AVALIAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESTEVA E ADUBO VERDE NO SOLO

Geraldino Peruzzo[1/]

Dissertação apresentada como um dos requisitos ao Grau de Mestre em Agronomia, área de Concentração Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

Abril, 1982

[1/] Engenheiro Agrônomo (UPF - RS)

Homologada por:

Professor Marino José Tedesco

Orientador

Professor João Mielniczuk

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Professor Ruben Markus

Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

A EMBRAPA, através do CNPTrigo, pela oportunidade oferecida para a realização do curso de Pós-Graduação e pelo suporte financeiro.

Ao professor Marino José Tedesco, pela amizade e orientação constante durante o curso.

Ao professor Clésio Gianello pela colaboração na instalação e condução deste trabalho.

Aos demais professores e colegas de curso pelos ensinamentos e convívio profissional.

Ao Engº Agrº Edar Peixoto Gomes que me ajudou a transpor todas as barreiras desde o início de minha formação profissional.

Ao Luiz Galvino e Maria Domingas, meus pais, pelo que sou.

A Maria de Fátima, Caroline e Lucas, minha esposa e filhos pelo convívio, carinho e compreensão que foram fundamentais para minha formação. Há somente uma maneira de retribuir seus esforços diários, aceitem meu amor.

AVALIAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESTEVA E ADUBO VERDE NO SOLO[1/]

Autor: Geraldino Peruzzo
Orientador: Prof. Marino José Tedesco

RESUMO

Foram conduzidos de janeiro a julho de 1981 na Faculdade de Agronomia, UFRGS, um experimento de incubação e um de microparcelas com o objetivo de avaliar a decomposição e liberação de N de folhas e colmos de resteva (milho) e adubo verde (tremoço), em Latossolo vermelho escuro distrófico - HAPLORTOX (Unidade de mapeamento Passo Fundo).

A velocidade de decomposição dos resíduos, avaliada pela evolução de CO_2, foi inversamente proporcional à sua relação C/N, tendo a adição de N reduzido a perda de CO_2. A adição de resíduos aumentou a eficiência do N do solo e do adubo mineral para o milheto (*Pennisetum americanum*). A maior parte do N da resteva foi liberado em menos de 30 dias, com disponibilidade lenta a seguir, enquanto a adubação verde manteve níveis altos de N no solo durante todo o período de crescimento da cultura.

[1/] Dissertação de Mestrado em Agronomia (Solos) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (71p.) - Abril, 1982.

EVALUATION OF DECOMPOSITION AND N AVAILABILITY FROM STOVER AND GREEN MANURE IN SOIL[1/]

Author: Geraldino Peruzzo
Adviser: Prof. Marino José Tedesco

SUMMARY

In order to study the decomposition and N availability from leaves and stalks of stover (*Zea mays*) and green manure (*Lupinus albus*) an incubation experiment and a microplot trial have been, conducted at the School of Agriculture, UFRGS, from January to July 1981, using an Haplortox soil (Passo Fundo unit).

The rate of residues decomposition as evaluated by evolved CO_2 was inversely proportional to their C/N ratio, and the N added decreased the amount of CO_2 evolved. Soil and fertilizer N were more effectively used by millet (*Pennisetum americanum*) plants with the addition of any residue. Part of the stover's N was available in less than 30 days, decresing availability from this time on, while the green manure mantained a high mineral N level throughout the crop's growing period.

[1/] M.Sc. Dissertation in Agriculture (Soils) - Agricultural School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (71p.) - April, 1982.

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1. Perdas de nitrogênio pelo solo	3
2.1.1. Perdas por erosão	4
2.1.2. Perdas por desnitrificação.....	5
2.1.3. Perdas por volatilização da amônia .	6
2.1.4. Perdas por lixiviação	7
2.2. Decomposição de restos culturais no solo ..	8
2.2.1. Liberação e imobilização de nitrogênio	9
2.2.2. Evolução do CO_2	12
2.2.3. Manejo de restos culturais	14
2.3. Adubação verde	15
2.3.1. Liberação de N ao solo	16
2.3.2. Condições físicas do solo	17
3. Material e Métodos	19
3.1. Coleta, preparo e caracterização do solo ..	19
3.2. Coleta, preparo e caracterização do resíduo vegetal	21
3.3. Condução do experimento em microparcelas ..	22
3.4. Condução do experimento de incubação	25
3.5. Análise estatística	26
4. Resultados e Discussão	27
4.1. Experimento de incubação	27
4.1.1. Decomposição dos resíduos	27
4.1.2. Teores de nitrogênio mineral no solo	33
4.2. Experimento de microparcelas	36
4.2.1. Nitrogênio mineral lixiviado	36
4.2.2. Nitrogênio mineral do solo	40
4.2.3. Absorção de nitrogênio e rendimento de milheto	43
4.2.4. Balanço do nitrogênio no solo	49

Página

5. Conclusões 52

6. Bibliografia Citada 54

7. Apêndices 61

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Principais características químicas do solo utilizado (unidade de mapeamento Passo Fundo)..... 20

2. Teores de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ (em ppm) no final do experimento de incubação na camada superior (com solo de 0 - 15 cm) e inferior (com solo de 15 - 30 cm) média de 2 repetições 34

3. Quantidades de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ (em mg) determinados na água de percolação (média de 3 repetições)..... 37

4. Quantidades de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ (em ppm) no solo por ocasião do plantio, 1º corte e 2º corte (final) nas profundidades de 0 - 15 e 15 - 30 cm (média de 3 repetições) 41

5. Nitrogênio total absorvido (em mg/vaso) pelas plantas de milheto (média de 3 repetições) 44

6. Matéria seca (em g/vaso) da parte aérea e raízes das plantas de milheto (média de 3 repetições) 45

7. Balanço do nitrogênio (mg/vaso) no experimento de microparcelas (média de 3 repetições) 50

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Diagrama das unidades experimentais 23

2. Evolução cumulativa de CO_2 no experimento de incubação, nos tratamentos sem adição de nitrogênio 29

3. Evolução cumulativa de CO_2 no experimento de incubação, nos tratamentos com adição de nitrogênio 32

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul caracteriza-se como um Estado essencialmente agrícola, com possibilidade de obtenção de duas safras por ano com bom rendimento de matéria seca. O retorno dos restos culturais ao solo é benéfico sob o ponto de vista da reciclagem de nutrientes, bem como proteção contra a erosão e melhoria das propriedades físicas.

A resteva se caracteriza por alta relação C/N, e teores elevados de celulose e lignina, fatores que dificultam sua decomposição no solo. A grande quantidade dos resíduos e a forma dos mesmos podem em alguns casos prejudicar as práticas culturais de preparo do solo e plantio da cultura subsequente. A queima da resteva entretanto não é recomendada devido aos efeitos benéficos que os resíduos apresentam sobre as propriedades químicas e físicas do solo. A redução do tamanho dos resíduos e a adição de N mineral para evitar a imobilização do N do solo e propiciar o aumento da velocidade de decomposição são práticas algumas vezes recomendadas. O custo destas, principalmente a adição de N, pode entretanto desestimular a sua utilização.

A adubação verde com leguminosas é uma opção recomendada num sistema de rotação de culturas com os objetivos

de recuperação de solos degradados e adição de N fixado do ar, disponível para a cultura subseqüente após decomposição da leguminosa por microorganismo no solo. As quantidades de N assim disponíveis podem suprir boa parte das necessidades das gramíneas cultivadas a seguir. Para a utilização correta desta prática no sentido do máximo aproveitamento do N é necessário saber a velocidade de decomposição do material bem como as quantidades de N liberado.

As quantidades totais de N orgânico adicionado ao solo, tanto no caso da resteva como da adubação verde podem ser facilmente determinados. A sua taxa de liberação é entretanto mais difícil de ser estabelecida, variando esta com as características do material, do solo, do clima e do sistema de manejo dos resíduos.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a taxa de decomposição e liberação de N de uma resteva e de um adubo verde (folhas e colmos, separadamente) adicionados ao solo sob condições controladas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O nitrogênio tem grande importância no aumento do rendimento das plantas cultivadas, tendo em vista sua escassez na maioria dos solos cultivados e por ser o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas. O rendimento das culturas é muitas vezes limitado pela deficiência de N, seja pela redução no seu uso devido ao custo elevado ou pela facilidade com que pode ser retirado do sistema solo-planta. A maior parte do nitrogênio do solo encontra-se combinado com a matéria orgânica, tornando-se disponível pela mineralização, em que ocorrem complexas transformações químicas e microbiológicas.

Práticas de manejo do solo, como incorporação de resteva e adubação verde, poderão manter e até elevar os teores de matéria orgânica e N total com os anos de cultivo.

2.1. Perdas de nitrogênio pelo solo

A quantidade de N recuperado pelas plantas na adição de fertilizantes nitrogenados tem sido pouco estudada a campo; geralmente, no máximo 2/3 do adicionado são recuperados pelas plantas (ALLISON, 1973a). O nitrogênio

adicionado ou produzido durante a mineralização da matéria orgânica não permanece por muito tempo no solo. Parte deste nitrogênio mineral, portanto, não é absorvido pelas plantas, ou imobilizado pelos microorganismos, mas sim perdido por um ou pela associação de vários processos como erosão e/ou lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação.

2.1.1. Perdas por erosão

Pelas dificuldades de obtenção de dados quantitativos a campo, as perdas de N por erosão são pouco discutidas. Elas são maiores em solos com alto teor de N e maior grau de erodibilidade (ALLISON, 1973a), resultando na redução da matéria orgânica, e conseqüente diminuição dos índices de agregação e capacidade de infiltração de água do solo (SILVA, 1980). Isto ocorre em condições de solos em que são utilizadas práticas inadequadas de controle à erosão hídrica (SARAIVA, 1978).

As perdas de N podem chegar até 100 kg/ha anualmente (ALLISON, 1973a); estimativas feitas no Planalto Riograndense evidenciaram perdas de 1,7 kg de N/ha em função de 232 mm de precipitação ocorridos em novembro de 1978 (GIANLUPPI et alii, 1979).

A erosão é um processo seletivo em que o material erosionado apresenta-se em geral mais rico em nutrientes do que o solo original (STOLTENBERG e WHITE, 1953; SARAIVA, 1978). Este processo seletivo provoca uma diminuição da fertilidade do solo e uma redução do teor da matéria orgânica e mudanças em

textura do solo (ALLISON, 1973a).

2.1.2. Perdas por desnitrificação

Embora seja processo comum em solos alagados (BROADBENT e CLARK, 1965) a desnitrificação é de importância considerável também em solos bem drenados (ALLISON, 1973a) e com ativa nitrificação e que podem tornar-se parcialmente anaeróbicos durante períodos úmidos ou através da adição de grande quantidade de matéria orgânica decomponível (ALLISON, 1973a). Ocorre nestes casos a presença de microsítios com condições favoráveis à anaerobiose.

A quantidade de N inorgânico, fluxo de O_2 e fonte de H são fatores relacionados com a taxa de controle deste processo biológico (STEFANSON, 1972). O fluxo de oxigênio é determinado pela respiração dos microorganismos do solo, espaço poroso e conteúdo de água. Os doadores de H podem vir da matéria orgânica do solo ou exudados das raízes (STEFANSON, 1972).

Nitrogênio molecular e óxido nitroso (N_2O) foram identificados como produtos finais desta redução biológica dos nitritos ou nitratos do solo (ALLISON, 1966). Ambos podem ser medidos isoladamente (STEFANSON, 1972). O O_2 é influenciado rapidamente pelo conteúdo de água a qual determina o número e volume de microsítios anaeróbicos requeridos para redução de NO_3^- do solo para N_2O e N_2. O crescimento das plantas cultivadas também pode alterar o fluxo de O_2

(STEFANSON, 1973), pela maior proporção de poros menores criando condições para o desenvolvimento de microsítios anaeróbicos.

Devido à dificuldade de determinação de N_2 e do N_2O a campo, a desnitrificação é geralmente obtida pela diferença entre os componentes do ciclo do N. Os resultados entretanto podem ser prejudicados pela dificuldade de avaliação de outros parâmetros como lixiviação, absorção pelas plantas, imobilização por microorganismos e volatilização da amônia (ROLSTON et alii, 1976).

A amplitude da desnitrificação é pouco conhecida quando se adiciona ao solo fertilizantes nitrogenados ou restos culturais (ROLSTON e MARINO, 1976).

2.1.3. Perdas por volatilização da amônia

A amônia é produto da decomposição da matéria orgânica do solo e resíduos orgânicos; sua quantidade varia largamente, dependendo do teor de N e da resistência do material que está sendo decomposto pelo ataque biológico.

