

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**DISTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO MINERAL TOTAL EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO NA SUCESSÃO MILHO E SORGO EM ÁREA DE CERRADO**

ADRIANO TANO MAEDA

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG
Novembro – 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**DISTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO MINERAL TOTAL EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO NA SUCESSÃO MILHO E SORGO EM ÁREA DE CERRADO**

ADRIANO TANO MAEDA

ORIENTADOR: Dr. WALDO A. R. LARA CABEZAS

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG
Novembro – 2000

**DISTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO MINERAL TOTAL EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO NA SUCESSÃO MILHO E SORGO EM ÁREA DE CERRADO**

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 24 / 11 / 2000.

Profº Dr. Waldo A. R. Lara Cabezas
Orientador

Profº Dr. Gilberto Fernandes Corrêa
Conselheiro

Profº Dr. Maurício Martins
Conselheiro

Uberlândia – MG
Novembro – 2000

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço, a minha família pelo apoio durante todo o curso.

Agradeço ao meu orientador, Waldo A. R. Lara Cabezas, pelos ensinamentos e dedicação para com a minha pessoa.

Agradeço a toda 21ª Turma de Agronomia, amigos de grande valor.

Agradeço a Dieikson Rodrigues, José Vicente de Paula Silva, sem a ajuda dos quais este trabalho não seria possível.

Agradeço a todos os técnicos e funcionários do Instituto de Ciências Agrárias pela ajuda e apoio em todos os momentos.

Agradeço a FAPEMIG em cooperar financeiramente e acreditar no nosso trabalho.

Agradeço a Fazenda Floresta do Lobo, em especial ao Sr. Fernando Ferraz e ao Sr. Antônio Mauro, que acreditaram no desenvolvimento do trabalho, permitindo a realização desta pesquisa.

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO	7
2 – REVISÃO DE LITERATURA	9
3 – MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 – Local e caracterização da área experimental	20
3.2 – Histórico	21
3.3 – Tratamentos experimentais	21
3.4 – Caracterização das cultivares e do manejo da adubação	22
3.5 – Metodologia do N-mineral total	24
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 – CONCLUSÕES	35
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
7 – APENDICE	40

Resumo

O nitrogênio apresenta um complexo comportamento no solo. O sistema de rotação, a adubação nitrogenada e as variações climáticas são fatores determinantes que influenciam a disponibilidade do nitrogênio para as culturas. Objetivando quantificar e avaliar sazonalmente a distribuição do N-mineral total durante as culturas de milho (safra verão 98/99) e sorgo (safra de inverno 99) sob sistema de plantio direto e em rotação com gramíneas na cultura de inverno, foi conduzido um experimento na Fazenda Floresta do Lobo, situada à margem da BR-050, Km 093 no município de Uberlândia – MG. O experimento foi estabelecido em delineamento de blocos casualizados com 3 repetições (análise de variância de parcelas sub-subdividida), apresentando 3 tratamentos (épocas de amostragem, manejo da adubação nitrogenada e profundidades) para cada cultura. As parcelas de milho adubadas, receberam adubação nitrogenada de pré-semeadura (70 kg/ha de N + 70 kg/ha de K₂O + 17 kg/ha de S), adubação na semeadura (36 kg/ha + 90 kg/ha de P₂O₅ + 90 kg/ha de K₂O + 19 kg/ha de S) e uma cobertura suplementar de 35 kg/ha de N. Nas parcelas que não receberam N, foram aplicadas doses equivalentes para complementar os requerimentos de P e K. Em todas as parcelas foram aplicados micronutrientes (1,8; 1,2;

0,9; 0,45; 0,36; 0,18 kg/ha de Mn, Zn, Fe, B, Mo e Cu, respectivamente) na semeadura. Na cultura do sorgo não foi aplicado nenhuma adubação. Os resultados obtidos permitiram concluir que existe uma relação inversa entre a pluviosidade e a quantidade de N-mineral total. Gramíneas (verão) semeado sobre resíduos de gramíneas (inverno) apresenta, a partir de 90 e 100 após a semeadura, o período de maior disponibilização de N-mineral total dos resíduos. Quanto a adubação nitrogenada, grande parte desta, deve ser aplicada em cobertura para que se possa obter maiores produtividades.

1.INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam a produção de alimentos no mundo. Em solos tropicais, principalmente na região dos cerrados, é necessário o uso de fertilizantes nitrogenados em larga escala para que se consiga obter produtividades mais elevadas, devido principalmente a baixa eficiência na utilização tanto do nitrogênio do solo (matéria orgânica), como de nitrogênio aplicado via fertilizante. Esta inadequada ineficiência da utilização do nitrogênio está relacionada ao fato de ser um dos elementos que apresenta maior dificuldade na determinação de como, quando e quanto se aplicar.

O nitrogênio apresenta um complexo e dinâmico comportamento no sistema solo-planta-atmosfera. A complexidade e a dinamicidade está relacionada principalmente à quantidade e qualidade da matéria orgânica na camada superficial do solo, a fatores climáticos (principalmente umidade), sistema de rotação de culturas, formas de manejo e tipos de solos. A adoção de métodos intensivos e inadequados de exploração dos solos agrícolas, tem levado a uma constante degradação da matéria orgânica e consequentemente da disponibilidade de nitrogênio para as culturas, resultando na sua baixa eficiência.

A adoção de sistemas de plantio como a semeadura direta, que visa manter ou aumentar a quantidade de matéria orgânica do solo, torna-se uma importante ferramenta para disponibilizar uma maior quantidade de nitrogênio às culturas.

A mineralização, passagem do nitrogênio de uma forma orgânica, indisponível para as plantas, para uma forma inorgânica ou mineral, assimilada pelas plantas, é influenciada pelo sistema de rotação, pela adubação nitrogenada e pelas condições edafoclimáticas, sendo um dos processos de fundamental importância que ocorre com o nitrogênio no solo.

O conhecimento sobre a dinâmica das reações de mineralização do nitrogênio presente na matéria orgânica, particularmente nos resíduos vegetais, e a consequente quantificação e distribuição do N-mineral total, é indispensável para o manejo adequado da adubação nitrogenada, visando melhorar a eficiência de sua utilização pelas culturas e reduzir as perdas por lixiviação, volatilização, denitrificação e outras formas.

Este trabalho teve por objetivo a avaliação quinzenal da distribuição de nitrogênio mineral total (amônio e nitrato) nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15cm, distante 15cm da linha das plantas durante o período de 1998 a 1999, nas culturas de milho (safra de verão) e na cultura de sorgo (safrinha), sob condição de milho adubado e não adubado com nitrogênio, no sistema de rotação exclusivo com gramíneas na cultura de inverno.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo MENGEL & KIRKBY citado por BASSO (1999), o nitrogênio está entre os elementos mais abundantes na natureza, sendo encontrado na litosfera, hidrosfera e na atmosfera, sendo esta o maior reservatório de nitrogênio. No solo apenas uma pequena fração de N da litosfera está disponível às plantas. Assim como para o carbono, a fonte de N para os vegetais é a atmosfera, onde aproximadamente 78% do gás atmosférico é constituído de gás N₂. Apesar dessa imensa quantidade de N₂ atmosférico, a principal fonte de N às plantas não simbióticas é o solo. Embora seja pequena a quantidade de nitrogênio encontrada na massa seca das plantas (2 a 4%) comparado ao carbono (40%), o N é um elemento indispensável, fazendo parte de numerosos compostos orgânicos de vital importância às plantas, tais como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos.

De acordo com RAIJ (1991), o nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas culturas e fundamental para a obtenção de elevadas produtividades.

O maior reservatório de nitrogênio nos solos está ligado a cadeias carbônicas, constituindo a matéria orgânica, em formas não diretamente disponíveis para as plantas.

Grande parte do ciclo do nitrogênio ocorre na camada superficial do solo, com vários mecanismos de entrada e saída, formado por uma sucessão de reações, de natureza principalmente bioquímica (SÁ, 1996).

Os teores de matéria orgânica na maioria dos solos de cerrado situam entre 2 e 3%, que é considerado um teor médio. A mineralização dessa matéria orgânica é geralmente o processo mais importante de suprimento natural de nitrogênio para as plantas. Grande parte do nitrogênio encontrado na biosfera está na forma de compostos orgânicos, sintetizados por plantas e microrganismos. Para sua assimilação pelas plantas, é necessário que seja transformado na forma inorgânica (PERES & SUHET, 1984)

De acordo com MALAVOLTA et al. (1997), as plantas superiores são capazes de absorver o nitrogênio de diferentes formas: nitrogênio atmosférico, absorvido através da fixação simbiótica entre plantas leguminosas e bactérias do gênero *Rhizobium* e *Azotobacter*; amônia (NH_4^+ proveniente da uréia); aminoácidos e o nitrato, predominante nas condições naturais e aeróbicas.

O uso intensivo do solo sem o manejo adequado, tem provocado acentuada redução no teor de matéria orgânica, acelerando processos erosivos e diminuição no teor de nitrogênio, com conseqüente redução na produção agrícola (ROS & AITA, 1996).

