aaminados (glucosamina e galactosamina) liberam N na forma de  $\text{NH}_3$  em solução alcalina, quando aquecida a  $100^\circ\text{C}$ , propôs um método de extração de nitrogênio orgânico com solução de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ /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 simples, 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 & Selmer-Olsen (1980) propuseram um método para quantificação do nitrogênio potencialmente mineralizável, utilizando uma solução de  $\text{KCl}$  2M, a  $80^\circ\text{C}$  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 al. (1981), utilizando esta solução extratora, obtiveram estreita correlação ( $r = 0,87$ ) com o N absorvido pela aveia, em um experimento com 36 solos da Dinamarca.

Gianello (1985), após fazer algumas modificações nesse método, obteve uma alta correlação ( $r = 0,95$ ) entre o N hidrolisado a  $100^\circ\text{C}$  durante quatro 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%) > cistefina (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.

#### r. Extração com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$

Oliveira (1987), após alguns testes preliminares de laboratório utilizando  $\text{H}_2\text{O}_2$  como extrator, propôs o seguinte procedimento: transferir 2 g de solo para becker de 100 ml seguido da adição de 2 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 30%, e 30 minutos de repouso. Adicionar 0,1 g de  $\text{MnO}_2$  para eliminar o excesso de água oxigenada e logo após a efervescência adicionar 15 ml de água destilada. Transferir todo o material para o microdestilador e fazer a destilação na presença de  $\text{MgO}$ . O autor encontrou estreitas correlações entre o N extraído por este método e o mineralizado durante seis semanas em condições de laboratório (Stanford & Smith 1972) ( $r = 0,925$ ) e com o N absorvido pelo trigo ( $R = 0,81$ ).

### 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  $\text{MgO}$  em presença da liga de Devarda e analisado por titulação (Bremner 1965) ou colorimetria (Oliveira 1986).

### TESTE DE CORRELAÇÃO

De acordo com Oliveira (1987), dos diferentes métodos empregados para avaliação do nitrogênio facilmente mineralizável, os que apresentaram maiores coeficientes de correlação linear (Tabela 1) com o nitrogênio determinado por incubação em condições de laboratório durante seis semanas (42 dias) foram: N facilmente mineralizável (Nfmin) calculado segundo Molina et al. (1980) ( $r = 0,956$ ); N- $\text{NH}_4$  extraído com NaOH 0,25 N ( $r = 0,970$ ); N- $\text{NH}_4$  extraído com solução-tampão pH = 11,2 ( $r = 0,939$ ); N- $\text{NH}_4$  extraído com KCl 2M 100°C durante quatro horas ( $r = 0,959$ ); N- $\text{NH}_4$  extraído com KCl 2M 100°C durante quatro horas e destilado com a solução-tampão pH = 11,2 (0,963); N- $\text{NH}_4$  extraído com  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$  durante 30 minutos ( $r = 0,925$ ) e o N- $\text{NH}_4$  mineralizado durante seis 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 o fato de ele ter apresentado o maior coeficiente de correlação múltipla ( $R = 0,792$ ) com o nitrogênio absorvido pelo trigo durante os 45 dias (Tabela 2), enquanto que o coeficiente de correlação (R) com o nitrogênio mineralizado durante seis semanas no campo, foi de 0,722 (Tabela 2). 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 Stanford 1978) como padrão nos estudos de correlação com extratores químicos. Stanford et al. (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- $\text{NH}_4$  extraído com NaOH 0,25 N, o método não apresenta uma reprodutividade confiável. Cornfield (1960), utilizando simultaneamente o NaOH 1N como solução extratora e o ácido bórico para recolher a  $\text{NH}_3$  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- $\text{NH}_4$  extraído com  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$  foi o que melhor se correlacionou ( $r = 0,944$ ) com o nitrogênio facilmente mineralizável calculado segundo Molina et al. (1980), seguido do N- $\text{NH}_4$  extraído com NaOH 0,25N ( $r = 0,914$ ) (Tabela 1).

