DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS ADUBOS VERDES,
CROTALÁRIA JUNCEA (*Crotalaria juncea*) E
MUCUNA-PRETA (*Mucuna aterrima*), EM DOIS
SOLOS CULTIVADOS COM MILHO

Edmilson José Ambrosano

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

AGOSTO-1995

Ambrosano, Edmilson José

Dinâmica do nitrogênio dos Adubos verdes, Crotalária juncea (Crotalaria juncea) e Mucuna-preta (Mucuna aterrina), em dois solos cultivados com milho. Piracicaba, 1995.

83p. ilus.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Adubo marcado 2. Crotalária como adubo 3. Milho - Adubação verde 4. Mucuna preta como adubo I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 633.15

631.8

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS ADUBOS VERDES, CROTALÁRIA JUNCEA
(*Crotalaria juncea*) e MUCUNA-PRETA (*Mucuna aterrima*), EM
DOIS SOLOS CULTIVADOS COM MILHO**

EDMILSON JOSÉ AMBROSANO

Aprovada em: 26.10.1995

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin	CENA/USP
Prof. Dr. Antônio Enedi Boaretto	CENA/USP
Prof. Dr. Takashi Muraoka	CENA/USP
Dr. Heitor Cantarella	IAC/CPA
Dr. Eduardo Antonio Bulisani	IAC/CPA

Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin
Orientador

A minha esposa Gláucia e ao nosso filho Rafael,
Aos meus pais Lino e Eny,
Aos meus sogros Virgínio e Neide

DEDICO.

Aos meus avós Francisco, Estéfano, Lourdes
(*in memoriam*) e Lourdes,
À Evelise, Ericson, Rosana, Altair,
Thiago, Evelyn, Neivi, Ana e Luis

OFEREÇO.

Aos meus tios e tias
Dima, Tina, Zé e China
(*in memoriam*)
MINHA HOMENAGEM.

AGRADECIMENTOS

- Ao Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela orientação na realização do trabalho, pelos estímulos, conhecimentos e amizade.
- Ao Dr. Takashi Muraoka, pelo apoio e amizade.
- Ao Dr. Heitor Cantarella pelas, sugestões, apoio e amizade.
- À Dra. Gláucia Maria Bovi Ambrosano pelas sugestões, apoio no planejamento, análises estatísticas e interpretação dos resultados.
- Ao Dr. Toshio Igue, pelas sugestões, apoio e amizade.
- Ao Dr. Hipólito A.A. Mascarenhas, Dr. Eduardo A. Bulisani, Dr. Wanderley A. Tremocoldi e Dra. Ângela M.C. Furlani pelas sugestões e apoio na elaboração e correção do Summary.
- Aos colegas de Seção, Dr. Manoel A.C. de Miranda, Dr. Roberto T. Tanaka, Dra. Elaine B. Wutke, Dr. Nelson R. Braga e Dr. Eduardo A. Bulisani, pela amizade e facilidades oferecidas para o desenvolvimento do trabalho na Seção de Leguminosas - IAC.
- Aos amigos e companheiros do IAC: Jussara, Valéria, Virginia, Luzia, Sr. Francisco, Sr. Antonio, Sr. Polo, Sra. Maria Polo, Sra. Maria Pirana, Sra. Iolanda, Sra. Nair, Sra. Jorgina, Sra. Neuza, Marco Antonio, Aparecido, Sr. Bovo, Sérgio, Sra. Carmem, Ivanilda, Angela, Sonia e Eliete, pelo apoio e amizade.
- Aos estagiários e amigos Isabel, André, Davi, Fabio e Elisangela.
- À Vanessa Guinesi, pelo acesso ao CD-ROM da EMBRAPA para o levantamento bibliográfico.
- Aos colegas Mamor, Emilio, Regina, Rinaldo e Flavio, pelo apoio nas determinações de unidade.

Aos amigos e companheiros do CENA: João, Neuza, Pingin, Isabel, Geraldo, Miguel, Silvia, Bento, Toninha, pelo apoio e amizade.

À Sementes Pirai, pelo apoio.

Ao Instituto Agronômico (IAC), pelas facilidades oferecidas.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pelas facilidades oferecidas.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP), ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na pessoa do Prof. Geraldo V. França, pela oportunidade.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo.

À FAPESP, pelo apoio, através do projeto temático (93/0691-8), coordenado pelo Dr. Takashi Muraoka (CENA).