Segundo TEIXEIRA et al, citado por BAYER & MIELNICZUK (1997), em solos degradados, os baixos teores de matéria orgânica podem determinar menor disponibilidade de N mineral às culturas, resultando numa das principais limitações à produtividade agrícola. A recuperação da capacidade produtiva de tais solos pode ser obtida com o uso de sistemas de manejo que alteram a dinâmica da matéria orgânica no solo, promovendo a recuperação dos conteúdos de nitrogênio total.

O sistema plantio direto preconiza o não revolvimento do solo e o acúmulo de palhada na superfície. Através de um sistema de rotação cultural, permitem o acúmulo gradual de matéria orgânica, podendo elevar assim a quantidade de nitrogênio potencialmente disponível as plantas .

Segundo MACHADO, PARRA & SÁ, citado por PAULETTI & COSTA (2000), quando o sistema plantio direto é adotado, uma das primeiras alterações que ocorre é em relação à manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo. Com isso, toda a dinâmica dos nutrientes é alterada, inclusive a do N, especialmente pelo aumento da matéria orgânica do solo. Esta cobertura morta provoca também aumento da atividade biológica.

Em áreas sob sistema de plantio direto, as fontes que suprem a deficiência de nitrogênio, em virtude de sua baixa disponibilidade, num curto intervalo de tempo e de forma significativa, são os restos da cultura anterior que, permanecendo na superfície do solo se constituem em adubos orgânicos de lenta liberação de nitrogênio e outros nutrientes, após a reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo para a superfície e dos adubos minerais fornecidos à cultura, principalmente aqueles de imediata disponibilidade (LARA CABEZAS, 1999).

Segundo RIZZARDI (1995), a utilização da semeadura direta faz com que haja um aumento na adição e manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo. O manejo desses resíduos altera o ambiente do solo e influencia a população e a atividade dos microorganismos, o que posteriormente interfere nas transformações do nitrogênio no solo. A utilização, por parte das plantas, do nitrogênio orgânico (originado da matéria orgânica vegetal), deve sofrer o processo de mineralização, o qual depende da atividade microbiana

do solo. Esses microorganismos podem influenciar o crescimento e o rendimento das culturas em geral, pois através de suas enzimas, participam de reações bioquímicas que ocorrem no solo, decompõem o material orgânico e promovem a ciclagem e a disponibilização de nutrientes como o nitrogênio.

A disponibilidade de nitrogênio para as plantas é a soma dos processos microbiológicos de mineralização (mais especificamente amonificação) do nitrogênio orgânico e imobilização do nitrogênio mineral (TEDESCO, 1984).

Segundo MARY et al, citado por CAMARGO, GIANELLO & VIDOR (1997), a quantidade de nitrogênio mineralizado em determinado período depende da temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico presente.

Entre as formas de N no solo, a orgânica é a predominante, mas as inorgânicas, como o amônio e o nitrato, são as mais disponíveis às plantas e constituem uma pequena fração muito variável do teor total desse nutriente (BASSOI & REICHARDT, 1995)

Em solos bem aerados e com condições favoráveis de temperatura e umidade para o processo de mineralização, os íons amônio formados são rapidamente convertidos em nitrato (HEINZMANN, 1985).

Segundo SANCHES, citado por BASSOI & REICHARDT (1995), a nitrificação e a distribuição de amônio e nitrato no perfil do solo, variam de acordo com as propriedades do solo e com as condições de umidade.

Em períodos secos, a ausência de mineralização pode estar associada à baixa umidade do solo neste período, quando a atividade microbiológica é significativamente diminuída e conseqüentemente as reações de decomposição da matéria orgânica são reduzidas (PERES & SUHET, 1984).

Grande parte do nitrogênio é mineralizado no início da estação chuvosa. A semeadura de culturas nessa época pode aumentar o aproveitamento do nitrogênio recém-mineralizado, reduzindo suas perdas por lixiviação (PERES & SUHET, 1984)

Segundo GEYPENS & VANDERDRIECHE, citado por CAMARGO, GIANELLO & VIDOR (1997), a mineralização do nitrogênio orgânico do solo ocorre sob distintas velocidades, sendo diretamente relacionada com o caráter lábil ou recalcitrante das frações e com a atividade dos grupos microbianos que as utilizam. As transformações dos compostos orgânicos presentes no solo constituem importante instrumento para estabelecer e estimar adequadamente a contribuição potencial da mineralização do nitrogênio ao conteúdo do N-mineral e, com isto, estimar a disponibilização desse nutriente às culturas.

PERES & SUHET (1984), observaram o movimento no perfil do solo do nitrogênio aplicado como fertilizante (200kg de N há⁻¹, na forma de uréia), próximo a linha de cultivo de milho. Grande parte do nitrogênio aplicado na camada superficial do solo havia sido lixiviado para camadas mais profundas, 70 dias após a aplicação do adubo. Outro aspecto observado foi o aumento de nitrogênio nas camadas superficiais, nas determinações a 30 e 40cm da aplicação do adubo nitrogenado. Isso evidencia que a movimentação horizontal do nitrogênio no solo é lenta e que um bom manejo na aplicação de fertilizantes nitrogenados, em cobertura, pode melhorar a eficiência de seu aproveitamento pelas culturas.

Segundo ASHLEY et alii (1975), BEEVERS & HAGEMAN (1969) e HUCKLESBY et alii (1971), citado por PERES & SUHET (1984), em regiões de alta precipitação e de solos bem drenados como os do cerrado, onde é intenso o processo de

nitrificação, um dos principais mecanismos responsáveis pela baixa eficiência de utilização dos adubos nitrogenados pelas culturas é a alta taxa de lixiviação, devida a elevada mobilidade do íon nitrato. A capacidade de retenção de água e a taxa de movimentação desta nos solos influenciam significativamente a lixiviação do nitrogênio. Segundo ALDRICH (1980) citado por PERES & SUHET (1984), para uma dada quantidade de chuva, o nitrato num solo arenoso lixivia 6 vezes mais do que num argiloso.

De acordo com PONS, citado por SANGOI & ALMEIDA (1994), o nitrogênio é um elemento muito móvel no solo, estando sujeito às perdas pelos processos de lixiviação, volatilização, denitrificação, entre outros.

BARTHOLOMEW, citado por BASSOI & REICHARDT (1995), afirma que o principal processo de perda de nitrogênio no solo tem sido a remoção do N disponível dos limites da zona radicular pela água, ou seja, a lixiviação. A absorção e o uso de N pelas culturas depende da água do solo, sendo fundamental compreender a dinâmica da água para que possa formular práticas de manejo para diminuir as perdas por lixiviação.

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura arenosa, cultivado com milho, observou-se que a lixiviação de nitrato, a 120cm de profundidade correspondeu a apenas 4,8% dos 80 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio marcado com ¹⁵N, sendo aplicado um terço na semeadura e dois terços 34 dias após. Os baixos valores de drenagem profunda no período mais ativo do desenvolvimento do milho, que causou inclusive um déficit hídrico na cultura, permitiram que a eficiência de utilização do nutriente chegasse a 89,1% aos 125 dias da semeadura, reforçando o fato de que as condições hídricas do perfil do solo são de suma importância na dinâmica do nitrogênio em culturas agrícolas (BASSOI & REICHARDT, 1995).

A eficiência do uso do nitrogênio de adubos pelas culturas tem sido baixa. Estimativas feitas em vários trabalhos mostram que a absorção pelas plantas não chega a 50% do total de nitrogênio adicionado. (GAMBOA et alii, 1971; BARTHOLOMEW, 1972 e HARDY et alii, 1975, citado por PERES & SUHET, 1984).

SAMPAIO & SALCEDO (1993), afirmam que a maior parte do nitrogênio disponível às culturas provém da interação entre a fertilização nitrogenada e a mineralização-imobilização do nitrogênio dos resíduos culturais e do nitrogênio da matéria orgânica do solo. Em geral, menos da metade do fertilizante aplicado é utilizado pelas plantas e grande parte do nitrogênio residual é incorporado à matéria orgânica do solo.

Estudos desenvolvidos nos principais solos da Amazônia Central, utilizando uréia e sulfato de amônio enriquecidos com ^{15}N , mostraram que o uso do N, proveniente dos fertilizantes pelas culturas é bastante baixo (ALFAIA, 1997)

Segundo SCHADER et al., WARNCKE, BARBER & ZSOLDOS, citado por CALVACHE et al. (1982), o nitrogênio, seja do solo ou do fertilizante, pode ser absorvido pelas raízes das plantas de milho, tanto na forma amoniacal como nítrica, porém está determinado que esta cultura preferentemente absorve o íon amônio (NH_4^+) mais intensamente nos primeiros estádios de crescimento e o íon nitrato (NO_3^-) nos estádios finais.