A volatização da amônia está inversamente relacionada com a CTC (ANJOS, 1973). A capacidade do solo reter nitrogênio na forma de NH_4^+ aumenta com a CTC.

O aumento de temperatura, na faixa de 5 a 45°C, favorece a volatização da amônia (WATKINS et alii, 1972). Em baixas temperaturas ocorre o inverso pelo retardamento da nitrificação, aumentando a persistência do amônio no solo.

O equilíbrio entre a concentração de amônio e amônia no solo depende do pH, sendo baixa a de amônia em pH abaixo de 7,0 (ANJOS, 1973). Acredita-se então que no caso da utilização da adubação verde as perdas são insignificantes devido ao pH não atingir valores próximos à neutralidade, em volta da partícula deste adubo, quando da sua incorporação no solo. Em pH baixo há predominância da forma NH_4^+ adsorvida no complexo de troca (BLACK, 1967).

Pelas observações feitas com a aplicação de adubos (VOLK, 1959; ANJOS e TEDESCO, 1974) pode-se supor que as perdas de amônia pela incorporação de resíduos orgânicos ao solo sejam insignificantes.

2.1.4. Perdas por lixiviação

Quando ocorrem chuvas suficientes para causar percolação pelo perfil, parte dos compostos nitrogenados dissolvidos em água, são transportados até locais mais profundos, inacessíveis para as plantas (JOHNSTON et alii, 1965; ROBBINS e CARTER, 1980). Estas formas perdidas são constituídas por NH_4^+ e NO_3^- (BOHNEN, 1970). A forma amoniacal é menos móvel por ser eletrostaticamente adsorvida (PARR, 1973) nas cargas negativas do solo; sua baixa lixiviação está associada com a taxa de NH_4^+ trocável,em quantidade proporcionalmente menor que os outros cátions (ALLISON, 1973a). Ao contrário do amônio, nitratos não são adsorvidos, movendo-se rapidamente no solo (JACKSON et alii, 1973) podendo

ser facilmente lixiviados no perfil do solo (PARR, 1973). A lixiviação de nitratos depende da capacidade de armazenamento de água do solo (ALLISON, 1973a).

O nitrogênio proveniente da mineralização de restos culturais e da adição de fertilizantes nitrogenados encontra-se em sua maior parte na camada superficial do solo (MOE et alii, 1968), movendo-se por lixiviação para os horizontes mais profundos (JACKSON et alii, 1973) principalmente quando ocorrem chuvas fortes em solo desprotegido (KILMER et alii, 1974). Em solos cultivados as perdas são menores porque ocorre assimilação rápida de NO_3^- pelas plantas e redução da quantidade de água que lava o perfil (ALLISON, 1973a).

A lixiviação é função da precipitação (ROBBINS e CARTER, 1980), da dose de N aplicada (JOHNSTON et alii, 1965; ADRIANO et alii, 1972) e da cultura utilizada (OLSEN et alii, 1970). A quantidade de NO_3^- removida dos horizontes superficiais é proporcional à quantidade de água que se desloca ao longo do perfil (ADRIANO et alii, 1972; BAUDER e SCHNEIDER, 1979).

2.2. Decomposição de restos culturais no solo

O teor de matéria orgânica é dependente das condições naturais de formação do solo e das práticas culturais, principalmente do retorno e a acumulação de resíduos orgânicos.

Os produtos da atividade microbiana e os constituintes mais resistentes à decomposição são reconhecidos como controladores da liberação de nitrogênio no solo.

O conhecimento da taxa de decomposição de vários compostos orgânicos é essencial para a avaliação dos fatores associados com a incorporação de resíduos de plantas e a dinâmica do balanço de nitrogênio no solo, sob condições de cultivo.

2.2.1. Liberação e imobilização de nitrogênio

A imobilização biológica ocorre em todos os solos, mesmo nos não cultivados. Isto se deve à presença de organismos vivos que assimilam nitrogênio mineral proveniente da decomposição da matéria orgânica podendo ocorrer posterior liberação de amônio (ALLISON, 1966); estes processos de imobilização e liberação ocorrem simultaneamente (ALLISON, 1966).

A quantidade de nitrogênio imobilizado nos solos varia diretamente com o teor de carbono e com a facilidade com que a decomposição ocorre (BROADBENT e BARTHOLOMEW, 1948). A população microbiana é controlada pela quantidade de energia contida no material em decomposição (ALLISON, (1966) e pela composição do mesmo. A decomposição microbiológica de resíduos de culturas compreende a síntese de tecidos microbianos, bem como a perda dos constituintes minerais em excesso e dióxido de carbono (ALLISON, 1973b). Para as mesmas

condições de clima e vegetação, esta decomposição fornece certas propriedades à fração orgânica inerentes ao material de origem (BROADBENT, 1954).

Quando resíduos de cultura com relação C/N estreita ($\leq$ 25:1) são incorporados haverá predomínio da liberação de N mineral sobre a imobilização. O processo se inverte com a adição de resíduos com relação C/N alta (ALLISON, 1973b). Neste caso os microorganismos heterotróficos freqüentemente imobilizam todo o nitrogênio disponível no solo (ALLISON, 1966). O uso da relação C/N para estimar as condições de imobilização é válido somente quando o C e o N são prontamente disponíveis para os microorganismos (BARTHOLOMEW, 1965). Este autor sugere a adoção de um nível crítico entre 1,0 e 1,3% de N para avaliar a disponibilidade de N no tecido das plantas. Entretanto, enfatiza que a taxa de decomposição é também afetada pelas condições ambientais. A limitação da relação C/N para avaliar a possibilidade de imobilização de N em alguns sistemas é devida a falta de caracterização adequada dos teores de C e N disponíveis (COCHRAN et alii, 1980). Assim pela relação C/N do carbono solúvel/nitrogênio solúvel pode-se ter melhor apreciação das taxas e do potencial de N imobilizado na utilização de resíduos (COCHRAN et alii, 1980).

A imobilização temporária do N pode ser benéfica porque reduz as perdas por lixiviação e desnitrificação (CRASWELL, 1978) ocorrendo uso mais eficiente do N, a ser liberado durante o ciclo da cultura (COCHRAN et alii, 1980).

Quando a relação C/N dos resíduos for superior a 25 (ALLISON e KLEIN, 1962) ou quando ocorrer baixa quantidade de N (SMITH e DOUGLAS, 1971) a adição de N geralmente acelera a decomposição (ALLISON e KLEIN, 1962; SMITH e DOUGLAS, 1971). Baixas temperaturas ou insuficiente umidade retardam este estímulo (SMITH e DOUGLAS, 1971), o qual não é notado nos estágios avançados de decomposição (LUEKEN et alii, 1962).

O N que é imobilizado na decomposição de resíduos não é imediatamente disponível para as plantas, sendo liberado lentamente (STEWART et alii, 1963). A imobilização do N no solo está relacionada com o teor de N dos restos culturais, sendo maior quando a porcentagem de N nos tecidos for alta (PARKER, 1962).

No trabalho desenvolvido por DALLA ROSA (1981) a cultura do trigo produziu aproximadamente 3500 kg de palha/ha. Esta resteva continha 34 kg de N/ha. Resíduos de plantas de fácil decomposição, como a soja e o tremoço produzindo ao redor de 4000 e 4200 kg de matéria seca/ha respectivamente, podem conter aproximadamente 42 e 94 kg de N/ha (DALLA ROSA, 1981).

O nível de matéria orgânica no solo é função de dois processos opostos: a adição de resíduos de plantas e a respectiva decomposição em interação com a matéria orgânica nativa (REINHORN e AVNIMELECH, 1974). Um estado de equilíbrio é estabelecido entre estes processos (BROADBENT, 1954) e seus valores dependem principalmente do clima, vegetação,

textura e manejo do solo (REINHORN e AVNIMELECH, 1974). Quando houver qualquer modificação nestes fatores novo equilíbrio é obtido em aproximadamente cinco anos após o início dos cultivos (REINHORN e AVNIMELECH, 1974).

2.2.2. Evolução do CO_2

Uma das mais importantes funções da flora microbiana é considerada a decomposição dos materiais orgânicos (ALEXANDER, 1977). A assimilação de carbono pode ser estimada através da adição de uma quantidade conhecida de compostos simples e determinando-se a fração que fica retida. Entretanto com restos de plantas ou materiais heterogêneos a assimilação de C não é facilmente medida (ALEXANDER, 1977).

Sob condições aeróbicas os microorganismos assimilam 20 a 40% do carbono adicionado. O restante é perdido como CO_2 ou acumulado como produtos residuais (ALEXANDER, 1977).

A evolução do CO_2 é uma das técnicas empregadas para medir a taxa de decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo. A taxa relativa de decomposição é função não somente da quantidade e tipo do material orgânico adicionado mas também da quantidade já existente no solo (BROADBENT e BARTHOLOMEW, 1948). Taxas de decomposição são comparáveis somente quando o mesmo solo é usado e as quantidades do material adicionado também forem as mesmas (BROADBENT e BARTHOLOMEW, 1948).

Com a adição de materiais com alta quantidade de carbono em relação ao N ocorre diminuição da relação C/N durante a decomposição (ALLISON e KLEIN, 1962), resultado de um progressivo declínio do carbono total mais do que um apreciável aumento do N-total no resíduo (PARKER, 1962).

A liberação de CO_2 é muito rápida no início da decomposição de resíduos ocorrendo baixa mineralização (ALLISON e KLEIN, 1962; PAL e BROADBENT, 1975) sendo a imobilização de N muito acentuada neste período (ALLISON e KLEIN, 1962). A taxa de imobilização está associada à taxa de volatilização do carbono (ALLISON e KLEIN, 1962). Épocas de enterrio influenciam o processo, sendo a decomposição maior em altas temperaturas, mais favoráveis à atividade microbiana (NYHAN, 1975).

A atividade microbiana ajusta-se rapidamente à quantidade de substrato energético disponível (MARTIN e HAIDER, 1979) que seria a variável mais limitante na maioria dos solos (SAMPAIO e SALCEDO, 1981); porém condições adversas de desenvolvimento, tais como acidez reduzem a liberação de N.

A adição de nitrogênio por ocasião do enterrio de resíduos, provoca um decréscimo na liberação de CO_2 (MUNEVAR e WOLLUM, 1977; SAMPAIO e SALCEDO, 1981) devido provavelmente à maior incorporação de carbono pela biomassa de microorganismos do solo (ANDERSON e DOMSCH, 1978); o método de determinação utilizado por estes autores não permite entretanto avaliar o aumento da biomassa do solo.

2.2.3. Manejo de restos culturais

A matéria orgânica umificada é uma consequência da atividade biológica associada com a umidade do solo (SHIELDS e PAUL, 1973). A decomposição de restos culturais é mais acentuada à medida que aumenta o contato com o solo (BROWN e DICKEY, 1970; SAIN e BROADBENT, 1977), sendo também proporcional ao tempo de exposição (BROWN e DICKEY, 1970; SMITH e DOUGLAS, 1971).

A palha deixada na superfície não se decompõe na mesma extensão daquela incorporada (PARKER, 1962; SHIELDS e PAUL, 1973; SAIN e BROADBENT, 1977) porém quando esta palha na superfície for picada, o contato com o solo aumenta proporcionando melhores condições para a decomposição (SAIN e BROADBENT, 1977). Isto indica que a quantidade de N imobilizado pelos resíduos deixados na superfície é mais baixa do que quando incorporado ao solo (PARKER, 1962; SAIN e BROADBENT, 1977; COCHRAN et alii, 1980). Chuvas fortes provocam um achatamento da palha na superfície, ocasionando o maior contato com o solo e conseqüente ataque dos microorganismos (SHIELDS e PAUL, 1973). Devido a imobilização temporária de nitrogênio recomenda-se a incorporação de resíduos algum tempo antes do plantio, para evitar deficiência no desenvolvimento da cultura subseqüente (BROWN e DICKEY, 1970): A adição de nitrogênio propicia uma decomposição mais acelerada dos resíduos (SAIN e BROADBENT, 1977). Por outro lado esta recomendação é válida quando outra cultura é

estabelecida após a incorporação do resíduo (BROADBENT e NAKASHIMA, 1965; SAIN e BROADBENT, 1977). O rendimento das culturas estabelecidas logo após o enterrio da resteva pode ser menor do que sem a adição da resteva. A diminuição em rendimento é algumas vezes atríbuida à presença de componentes tóxicos produzidos durante a decomposição dos resíduos (COCHRAN et alii, 1980).

Resíduos deixados na superfície são altamente efetivos no controle da erosão, porém a incorporação de nitrogênio ao solo é menor comparada com o seu enterrio (PARKER, 1962).