Aos amigos do Curso de Solos e Nutrição de Plantas pela amizade.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xvi
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Espécies de leguminosas adubo verde	10
3.2. Marcação das leguminosas adubo verde com ^{15}N	11
3.2.1. Estratégia de marcação	12
3.2.2. Correção e adubação do solo	13
3.2.3. Crescimento das leguminosas e adubação com sulfato de amônio- ^{15}N	13
3.3. Solos	15
3.4. Correção e adubação básica dos solos	16
3.5. Incubação dos solos com material vegetal de leguminosas adubo verde	17
3.6. Delineamento experimental	17
3.7. Determinações em amostras de planta e solo	18
3.7.1. Material seco do milho	18
3.7.2. Nitrogênio total na planta	19
3.7.2.1. Nitrogênio total acumulado ...	19
3.7.2.2. Nitrogênio na planta derivado do adubo verde	19
3.7.2.3. Quantidade de nitrogênio na planta derivado do adubo verde	20
3.7.3. Nitrogênio total do solo	20

3.7.3.1. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde	21
3.7.3.2. Quantidade de nitrogênio do solo derivado do adubo verde	22
3.7.4. Nitrogênio mineral do solo	22
3.7.4.1. Determinação do nitrogênio mineral	22
3.7.4.2. Nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde	22
3.7.4.3. Quantidade do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde	23
3.7.4.4. Nitrogênio mineralizado total nos tratamentos com e sem adubo verde	23
3.7.4.5. Nitrogênio mineralizado (PA+RA) derivado das leguminosas adubo verde	24
3.7.5. Nitrogênio não recuperado do sistema solo-planta (percentagem de perda)	24
3.7.6. Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta	25
3.8. Análise estatísticas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Produção de leguminosas adubo verde marcadas com ^{15}N	27
4.2. Nitrogênio total do solo	28

4.2.1. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (%NSDAV)	30
4.2.2. Quantidade de nitrogênio do solo derivado do adubo verde (QNSDAV)	33
4.3. Nitrogênio mineral do solo	36
4.3.1. Percentagem do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV)	38
4.3.2. Quantidade do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (QNMSDAV)	42
4.4. Nitrogênio extraído por plantas de milho	49
4.4.1. Teor de nitrogênio na parte aérea e raízes do milho	49
4.4.2. Nitrogênio total acumulado na parte aérea e raízes do milho	52
4.4.3. Percentagem do nitrogênio da parte aérea (%NPADAV) e raízes (%NRADAV) do milho, derivado do adubo verde	58
4.4.4. Quantidade de nitrogênio na parte aérea (QNPADAV) e raízes (QNRADAV) do milho derivado do adubo verde	62
4.5. Produção de material seco do milho	66
4.6. Perda de nitrogênio de leguminosas adubo verde do sistema solo-planta	71
4.7. Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta ..	74
5. CONCLUSÕES	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS	Página
1. Nitrogênio mineralizado derivado do adubo verde nos solos LR e PV	45
2. Nitrogênio mineralizado total para os tratamentos no solo LR	45
3. Nitrogênio mineralizado total para os tratamentos no solo PV	46
4. Nitrogênio mineralizado no solo LR para o tratamento com crotalária juncea	47
5. Nitrogênio mineralizado no solo LR para o tratamento com mucuna-preta	47
6. Nitrogênio mineralizado no solo PV para o tratamento com crotalária juncea	48
7. Nitrogênio mineralizado no solo PV para o tratamento mucuna-preta	48
8. Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta	75

LISTA DE TABELAS

Página

1. Material seco, teor de nitrogênio e abundância de ^{15}N de leguminosas adubo verde	27
2. Teores de nitrogênio dos solos LR e PV nos tratamentos com e sem incorporação de adubo verde (crotalária juncea e mucuna-preta) nos tempos de amostragem	28
3. Nitrogênio total dos solos LR e PV (mg/kg de solo)	29
4. Percentagem de nitrogênio no solo derivado do adubo verde (%NSDAV) em relação a incorporação das leguminosas (crotalária juncea e mucuna-preta), nos solos LR e PV nos tempos de amostragem	30
5. Percentagem do nitrogênio dos solos (LR e PV) derivado do adubo verde (%NSDAV)	31
6. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (%NSDAV) nos tempos de amostragem, no PV e LR	33
7. Quantidade de nitrogênio no solo derivado do adubo verde (QNSDAV, mg/vaso) para as leguminosas (parte aérea e raízes), nos solos LR e PV, nos tempos de amostragem	34
8. Quantidade de nitrogênio do solo derivado da parte aérea e raízes do adubo verde, (QNSDAV, mg/vaso), no LR e PV	34
9. Quantidade de nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (QNSDAV, mg/vaso) e percentagem de nitrogênio do solo derivado do adubo verde (%NSDAV), para parte aérea e raízes, nos tempos de amostragem	35