A adubação nitrogenada deve ser empregada de modo a maximizar a produtividade, procurando não a utilizar em excesso, visto o complexo comportamento deste nutriente no solo. Segundo RAIJ (1991), a adubação nitrogenada em excesso pode causar um desenvolvimento vegetativo excessivo, em detrimento da produção, proporcionar folhas mais suculentas e susceptíveis a doenças, reduzir a produção de frutos

e o teor de açúcares, e predispor a cultura ao acamamento. Ainda segundo este autor, a adubação nitrogenada é complexa e deve ser feita com cuidado, pois se, de um lado, a falta de nitrogênio pode limitar seriamente a produção, por outro, o excesso pode reduzi-la.

Segundo BLACK, citado por PARENTONI, FRANÇA & BAHIA FILHO (1988), diversos esforços tem sido feitos na tentativa de desenvolver índices que permitam estimar a capacidade de suprimento de nitrogênio dos solos de forma simples e eficiente, sendo uma tentativa extremamente difícil, dada a complexidade de fatores que afetam a dinâmica do elemento no ambiente.

Na maioria das vezes, se tenta correlacionar o nitrogênio mineralizado, durante determinado período, com características do solo tais como nitrogênio total, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, relação C/N, pH ou ainda com frações do nitrogênio total extraíveis com reagentes químicos (BREMNER citado por PARENTONI, FRANÇA & BAHIA FILHO, 1988).

FILIPOVIC, OLSON, BIGERIEGO, et. al citado, por COELHO, FRANÇA & BAHIA, et.al (1991), observaram que o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta, utilizando da técnica do isótopo N^{15} , em condições de campo, com as culturas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorgum bicolor*), indicaram valores de recuperação do N-fertilizante em média de 50%. Segundo os mesmos autores, 40% do nitrogênio fertilizante permanecem no solo como nitrogênio residual, sendo a maior proporção encontrada nas camadas superficiais, principalmente na forma orgânica.

COELHO, FRANÇA, BAHIA et.al (1991), concluíram que a maior proporção de nitrogênio residual do fertilizante é imobilizado na matéria orgânica do solo. As formas inorgânicas representam entre 10,7 e 27,7% do nitrogênio fertilizante recuperado no perfil

do solo. A quase totalidade desse nitrogênio (99%) é proveniente da mineralização da matéria orgânica.

Segundo SEYFRIED & RAO, citado por SAMPAIO & SALCEDO (1993), a mineralização da matéria orgânica tem recebido considerável atenção, sobretudo em relação a determinação e forma de cálculo do N potencialmente mineralizável.

SAMPAIO & SALCEDO (1993), estudando a mineralização-imobilização do nitrogênio aplicado à palha de milho e/ou uréia (7.500 a 103mg pote⁻¹, com 78mg de N), em solo Podzólico Vermelho (2,5kg pote⁻¹), em pares de tratamentos alternando a fonte marcada com ¹⁵N, incubado por 0, 30 e 60 dias, de forma a separar o N absorvido por milheto, durante três cultivos sucessivos de 30 dias cada um, pela sua origem (solo, palha ou uréia), observaram uma taxa de mineralização do N nativo de 4ug N g solo⁻¹ mês⁻¹ que, extrapolada para o período de um ano e para uma camada de 20cm de solo, equivale a 140 kg ha⁻¹. A uréia teve eficiência de utilização de 72%, no primeiro mês de cultivo, e causou efeito “priming” (estimulador), dobrando a mineralização do N nativo. Depois, o N do fertilizante imobilizado teve uma mineralização lenta. A incorporação de palha imobilizou o N do solo durante um mês. Nos meses seguintes, a mineralização do N nativo voltou a taxas semelhantes à testemunha e a mineralização do N da palha passou por um máximo e decresceu, tendo a disponibilidade de N para as plantas, ao final de cinco meses, sido maior que na testemunha, com 19% do N da palha absorvido. A incorporação da palha junto com uréia imobilizou 50% do N da uréia, mas não alterou a disponibilidade do N no solo. Do N da palha, 33% foram absorvidos. O N imobilizado da palha e da uréia foi mineralizado lentamente. O da uréia, aplicada após a incorporação por um mês, não teve sua disponibilidade afetada, mas também não causou “priming”.

Segundo MUZILLI, citado por MUZILLI, OLIVEIRA, GERAGE & TORNERO (1983), relatou resultados mostrando que a incorporação de adubos verdes de inverno em solos de campo nativo do sul do Paraná, antes do cultivo do milho, era capaz de proporcionar efeitos equivalentes aos de 80 kg/ha de nitrogênio fornecido como adubo mineral.

TEIXEIRA, TESTA & MIELNICZUK (1994), avaliando o efeito de 10 sistemas de rotação de culturas e dois níveis de adubação nitrogenada sobre o nitrogênio total do solo, verificou que a quantidade de nitrogênio contido nos resíduos de plantas sobre o solo, no terceiro ano, variou de 0,03 a 0,43 t/ha, para o sistema de aveia/milho, sem leguminosa e milho + guandu e/ou siratro com leguminosa, respectivamente. No quinto ano, a quantidade de nitrogênio contido nos resíduos variou de 0,02 t/ha, no solo descoberto, a 0,44 t/ha no siratro, mostrando a importância de se ter o residual vegetal sobre o solo como fonte residual de nitrogênio. Além disso, o efeito do sistema milho + guandu sobre o teor de N potencialmente mineralizável da camada arável, representou um ganho, no estoque de N total do solo, de 870 kg/ha, quando comparado ao sistema pousio/plantio. Esse estoque de N, ao ser mineralizado, tornar-se-á disponível aos cultivos posteriores.

HEINZMANN (1985), pesquisando o efeito de coberturas verdes de inverno (*Lupinus albus* L., *Vicia villosa* Roth, *Avena strigosa* Schiep. e *Raphanus sativus* L.), trigo e pousio sobre o teor de nitrato no solo e assimilação de N pelas culturas posteriores de feijão, soja e milho, observou que, após oito semanas do corte das coberturas verdes de inverno, os teores de N-NO_3^- no solo variaram de 18 a 149 kg/ha nos tratamentos com pousio e *Raphanus sativus*, respectivamente. Foram observados deslocamentos de nitrato até a profundidade de 60-90cm. A relação entre o teor de nitrato no solo e o N total no

produto colhido foi significativo para o milho. Resíduos de coberturas verdes de inverno, com relação C/N de 23-24, apresentaram uma mineralização uniforme de nitrogênio.

Segundo SÁ (1995), a avaliação semanal do conteúdo de nitrogênio mineral (amônio e nitrato) em amostras coletadas de várias profundidades em Latossolo Vermelho- Escuro, sob plantio direto e preparo convencional, em Carambeí – Castro (PR), e incubadas durante dez semanas, revelou comportamento diferenciado para os sistemas de manejo. Na camada 0-7cm, o N-mineral foi basicamente representado pelo íon nitrato, porém, o teor encontrado no plantio direto foi 2,2 vezes superior ao observado no preparo convencional, no final de 10 semanas de incubação. Isto indica maior atividade dos microorganismos nitrificadores, pois nessa camada do perfil, a umidade, a temperatura, o teor de carbono, o pH e a disponibilidade de nutrientes para a atividade desses agentes são mais favoráveis no plantio direto do que no preparo convencional. Abaixo de 30cm, tanto no plantio direto quanto no preparo convencional, predominou a forma amônio, apesar da ocorrência da forma nitrato na profundidade de 21-40 e 40-60cm. Neste caso, a elevação da acidez, redução do teor de carbono e menor disponibilidade de nutrientes seriam os fatores que limitariam a atividade dos nitrificadores, porém não impedindo a amonificação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Floresta do Lobo, situada à margem da BR-050, Km 093 no município de Uberlândia, MG, de propriedade da empresa Pinusplan na safra 98/99.

O estudo foi realizado num Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico e muito argiloso. As características físicas e químicas do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade 0-15 cm.

Prof. cm	Textura			Ph (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	CTC	V	MO	C	N
	argila	silte	areia										
	-----	%	-----		ug/g	-----	mmol _c /dm ³	-----		-----	%	-----	
0-5	71	13	16	6,1	16,2	3,2	35	12	70	73	45	1,7	0,14
5-10	71	24	5	6,0	15,5	1,3	34	12	70	70	42	1,6	0,12
10-15	74	12	14	6,0	11,3	0,9	33	9	70	60	40	1,5	0,12

3.2. Histórico

Este experimento está inserido dentro do projeto efeito ambiental e do manejo nos processos de transformação do nitrogênio em sistema de plantio direto. O projeto foi iniciado na safra verão 97/98, tendo a duração de cinco ciclos culturais (até a safra 2001/2002). Apresenta dois sistemas de rotação cultural: rotação constituído por cultivo exclusivo de gramíneas nas safrinhas e uma outra rotação constituído pelo cultivo alternado de gramíneas e outras espécies nas safrinhas. No sistema de rotação exclusivo com gramíneas, no qual foi realizado este experimento, iniciou com a semeadura da cultura da soja (safra verão 97/98) e milho na safrinha 99. Em seguida, na safra verão 98/99, foi semeado o milho e posteriormente na safrinha, o sorgo.