2.3. Adubação verde

Esta prática consiste na incorporação de partes das plantas ainda verdes, antes da maturação, com o objetivo de melhorar algumas propriedades físicas e químicas do solo. O ganho proporcionado por esta prática é maior do que a incorporação de restos culturais devido principalmente à maior concentração de N e menor conteúdo de substâncias resistentes a decomposição.

Muitas plantas podem ser usadas como adubo verde para outras culturas, quando crescem entre estações de crescimento como no caso de um sistema de rotação. Embora esta prática seja muito antiga, ela foi utilizada na América, a partir do século XIX devido à grande quantidade de solos virgens disponíveis, abandonados após alguns anos de cultivo

(ALLISON, 1973c). O uso de adubos minerais, a redução das áreas das propriedades agrícolas e a necessidade de obter rapidamente o retorno dos investimentos propiciaram uma redução no uso desta técnica. Atualmente, o encarecimento do adubo nitrogenado (devido à elevação do custo do petróleo) estimulou os estudos dos benefícios da adubação verde. Maior enfase é dada a fixação de nitrogênio e melhoria das condições físicas do solo.

2.3.1. Liberação de N ao solo

A efetividade da adubação verde é avaliada pelo aumento dos rendimentos da cultura plantada após a utilização da prática (ALLISON, 1973c). Atribui-se este aumento em rendimento ao N mais do que qualquer outro fator (ALLISON, 1973c). As leguminosas são as melhores culturas para esta finalidade, porque fixam N do ar e possuem baixa relação C/N. A cultura seguinte é beneficiada pelo rápido suprimento de nitrogênio (HARMSEN e VAN SCHREVEN, 1955), sendo quase nulo seu efeito residual (ALLISON, 1973c) devido à rápida decomposição no solo. Cuidados devem ser tomados ao adicionar grande quantidade de massa verde ao solo, como crotalária, porque os produtos imediatos da decomposição podem causar danos consideráveis à germinação da cultura seguinte (MIYASAKA et alii, 1966); é conveniente então, esperar duas a três semanas para efetuar a semeadura (PACHECO, 1980).

A contribuição do tremoço avaliado como adubo verde

pela cultura do milho proporcionou uma economia equivalente a 70 kg/ha de N e a ervilhaca fixou 90 kg/ha de N na mesma situação (MUZILLI, 1978).

Deve-se destacar a importância do suprimento adequado de P e K no solo se realmente for desejado um benefício desta prática, já que a adubação verde isolada não é suficiente para atenuar todas as limitações de fertilidade do solo (MUZILLI, 1978).

2.3.2. Condições físicas do solo

Os efeitos benéficos da adubação verde são obtidos quando esta é utilizada a intervalos curtos. A melhoria do solo verifica-se principalmente no 1º ano após sua incorporação (PACHECO, 1980). Além da adição de N, a adubação verde protege o solo contra a erosão, bem como aumenta a capacidade de infiltração e armazenamento de água. A incorporação de matéria orgânica provoca também melhorias na estrutura do solo pelo seu efeito na agregação das partículas do solo (GALETI, 1972) bem como aumento da porosidade total (ALLISON, 1973c). Resíduos orgânicos deixados na superfície do solo proporcionam excelente controle à erosão porém sua decomposição é retardada.

Nessa prática deve-se dar preferência para culturas como a alfafa, milheto, desmódio, siratro, tremoço, ervilhaca e colza que ultrapassam a camada compactada do solo mais facilmente do que a soja, setária, trigo e aveia (DALLA

ROSA, 1981). Com isso há uma diminuição dos custos de adubação com recuperação e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que se encontram em camadas mais profundas no solo (DERPSCH et alii, 1980). Os canais deixados pelas raízes em decomposição beneficiarão o sistema radicular da cultura seguinte, podendo melhor resistir a uma deficiência hídrica temporária no solo (DERPSCH et alii, 1980).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos simultaneamente dois experimentos, sendo um de microparcelas e outro de incubação de solo, no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de fevereiro a julho de 1981.

3.1. Coleta, preparo e caracterização do solo

Em novembro de 1980 foi coletado o solo em área cultivada nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm, no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo-EMBRAPA no município de Passo Fundo, RS. Este foi seco ao ar até aproximadamente uma umidade de 5 %, tamisado em peneira com malhas de 5 mm de abertura, homogeneizado e armazenado em sacos de polietileno até a utilização nos dois experimentos. Foi classificado como pertencendo à unidade de mapeamento Passo Fundo (Latossolo Vermelho Escuro Distrófico - TYPIC HAPLORTHOX) conforme o levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973). Foram efetuadas as seguintes determinações (Tabela 1):

a) pH, determinado em potenciômetro na relação solo : água de 1 : 1

TABELA 1. Principais características químicas do solo utilizado (unidade de mapeamento Passo Fundo).

Característica	Profundidade (cm)	
	0 - 15	15 - 30
pH em água	5,2	5,2
Nec. calagem (t/ha)	3,2	3,8
NH_4^+ (ppm)	43,8	8,0
NO_3^- (ppm)	31,5	17,3
N-total (%)	0,093	0,083
Mat. orgânica (%)	3,4	3,0
P (ppm)	18,0	19,8
K (ppm)	151,0	141,0
Ca (me/100 g)	3,32	0,80
Mg (me/100 g)	1,77	0,38
Al (me/100 g)	0,7	3,6

b) Necessidade de calagem para elevar o pH a 6,0, determinado pelo método SMP modificado, descrito por MIELNICZUK et alii (1969).

c) NH_4^+ e NO_3^-, extraídos com KCl 1N e determinados em destilador de arraste de vapores (semi-micro Kjeldahl).

d) N-total, por digestão úmida (H_2SO_4 + mistura de digestão) pelo método descrito por BREMNER (1965).

e) Matéria orgânica, determinada por combustão úmida segundo o método WALKLEY-BLACK, descrito por ALLISON (1965).

f) Fósforo e Potássio disponíveis, determinados pelo método de MEHLICH, descrito por MIELNICZUK et alii (1969).

g) Cálcio e Magnésio trocáveis, extraídos com KCl 1N e determinados em espectrofotômetro de absorção.

h) Alumínio trocável, por extração com KCl 1N e titulado com NaOH, de acordo com o método descrito por VETTORI (1969).

3.2. Coleta, preparo e caracterização do resíduo vegetal

Como fontes de resíduos foram utilizadas:

a) Tremoço (*Lupinus albus*) colhido na época da floração e seco ao sol.

b) Milho (*Zea mays* L.), obtido após a colheita das espigas, também seco ao sol.

Foram separadas manualmente as folhas e colmos das 2 espécies de plantas, sendo a seguir triturados em moinho de facas (sem peneiras) para a obtenção de fragmentos de até 4 cm de comprimento.

As folhas e colmos de milho apresentaram um teor de N-total de 1,48 e 0,45 % com relação C/N de 31 e 104 respectivamente. Nas folhas e colmos de tremoço o teor de N total foi de 3,68 e 1,09 %, com relação C / N de 12 e 42 respectivamente (conforme os métodos de determinação utilizados para o solo).

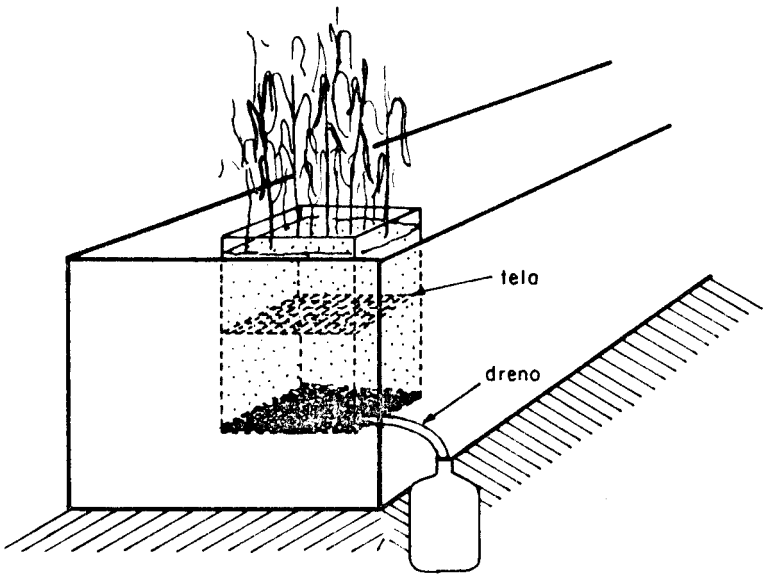
3.3. Condução do experimento em microparcelas

As microparcelas foram constituídas por vasos metálicos de 20 x 20 x 45 cm, enterrados em caixas de madeira de 1 x 1 x 10 m contendo terra (Figura 1a).

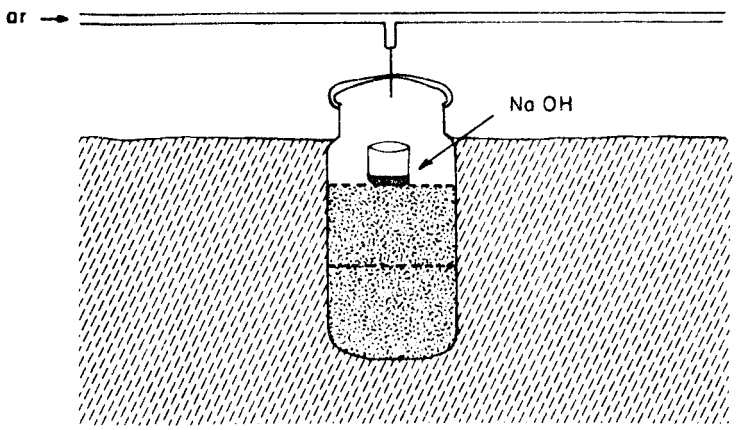
O solo foi colocado nos vasos nas respectivas camadas (0-15 e 15-30 cm), contendo 9 kg (peso seco) em cada unidade e sendo separadas por uma tela plástica. No fundo dos vasos foi colocada uma camada de 5 cm de cascalho fino para acumulação de água de percolação retirada por um dreno e coletada em recipiente de 5 litros.

O experimento foi conduzido em área cercada, sem cobertura.

Em 5.02.81 os resíduos foram incorporados na camada superficial do solo (0-15 cm) na quantidade de 16000 kg/ha (peso seco). Nos tratamentos com adubação nitrogenada



a) microparcela



b) frasco de incubação

FIGURA 1. Diagrama das unidades experimentais.

foram adicionados 100 kg de N/ha (1 ha = 2000000 kg) na forma de uréia.

Não foi efetuada a adubação com P e K e não foi adicionado calcário, tendo em vista os altos teores no solo (Tabela 1), coletado em área já corrigida.

Após a aplicação dos tratamentos, o solo foi umedecido até 80 % da sua capacidade de campo (medida a tensão de 0,3 bar), cobrindo-se os vasos com uma folha de polietileno para reduzir as perdas de umidade.

Em 5.03.81 o solo da camada superficial foi amostrado, plantando-se o milheto (*Pennisetum americanum*), que após a germinação foi desbastado para 20 plantas por microparcela.

O primeiro corte da parte aérea foi efetuado a 50 dias após o plantio, coletando-se também uma amostra de solo da camada superficial. O experimento foi encerrado em 30.05.81 com a coleta da parte aérea e raízes das plantas, amostrando-se também o solo das 2 camadas.

A parte aérea e raízes lavadas das plantas foram secas a 65ºC até peso constante, pesadas e moídas, determinando-se o seu teor de N-total (pelo método referido anteriormente).

As amostras de solo foram secas a 60ºC logo após a coleta determinando-se os teores de amônio e nitratos + nitritos extraídos com KCl 1N no final do experimento.

Foram coletados amostras de água percolada em 24.03.81, 24.04.81, 28.04.81 e 17.05.81, determinando-se nestas:

a) pH

b) Amônio e nitratos + nitritos por destilação pelo método semi-micro Kjeldahl (BREMNER e KEENEY, 1966).

c) Fósforo, determinado colorimetricamente pelo método de MURPHY e RILEY (1962).

d) Enxôfre por turbidimetria, conforme o método de CHESNIN e YIEN (1950).

e) Sódio e Potássio, por fotometria de chama.

f) Cálcio e Magnésio por espectrofotometria de absorção.

3.4. Condução do experimento de incubação

Utilizaram-se frascos de vidro de boca larga com 3 litros de capacidade, enterrados no solo, próximos ao experimento de microparcelas (Figura 1b). Foram usados um quilograma de cada camada de solo incorporando-se os mesmos tratamentos do trabalho com microparcelas na camada superficial.