10. Nitrogênio mineral (nitrato e amônio) dos solos LR e PV para os tratamentos com e sem leguminosas adubo verde, nos diferentes tempos de amostragem	36
11. Nitrogênio mineral do solo (nitrato e amônio) nos tratamentos com e sem adubo verde nos tempos de amostragem	37
12. Teores de nitrogênio mineral do solo (mg/kg) dos tratamentos com e sem adubo verde relacionados aos solos LR e PV	38
13. Percentagem do nitrogênio mineral (nitrato e amônio) do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV) nos solos LR e PV, nos tempos de amostragem	39
14. Percentagem do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV) em relação ao tempo	40
15. Percentagem de nitrogênio mineral derivado do adubo verde (parte aérea e raízes) nos solos LR e PV	41
16. Nitrogênio mineral do solo derivado da parte aérea ou raízes do adubo verde para as leguminosas nos tempos de amostragem	41
17. Quantidade de N mineral no solo derivado do adubo verde QNMSDAV para os solos LR e PV nos tempos de amostragem	42
18. Quantidade de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde (crotalária juncea e mucuna-preta) para os diferentes solos em relação ao tempo	43
19. Quantidade de N mineral derivado da parte aérea e raízes das leguminosas adubo verde nos tempos de amostragem	43

20. Teores de nitrogênio (g/kg) na parte aérea do milho para os tratamentos e solos em função dos tempos de amostragem	49
21. Teores de nitrogênio nas raízes do milho para os tratamentos e solos em função dos tempos de amostragem	50
22. Teores médios de nitrogênio (g/kg) na parte aérea do milho nos diferentes tratamentos, nos tempos de amostragem	51
23. Teor médio de nitrogênio total acumulado (g/kg) em raízes do milho em função do tempo	52
24. Teor médio de nitrogênio (g/kg) em função do solo na parte aérea e raízes de milho	52
25. Nitrogênio total acumulado na parte aérea do milho dos tratamentos com e sem leguminosas adubo verde, em função do tempo, nos solos LR e PV	53
26. Nitrogênio acumulado nas raízes do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV em função do tempo	54
27. Nitrogênio acumulado (mg/vaso) na parte aérea e raízes do milho em relação ao tempo	55
28. Nitrogênio acumulado (mg/vaso) na parte aérea do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, em função do tempo	56
29. Nitrogênio acumulado na parte aérea do milho (mg/vaso) para os diferentes tratamentos em função do tipo de solo	56
30. Quantidade de nitrogênio acumulado nas raízes do milho (mg/vaso) nos solos LR e PV em função do tempo	57

31. Percentagem de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde (%NPADAV) (Parte aérea e raízes) em função do tempo nos solos LR e PV nos tratamentos com adubo verde 58
32. Percentagem do nitrogênio na parte aérea do milho derivado da parte aérea e raízes do adubo verde em função do tempo 59
33. Percentagem do nitrogênio da parte aérea do milho derivado do adubo verde para as duas espécies de leguminosas nos solos LR e PV 60
34. Percentagem do nitrogênio das raízes do milho derivado da parte aérea e raízes de leguminosas (%NRADAV) nos solos LR e PV, em função do tempo 61
35. Quantidade de nitrogênio da parte aérea do milho derivado das leguminosas adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) nos solos LR e PV, em função do tempo 62
36. Quantidade de nitrogênio das raízes do milho derivado das leguminosas adubo verde (QNRADAV, mg/vaso) nos solos LR e PV em função do tempo 63
37. Quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho (mg/vaso) derivado da parte aérea ou raízes das leguminosas adubo verde 64
38. Quantidade de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) nos, solos LR e PV 64
39. Quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho derivado do adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) para os tratamentos, em função do Tempo 65

40. Quantidade de nitrogênio acumulado das raízes do milho derivado do adubo verde (QNRADAV, mg/vaso) em função do tempo	66
41. Produção de material seco (MS) da parte aérea do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV, em função do tempo	67
42. Produção de material seco (MS) de raízes do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV, em função do tempo	68
43. Produção de material seco da parte aérea do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde, em função do tempo	69
44. Produção de material seco das raízes do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde em função do tempo	69
45. Produção de material seco da parte aérea do milho (g/vaso) para os diferentes tratamentos em função do solo	70
46. Produção de material seco de raízes do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde em função do solo	71
47. Perdas de nitrogênio de leguminosas adubo verde do sistema solo-planta nos solos LR e PV, em função do tempo	72
48. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em função dos tratamentos com adubo verde	73
49. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em relação aos solos LR e PV	73
50. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em função do tempo	74

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LR - latossolo roxo.

PV - podzólico vermelho amarelo, fase arenosa.

PA - parte aérea de plantas.

RA - raízes de plantas.

DAG - dias após germinação.