TABELA 1. 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	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X20	0,851	0,472	0,826	0,269	0,492	0,583	0,398	0,560	0,837	0,237	0,312	0,797	0,719	0,878	0,736	0,751	0,770	0,646	0,359	1,000
X19	0,418	0,728	0,403	0,969	0,836	0,817	0,754	0,769	0,539	0,721	0,838	0,595	0,635	0,470	0,565	0,496	0,398	0,830	0,830	1,000
X18	0,755	0,840	0,709	0,779	0,932	0,870	0,859	0,908	0,860	0,710	0,769	0,814	0,785	0,745	0,855	0,815	0,754	1,000		
X17	0,963	0,495	0,875	0,281	0,693	0,615	0,647	0,583	0,953	0,195	0,257	0,833	0,677	0,863	0,940	0,874	1,000			
X16	0,959	0,558	0,866	0,379	0,767	0,667	0,729	0,740	0,972	0,402	0,418	0,851	0,738	0,880	1,000					
X15	0,839	0,613	0,866	0,500	0,788	0,714	0,729	0,740	0,972	0,402	0,418	0,851	0,738	0,880	1,000					
X14	0,925	0,435	0,844	0,381	0,628	0,631	0,565	0,647	0,914	0,309	0,346	0,908	0,890	1,000						
X13	0,734	0,502	0,770	0,591	0,630	0,633	0,582	0,662	0,759	0,431	0,543	0,909	1,000							
X12	0,896	0,597	0,889	0,524	0,758	0,690	0,709	0,691	0,895	0,383	0,458	1,000								
X11	0,271	0,809	0,257	0,834	0,655	0,646	0,590	0,793	0,439	0,822	1,000									
X10	0,255	0,658	0,265	0,718	0,651	0,669	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	0,878	1,000													
X6	0,637	0,694	0,633	0,686	0,840	1,000														
X5	0,705	0,778	0,634	0,756	1,000															
X4	0,325	0,772	0,347	1,000																
X3	0,956	0,471	1,000																	
X2	0,326	1,000																		
X1	1,000																			

r = 0,561 significativo a 1%.

Order:

- X1 = N-NH<sub>4</sub> inc. 5 sem. lab. + N-NH<sub>4</sub> trocável.
- X2 = N potenc. mineralizável (Molina et al. 1960).
- X3 = Nitrem (Molina et al. 1960) + N-NH<sub>4</sub> trocável.
- X4 = N total.
- X5 = KMnO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N.
- X6 = H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N.
- X7 = N-NH<sub>4</sub> oxidação ácida (X5 - X6).
- X8 = KMnO<sub>4</sub>/NaOH 0,25 N.
- X9 = NaOH 0,25 N.
- X10 = N-NH<sub>4</sub> oxidação básica (X8 - X9).
- X11 = K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc.
- X12 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/KCl 1 M.
- X13 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Noite de repouso.
- X14 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>.
- X15 = Solução de Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/Borax.
- X16 = KCl 2M 100°C.
- X17 = KCl 2M 100°C/Solução de Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/Borax.
- X18 = Melhici.
- X19 = Matéria orgânica total.
- X20 = N-NH<sub>4</sub> inc. 5 sem. campo + N-NH<sub>4</sub> trocável.

**TABELA 2. Nitrogênio absorvido em função dos teores de N extraído por diversos extratores e pelo modelo matemático de Molina et al. (1980). Os dados foram ajustados à função  $Y = B_0 + B_1X + B_2 X^{0.5}$ .**

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

$R > = 0,575$  significativo a 1%.

Onde:

- X1 = N-NH<sub>4</sub> inc. 6 sem. lab. + N-NH<sub>4</sub> trocável.
- X2 = N potenc. mineralizável (Molina et al. 1980).
- X3 = Nímim (Molina et al. 1980) + N-NH<sub>4</sub> trocável.
- X4 = N total.
- X5 = KMnO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N.
- X6 = H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N.
- X7 = N-NH<sub>4</sub> oxidação ácida (X5 - X6).
- X8 = KMnO<sub>4</sub>/NaOH 0,25 N.
- X9 = NaOH 0,25 N.
- X10 = N-NH<sub>4</sub> oxidação básica (X8 - X9).
- X11 = K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc.
- X12 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/KCl 1 M.
- X13 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/noite de repouso.
- X14 = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>.
- X15 = Solução de Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/Bórax.
- X16 = KCl 2M 100°C.
- X17 = KCl 2M 100°C/Solução de Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/Bórax.
- X18 = Mehlich.
- X19 = Matéria orgânica total.
- X20 = N-NH<sub>4</sub> inc. 6 sem. campo + N-NH<sub>4</sub> trocável.