Foi adicionada água até 80 % da capacidade de campo do solo e colocado um frasco de Beaker de 100 ml contendo um volume conhecido de NaOH 4N dentro dos frascos, que foram a seguir ermeticamente fechados (por pressão, tendo uma junta de borracha entre a tampa e o corpo do frasco).

O suprimento de O_2 foi contínuo (sem renovação da atmosfera interna), pela parte superior, por uma linha de ar comprimido previamente filtrado com NaOH, conforme

metodologia descrita por STOTZKY (1956).

O CO_2 coletado na solução de NaOH foi determinado a intervalos variáveis, conforme a velocidade de liberação por titulação com HCl 1N com indicador de fenolftaleina após a adição de $BaCl_2$ (STOTZKY, 1956).

Este experimento foi iniciado em 05.02.81 e concluído em 26.07.81, tendo sido feitas 30 coletas de CO_2. Para compensar a umidade perdida devido à presença do NaOH, foram adicionados 10 ml de água ao solo 5 vezes durante o trabalho.

Foram coletadas amostras de solo no final do experimento, nas 2 camadas, determinando-se os teores de amônio e nitratos + nitritos extraídos do solo úmido por KCl 1N.

3.5. Análise Estatística

Utilizou-se o delineamento em blocos completos ao acaso com 3 e 2 repetições para os experimentos de microparcelas e incubação, respectivamente, efetuando-se a análise da variância dos resultados obtidos utilizando-se o teste DMS ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente são abordados aspectos referentes à decomposição dos resíduos (pelo CO_2 coletado) e os teores de N mineral nos frascos do experimento de incubação, discutindo-se a seguir os dados obtidos no trabalho com microparcelas (N lixiviado, N mineral no solo, produção de massa seca e balanço de nitrogênio).

4.1. Experimento de incubação

Foram avaliados neste experimento o CO_2 volatilizado (coletado em NaOH) e o N mineral determinado nas 2 camadas de solo no final do experimento.

4.1.1. Decomposição dos resíduos

A decomposição dos resíduos adicionados é mostrada nas Figuras 2 e 3 e no Apêndice 5 para os tratamentos sem e com adição de nitrogênio, respectivamente.

Pode-se observar nos tratamentos sem adição de resíduos (Figura 2) que a evolução de CO_2 se mantém numa taxa constante até aproximadamente 100 - 120 dias após o início

da incubação para depois decrescer. Este efeito pode ser devido ao decréscimo de temperatura ambiente (Apêndice 8). A evolução de CO_2 neste período é semelhante nos tratamentos com e sem N, e representa a mineralização da matéria orgânica do solo e conseqüente liberação de N. Esta liberação, nos tratamentos sem nitrogênio (5600 mg de CO_2), representa uma oxidação de 4% da matéria orgânica do solo (média nas duas camadas) no período de 182 dias.

Nos tratamentos com resíduos sem adição de N, observou-se que a evolução do CO_2 é muito rápida até aproximadamente 12 dias a partir do início da incubação. Observação semelhante foi feita por ALLISON e KLEIN (1962) que constataram um máximo aos 10 dias. A partir deste ponto a faixa de liberação de CO_2 se mantem estável até 120 - 130 dias, em todos os tratamentos. Esta taxa foi em média de aproximadamente 42 mg de CO_2/dia no tratamento com adição de folhas de tremoço e 44 mg de CO_2/dia para a testemunha sem N. No período inicial de rápida evolução de CO_2 há predominância da imobilização de nitrogênio nos materiais com relação C/N altas ALLISON e KLEIN, 1962), sendo decompostos os constituintes do tecido vegetal mais sujeitos ao ataque microbiológico.

A decomposição dos resíduos adicionados nos tratamentos sem adição de N (Figura 2) varia inversamente com a relação C/N do material. No caso da adição de folhas de tremoço, o carbono volatilizado foi da ordem de 36% do adicionado, no período de seis meses. Para os colmos, esta perda de CO_2 foi de 16%. Para o milho, as perdas foram de 26%

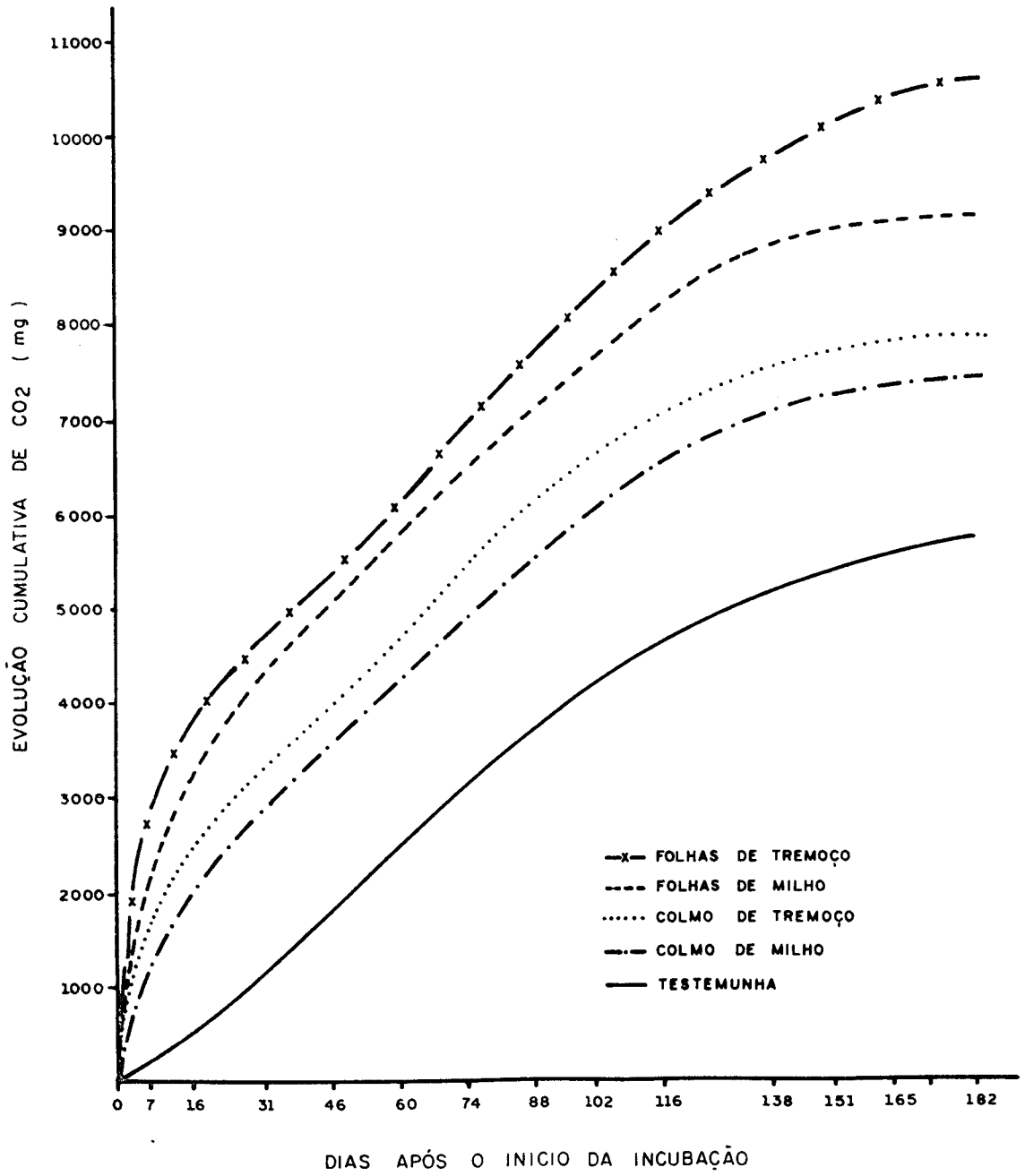


FIGURA 2. Evolução cumulativa de CO_2, no experimento de incubação, nos tratamentos sem adição de nitrogênio.

e 12%, para folhas e colmos respectivamente. Pressupõe-se nestes cálculos, obtidos por diferença entre o CO_2 volatilizado nos tratamentos e o CO_2 perdido na testemunha, que a decomposição dos resíduos não influencia a mineralização da matéria orgânica do solo. Devido ao curto período de duração deste experimento, não houve possibilidade de avaliar a quantidade total de carbono que efetivamente permaneceria no solo após a decomposição completa do resíduo, visto que no encerramento do experimento ainda podiam ser observados no solo restos de resíduos adicionados. Estes cálculos pressupõem que não haja efeito do material em decomposição sobre a mineralização microbiana da matéria orgânica do solo.

Sendo a relação colmo: folha do tremoço igual a 1,78 (média de 10 plantas do material utilizado), numa adição de 4.000 kg de matéria seca pela adubação verde são perdidos 928 kg de matéria seca por volatilização de CO_2 em aproximadamente 6 meses. Supondo também que o material adicionado seja decomposto nas proporções acima avaliadas ter-se-ia a mineralização de 33 kg de N/ha nos primeiros 3 meses e 6 kg de N/ha nos 3 meses seguintes, sendo esta última contribuição proveniente somente das folhas.

Para a resteva de milho com uma relação colmo: folha de 1,27, numa incorporação de 3.500 kg de massa seca no solo são perdidos 635 kg de matéria seca no mesmo período (6 meses). Considerando-se que esta resteva seja decomposta na proporção acima avaliada, ter-se-ia a liberação de 11 kg de N/ha somente aos primeiros 30 dias, sendo nula a

liberação para o trimestre seguinte.

A mineralização da matéria orgânica do solo avaliada pela evolução de CO_2 proporcionou a liberação de 48 kg de N/ha nos primeiros 90 dias e 25 kg de N/ha até o final do experimento.

A liberação de CO_2 foi menor em todos os casos em que foi adicionado N ao resíduo (Figura 3), o que concorda com os trabalhos de MUNEVAR e WOLLUM (1977) e SAMPAIO e SALCEDO (1981). A taxa inicial de evolução de CO_2 foi neste caso menor do que a observada nos tratamentos sem N. Este fato pode ser devido à maior incorporação de carbono na biomassa do solo, face à maior disponibilidade de N para os microorganismos (ANDERSON e DOMSCH, 1978). Como este efeito foi também observado com o tratamento folha de tremoço (com relação C/N 12.1), pode-se especular que materiais carbonáceos simples foram decompostos mais rapidamente que as proteínas, havendo também deficiência de N para os microorganismos.

A liberação de CO_2 no caso da adição de N aos resíduos foi maior nos colmos que nas folhas, tendo sido mais elevada no tremoço. Este fato indica uma sobreposição entre os efeitos de suprimento de N e composição do tecido vegetal, visto que o tecido mais velho apresenta maiores teores de celulose e lignina, decompostos mais lentamente.

A porcentagem de CO_2 volatilizado nos tratamentos com adição de nitrogênio aos resíduos em relação à testemunha (sem resíduo e sem nitrogênio) foi de 17% e 16% para as