3.3. Tratamentos experimentais

O estudo foi estabelecido em delineamento de blocos casualizados (análise de variância de parcelas sub-subdividida), com três repetições, apresentando três tratamentos para cada cultura (milho e sorgo). O primeiro tratamento foi constituído por oito épocas de amostragem e o segundo tratamento relacionado ao manejo da adubação nitrogenada: parcelas da cultura de milho que receberam e não receberam adubação nitrogenada. O terceiro tratamento foi constituído pelas profundidades (0-5, 5-10 e 10-15cm). As parcelas adubadas, receberam adubação completa de plantio e cobertura, de acordo com o resultado da análise de solo correspondente. Nas parcelas não adubadas, foram efetuadas adubação completa, exceto de N.

Foram utilizados 3 blocos e 2 parcelas de cada bloco, sendo que cada parcela possuía 450 m² (45 m de comprimento por 10 m de largura), totalizando uma área de 2700m² (Figura 1).

3.4. Caracterização das cultivares e do manejo da adubação

Na primeira etapa do experimento, safra verão 98/99, foi semeado o milho híbrido Exceler (triplo) no dia 14/11/98, numa densidade de 62.500 plantas/ha e com espaçamento de 0,8 m.

Nas parcelas destinadas a receber adubação nitrogenada foi efetuada a cobertura nitrogenada de pré-semeadura em 7/11/98, na dose de 350 kg/ha do formulado 20-00-20 (70 kg/ha de N, 70 kg/ha de K₂O e 17 kg/ha de S), utilizando-se como matérias-primas: sulfato de amônio, uréia e cloreto de potássio. O adubo foi aplicado incorporado a 8-10 cm de profundidade, com espaçamento de 0,52 m. Na semeadura do milho, foi aplicado a dose de 450 kg/ha do formulado 08-20-20 (36kg/ha de N, 90kg/ha de P₂O₅, 90 kg/ha de K₂O e 19 kg/ha de S), utilizando como matéria-prima: uréia, sulfato de amônio granulado, super simples amoniado, fosfato monoamônico e cloreto de potássio. Os micronutrientes foram aplicados junto ao formulado, na forma de F.T.E. BR-8 e Nutrimag (1,8; 1,2; 0,9; 0,45; 0,36 e 0,18 kg/ha de Mn, Zn, Fe, B, Mo e Cu, respectivamente). Ainda na pós semeadura (05/12/98), foi efetuada uma cobertura suplementar de N, na forma de sulfato de amônio aplicado na superfície utilizando-se basculante (adubadeira pendular), na dose de 35 kg/ha de N.

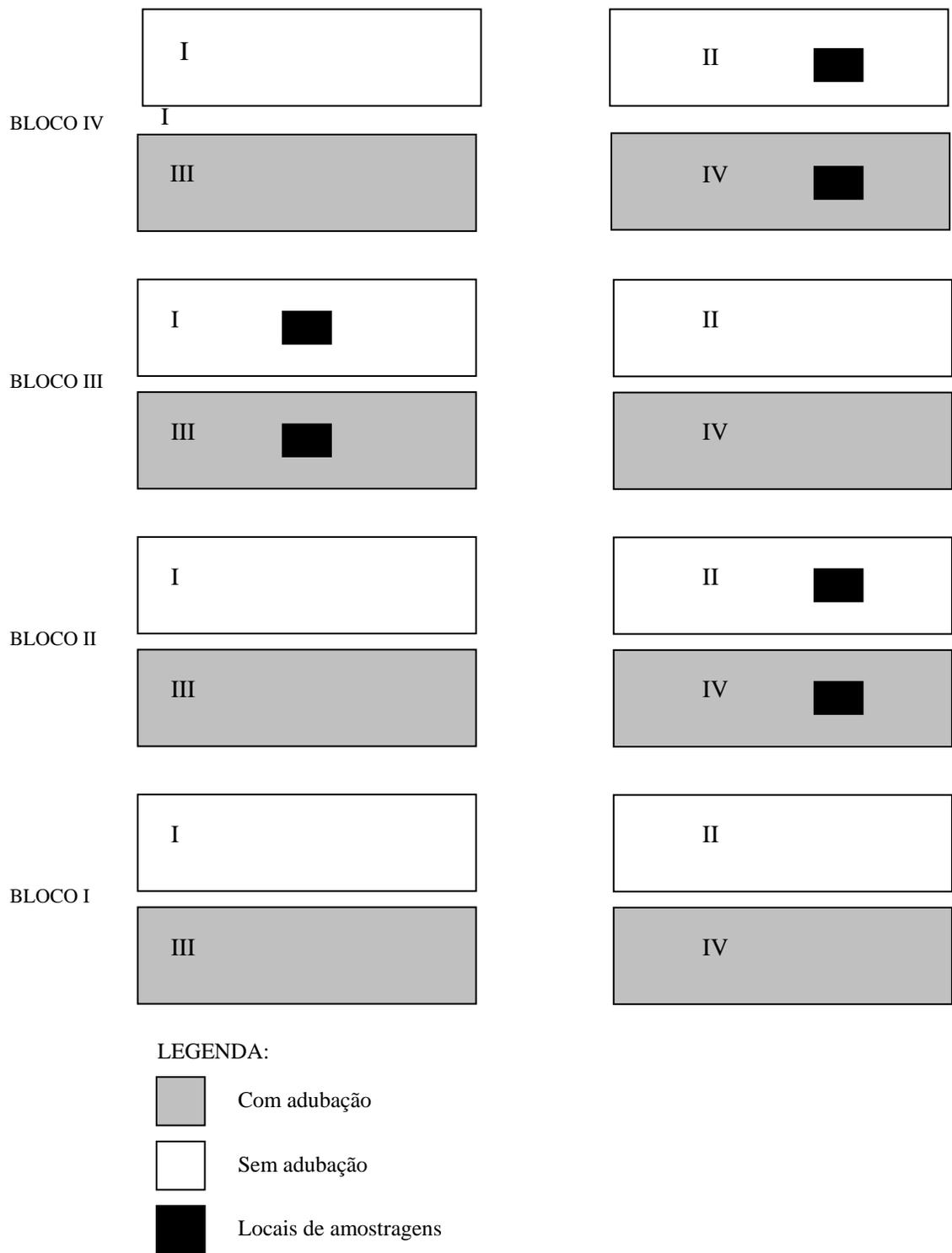


Figura 1. Esquema de distribuição dos blocos, parcelas e locais de amostragem na cultura do milho (safra 98/99) e na cultura do sorgo (safrinha 99).

Nas parcelas que não receberam N, no plantio, foi aplicado o formulado 00-20-20 na dose equivalente para complementar os requerimentos de P e K, nas base das seguintes matérias-primas: supertriplo, supersimples e cloreto de potássio. Os micronutrientes foram dosados da mesma forma. O milho foi colhido em 29/03/99.

Na segunda etapa do experimento, safra de inverno 1999, foi semeado em 14 de abril, o sorgo forrageiro BRS 800, híbrido interespecífico de sorgo (*Sorghum bicolor*) e o capim sudão (*Sorghum sudanense*). Foi semeado com 0,52m de espaçamento e na densidade de 14 sementes por metro linear sem receber adubação e nem tratamento de sementes. O material foi manejado com rolo faca em 9/08/99.

3.5. Metodologia

O N-mineral total ($N-NH_4 + NO_3^-$), foi determinado pelo método de Keeney e Nelson (1992) nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15, distante 15cm da linha das plantas. As amostragens de solo durante o ciclo da cultura de milho e sorgo foram feitas nos blocos-parcelas: II-2; II-4; III-1; III-3; IV-2; IV-4 do projeto (Fig. 1). Em cada parcela foram obtidas quatro subamostras de cada profundidade, originando amostras compostas para cada profundidade e parcela. As datas de coletas de solo, durante a cultura do milho, foram: 14/12/98 (28 d.a.s); 04/01/99 (49 d.a.s); 18/01/99 (63 d.a.s); 01/02/99 (77 d.a.s); 22/02/99 (98 d.a.s); 07/03/99 (111 d.a.s); 24/03/99 (128 d.a.s) e 12/04/99 (147 d.a.s). Para a cultura do sorgo, as datas de coleta foram: 04/05/99 (20 d.a.s); 08/06/99 (55 d.a.s); 09/07/99 (86 d.a.s); 27/07/99 (105 d.a.s); 22/09/99 (163 d.a.s); 12/10/99 (183 d.a.s); 29/10/99 (200 d.a.s) e 13/11/99 (215 d.a.s). Após a coleta, as amostras foram armazenadas em freezer (-18°C) para posterior extração e destilação do N-mineral total. Uma fração de

cada amostra foi separada para determinação de solo seco a estufa (105 °C), sendo os resultados expressos com base em massa seca. A descrição e os cálculos da análise da umidade do solo e dos reagentes utilizados na extração e destilação do N-mineral total, bem como a determinação do N-mineral total, estão nos anexos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O nitrogênio apresenta um complexo e dinâmico comportamento no solo, dependente das condições edafoclimáticas e do manejo realizado. Este é apenas um dos vários experimentos que demonstram este comportamento. A Figura 2 mostra a pluviometria e a distribuição sazonal de N-mineral total durante a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada. Observa-se que a camada 0-5 cm apresentou as maiores concentrações de N-mineral total nas parcelas adubadas (13,68 mg kg⁻¹, média de oito épocas, Tabela 1.A) e nas parcelas não adubadas (10,87 mg kg⁻¹, média de oito épocas, Tabela 2.A) com nitrogênio. Isto é um indicativo da maior atividade microbiana nas camadas superficiais do solo. Segundo COLOZZI et al. (2000), a permanência de resíduos vegetais na superfície proporciona maior umidade, menor temperatura e maiores teores de matéria orgânica, possibilitando aumentos da atividade biológica na superfície do solo. A disponibilização de nitrogênio às culturas é dependente da atividade microbiana, sendo fundamental que existam condições adequadas de umidade, pH e temperatura do solo, para