Os baixos coeficientes de correlação entre o N total e o N-NH<sub>4</sub> mineralizado por incubação em condições de laboratório ( $r = 0,325$ ) e de campo ( $r = 0,347$ ) indicam que o nitrogênio 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 al. 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 1). A baixa eficiência destes extratores pode ser devida ao fato de eles 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 mineralizada a longo prazo de acordo com a cinética de primeira ordem (Smith et al. 1977), portanto de pouco interesse do ponto de vista nutricional além de não apresentar uma boa correlação com o nitrogênio absorvido pelas plantas (Tabela 2), enquanto que o nitrogênio facilmente mineralizável (N<sub>min</sub>) apresentou uma estreita correlação com o nitrogênio absorvido pelas plantas (Tabela 2). 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 = < 75 lb/ac eram considerados baixos, e > = 225 lb/ac tidos como altos. Hussain & Malik (1985b) encontraram correlação significativa ( $r = 0,76$ ) 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 KMnO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N (Hussain et al. 1984).

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-NH<sub>4</sub> 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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub>

##### 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.

### TESTE DE CALIBRAÇÃO

Nas Figuras de 1 a 6 são apresentados os resultados de produtividade de grãos para o trigo BH-1146 em função do nitrogênio extraído com diferentes extratores químicos

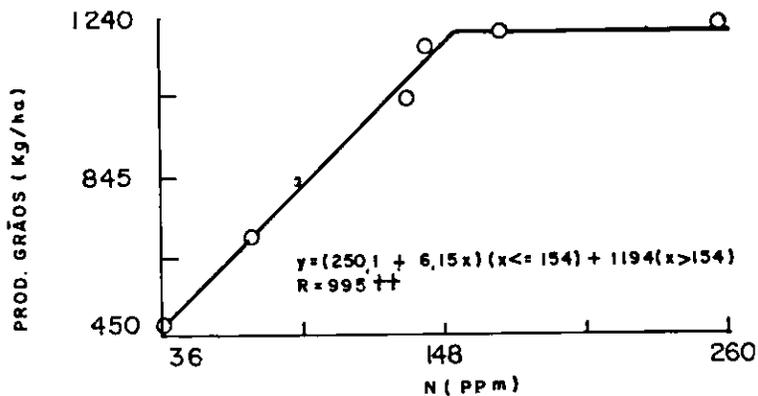


FIG. 1. Produção de grãos em função do  $N(NO_3 + NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 25 cm extraído com KCl 2M 100°C.

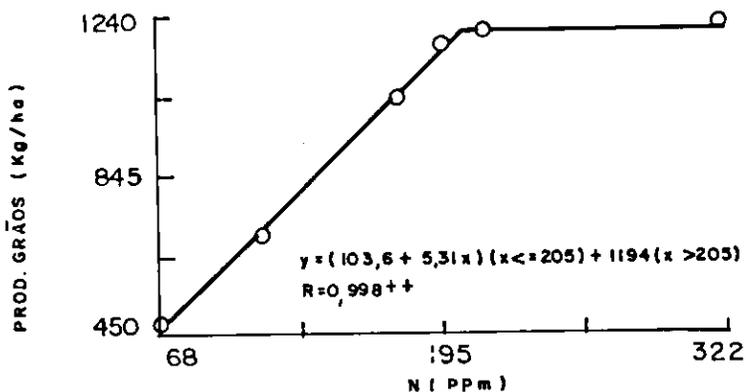


FIG. 2. Produção de grãos em função do  $N(NO_3 + NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 50 cm extraído com KCl 2M 100°C.