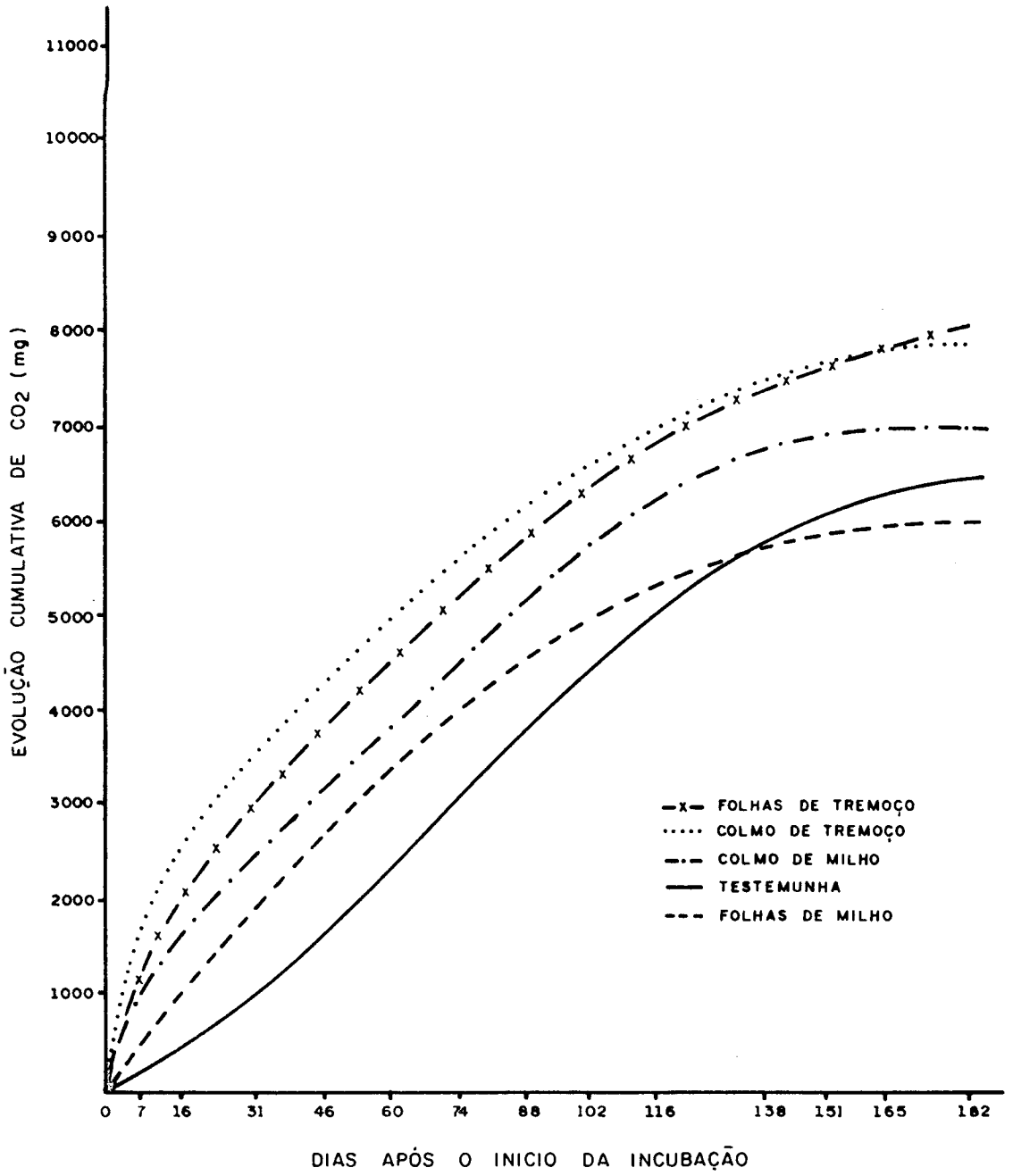


FIGURA 3. Evolução cumulativa de CO_2, no experimento de incubação, nos tratamentos com adição de nitrogênio.

folhas e colmos de tremoço, respectivamente. Para o milho estes valores foram de 9% e 1% para as folhas e colmos, respectivamente, aos 182 dias.

A adição de nitrogênio à resteva ou à adubação verde não indica necessariamente que a incorporação total de carbono ao solo será maior (com o fim de aumento do teor de matéria orgânica do solo). Quantidades equivalentes de carbono poderão ser perdidas em tempos diferentes, dependendo do manejo do solo.

4.1.2. Teores de nitrogênio mineral no solo

Os teores de nitrogênio mineral no solo são mostrados na Tabela 2; observa-se a ocorrência de altos teores de NH_4^+ em relação a NO_3^- na camada superficial. Isto se deve, provavelmente, à inibição da nitrificação pela presença de alta concentração de nitratos e pela baixa umidade do solo (SMITH e DOUGLAS, 1971) (Apêndice 6). Nos tratamentos onde se adicionou nitrogênio ocorreu um maior aumento no teor de NH_4^+. Na testemunha (sem resíduo) e nos tratamentos com adição de colmos e folhas de milho, o teor de NO_3^- na camada superficial foi pouco influenciado pela adição de N.

Na camada inferior (com solo de 15 - 30 cm), os valores de NH_4^+ apresentaram pequena diferença entre tratamentos, mesmo com adição de N. Os baixos valores também foram observados com NO_3^- em relação a NH_4^+, apresentando pouca diferença

TABELA 2. Teores de $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$ (em ppm) no final do experimento de incubação na camada superior (com solo de 0-15 cm) e inferior (com solo de 15-30 cm) média de 2 repetições.

Tratamentos	Superior (0-15 cm)			Inferior (15-30 cm)			$NH_4^+ + NO_3^-$
	NH_4^+	NO_3^-	Soma	NH_4^+	NO_3^-	Soma	Total
1. Testemunha	8,3	25,0	33,3	13,3	13,5	26,8	60,1
2. Testemunha + N	48,2	25,0	73,2	18,3	11,2	29,5	102,7
3. Folhas de milho	12,6	32,4	45,0	10,0	26,0	36,0	81,0
4. Folhas de milho + N	59,0	21,1	80,1	17,1	13,0	30,1	110,2
5. Colmos de milho	2,6	33,0	35,6	8,7	31,3	40,0	75,6
6. Colmos de milho + N	48,6	28,0	76,6	14,3	15,0	29,3	105,9
7. Folhas de tremoço	65,0	34,2	99,2	11,1	15,6	26,7	125,9
8. Folhas de tremoço + N	115,2	54,5	169,7	21,0	17,6	38,6	208,3
9. Colmos de tremoço	12,5	22,4	34,9	11,0	14,8	25,8	60,7
10. Colmos de tremoço + N	48,3	36,5	84,8	15,5	18,0	33,5	118,3
CV %	16,7	16,4	9,0	12,6	16,8	7,4	
DMS (5%) para valores totais			13,1			5,3	

entre tratamentos. A adição de N influenciou o teor de N mineral, principalmente na camada superior. Como as determinações de N mineral foram feitas somente no final do experimento, não foi possível constatar imobilização de N, que deve ter ocorrido, no período inicial. Com exceção do tratamento de colmos de tremoço, houve mineralização de N mineral em todos os casos (sem N), após 6 meses de incubação. Diferenças devidas à adição de resíduos (tratamentos sem nitrogênio) foram notadas especialmente com a adição de folhas de tremoço. Neste caso foram liberados 65,8 ppm de N. A adição de folhas e colmos de milho liberou 20,9 e 15,5 ppm de N, respectivamente. No caso do colmo de tremoço foi observada pequena imobilização do N no solo (valores obtidos por diferença entre os tratamentos e a testemunha).

Considerando a proporção colmo: folha de 1,78 para o tremoço a adição de 4.000 kg de matéria seca como adubação verde pode contribuir com 48 kg de N/ha em 6 meses, nas condições deste experimento. Para o milho, a adição de 3.500 kg de resteva na proporção colmo: folha de 1,28 contribui com 36 kg de N/ha, nas condições acima descritas. Comparando-se estes valores com os estimados a partir do CO_2 volatilizado podemos observar que estes são próximos no caso do tremoço (39 vs 48 kg de N/ha). Para o milho a liberação de N medida pela determinação do N mineral (36 kg/ha) é superior à avaliada pela volatilização do CO_2 (11 kg). Este fato pode ser devido à menor perda de CO_2 pela adição de resteva de milho (Figura 2).

A recuperação do N adicionado no tratamento sem adição de resíduo, foi de 85%, sendo o restante incorporado na matéria orgânica (ou biomassa) ou perdido (por volatilização e/ou desnitrificação). Este índice de recuperação é plenamente satisfatório quando comparado com o valor obtido por ROLSTON et alii (1976) de 76%.

4.2. Experimento de microparcelas

Foram avaliados neste experimento o nitrogênio mineral e outros cátions e ânions na água coletada que percolou nas microparcelas, o rendimento e absorção de N pelas plantas de milheto (2 cortes e raízes) e os teores de N mineral no solo (durante e no final do experimento).

4.2.1. Nitrogênio mineral lixiviado

As quantidades de amônio e nitrato determinadas na água de percolação são dadas na Tabela 3 e o volume de água percolada no Apêndice 1. Nos Apêndices 2, 3 e 4 são apresentados os valores de Na^{+}, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++} e $So_4^{=}$ lixiviados.

Foram constatados baixos teores de NH_4^{+} lixiviado para todos os tratamentos, mesmo onde se adicionou nitrogênio, em todas as coletas. Devido provavelmente a retenção do NH_4^{+} pelo complexo de troca do solo e transformações para nitratos através da nitrificação.

O NO_3^{-} constitui a principal forma de perdas de N

TABELA 3. Quantidades de $N\text{-}NH_4^-$ e $N\text{-}NO_3^-$ (em mg) determinados na água de percolação (média de 3 repetições).

Tratamentos	NH_4^+					NO_3^-					$NH_4^+ + NO_3^-$
	Período				Total	Período				Total	Total
	1º	2º	3º	4º		1º	2º	3º	4º		
1. Testemunha	1,3	1,3	0,2	0,7	3,5	178,6	21,4	6,9	10,7	217,6	221,1
2. Testemunha + N	3,9	2,7	1,0	2,1	9,7	186,2	100,0	54,5	57,5	398,2	407,9
3. Folhas de milho	1,7	1,8	0,3	0,7	4,5	97,4	9,6	1,4	2,0	110,4	114,9
4. Folhas de milho + N	2,4	0,2	0,1	0,3	3,0	180,0	4,7	0,3	0,6	185,6	188,6
5. Colmos de milho	3,3	0,3	0,2	0,6	4,4	169,4	1,8	0,3	1,0	172,5	176,9
6. Colmos de milho + N	0,2	1,3	1,0	0,7	3,2	126,1	10,6	3,5	8,6	148,8	152,0
7. Folhas de tremoço	5,3	0,8	0,6	0,7	7,4	211,3	28,6	17,1	26,5	283,5	290,9
8. Folhas de tremoço + N	1,4	1,5	0,8	2,1	5,8	150,2	160,2	49,1	72,2	431,7	437,5
9. Colmos de tremoço	4,7	0,3	0,0	0,2	5,2	180,6	3,0	0,1	0,5	184,2	189,4
10. Colmos de tremoço + N	5,0	1,3	0,3	0,9	7,5	228,5	5,4	1,1	5,1	240,1	247,6
CV (%)	20,0	20,0	21,3	20,8	12,5	13,3	20,2	19,4	23,1	10,7	
DMS (5%) para valores totais					1,1					43,3	

(PARR, 1973 e JACKSON et alii, 1973) em solos com alta CTC. É móvel e acompanha os cátions de maior concentração (Ca^{++} e Mg^{++}) na solução do solo, junto com $SO_4^{=}$, e (possivelmente Cl^{-}, em alguns casos). Foram perdidas altas quantidades de NO_3^{-} em todos os tratamentos, mesmo com adição de resíduos. Na testemunha sem nitrogênio e sem resíduo, foi também perdida grande quantidade de N proveniente da mineralização da matéria orgânica, num total equivalente a 49 kg de N/ha ou 1,4% do N total do solo na matéria orgânica. Estas perdas foram devidas principalmente à baixa absorção pelas plantas pois a primeira coleta de água foi feita durante o período de estabelecimento das plantas (até 13 dias após a germinação). Do início do experimento até o final da primeira coleta decorreram 49 dias, proporcionando condições favoráveis à mineralização e nitrificação. A grande quantidade de água que percolou no perfil e alta concentração de N são também responsáveis pelo deslocamento deste ânion (ADRIANO et alii, 1972; BAUDER e SCHNEIDER, 1979). A perda por lixiviação do N adicionado foi de 41,5%.

No caso da adição de folhas de tremoço sem nitrogênio além da alta perda inicial foram também lixiviadas altas quantidades em todas as outras coletas, num total de 2,6% do N adicionado (subtraido o valor da testemunha). Quantidades maiores foram perdidas com a adição de nitrogênio. A adição de colmos de tremoço reduziu as perdas em 14,3% sobre a testemunha sem N.

Considerando uma adição de 4.000 kg de tremoço/ha

(matéria seca), como adubo verde, na proporção de 1,78 (colmo : folha) ter-se-ia uma retenção de 4,0 kg de N/ha e uma perda de 1,4 kg de N/ha para colmos e folhas, respectivamente, obtendo-se uma retenção líquida de 2,6 kg/ha deste nutriente.

A adição de milho, tanto folhas como colmos reduziu as perdas devido a imobilização, por ter alta relação C/N (ALLISON, 1973b). Esta redução foi de 48% e 20% para as folhas e colmos respectivamente, nos tratamentos sem nitrogênio comparado com a testemunha. Com a adição de nitrogênio as reduções nas perdas sobre a testemunha com N foram de 54% e 63% para folhas e colmos, respectivamente.

Considerando uma adição de 3500 kg de resteva de milho/ha de matéria seca na proporção 1,28 (colmo:folha) ter-se-ia uma redução na perda por lixiviação de 9,3 kg de N/ha. Fazendo-se o mesmo cálculo com a adição de N mineral nesta resteva, a retenção seria de 134 kg de N/ha sobre a testemunha com nitrogênio. Isto indica que a adição desta resteva pode impedir a perda de 100 kg de N/ha da adubação, mais 34 kg de N/ha provenientes da mineralização da matéria organica.