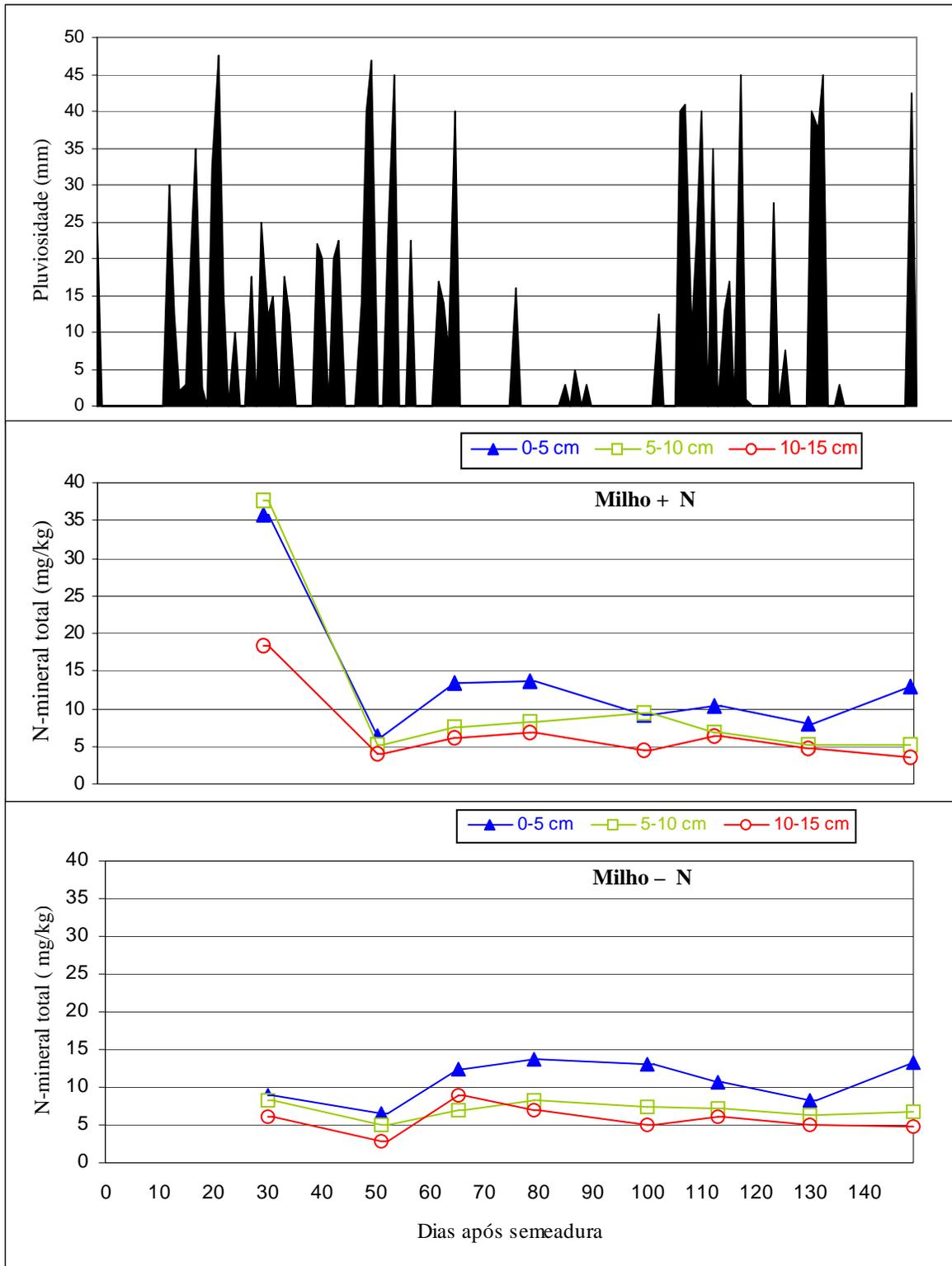


Figura 2. Pluviosidade e N-mineral total do solo com e sem adubação nitrogenada na cultura do milho (safra verão 98/99)

que através de suas enzimas, os microrganismos participem de reações bioquímicas, disponibilizando nitrogênio às culturas, através do processo de mineralização.

Na primeira época de amostragem (28 dias após a semeadura), encontrou-se nas parcelas adubadas com N, a maior concentração de N-mineral total em média (30,57 mg kg⁻¹, Tabela 1.A)). Comparando com o milho que não recebeu adubação nitrogenada, ocorreu uma diferença bastante acentuada. O maior valor encontrado nas parcelas adubadas com N, é em decorrência da adubação nitrogenada de pré-semeadura, semeadura e principalmente da adubação de cobertura, realizada aos 22 dias após a semeadura. (8 dias antes da 1ª época de amostragem). Nas parcelas adubadas com nitrogênio, obteve-se uma produtividade de 8.633 kg/ha e nas parcelas não adubadas com nitrogênio, produziu 6.240 kg/ha. PAULETTI & COSTA (2000), encontrou valores semelhantes de produtividade em Castro-PR.. As parcelas adubadas com N produziu 10.151 kg/ha e as parcelas sem N, obteve uma produtividade de 6.033 kg/ha. As condições físicas e químicas do solo (24% de argila, saturação de bases de 29,7, 67% de matéria orgânica, pH 4,8), foram diferentes deste experimento realizado em Castro-PR. A maior produtividade nas parcelas adubadas com N, pode estar relacionado a quantidade e a época de aplicação, visto que nas parcelas sem N, praticamente não houve diferença. Nas parcelas com N, aplicou-se 30 kg/ha na semeadura e 90 kg/ha em cobertura. Isto é um indicativo da maior eficiência de N quando aplicado em cobertura, período no qual há maior demanda pela cultura de milho. TEIXEIRA et al. (1994), observou que em condições de um solo podzólico vermelho-escuro, álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado, numa sucessão de aveia/milho, a produtividade da área de milho que não recebeu N foi de 1,54 kg/ha. Nas áreas adubadas com N (40 kg/ha na semeadura e 80 kg/ha aos 30-40 após a semeadura),

obteve-se uma produtividade de 5,88 kg/ha. Isso demonstra a necessidade de suprir a planta com N nos períodos de maior demanda e a maior eficiência da adubação nitrogenada quando aplicada em torno de 30 a 50 dias após a semeadura do milho. SÁ (1996), observou a produtividade de parcelas com e sem adubação nitrogenada em Ponta Grossa (Carambeí). A área do experimento caracteriza-se em latossolo vermelho-escuro, álico, A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical com relevo suave ondulado. As parcelas sem N apresentaram uma produtividade de 8.178 kg/ha e as parcelas com N (30 kg/ha na semeadura e 60kg/ha em cobertura), obteve-se produtividade de 9.413 kg/ha. Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados no cerrado, com exceção das parcelas que não receberam N, que apresentou produtividade mais elevada. Isto pode ser atribuído às condições edafoclimáticas da região de Carambeí-PR.

A cultura da aveia preta (*Avena strigosa*) assim como o milheto que antecedeu a cultura do milho, apresenta uma alta relação C/N, impedindo uma maior disponibilização de N nos períodos iniciais do desenvolvimento do milho. Segundo DESPECH (1985), citado por SÁ (1996), a aveia preta possui elevada capacidade de extração e acumulação de N na planta (147 kg/ha), e que a liberação de N após o período de imobilização, provavelmente, coincide com a emissão da espiga e o início de florescimento da cultura do milho. (50 a 60 após a semeadura). Isso foi observado neste experimento (cerrado), mostrando o mesmo comportamento dos resíduos de milheto. A partir de 50 a 60 dias após a semeadura do milho, ocorreu nas parcelas com e sem N, um aumento de N-mineral de aproximadamente de 6 para 14 mg.kg¹.

Nas parcelas adubadas com N, a queda de N-mineral total entre 30 e 50 dias, pode ser explicado pela maior demanda de N pela cultura, pela imobilização de N na matéria

orgânica e pela lixiviação de N, demonstrando a baixa eficiência da adubação nitrogenada durante todo o ciclo da cultura. De acordo com SAMPAIO & SALCEDO (1993), grande parte do nitrogênio aplicado (40%), permanecem no solo como residual (forma orgânica) e que menos da metade do fertilizante aplicado é utilizado pelas plantas.