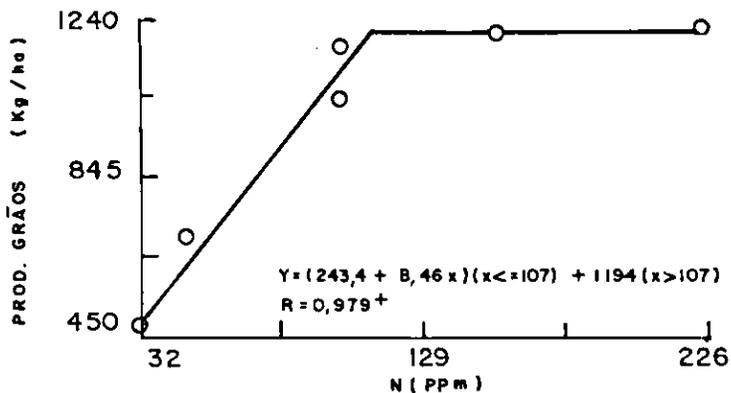


FIG. 3. Produção de grãos em função do  $N(NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 25 cm extraído com solução tampão pH = 11,2.

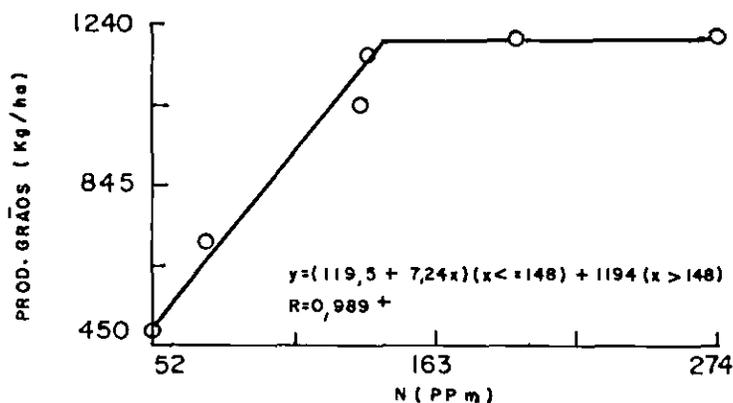


FIG. 4. Produção de grãos em função do  $N(NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 50 cm extraído com solução tampão pH = 11,2.

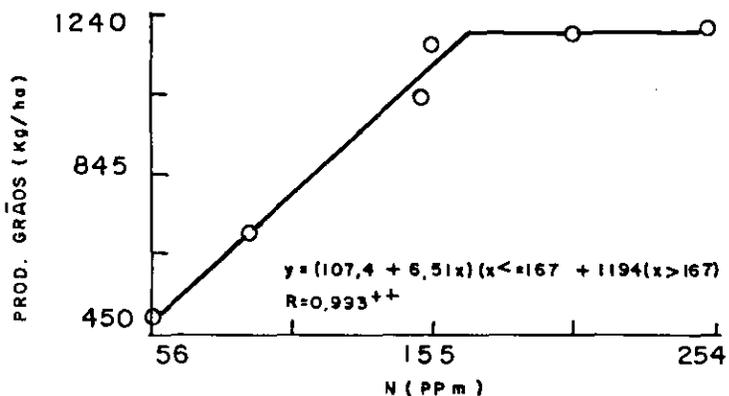


FIG. 5. Produção de grãos em função do  $N(NO_3 + NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 25 cm extraído com  $H_2O_2/MnO_2$ .

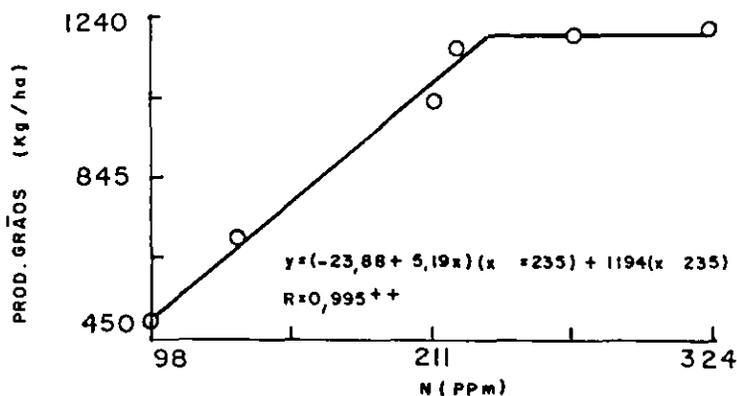


FIG. 6. Produção de grãos em função do  $N(NO_3 + NH_4)$  na profundidade de 0 cm - 50 cm extraído com  $H_2O_2/MnO_2$ .