Foram verificados também altos teores de Ca^{++} e Mg^{++} na água percolada (Apêndice 3) e teores mais baixos de Na^{+} e K^{+} (Apêndice 2). As perdas de $SO_4^{=}$ também foram altas (ânion acompanhante de cátion, junto com NO_3^{-}). Não foi perdido $PO_4^{=}$ cujos teores na água de percolação foram sempre inferiores à sensibilidade do método (0,2 ppm) descrito por

MURPHY e RYLEY (1962).

4.2.2. Nitrogênio mineral no solo

Os teores de N mineral do solo no plantio (0-15 cm) no 1º corte do milheto (0 - 15 cm) e no final do experimento (0 - 15 e 15 - 30 cm) são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que o teor de N mineral na testemunha por ocasião do plantio era baixo (15,7 ppm), menor que o teor inicial, antes do início da incubação, que durou 30 dias. Pode ter ocorrido neste caso imobilização pelos microorganismos decompondo a matéria orgânica (Figura 2), visto não ter havido perdas por lixiviação por se ter mantido os vasos cobertos. Perdas por denitrificação podem ter também ocorrido (ALLISON, 1973a), embora a umidade de incubação tenha sido de 80% da capacidade de campo. A recuperação do N adicionado no tratamento testemunha nesta oportunidade foi mais de 100%, significando que foi observada maior liberação do N da matéria orgânica pela adição de N, embora a evolução de CO_2 tenha sido semelhante (Figuras 2 e 3).

Por ocasião do plantio, o teor de NH_4^+ em geral foi maior que o de NO_3^- em todos os tratamentos com resíduos, com e sem N. Com exceção da testemunha, os teores de N mineral eram altos, especialmente nos tratamentos com a adição de nitrogênio, com destaque para o tratamento com adição de folhas de tremoço.

Nos tratamentos com resíduos sem N, os teores de N

TABELA 4. Quantidades de $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$ (em ppm) no solo por ocasião do plantio, 1º corte e 2º corte (final) nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm (média de 3 repetições).

Tratamentos	Plantio (0 - 15 cm)			1º corte (0 - 15 cm)			2º corte						$NH_4^+ + NO_3^-$
							NH_4^+			NO_3^-			
	NH_4^+	NO_3^-	Soma	NH_4^+	NO_3^-	Soma	(0-15)	(15-30)	Soma	(0-15)	(15-30)	Soma	Total
1. Testemunha	6,6	9,1	15,7	0,5	2,2	2,7	0,3	0,3	0,6	0,0	0,3	0,3	0,9
2. Testemunha + N	30,7	53,8	84,5	1,0	3,4	4,4	0,9	1,1	2,0	1,0	0,8	1,8	3,8
3. Folha de milho	19,6	12,0	31,6	1,2	3,0	4,2	0,7	2,9	3,6	2,4	1,7	4,1	7,7
4. Folha de milho + N	42,3	32,2	74,5	1,6	4,0	5,6	1,0	3,0	4,0	3,3	2,3	5,6	9,6
5. Colmo de milho	23,0	23,2	46,2	0,0	1,5	1,5	0,0	1,0	1,0	0,8	0,8	1,6	2,6
6. Colmo de milho + N	42,5	27,0	69,5	1,4	4,4	5,8	0,0	2,2	2,2	2,3	2,2	4,5	6,7
7. Folha de tremoço	47,5	25,4	72,9	2,2	26,4	28,6	1,0	4,0	5,0	14,8	8,0	22,8	27,8
8. Folha de tremoço + N	88,3	24,7	113,0	8,5	33,1	41,6	3,7	4,7	8,4	18,1	27,0	45,1	53,5
9. Colmo de tremoço	24,3	17,6	41,9	0,0	3,2	3,2	0,0	1,8	1,8	2,3	0,7	3,0	4,8
10. Colmo de tremoço + N	44,3	20,3	64,6	2,2	4,5	6,7	0,1	2,5	2,6	1,7	2,0	3,7	6,3
CV (%)	15,6	23,8	15,0	20,3	18,5	13,7	23,6	12,3	10,1	20,5	10,4	12,5	
DMS (5%) para valores totais			15,7			2,4			0,6			2,0	

mineral foram maiores que na testemunha, especialmente no caso da adição de folhas de tremoço indicando ter havido liberação de parte do N do resíduo. Com a adição de nitrogênio, os teores foram menores que na testemunha com N, com exceção do tratamento com folhas de tremoço, devido à imobilização de parte do N adicionado pelos microorganismos decompondo os resíduos, que incorporam maior quantidade de carbono, conforme foi observado no experimento de incubação.

No 1º corte, decorridos 50 dias do plantio, os teores de NH_4^+ foram baixos em todos os tratamentos. As quantidades de NO_3^- nesta data foram altas somente no tratamento com adição de folhas de tremoço (com e sem N). Este fato indica que a nitrificação foi ativa neste período e a maior parte do N mineral do solo foi absorvido ou lixiviado sob a forma de NO_3^- (Tabela 3), tendo sido feitas duas coletas de água de percolação.

Na colheita do experimento,37 dias após o 1º corte, foram obtidos valores de NH_4^+ e NO_3^- ainda menores que os observados no 1º corte, sendo que só o tratamento com adição de folhas de tremoço (com e sem N) apresentou valores relativamente altos de N mineral, nas 2 camadas de solo.

Os teores de N mineral no solo indicam que a lixiviação e a absorção tiveram efeito preponderante sobre a redução dos teores de N mineral até o 1º corte nos tratamentos sem adição de resíduos. Para o 2º corte, a disponibilidade de nitrogênio para este processo foi regulada pela mineralização da matéria orgânica, fato este observado por

FRIBOURG e BARTHOLOMEW (1956).

Dos resíduos, somente a adição de folhas de tremoço conseguiu manter níveis altos de N mineral no solo até o final do experimento (27,8 ppm, sem N), seguindo-se os tratamentos de folhas de milho (7,7 ppm), colmos de tremoço (4,8 ppm) e colmos de milho (2,6 ppm).

4.2.3. Absorção de nitrogênio e rendimento do milheto

Na Tabela 5 são apresentados os valores de N absorvidos pelas plantas na parte aérea (1º e 2º cortes) e nas raízes. O rendimento de matéria seca é dado na Tabela 6.

Com reflexo dos maiores teores de N mineral no solo (Tabela 4), a absorção pelas plantas foi maior no 1º corte, com exceção do tratamento testemunha com nitrogênio. Neste, a absorção foi menor devido ao pequeno desenvolvimento das plantas (Tabela 6).

O efeito da adição de N sobre a absorção foi mais evidente no 1º corte, com exceção da testemunha sem N, a qual entretanto apresentou grande aumento na absorção no 2º corte. Nos tratamentos com adição de resíduos, o aumento na absorção devido à adubação nitrogenada foi menor no 2º corte, mesmo no caso da adição de folhas de tremoço, em que a absorção foi 3 - 4 vezes maior que nos outros tratamentos. Este fato reflete a maior disponibilidade de N durante todo o período de crescimento das plantas (Tabela 4), mantida pela

TABELA 5. Nitrogênio total absorvido (em mg/vaso) pelas plantas de milheto (média de 3 repetições).

Tratamentos	1º corte	2º corte	Raízes	Total
1. Testemunha	133,5	117,5	8,4	259,4
2. Testemunha + N	85,5	173,7	10,7	269,9
3. Folhas de milho	221,2	80,5	51,3	353,0
4. Folhas de milho + N	367,5	79,6	48,0	495,1
5. Colmos de milho	91,3	75,6	30,2	197,1
6. Colmos de milho + N	259,0	92,6	38,5	390,1
7. Folhas de tremoço	465,0	309,0	59,7	833,7
8. Folhas de tremoço + N	905,0	411,5	46,5	1363,0
9. Colmos de tremoço	190,3	67,9	53,8	312,0
10. Colmos de tremoço + N	242,0	102,2	51,5	395,8
CV (%)	18,7	11,0	24,1	13,3
DMS (5%) para valores totais				110,5

TABELA 6. Matéria seca (em g/vaso) da parte aérea e raízes das plantas de milheto (média de 3 repetições).

Tratamentos	1º corte	2º corte	Raízes	Total
1. Testemunha	5,49	5,46	0,82	11,77
2. Testemunha + N	3,63	5,91	0,77	10,31
3. Folhas de milho	14,30	6,60	6,47	27,37
4. Folhas de milho + N	16,25	7,17	5,58	29,00
5. Colmos de milho	7,88	5,93	4,53	18,34
6. Colmos de milho + N	10,70	5,73	4,10	20,53
7. Folhas de tremoço	16,01	12,05	4,81	32,87
8. Folhas de tremoço + N	25,88	12,93	3,07	41,88
9. Colmos de tremoço	13,60	5,40	6,21	25,21
10. Colmos de tremoço + N	11,64	8,45	5,89	25,98
CV (%)	16,0	16,3	22,5	12,0
DMS (5%) para valores totais				5,0

decomposição das folhas de tremoço com baixa relação C/N.

A absorção de N pelas raízes foi baixa no caso da testemunha sem resíduos, tendo a adição de N mostrado pouco efeito. A adição de resíduos propiciou maior absorção (3 a 5 vezes) devido ao maior crescimento das raízes (Tabela 6). A adição de N entretanto teve pouco efeito na absorção de nitrogênio pelas raízes.

O N total absorvido (parte aérea + raízes) nos tratamentos com resíduo sem N decresceu com o aumento da relação C/N do material adicionado, devido provavelmente à imobilização por microorganismos. No caso de colmos de milho (sem N) a absorção foi menor que na testemunha, embora o teor de N mineral no plantio tenha sido maior (Tabela 4).

A eficiência (obtida por diferença entre os tratamentos com e sem N, expressa em % de N aplicado) da absorção total do N (2 cortes + raízes) adiconado foi maior que 100% no caso da adição de folhas de tremoço (indicando ter havido maior absorção do N mineral proveniente da matéria orgânica), comparado com 2,4% para a testemunha sem resíduos. Para os colmos de tremoço a eficiência foi de 19%. No caso de folhas e colmos de milho a absorção do N adicionado foi de 32% e 43%, respectivamente. O aumento da eficiência de absorção do N adicionado, mesmo pela adição de resíduos de alta C/N, é devido ao menos em parte ao maior desenvolvimento radicular (Tabela 6).

O rendimento de matéria seca do milheto foi em quase todos os casos maior no 1º corte (Tabela 6). A maior

absorção de N devida à adubação (Tabela 5) somente foi traduzida em aumento de rendimento em alguns casos, como no tratamento com folhas de tremoço. Este fato indica que ocorreu maior acumulação de N nos tecidos em relação a capacidade fotossintética da planta, neste estágio de desenvolvimento.

O rendimento de matéria seca foi em geral menor no 2º corte, devido à grande perda de N mineral por lixiviação (Tabela 3), sendo que as plantas absorveram menores quantidades deste nutriente (Tabela 5).

O desenvolvimento das raízes foi maior no caso da adição de resíduos (3 a 6 vezes), devido provavelmente a maior aeração, reserva de umidade (DERPESCH et alii, 1980) e redução da compactação (GALETI, 1972).

A adição de N propiciou menor crescimento das raízes em todos os tratamentos. Embora com desenvolvimento relativamente pequeno de raízes, a absorção de N no tratamento de folhas de tremoço (com nitrogênio) alcançou maior valor (1363 mg/vaso - Tabela 5), evidenciando o fato que a absorção depende além do desenvolvimento das raízes, da concentração de nutrientes na solução (Tabela 4) e do desenvolvimento da parte aérea (Tabela 6).

Não foi observado aumento de rendimento de matéria seca total (parte aérea + raízes) pela adição de N no tratamento sem resíduo, embora a absorção de N tenha sido relativamente alta (Tabela 5). Nos tratamentos com adição de resíduos o aumento de rendimento verificado foi pequeno, exceto no caso da

adição de folhas de tremoço. Este fato pode ser devido à rápida defleção do N mineral do solo pela lixiviação, nivelando-se os rendimentos obtidos no 2º corte. Os rendimentos de matéria seca total foram, entretanto, significativamente maiores com a adição de resíduos, variando inversamente com relação C/N do material adicionado, sendo a maior disponibilidade de N durante o período de crescimento das plantas.

O rendimento total da testemunha (sem N) mesmo absorvendo maior quantidade de N (Tabela 5) foi menor que o tratamento de adição de colmos de milho (sem N). O desenvolvimento das plantas pode ter sido afetado pela modificação das condições físicas do solo pela adição de resíduos orgânicos.

A adubação nitrogenada teve efeito no aumento do rendimento total de matéria seca somente no tratamento de adição de folhas de tremoço. A alta absorção (maior que a quantidade de N aplicada) (Tabela 5) propiciou um efeito de somente 27% no aumento do rendimento.