Durante o ciclo da cultura do milho, ocorreram intensas precipitações pluviométricas que influenciaram significativamente no comportamento do N-mineral total. Nestas condições, o amônio e principalmente o nitrato sofreram percolação em profundidade (lixiviação), em virtude de ser um ânion, não fica retido nos colóides dos solos, visto que a grande maioria dos solos brasileiros são eletronegativos. PERES & SUHET (1985), observou que após a aplicação de 200 kg/ha de N na cultura do milho, grande parte do nitrogênio havia lixiviado para as camadas mais profundas, 70 dias após a aplicação do adubo. CERETA (1998), citado por GONÇALVES et al. (2000), cita que em anos com intensas precipitações pluviais, pode ocorrer expressiva perda de N do solo por lixiviação.

Após 60 dias da semeadura, observa valor máximo de N-mineral total na camada 0-5 cm, com e sem adubação nitrogenada de aproximadamente 14 mg kg⁻¹. CABEZAS (1999), avaliando a distribuição de N-mineral total na cultura da soja (safra verão 97/98), nas mesmas condições edafoclimáticas, encontrou o valor máximo de 20 mg kg⁻¹ na camada 0-5 cm. O maior valor encontrado durante a cultura da soja está relacionado a capacidade deste em fixar N do ar.

A Figura 3 mostra a pluviometria e a distribuição sazonal de N-mineral total durante a cultura do sorgo, que sucedeu áreas de milho com e sem adubação nitrogenada.

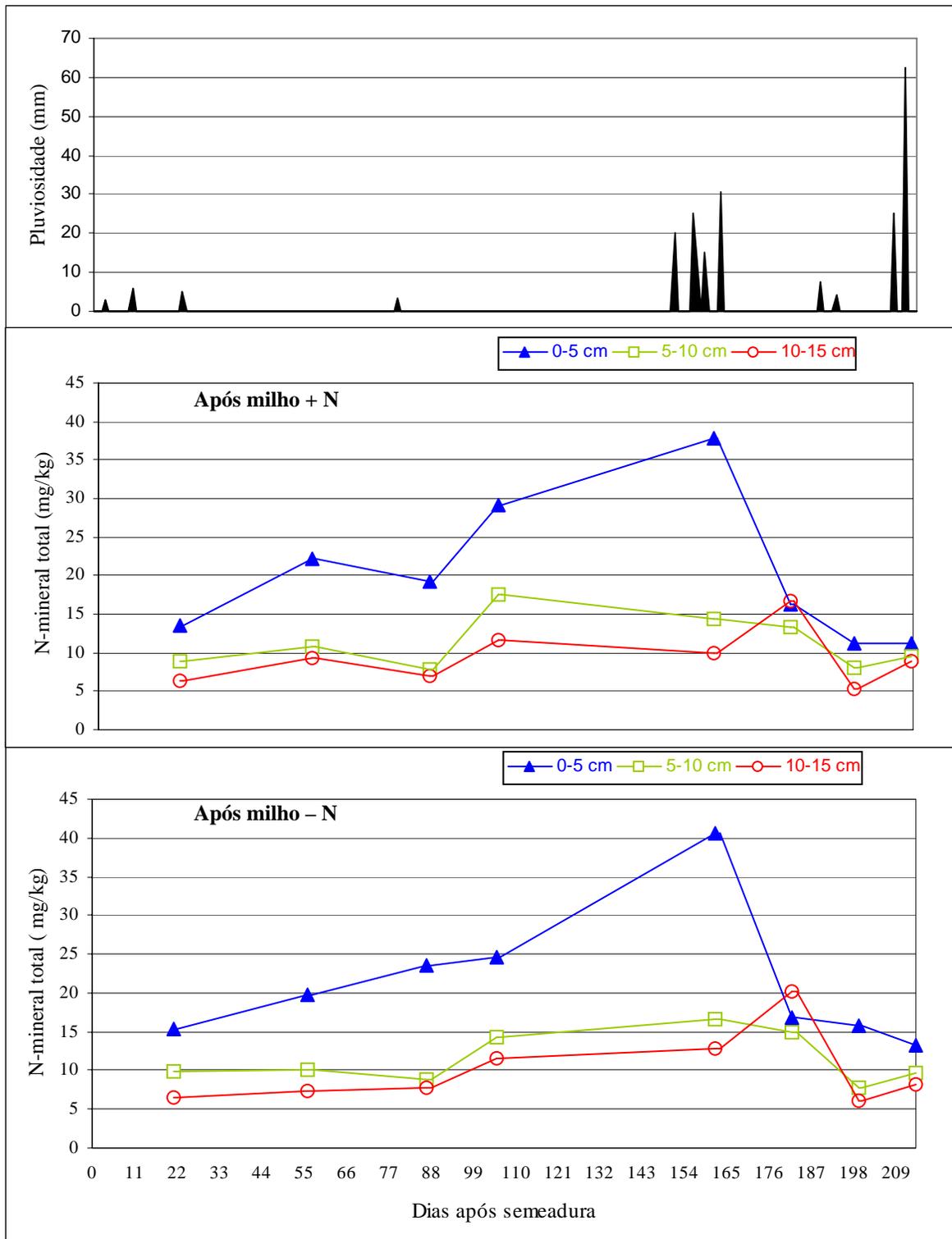


Figura 3. Pluviosidade e N-mineral total do solo durante a cultura do sorgo, (safrinha 99), em sucessão a cultura do milho com e sem adubação nitrogenada.

O período de quantificação de N-mineral total no sorgo (safra de inverno 99), foi caracterizado por baixa pluviometria. Nesta condição, a mineralização é diminuída em função de condições de umidade inadequado para os microorganismos. PERES & SUHET (1984), afirma que em períodos secos, a ausência de mineralização está associada a baixa umidade do solo neste período. A baixa pluviometria condicionou a ausência de lixiviação de nitrogênio durante o desenvolvimento do sorgo. BARTHOLOMEW, citado por BASSOI & REICHARDT (1995), menciona que a remoção de N pela água (lixiviação), é a principal perda de N que ocorre no solo.

A maior quantidade de N-mineral total encontrado (principalmente na camada 0-5 cm), durante a cultura do sorgo comparado a cultura do milho, pode ser explicado pelo deslocamento do N-mineral das camadas mais profundas do solo para a superfície (processo físico) e pela maior ausência de sistemas radiculares efetivos.

Até o 100 dias após a semeadura do sorgo, ocorreu um pequeno aumento de N-mineral total tanto nas parcelas semeadas sobre milho com N, como nas parcelas de milho sem N. (aproximadamente de 15 para 25 mg kg⁻¹). Neste período, a ausência de chuvas, proporcionou o deslocamento de N das camadas mais profundas para a superfície, permitindo o pequeno e gradativo aumento de N-mineral total. CABEZAS (1999), observou comportamento diferente até os 100 dias após a semeadura do milheto (safra de inverno 98). Neste período, ocorreu um decréscimo de N-mineral total de 20 para 10 mg kg⁻¹ (aproximadamente). Isto aconteceu porque durante o desenvolvimento da cultura do milheto, ocorreram chuvas, permitindo que o N fosse carregado para as camadas mais profundas.

Entre 100 e 160 dias após a semeadura do sorgo, ocorreram nas áreas semeadas sobre parcelas de milho que recebeu e não recebeu N, uma curva ascendente de N-mineral total, atingindo o valor máximo de 40 mg kg⁻¹. CABEZAS (1999), observou o mesmo comportamento no milho (safra de inverno 98). Entre 100 e 160 dias após a semeadura do milho, ocorreu um acréscimo de N-mineral total atingindo o valor de 35 mg kg⁻¹. Entretanto, a ocorrência de chuvas reduziu a quantidade de N-mineral total ao valor aproximado de 15 mg kg⁻¹. Após o término das precipitações, o N-mineral total apresentou aumentos significativos, atingindo o valor máximo de 70 mg kg⁻¹. Isso permite concluir que entre 90 e 100 dias após a semeadura do sorgo e do milho (gramíneas), pode estar ocorrendo o pico de liberação de N contido nos resíduos vegetais das culturas que antecederam o sorgo (milho) e do milho (soja). SÁ (1996), afirma que quando a relação C/N dos resíduos vegetais chega ao valor de 20, a atividade de microorganismos decompositores e a formação de CO₂ diminui gradativamente pela falta de carbono facilmente oxidável. Com isso o N deixa de ser limitante para os processos microbianos, passando a ocorrer disponibilização de N-mineral total. O milho apresenta alta relação C/N, dificultando nos períodos iniciais do sorgo, uma maior disponibilização de N. Segundo VICTÓRIA et al. (1992), citado por SÁ (1996), a adição de resíduos culturais com alta relação C/N, proporciona aos microorganismos quimiorganotróficos de atuarem na decomposição da matéria orgânica, produzindo CO₂ em grandes quantidades. Com o aumento de carbono, ocorre a indisponibilização de N às culturas. No trabalho de CABEZAS (1999), o milho foi semeado sobre resíduos da cultura de soja. Como a soja apresenta uma relação C/N mais baixa e pela capacidade de fixar N do ar, encontrou-se o maior valor de N-mineral total no milho (70 mg kg⁻¹) comparado ao sorgo (40 mg kg⁻¹).