a duas profundidades (Oliveira 1987). Todos os extratores apresentaram estreitas correlações entre o N extraído e a produtividade de grãos. O nível crítico avaliado de acordo com o modelo booleano linear-platô (Braga 1983) variou em função da profundidade e do extrator utilizado (Tabela 3).

**TABELA 3. Níveis críticos (NC) de nitrogênio para diferentes extratores a duas profundidades.**

Extrator	Prof. (cm)	NC (ppm)
KCl 2M 100°C	0-25	154
KCl 2M 100°C	0-50	205
Tampão pH = 11,2	0-25	107
Tampão pH = 11,2	0-50	148
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /MnO <sub>2</sub>	0-25	167
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /MnO <sub>2</sub>	0-50	235

Considerando que o sistema radicular do trigo se desenvolve à profundidade maior que 25 cm, e os maiores valores dos coeficientes de correlação encontrados na profundidade de 0-50 cm sugere ser esta a mais indicada de amostragem de nitrogênio no solo para fins de adubação nitrogenada para o trigo.

As estreitas correlações obtidas com os três métodos de extração indicam serem estes bastante promissores na avaliação do nitrogênio mineral e o facilmente mineralizável do solo.

### CONCLUSÕES

1. Dos extratores testados, os que apresentaram melhor correlação com o nitrogênio absorvido pelo trigo, em ordem crescente, foram: KCl 2M 100°C > H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> > Tampão pH = 11,2 > KCl 2M 100°C/Tampão pH = 11,2.
2. 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.
3. Os extratores químicos utilizados no teste de calibração mostraram-se bastantes promissores na avaliação da disponibilidade de nitrogênio do solo.

### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Toshiaki Kinjo, professor orientador deste trabalho, e aos doutores Antônio R. Dechen, Eurípedes Malavolta, Heitor Cantarella e Jorge de Castro Kiehl, pelas valiosas sugestões apresentadas.

### REFERÊNCIAS

- BLACK, C.A. **Relaciones agua-suelo-planta**. Buenos Aires, Ed. Hemisferio Sur, 1975. v.2, 865p.
- BRAGA, J.M. **Avaliação da fertilidade do solo; ensaios de campo**. Viçosa, UFV, 1983. 101p. (Publicação, 156)
- BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 2. p.1179-237.
- 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. **Pesq. agropec. pernamb.**, Recife, 3:39-50, 1979.