Pode-se observar dos dados de N mineral no solo e N absorvido pelas plantas, que o N adicionado ficou disponível muito rapidamente, sendo perdido facilmente por lixiviação. Nos tratamentos em que a disponibilidade foi mais lenta (pela mineralização do resíduo ou imobilização temporária com liberação posterior) a absorção de N e o rendimento da planta aumentaram.

A adição de folhas e colmos de milho aumentou o rendimento de matéria seca do milheto em 132% e 56%

respectivamente tendo-se um valor ponderado de 88% para a resteva de milho com relação colmo : folha de 1,28. A adição de 3500 kg propiciaria portanto um acréscimo de 19% no rendimento, supondo-se que a resposta das plantas seja linear até a quantidade utilizada neste trabalho. Para a adição de folhas e colmos de tremoço estes aumentos foram de 179% e 114% respectivamente. O valor ponderado é de 137% com material de relação colmo : folha de 1,78. A incorporação de 4000 kg de tremoço/ha propiciaria um aumento de 34% no rendimento. Estes aumentos são devidos principalmente a modificação das propriedades físicas e químicas do solo e a taxa de liberação de N, bem como à maior absorção do N do solo e eficiência fotossintética.

4.2.4. Balanço do nitrogênio no solo

Na Tabela 7 são dados os valores de N adicionado ao solo (pela adubação mineral e adição de resíduos) bem como as quantidades retiradas pelas plantas, as perdidas por lixiviação e o N remanescente no solo. Embora sem dispor de informações referentes a perdas por desnitrificação e volatilização, pode-se avaliar algumas transformações do N no sistema solo - planta.

O N recuperado foi calculado pela diferença entre o N total adicionado e o total determinado na lixiviação, absorção pelas plantas e remanescente no solo. Os valores das percentagens de N recuperado oscilaram entre 67% e 74%.

TABELA 7. Balanço do nitrogênio (mg/vaso) no experimento de microparcelas (média de 3 repetições).

Tratamentos	N adicionado		N recuperado				%
	Resíduo	Total*	Absorvido	Lixiviado	Solo	Total	Recuperação
1. Testemunha	-	15840	259	211	10620	11090	70
2. Testemunha + N	-	16290	270	408	10260	10938	67
3. Folhas de milho	1065	16905	353	115	11520	11988	71
4. Folhas de milho + N	1065	17355	495	189	11790	12474	72
5. Colmos de milho	324	16164	177	197	10530	10904	67
6. Colmos de milho + N	324	16614	390	152	11520	12062	73
7. Folhas de tremoço	2649	18489	834	291	11880	13005	70
8. Folhas de tremoço + N	2649	18939	1363	437	12240	14040	74
9. Colmos de tremoço	784	16624	312	189	11700	12201	73
10. Colmos de tremoço + N	784	17074	396	248	12060	12704	74

* Nestes valores estão incluídos o adubo mineral adicionado (450 mg/vaso para os tratamentos com N) e o N total do solo (15840 mg para todos os tratamentos).

Dados semelhantes foram obtidos por ROLSTON et alii (1976). A quantidade não recuperada neste experimento (26% a 33%) pode ter sido perdida por desnitrificação (ALLISON, 1973a), e por volatilização de amônia. Pode-se atribuir ainda, como N não recuperado, o imobilizado pelos resíduos remanescentes no solo e que foram eliminados durante a moagem do solo, antes da determinação de N - total.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

a) A velocidade de decomposição dos resíduos determinados pela evolução de CO_2 foi inversamente proporcional à sua relação C/N.

b) A adição de N aos resíduos reduziu a perda de carbono por evolução de CO_2.

c) A mineralização da matéria orgânica, avaliada pela evolução de CO_2, foi de 4% no período de 6 meses.

d) Foram determinadas perdas por lixiviação de N mineralizado no valor equivalente a 49 kg/ha, principalmente na forma de NO_3^-.

e) A perda por lixiviação do N adicionado, no tratamento sem adição de resíduo, foi de 41,5%.

f) A adição de folhas e colmos de milho reduziu as perdas por lixiviação de N proveniente da mineralização da matéria orgânica em 48% e 20%, respectivamente.

g) A adição de folhas e colmos de milho reduziu as perdas por lixiviação de N proveniente da adubação nitrogenada em 54% e 63%, respectivamente.

h) O NO_3^- foi o principal ânion acompanhante de

cátion na lixiviação.

i) A liberação do N das folhas de tremoço foi lenta mantendo níveis altos de N mineral durante todo o período de crescimento da cultura.

j) A absorção de N pelas plantas foi proporcional ao teor de N mineral do solo e à relação C/N do resíduo adicionado.

k) O rendimento de matéria seca aumentou em 132% e 56% pela adição de folhas e colmos de milho, respectivamente (sem adição de N).

l) O rendimento de matéria seca aumentou em 179% e 114% pela adição de folhas e colmos de tremoço, respectivamente (sem adição de N).

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

ADRIANO, D.C.; TAKATORI, F.H.; PRATT, P.F.; LORENZ, O.A. 1972. Soil Nitrogen balance in selected row-crop sites in Southern California. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *1*:279-283.

ALEXANDER, M. 1977. Organic matter decomposition. In:_____. *Introduction to soil microbiology*. New York, J. Wiley. Cap.9, p.128-47.

ALLISON, L.E. 1965. Organic Carbon. In: BLACK, C.A.,ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, p.1367-78.

ALLISON, F.A. 1966. The fate of Nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, New York, *18*:219-58.

ALLISON, F.E. 1973a. Loss of Nitrogen from soils. In: _____. *Soil organic matter and its role in crop production*. New York, Elsevier. Cap.13, p.254-74.

_____. 1973b. Soil organic matter formation. In: _____, *Soil organic matter and its role in crop production*. New York, Elsevier. Cap.6, p.97-119.

_____. 1973c. Green manuring and related practices. In: _____. *Soil organic matter and its role in crop production*. New York, Elsevier. Cap.22, p.445-60.

ALLISON, F.E. & KLEIN, C.J. 1962. Rates of immobilization and release of Nitrogen following additions of carbonaceous materials and Nitrogen to soils. *Soil Science*, Baltimore, *93*:383-86.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. 1978. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform - fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, *10*:207-13.

ANJOS, J.T. 1973. *Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, proveniente da uréia e do sulfato de amônio aplicado em solos cultivados*. 88f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1973. |Não publicada|.

ANJOS, J.T. & TEDESCO, M.J. 1974. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, proveniente da uréia aplicada em solos cultivados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14º, Santa Maria, 1973. *Anais...* Campinas, SBCS. 9p.

BARTHOLOMEW, W.V. 1965. Mineralization and imobilization of Nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.C., ed. *Soil Nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy. p.287-308. (Agronomy, 10).

BAUDER, J.W. & SCHNEIDER, R.P. 1979. Nitrate-nitrogen leaching urea fertilization and irrigation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *43*:348-52.

BLACK, C.A. 1967. Nitrogen. In: _____. *Soil-plant relation-ships*. New York, J. Wiley. Cap.7, p.405-557.

BOHNEN, H. 1970. *Formas de nitrogênio e avaliação de métodos para determinação da sua disponibilidade em 21 solos do Rio Grande do Sul*. 61f. Tese (Mestr. Agronomia - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1970. |Não publicada|.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BREMNER, J.M. 1965. Total Nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, p.1324-45.

BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. 1966. Determination and isotope ratio analysis of different forms of Nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction - distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *30*:577-82.

BROADBENT, F.E. 1954. Modification in chemical properties of straw during decomposition. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *18*:165-69.

BROADBENT, F.E. & BARTHOLOMEW, W.V. 1948. The effect of quality of plant material added to soil on its rate of decomposition. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *13*:271-74.

BROADBENT, F.E. & CLARK, F.E. 1965. Denitrification. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., ed. *Soil Nitrogen*, Madison, American Society of Agronomy, p.347-359. (Agronomy, 10).

BROADBENT, F.E. & NAKASHIMA, T. 1965. Plant recovery of immobilized Nitrogen in greenhouse experiments. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *29*:55-60.

BROWN, P.L. & DICKEY, D.D. 1970. Losses of wheat straw residues under simulated field conditions. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*:118-21.

CHESNIN, L. & YIEN, C.H. 1950. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *14*:149-51.

COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I. 1980. Carbon and Nitrogen movement from surface applied wheat (*Triticum aestivum*) straw. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *44*:978-82.

CRASWELL, E.T. 1978. Some factors influencing denitrification and Nitrogen immobilization in a clay soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, *10*:241-45.

DALLA ROSA, A. 1981. *Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - Solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)*. 130f. Dissert, (Mestr. Agronomia - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1981. (Não publicada).

DERPSCH, R.; ALBERINI, J.L.; MONDARDO, A.; MUZILLI, O. 1980. *Informações sobre tremoço (Lupinus* sp). Londrina, IAPAR. 20p. (Informe da Pesquisa, 29).

FRIBOURG, H.A. & BARTHOLOMEW, W.V. 1956. Availability of Nitrogen from crop residues during the first and second seasons after application. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *21*:505-508.

GALETI, P.A. 1979. Conservação do solo. In: _____. *Conservação do solo;* reflorestamento - clima. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Cap.3, p.69-233.

GIANLUPPI, D.; SCOPEL, I.; MIELNICZUK, J. 1979. Alguns prejuízos da erosão do solo no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 17º, Manaus, 1979. *Anais...* Campinas, SBCS. 7f.

HARMSEN, G.W. & VAN SCHREVEN, D.A. 1955. Mineralization of organic Nitrogen in soil. *Advances in Agronomy*, New York, 7:299-398.

JACKSON, W.A.; ASMUSSEN, L.E.; HAUSER, E.W.; WHITE, A.W. 1973. Nitrate in surface and subsurface flow from a small agricultural watershed. *Journal of Environmental Quality* Madison, 2:480-82.

JOHNSTON, W.R.; ITTIHADIEH, R.F.; DANM, R.N.; PILLSBURY, A.F. 1965. Nitrogen and Phosphorus in tile drainage effluent. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29:287-89.

KILMER, V.J.; GILLIAM, J.W.; LUTZ, J.F.; JOICE, R.T.; EKLUND, C.D. 1974. Nutrient lossed from fertilized grassed watersheds in Western North Carolina. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 3:214-19.

LUEKEN, H.; HUTCHEON, W.L.; PAUL, E.A. 1962. The influence of Nitrogen on the decomposition of crop residues in the soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 42:276-88.

MARTIN, L.P. & HAIDER, K. 1979. Effect of concentration on decomposition of some C^{14} lebelled phenolic compounds, benzoic acid, glucose, wheat straw, and chlorella protein in soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 43:917-20.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. 1969. *Recomendação de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre, Faculdade de Agronomia da UFRGS. 38p. (Boletim Técnico, 2).

MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; NERY, C.; CAMPANA, M.; DESORDI, G. 1966. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijoeiro "da seca" em terra roxa misturada. *Bragantia*, Campinas, 25:277-89.

MOE, P.G.; MANNERING, J.V.; JOHNSON, C.B. 1968. Loss of fertilizer Nitrogen in surface runoff water. *Soil Science*, Baltimore, 104:389-94.

MUNEVAR, F. & WOLLUM, A.G. 1977. Effects of the addition of Phosphorus and inorganic Nitrogen on carbon and Nitrogen mineralization in andepts from Colombia. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *41*:540-45.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. 1962. A modifical single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, *27*:31-6.

MUZILLI, O. 1978. Manejo da fertilidade do solo. In: MANUAL Agropecuário para o Paraná. Londrina, IAPAR. p. 45 -62.

NYHAN, J.W. 1975. Decomposition of carbon^{14} labelled plant materials in a grassland soil under field conditions. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *39*:643-48.

OLSEN, R.J.; HENSLER, R.F.; ATTOE, O.J.; WITZEL, S.A.; PETERSON, L.A. 1970. Fertilizer Nitrogen and crop rotation in relation to movement of nitrate Nitrogen through soil profiles. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*:448-52.

PACHECO, E.B. 1980. Adubação verde para a cultura do milho. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, *6*:25-6.

PAL, D. & BROADBENT, F.E. 1975. Kinetics of rice straw decomposition in soils. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *4*:256-60.

PARKER, D.T. 1962. Decomposition in the field of buried and surface applied cornstalk residue. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *26*:559-62.

PARR, J.F. 1973. Chemical and biochemical considerations for maximizing the efficiency of fertilizes Nitrogen. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *2*:75-84.