A partir de 150 dias após a semeadura do sorgo, começaram a ocorrer chuvas. Com isso ocorreu uma diminuição abrupta de N-mineral total que na camada 0-5 cm decresce de 40 para 16 mg kg⁻¹. CABEZAS (1999), observou também decréscimo de 70 para aproximadamente 20 mg kg⁻¹ na cultura de milho quando iniciaram os períodos chuvosos. Isso mostra a alta mobilidade de N no solo, sendo afetado negativamente pela pluviometria, através da lixiviação, quanto a quantidade de N-mineral total no solo.

Através desse trabalho, permite concluir que há uma relação inversa entre a pluviometria e a quantidade de N-mineral total do solo. Pode-se concluir também que gramíneas (verão) semeado sobre resíduos de gramíneas (inverno) apresenta, a partir de 90 a 100 dias após a semeadura, o período de maior disponibilização de N-mineral total dos resíduos. Permite-se concluir que quanto a adubação nitrogenada, grande parte desta, deve ser aplicada em cobertura para que se possa obter maiores produtividades.

5. CONCLUSÕES

Existe uma relação inversa entre a pluviosidade e quantidade de N-mineral total.

Pode-se concluir também que gramíneas (verão) semeado sobre resíduos de gramíneas (inverno) apresenta, a partir de 90 a 100 dias após a semeadura, período de maior disponibilização de N-mineral total dos resíduos. Permite-se concluir que quanto a adubação nitrogenada, grande parte desta, deve ser aplicada em cobertura (30 a 50 dias após a semeadura), para que se possa obter maiores produtividades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAIA, S. S. Mineralização do nitrogênio incorporado como material vegetal em três solos da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 387-392, 1997.
- BASSO, C. J. **Épocas de aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema de plantio direto**. 91f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, 1999.
- BASSOI, L. H., REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 329-335, 1995.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 235-239, 1997.

- COLOZZI FILHO, A., BALOTA, E. L., ANDRADE, D. S. Plantio direto: microorganismo e processos. 1º Curso de Atualização em Fertilidade e Biodinâmica no Sistema Plantio Direto, Uberlândia, p. 1-13, 20-22 setembro de 2000.
- CALVACHE, U. M., LIBARDI, P. L., REICHARDT, K., VICTÓRIA, R., SILVA, J. C. A., URQUIAGA, C. S. Absorção e redistribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 11, p. 1547-1557, 1982.
- CAMARGO, F. A. O., GIANELLO, C., VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 575-579, 1997.
- COELHO, A. M., FRANÇA, G. E., BAHIA, A. F. C., GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um latossolo-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 187-193, 1991.
- HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.
- LARA CABEZAS, W. A. R. Dinâmica do nitrogênio e estratégias de adubação nitrogenada no sistema de plantio direto em solos de cerrado. II Seminário sobre sistema de plantio direto na UFV, Viçosa, MG. **Anais**. p. 117-118, 1999.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Potafos, Piracicaba, 2. ed. p. 67-70, 1997.

- MUZILLI, O., OLIVEIRA, E. L., GERAGE, A. C., TORNERO, M. T. Adubação nitrogenada em milho no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 18, n. 1, p. 23-27, 1983.
- PARENTONI, S. N., FRANÇA, G. E., BAHIA FILHO, A. F. C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 12, p. 225-229, 1988.
- PAULETTI, V., COSTA, L. C. Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 599-603, 2000.
- PERES, J.R.R. & SUHET, A.R. Simpósio sobre a adubação nitrogenada no Brasil. **XVI Reunião brasileira de fertilidade de solo**, Ilhéus BA. p. 221-222, 1984.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 2 ed. p. 164-178, 1991.
- RIZZARDI, M. A. Manejo do nitrogênio no sistema de plantio direto. I Seminário internacional do sistema de plantio direto, 1., 1995, Passo Fundo, RS. **Resumos**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. 182 p.
- ROS, C. O., AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 20, p. 135-140, 1996.
- SÁ, J. C. M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, p. 23, 1996.

- SÁ, J. C. M. Nitrogênio: transformação no solo, mobilização e imobilização. Curso sobre manejo no solo sobre sistema de plantio direto, Castro PR. **Anais**. Fundação ABC, p.210-211, 1995.
- SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, L. H. Mineralização e absorção por milho do nitrogênio do solo, da palha de milho – (^{15}N) e da uréia – (^{15}N). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 423-429, 1993.
- SANGOI, L., ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n.1,p. 13-24, 1994.
- TEDESCO, M. J. Perspectivas do uso de métodos de diagnose na recomendação de fertilizantes nitrogenados no Brasil. Simpósio sobre a adubação nitrogenada no Brasil, Ilhéus BA. **Anais**, p. 244, 1984.
- TEIXEIRA, L. A. J., TESTA, V. M., MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciências de Solo**, Campinas, v. 18, p. 207-214, 1994.

APÉNDICE

1: PREPARO DOS REAGENTES

Para a análise de N-mineral total, foram necessários o preparo dos seguintes reagentes: cloreto de potássio 2M, solução padrão, ácido bórico e o ácido sulfúrico.

O cloreto de potássio, cuja finalidade é retirar o N do solo e colocá-lo na solução, foi preparado com a seguinte fórmula:

$$A = 2 \times 74,56 \text{ g/L}$$

A – quantidade de cloreto de potássio por litro

2 – molaridade desejada (2 M)

74,56 – peso molecular do KCL.

O preparo da solução padrão no qual o objetivo desta é verificar a eficiência do destilador, foi realizado com o nitrato de amônio (1000 ppm), através dos seguintes cálculos:

$$B = 80,04 \times 1 \text{ g} / 28$$

80,04 – peso molecular do nitrato de amônio (NH_4NO_3)

1,0 – quantidade de nitrogênio em 1000 ppm. (1g/l)

28,0 – peso molecular do nitrogênio

B – quantidade de nitrato de amônio (g) por litro

O valor de B (2,8586 g/L) de nitrato de amônio corresponde a 98% de eficiência (vide frasco do nitrato de amônio). É necessário que tenha 100% de eficiência:

$$C = 100 \times 2,8586 / 98$$

100 – porcentagem de eficiência desejada

2,8586 – quantidade de nitrato de amônio (g/L)

98 – porcentagem de eficiência do nitrato de amônio

O nitrato de amônio calculado(C), foi colocado em estufa (circulação forçada por 5h a 40 °C) e posteriormente realizava uma segunda pesagem do material para averiguar o valor.

O ácido bórico foi preparado pesando 20g de H_3BO_3 , sendo transferido para um balão de 1L, no qual foi adicionado 700 ml de água destilada com agitação constante. Para o preparo dos indicadores, pesou-se 6,60 mg de V.M. e 9,83 mg de V.B., sendo transferido para um becker de 500 mL e adicionado 200 ml de etanol puro com agitação constante até a dissolução total dos indicadores. A seguir, adicionava a solução indicadora ao balão de H_3BO_3 agitado até a homogenização plena. Para fixar a cor cinza na solução, adicionava soda 0,05 N gota a gota até se obtinha a cor cinza. A seguir completava se o volume para 1L com água destilada. Quando se obtinha uma cor esverdeada, colocava algumas gotas de ácido sulfúrico 0,1 N até que retornasse a cor cinza. A soda cáustica foi preparada de acordo com a seguinte fórmula:

$$N = m / eq \times V$$

N – normalidade desejada

m – quantidade de soda cáustica

eq – peso molecular do hidróxido de sódio (NaOH)

V – quantidade desejada de preparo (ml)

O ácido sulfúrico foi preparado de acordo com as seguintes fórmulas:

$$m = N \times Eq \times V$$

m – quantidade de ácido sulfúrico

N – normalidade do ácido

Eq – peso molecular do ácido sulfúrico (H_2SO_4)

V – volume desejado (L)

$$D = m / V$$

D – densidade

m – quantidade de ácido sulfúrico (g)

V – quantidade de ácido sulfúrico do volume desejado de preparo

Primeiramente adicionou ao balão volumétrico água e posteriormente colocou se o ácido. Para calcular o fator de correção do ácido utilizou-se uma base conhecida (Na_2CO_3) denominada TAN.

$$F_{CA} = F_{CB} \times N_B \times V_B / N_A \times V_A$$

F_{CA} – fator de correção do ácido

F_{CB} – fator de correção da base

N_B – normalidade da base

V_B – volume da base

N_A – normalidade do ácido

V_A – volume do ácido

O óxido de magnésio (MgO) e a liga de varada foram os reagentes utilizados na destilação., sendo que o óxido de magnésio foi calcinado por 6h (mufla) a $500\text{ }^\circ\text{C}$.