- 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):260-1, 1960.
- DOLMAT, M.T.; PATRICK JUNIOR, W.H.; PETERSON, J.F. Relation of available nitrogen to rice yield. *Soil Sci.*, Baltimore, **129**(4):229-37, 1980.
- EAGLE, D.J. Determinations of nitrogen status of soils in the west midlands. *J. Sci. Food Agric.*, Oxford, **12**:712-17, 1961.
- FOX, R.H. & PIEKIELEK, W.P. Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **42**:747-50, 1978.
- GALLAGHER, P.A. & BARTHOLOMEW, W.V. Comparison of nitrate production and other procedures in determining nitrogen availability in southeastern coastal plain soils. *Agron. J.*, Madison, **56**:179-84, 1964.
- GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil.** Ames, ISU, 1985. 93p. Tese Ph.D.
- 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.133-6.
- HERRON, G.M.; TERMAN, G.L.; DREIER, A.F. Residual nitrate nitrogen in fertilizer deep loess-derived soils. *Agron. J.* Madison, **60**:477-82, 1968.
- HUSSAIN, F. & MALIK, K.A. Modification of the acid permanganate method for obtaining an index of soil nitrogen availability. *Plant Soil*, Hague, **84**:143-6, 1985 a.
- HUSSAIN, F. & MALIK, K.A. Evaluation of alkaline permanganate method and its modification as an index of soil nitrogen availability. *Plant Soil*, Hague, **84**:277-82, 1985 b.
- HUSSAIN, F.; MALIK, K.A.; AZAM, F. Evaluation of acid permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. *Plant Soil*, Hague, **79**:249-54, 1984.
- JENKINSON, D.S. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. *J. Sci. Food Agric.*, Oxford, **19**:160-8, 1968.
- JUMA, N.G. & PAUL, E.A. Mineralization of the soil nitrogen: Amounts and extractability ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **48**:76-80, 1984.
- KAI, H.; MASAYNA, W.; YAMADA, Y. Nitrogen behavior in tropical wetland rice soils. 1. Nitrogen-supplying capacities. *Fert. Res.*, Dordrecht, **5**:259-71, 1984.
- KAÚRICHEV, I.S. **Práticas de edafologia.** Moscú, Ed. Mir Moscú, 1984. 285p.
- KEENEY, D.R. Nitrogen-availability indices. In: PAGE, A.L., ed. **Methods of soil analysis.** Madison, American Society of Agronomy, 1982. Part 2. p.711-33.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agron. J.*, Madison, **58**:498-503, 1966a.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. A chemical index of soil nitrogen availability. *Nature*, London, **211**:892-93, 1966 b.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. Determination of isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. VI. Mineralizable nitrogen. *Soil Sci. Am. Proc.*, Madison, **31**:34-9, 1967.
- KRESGE, C.B. & MERKLE, F.G. A Study of the validity of laboratory techniques in appraising the available nitrogen producing in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **21**:516-21, 1957.
- MACLEAN, A.A. Measurements of nitrogen-supplying power of soils by extraction with sodium bicarbonate. *Nature*, London, **203**:1307-8, 1964.
- 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 indicators of nitrogen availability. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, **12**:519-35, 1982.
- MIRANDA, L.N. **Métodos de avaliação da fertilidade do solo**. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 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 Sci. Soc. Am. J.**, Madison, **44**:442-4, 1980.
- MORGAN, W.T.J. Studies on imuno-chemistry. I. The preparations and properties of a specific polysaccharide from *B. dysenteriae* (SHIGA). **Biochem. J.**, Colchester, **30**:909-25, 1936.
- NÔMMIK, H. Predicting the nitrogen-supplying power of acid forest soils from data on the release of CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> on partial oxidation. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, **7**(6):569-84, 1976.
- NUSK, A. & RICHTER, J. N-mineralization in loss-parabrowearthers. Incubation experiments. **Plant Soil**, Hague, **59**:237-47, 1981.
- OIEN, A. & SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil. **Acta Agric. Scand.**, Stockholm, **30**:149-56, 1980.
- OLIVEIRA, S.A. **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1987. 128p. Tese Doutorado.
- OLIVEIRA, S.A. Método simplificado para determinação colorimétrica de nitrogênio em plantas. **Ci. e Cult.**, São Paulo, **38**(1):178-80, 1986.
- OSTERGAAD, H.S. Predicting nitrogen fertilizer demands in Denmark. In: ASSESSMENT of the nitrogen status of the soils. Leuven, s.ed. 1982. p.48-63.
- OZUS, T. & HANWAY, J.J. Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorus availability in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **30**:224-8, 1966.
- PETERSON, L.A. & ATTOE, O.J. Importance of soil nitrates determinations on need and recovery fertilizer nitrogen. **Agron. J.**, Madison, **57**:572-4, 1965.
- PETERSON, L.A.; ATTOE, O.J.; OGEN, W.B. Correlations of nitrogen soil tests with nitrogen uptake by the tobacco plant. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **24**:205-9, 1960.
- PRADO, O. & RODRIGUEZ, J.S. Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. **Cienc. Invest. Agraria**, Santiago, **5**(2):29-40, 1978.
- PRASSAD, R. Determination of potentially available nitrogen in soils. A rapid procedure. **Plant Soil**, Hague, **23**(2):261-5, 1965.
- PURVIS, E.R. & LEO, M.W.M. Rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions. **J. Food Agric. Chem.**, Columbus, **9**:15-7, 1961.
- RICHARD, T.A.; ATTOE, O.J.; MOSKAL, S.; TROUG, E. Chemical method for determining available soil nitrogen. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Madison, **7**, **Proceedings** . . . 1960. v.2. p.28-35.
- ROBISON, J.B.D. A simple available soil nitrogen index. I. Laboratory and greenhouse studies. **J. Soil Sci.**, Oxford, **19**:269-79, 1968.
- RYAN, J.A.; SIMS, J.L.; PEASLEE, D.E. Laboratory methods for estimating plant available nitrogen in soil. **Agron. J.**, Madison, **63**:48-51, 1971.
- SAHRAWAT, K.L. Nitrogen supplying ability of some philippine rice soils. **Plant Soil**, Hague, **55**:181-7, 1980.
- SAHRAWAT, K.L. Evaluation of some chemical indexes for predicting