REINHORN, T. & AVNIMELECH, Y. 1974. Nitrogen release associated with the decrease in soil organic matter in newly cultivated soils. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *3*:118-21.

ROBBINS, C.W. & CARTER, D.L. 1980. Nitrate-Nitrogen leached below the root zone during and following Alfalfa. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *9*:447-50.

ROLSTON, D.E.; FRIED, M.; GOLDHAMER, D.A. 1976. Denitrification measured directly from Nitrogen and nitrous oxide gas fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *40*:259-66.

ROLSTON, D.E. & MARINO, M.A. 1976. Simultaneous transport of nitrate and gaseous denitrification products in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *40*: 860-65.

SAIN, P. & BROABENT, F.E. 1977. Decomposition of rice straw in soil as affected by some management factors. *Journal of Environmental Quality*, Madison, *6*:96-100.

SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. 1981. Efeito da adição de N e palha C^{14} na liberação de CO_2 e formação de biomassa microbiana em solo LVA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18º, Salvador, 1981. *Anais...* Campinas, SBCS. 17p.

SARAIVA, O.F. 1978. *Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais.* I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo. Segunda etapa experimental. 126f. Dissert. (Mestr. Agronomia - Solos) Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 1978. Não publicada .

SILVA, I.F. da. 1980. *Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um latossolo.* 70f. Dissert. (Mestr. Agronomia - Solos) Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 1980. Não publicada .

STEFANSON, R.C. 1972. Soil denitrification in sealed soil - plants sistems. II effect of soil watter content and form of applied Nitrogen. *Plant and Soil*, The Hague, *37*: 129-40.

_____. 1973. Evolution patterns of nitrous oxide and Nitrogen in sealed soil plant systems. *Soil Biology and Biochemistry* Oxford, *5*:167-69.

STEWART, B.A.; JOHNSON, D.D.; PORTER, L.K. 1963. The availability of fertilizer Nitrogen immobilized during decomposition of straw. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, *27*:656-59.

SHIELDS, J.A. & PAUL, E.A. 1973. Decomposition of C^{14} labelled plant material under field conditions. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, *53*:297-306.

SMITH, J.H. & DOUGLAS, C.L. 1971. Wheat straw decomposition in the field. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *35*:269-72.

STOLTENBERG, N.L. & WHITE, J.L. 1953. Seletive loss of Plant nutrients by erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *17*:406-10.

STOTZKY, G. 1956. Microbial respiration. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, p.1550-72.

VETTORI, L. 1969. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. (Boletim Técnico, 7).

VOLK, G.M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface aplication of urea to turf or bare soils. *Agronomy Journal*, Madison, *51*:246-49.

WATKINS, S.H.; STRAND, R.F.; DEBELL, D.E.; ESCH JR., J. 1972. Factors influencing ammonia losses from urea applied to Northwestern forest soils. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, *36*:354-57.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Água percolada (em ml) dos vasos durante o experimento de microparcelas (média de 3 repetições.

Tratamentos	Períodos			
	1º	2º	3º	4º
1. Testemunha	2217	1490	700	1530
2. Testemunha + N	1800	1143	733	1447
3. Folhas de milho	1207	1517	733	1433
4. Folhas de milho + N	2133	1077	623	1277
5. Colmos de milho	2110	1250	627	1310
6. Colmos de milho + N	1197	1463	727	1360
7. Folhas de tremoço	2350	1327	737	1427
8. Folhas de tremoço + N	1577	1150	713	1250
9. Colmos de tremoço	1773	1317	697	1343
10. Colmos de tremoço + N	2343	1593	720	1407

APÊNDICE 2. Quantidades de Sódio e Potássio (em mg) determinados na água de percolação (média de 3 repetições).

Tratamentos	Na^{++}					K^{+}				
	1º	2º	3º	4º	Total	1º	2º	3º	4º	Total
1. Testemunha	3	4	2	3	12	5	3	2	5	15
2. Testemunha + N	3	10	4	5	22	4	10	5	8	27
3. Folhas de milho	2	4	2	4	12	3	6	3	6	18
4. Folhas de milho + N	4	3	1	3	11	6	5	3	6	20
5. Colmos de milho	3	4	2	3	12	5	5	4	6	20
6. Colmos de milho + N	3	5	2	5	15	3	6	3	7	19
7. Folhas de tremoço	4	6	2	4	16	9	8	4	8	29
8. Folhas de tremoço + N	3	12	6	7	28	4	10	6	14	34
9. Colmos de tremoço	4	3	2	2	11	4	6	3	5	18
10. Colmos de tremoço + N	4	4	1	3	12	6	6	3	6	21

APÊNDICE 3. Quantidades de Cálcio e Magnésio (em mg) determinados na água de percolação (média de 3 repetições).

Tratamentos	Ca^{++}					Mg^{++}				
	1º	2º	3º	4º	Total	1º	2º	3º	4º	Total
1. Testemunha	176	43	20	49	288	61	12	4	17	94
2. Testemunha + N	173	132	60	118	483	58	37	18	44	157
3. Folhas de milho	97	26	20	44	187	32	8	4	14	58
4. Folhas de milho + N	215	17	11	23	266	74	3	2	8	87
5. Colmos de milho	175	26	15	34	250	58	7	3	13	81
6. Colmos de milho + N	135	40	20	48	243	46	10	5	17	78
7. Folhas de tremoço	288	54	25	63	430	101	15	6	24	146
8. Folhas de tremoço + N	197	180	113	255	745	68	54	32	96	250
9. Colmos de tremoço	161	18	13	29	221	54	5	2	9	70
10. Colmos de tremoço + N	252	25	14	29	320	81	6	3	10	100

APÊNDICE 4. Quantidade de Enxôfre (em mg), determinado na forma de $SO_4^=$, na água de percolação e seu pH (média de 3 repetições).

Tratamentos	$SO_4^=$					pH			
	1º	2º	3º	4º	Total	1º	2º	3º	4º
1. Testemunha	3	58	24	31	116	5,3	6,1	6,4	7,3
2. Testemunha + N	2	39	19	22	82	5,4	6,0	6,5	6,4
3. Folhas de milho	2	78	24	38	142	6,0	6,1	6,4	7,4
4. Folhas de milho + N	4	55	25	35	119	5,5	6,3	6,7	7,4
5. Colmos de milho	5	46	21	30	102	5,9	6,3	6,7	7,4
6. Colmos de milho + N	3	58	25	24	110	5,5	6,3	6,6	7,4
7. Folhas de tremoço	3	66	19	40	128	4,9	6,2	6,4	7,3
8. Folhas de tremoço + N	3	38	21	17	79	4,9	4,9	5,2	5,8
9. Colmos de tremoço	3	60	25	40	128	5,5	5,5	6,4	7,3
10. Colmos de tremoço + N	4	78	21	34	137	5,1	5,1	6,5	7,3

APÊNDICE 5. Liberação de CO_2 (mg) determinado no experimento de incubação (média de 2 repetições).

Tratamentos	Testemunha		Milho				Tremoço			
			Folhas		Colmos		Folhas		Colmos	
Dias após a incubação	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N
1	56	+14	+148	+ 72	+ 31	+ 59	+295	+178	+108	+ 63
1	10	-10	+213	+103	+152	+115	+329	+332	+285	+393
2	143	- 3	+205	+ 90	+142	+120	+450	+291	+260	+410
3	129	-46	+421	+214	+240	+245	+516	+313	+372	+164
5	130	-47	+490	+299	+283	+274	+536	+311	+295	+358
7	60	+ 5	+341	+ 60	+212	+117	+248	+138	+100	+152
9	16	- 8	+314	+ 27	+154	+128	+531	+ 56	+163	+143
12	21	- 2	+316	+ 5	+142	+119	+186	+ 79	+167	+152
16	26	+ 3	+363	+ 4	+165	+159	+190	+112	+164	+175
20	123	-62	+196	- 51	+ 61	+ 54	+ 32	- 2	+ 70	+ 61
24	49	- 4	+162	+ 5	+119	+ 62	+ 59	+ 45	+106	+100

continua

APÊNDICE 5. (Continuação)

Tratamentos	Testemunha		Milho				Tremoço			
			Folhas		Colmos		Folhas		Colmos	
Dias após a incubação	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N
31	276	- 4	+ 56	+ 10	+ 30	- 26	+ 52	+ 9	- 12	+ 62
39	433	- 6	+ 88	+ 70	+ 17	+ 18	+ 29	+ 13	0	+ 23
46	320	+46	- 48	+ 4	- 66	-131	+ 78	+ 20	- 9	+ 45
53	267	+29	+ 11	+ 34	- 46	-113	+ 85	+ 17	+ 54	+ 1
60	287	+78	+ 98	+ 47	+146	+105	+153	+141	+146	+ 69
67	290	+81	- 15	+ 20	+ 1	+114	+ 75	+ 49	+102	+ 31
74	389	+46	+ 64	+ 49	+ 27	+ 37	+ 46	+ 35	0	+ 12
81	294	+ 96	- 15	- 33	+ 34	+ 65	+ 72	+ 27	+114	+ 14
88	307	- 8	- 84	-104	- 42	- 75	+ 38	- 27	- 2	- 49
95	245	+ 77	+ 73	0	+ 86	+ 74	+109	+ 34	- 28	- 20
102	246	+ 59	+ 52	- 77	+ 65	+ 20	+ 86	+ 27	+ 70	+ 39
109	240	+ 61	+122	- 93	- 26	+ 89	+ 68	+ 28	- 42	- 34

continua

APÊNDICE 5. (Continuação)

Tratamentos	Testemunha		Milho				Tremoço			
			Folhas		Colmos		Folhas		Colmos	
Dias após a incubação	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N
116	267	+120	+ 64	+ 15	+ 68	+111	+115	+ 49	+152	- 33
123	125	+ 30	+ 32	+ 9	+ 24	- 15	+109	+ 45	-111	+ 52
138	199	+ 68	+ 22	-105	- 22	+ 10	+135	+ 64	- 88	- 10
151	344	+ 94	-193	-252	-147	-121	+ 76	- 38	- 64	- 31
165	268	+ 4	- 70	- 13	-155	-252	+131	- 45	-197	-112
171	57	+ 25	+ 15	+ 16	+ 31	- 11	+ 43	+ 32	- 10	+ 19
182	33	+ 2	+ 36	+ 13	+ 31	+ 1	+ 9	+ 75	- 11	+ 14

Valores positivos ou negativos, conforme sinal, em relação aos valores absolutos do tratamento testemunha.

APÊNDICE 6. Valores de pH e umidade do solo no final do experimento de incubação (média de duas repetições).

Tratamentos	pH		Umidade (%)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
1. Testemunha	4,8	4,2	5,3	4,2
2. Testemunha + N	5,0	4,2	4,0	2,0
3. Folhas de milho	5,0	4,1	9,4	7,0
4. Folhas de milho + N	5,1	4,2	6,1	6,0
5. Colmos de milho	4,8	4,0	12,0	10,1
6. Colmos de milho + N	5,0	4,2	6,1	4,2
7. Folhas de tremoço	5,0	4,1	4,2	2,6
8. Folhas de tremoço + N	5,1	4,2	6,0	5,4
9. Colmos de tremoço	5,0	4,1	4,7	3,1
10. Colmos de tremoço + N	5,0	4,2	7,2	4,7

APÊNDICE 7. Valores de umidade do solo durante o experimento de microparcelas (média de 3 repetições.

Tratamentos	Plantio	1º Corte	2º Corte	
	0-15 cm	0-15 cm	0-15 cm	15-30 cm
1. Testemunha	25,3	18,2	23,7	23,0
2. Testemunha + N	25,4	19,5	24,7	28,8
3 Folhas de milho	17,4	30,5	31,2	33,3
4. Folhas de milho + N	15,2	25,3	24,7	29,5
5. Colmos de milho	18,0	20,4	31,0	27,8
6. Colmos de milho + N	21,0	23,3	25,0	28,5
7. Folhas de tremoço	19,5	20,5	23,0	25,9
8. Folhas de tremoço + N	17,4	20,2	24,3	27,4
9. Colmos de tremoço	20,1	18,0	22,5	26,0
10. Colmos de tremoço + N	18,5	21,0	25,6	25,7

APÊNDICE 8. Temperatura do ar, média mensal em 1981 da Estação Agrometeorológica de Viamão.

Meses	Média das temperaturas máxima e mínima	Média das temperaturas as 9:00, 15:00 e 19:00 h (termômetro seco)
Janeiro	24,9	25,3
Fevereiro	25,7	26,0
Março	22,7	23,0
Abril	20,4	20,7
Maio	20,8	20,8
Junho	16,2	16,3
Julho	15,1	15,0
Agosto	17,0	17,2

Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas - Área de Ecologia Agrícola.