2: CÁLCULO DA UMIDADE DO SOLO E DO N-MINERAL TOTAL

A quantidade de N-mineral total do solo é dependente da umidade em que se encontra o solo. Foi necessário então quantificar a umidade das amostras de solo, ou seja, a umidade da amostra de solo seco. Foram utilizados para a determinação da umidade do solo, balança de precisão, capsulas e estufa.

Inicialmente foi aferido o peso das capsulas e posteriormente, colocados de 34 a 36g de solo em cada capsula. Em seguida, as capsulas foram tampadas e colocadas na estufa por 72 h a temperatura de 100-110 °C. Após decorrido as 72 h , as capsulas (contendo o solo) foram novamente pesadas na balança (solo seco). Pela diferença (solo úmido – solo seco), obteve a umidade do solo que foram calculados com as seguintes fórmulas:

Solo úmido:

$$\text{Solo úmido} = \text{capsula} + \text{solo úmido} - \text{capsula}$$

Solo seco :

$$\text{Solo seco} = \text{capsula} + \text{solo seco} - \text{capsula}$$

Cálculo massa de água:

$$\text{Massa de água} = \text{solo úmido} - \text{solo seco}$$

Cálculo da umidade do solo:

$$\text{Umidade do solo} = [(\text{solo úmido} \times 100 / \text{solo seco}) - 100] / 100$$

Cálculo da massa de água em 100g de solo:

$$\text{Massa \u00e1gua/100g} = (\text{solo \u00famido} \times 100 / \text{solo seco}) - 100$$

C\u00e1lculo da amostra de solo seco (X):

$$X = \text{amostra de solo \u00famido} \times \text{solo seco} / \text{solo \u00famido}$$

Para a destila\u00e7\u00e3o das amostras, retirava de cada amostra (total de 36 amostras por amostragem), uma quantidade de 40 a 42g de solo e colocava as em frasco de vidro. Em seguida, colocava em cada amostra, 120 ml de cloreto de pot\u00e1ssio e posteriormente, numa mesa agitadora durante uma hora com 180 rpm. Ap\u00f3s a agita\u00e7\u00e3o, as amostras foram filtradas com papel de filtro quantitativo (filtra\u00e7\u00e3o m\u00e9dia). A solu\u00e7\u00e3o da amostra filtrada, foi aferida para um valor conhecido (200ml). Para cada amostragem, destilou-se uma amostra para verificar a quantidade de contamina\u00e7\u00e3o (branco), sendo utilizados um bal\u00e3o volum\u00e9trico com 50 ml de \u00e1gua destilada e colocado neste, 0,60g de \u00f3xido de magn\u00e9sio e 0,50g de liga de varada. Colocava o bal\u00e3o volum\u00e9trico no destilador e assim que a \u00e1gua do destilador esquentava e iniciava a fervura, a quantidade de N (contamina\u00e7\u00e3o no branco) se vaporizava, condensava e saia na forma l\u00edquida, caindo dentro de um recipiente contendo 10 ml de \u00e1cido b\u00f3rico. A quantidade destilada para o branco foi de 60 ml. Em seguida, a solu\u00e7\u00e3o foi titulada com \u00e1cido sulf\u00farico com a normalidade e fator de corre\u00e7\u00e3o conhecidos, e foi anotado o volume de \u00e1cido gasto do branco. Para verificar a porcentagem de N-mineral que o destilador recuperou (efici\u00eancia), foi realizado uma amostra padr\u00e3o. O procedimento e os reagentes utilizados na destila\u00e7\u00e3o, foram os mesmos do branco. Entretanto, no bal\u00e3o volum\u00e9trico contendo 50 ml de \u00e1gua destilada, foi adicionado 1ml de concentra\u00e7\u00e3o conhecida de nitrog\u00eanio. Na destila\u00e7\u00e3o das amostras, retirou 50 ml da solu\u00e7\u00e3o de cada amostra e o procedimento e os reagentes utilizados foram os mesmos do branco. O c\u00e1lculo da quantidade de N-mineral total foi realizado atrav\u00e9s das f\u00f3rmulas:

$$N \text{ (mg/kg)} = [(V_{\text{ácido amostra}} - V_{\text{branco}}) \times 14] \times N_{\text{ácido}} \times F_c$$

N – quantidade de nitrogênio mineral (mg/kg)

$V_{\text{ácido amostra}}$ - volume de ácido gasto na titulação da amostra

V_{branco} – volume de ácido gasto do branco na titulação

14 – peso molecular do nitrogênio

$N_{\text{ácido}}$ – normalidade do ácido

F_c – fator de correção do ácido

$$D = N_{\text{amostra}} \times 200 / 50$$

D – quantidade de nitrogênio (mg)

200 – quantidade conhecida e aferida (ml)

50 – quantidade utilizada na destilação (ml)

$$E = D \times 1000g / \text{amostra solo seco}$$

E – quantidade de mg/kg de N

D – quantidade de nitrogênio (mg)

1000g – parâmetro (kg)

amostra de solo seco – quantidade de amostra do solo seco

Tabela 1.A - Distribuição no perfil superficial do solo (0-15 cm de profundidade) e temporal do N-mineral total ($\text{NH}^+_4 + \text{NO}^-_3$) na cultura de milho com e sem adubação nitrogenada, com sistema de rotação exclusivo com gramíneas, na safra de verão (98/99), em sistema de plantio direto, solo LE do Triângulo Mineiro.

Cultura de verão	Adubação (milho)	Profund. cm	Distribuição do N-mineral, dias após semeadura										Médias totais em profundidade
			28	49	63	77	98	111	128	147	Média		
Milho	com N	0 - 5	35,76	6,40	13,03	13,73	9,26	10,40	7,90	12,92	13,68	0 - 5 5 - 10 10 - 15 Média	12,27 A 8,8 B 6,2 C ⁽³⁾
		5 - 10	37,56	5,13	7,53	8,30	9,30	6,90	5,10	5,08	10,61		
		10 - 15	18,40	3,93	6,03	6,93	4,56	6,30	4,70	3,60	6,81		
		Média	30,57	5,15	8,86	9,65	7,70	7,86	5,90	7,20	10,36 A		
	sem N	0 - 5	9,00	6,50	12,43	13,66	13,10	10,73	8,30	13,21	10,87	10 - 15 Média	7,02 5,71 7,86 B ⁽²⁾
		5 - 10	8,33	4,93	7,00	8,33	7,43	7,16	6,26	6,74	7,02		
		10 - 15	6,03	2,76	8,83	7,03	5,03	6,03	5,10	4,84	5,71		
		Média	7,78	4,73	9,42	9,67	8,52	7,97	6,55	8,26	7,86 B ⁽²⁾		
Médias			19,17 a ⁽¹⁾	4,94d	9,14b	9,66b	8,11bc	7,91bc	6,22cd	7,73bc			

CV (%): 27,28

(1) Médias entre épocas, seguidas de letras minúsculas diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 2,56)

(2) Médias entre manejo da adubação, seguidas de letras maiúsculas diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 0,82)

(3) Médias entre profundidades, seguidas de letras maiúsculas sublinhadas diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 1,20)

Tabela 2.A - Distribuição no perfil superficial do solo (0-15 cm de profundidade) e temporal do N-mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) na cultura de sorgo (safrinha/99), após a cultura do milho com e sem adubação nitrogenada, com sistema de rotação exclusivo com gramíneas, em sistema de plantio direto, solo LE do Triângulo Mineiro.

Cultura de inverno	Adubação (milho)	Profund. cm	Distribuição do N-mineral, dias após semeadura								Médias totais em profundidade
			20	55	86	105	163	183	200	215	
Sorgo	com N	0 - 5	13,50	22,24	19,15	29,05	37,86	16,29	11,15	11,26	20,06
		5 - 10	8,93	10,85	7,81	17,50	14,47	13,25	8,04	9,49	11,29
		10 - 15	6,36	9,35	6,93	11,55	9,90	16,72	5,34	8,79	9,36
		Média	9,59	14,14	11,29	19,36	20,74	15,42	8,17	9,84	13,56A
sem N	com N	0 - 5	15,36	19,81	23,65	24,62	40,50	16,74	15,78	13,30	21,22
		5 - 10	9,91	10,17	8,89	14,40	16,66	14,83	7,76	9,58	11,52
		10 - 15	6,53	7,34	7,83	11,66	12,82	20,17	6,19	8,14	10,08
		Média	10,60	12,44	13,45	16,89	23,32	17,24	9,91	10,34	14,27A ⁽²⁾
Médias		10,09de ⁽¹⁾	13,29cd	12,37cde	18,12ab	22,03a	16,33bc	9,04e	10,09de		

CV (%): 28,8

(1) Médias entre épocas, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 4,13)

(2) Médias entre manejo da adubação, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 1,32)

(3) Médias entre profundidades, seguidas de letras maiúsculas sublinhadas diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. (DMS 1,94)