- mineralizable nitrogen in tropical rice soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, **13**(15):363-77, 1982a.
- SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical rice soils. **Plant. Soil**, Hague, **65**:111-21, 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 Soil**, Hague, **69**:73-7, 1982c.
- SAHRAWAT, K.L. & BURFORD, J.R. Modification of alkaline permanganate method for assessing the availability of soil nitrogen in upland soils. **Soil Sci.**, Baltimore, **133**(1):53-7, 1982.
- SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de  $\text{NO}_3\text{-N}$  e  $\text{NH}_4\text{-N}$  no solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, **19**(9):1103-8, 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. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, **9**:33-8, 1985.
- 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-hydrolysis method for available nitrogen in soil by pot experiment. **Acta Agric. Scand.**, Stockholm, **31**:251-5, 1981.
- SMITH, C.M. Interpreting inorganic nitrogen soil tests: sample depth, soil water, climate, and crops. In: STELLY, M. ed. **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison, American Society of Agronomy, 1977. p.85-98.
- SMITH, S.J. & STANFORD, G. Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, **111**(4):228-32, 1971.
- SMITH, S.J.; YOUNG, L.B.; MILLER, G.E. Evaluation of soil nitrogen mineralization potential under modified field conditions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, **41**:74-6, 1977.
- SOPER, R.J.; RACZ, G.J.; FEHR, P.I. Nitrate nitrogen in the soil as a means of predicting fertilizer nitrogen requirements of barley. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, **51**:45-9, 1971.
- STANFORD, G. Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. **Soil Sci.**, Baltimore, **106**(5):345-51, 1968.
- STANFORD, G. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. II. A kinetic approach to estimating the NaOH-distillable fraction. **Soil Sci.**, Baltimore, **107**(5):323-8, 1969.
- STANFORD, G. Evaluation of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, **126**(4):244-53, 1978.
- STANFORD, G.; AYRES, A.S.; DOI, M. Mineralizable soil nitrogen in relation to fertilizer needs of sugarcane in Hawaii. **Soil Sci.**, Baltimore, **99**:132-7, 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 Sci.**, Baltimore, **107**(3):203-5, 1969.
- STANFORD, G. & DEMAR, W.H. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. 3. Diffusible  $\text{NH}_3$  as an index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, **109**:190-6, 1970.
- STANFORD, G. & LEGG, J.O. Correlation of soil N availability index with N uptake by plants. **Soil Sci.**, Baltimore, **105**(5):320-6, 1968.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, **122**(2):71-6, 1976.

- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **36**:465-72, 1972.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. **Soil Sci.**, Baltimore, **126**(4):210-18, 1978.
- 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 estimation of available nitrogen in soils. **Curr. Sci.**, Bangalore, **8**:259-60, 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. **Biochem. J.**, Colchester, **52**:265-7, 1952.
- TRUOG, E. Test for available soil nitrogen. **Commer. Fert.**, Atlanta, **88**(4):72, 1954.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.**, Baltimore, **37**:29-38, 1934.
- WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions and an index of nitrogen availability. **Nature**, London, **201**:951-2, 1964.
- 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, s.ed., 1982. p.54-62.