%NSDAV - % de nitrogênio no solo derivado do adubo verde.

QNSDAV - quantidade de nitrogênio no solo derivado do adubo verde.

%NMSDAV - % de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde.

QNMSDAV - quantidade de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde.

%NPDAV - % de nitrogênio da parte aérea do milho derivado do adubo verde.

QNPDAV - quantidade de nitrogênio da parte aérea do milho derivado do adubo verde.

%NRDAV - % de nitrogênio das raízes do milho derivado do adubo verde.

QNRDAV - quantidade de nitrogênio das raízes do milho derivado do adubo verde.

QAVA - quantidade de nitrogênio do adubo verde adicionado.

%EUplanta - % de utilização de nitrogênio do adubo verde pela planta.

%EUsolo - % de nitrogênio do adubo verde recuperado no solo.

%Eumineral - % de nitrogênio do adubo verde recuperado no N-mineral do solo.

^{15}N - isótopo estável do elemento nitrogênio.

DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS ADUBOS VERDES, CROTALÁRIA JUNCEA
(*Crotalaria juncea*) e MUCUNA-PRETA (*Mucuna aterrima*), EM
DOIS SOLOS CULTIVADOS COM MILHO

Autor: EDMILSON JOSÉ AMBROSANO

Orientador: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

RESUMO

Estudou-se a dinâmica do nitrogênio de leguminosas (mucuna-preta e crotalária juncea), marcadas com ^{15}N , incorporadas em dois solos, latosso roxo (LR) e podzólico vermelho amarelo (PV), cultivados com milho. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação em vasos com 6 kg de terra fina seca ao ar.

Foi incorporado, aos solos, o equivalente a 15,5 t/ha de material seco, sendo 13 t/ha de parte aérea e 2,7 e 2,2 t/ha de raízes das leguminosas, mucuna-preta e crotalária juncea, respectivamente. Os tratamentos com parte aérea das leguminosas marcadas com ^{15}N , receberam as raízes não marcadas, e para os tratamentos com raízes marcadas com o isótopo a parte aérea incorporada não continha o isótopo (abundância natural).

Foi adotado um delineamento experimental inteiramente casualizado e os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial com os seguintes fatores: duas leguminosas adubo verde; dois solos; duas partes da leguminosa marcada com ^{15}N (parte aérea e raízes); cinco tempos de amostragem e três repetições. O experimento contou, também, com um tratamento adicional, sem adubação verde, contendo os dois solos, cinco tempos de amostragem e três repetições, totalizando 150 parcelas.

Após incubação de 36 dias semeou-se milho e determinou-se, em 5 estádios de seu desenvolvimento (20, 30, 40, 60 e 100 dias após emergência), o nitrogênio total e mineral do solo, bem como o derivado das leguminosas. Determinou-se, também, o nitrogênio acumulado na planta e o derivado das leguminosas adubo verde, e as perdas ocorridas no sistema solo-planta.

Pelos resultados obtidos verificou-se que a mucuna-preta participou em maior proporção do nitrogênio do solo e da planta, sendo a parte aérea responsável pela maior quantidade de N presente. O material vegetal das leguminosas adicionado foi mineralizado mais intensamente, preservando o nitrogênio presente no material orgânico original dos solos. A mineralização das leguminosas foi maior no solo PV e as maiores perdas de nitrogênio foram verificadas para a mucuna-preta no PV.

**DYNAMICS OF SUNNHEMP (*Crotalaria juncea*) AND VELVET BEAN
(*Mucuna aterrima*) GREEN MANURE NITROGEN IN TWO SOILS GROWN
WITH MAIZE**

Author: EDMILSON JOSÉ AMBROSANO

Adviser: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

SUMMARY

Labelled nitrogen (^{15}N) released from sunnhemp (*Crotalaria juncea*) and from velvet bean (*Mucuna aterrima*) was used to study soil nitrogen dynamics in a Dusky Red Latosol and a Red Yellow Podzol in a greenhouse experiment with pots containing 6 kg of air dried soil.

Dry matter equivalent to 13 t/ha of above ground parts of both leguminous species associated with 2.7 and 2.2 t/ha of roots of sunnhemp and velvet bean, respectively, were incorporated into the soil. The treatment with the leguminous aerial part labelled with ^{15}N received no labelled roots, and the one with labelled roots had no labelled aerial part.

The experiment was a completely randomized design with treatments distributed in a factorial scheme with three replications. Treatments consisted of two soil types, two green manures (leguminous species), two labelled plant parts (roots and shoots) and five sampling periods (an additional treatment was included with no green manure), totalizing 150 pots.

After an incubation period of 36 days corn was seeded, and at 20, 30, 40, 60, and 100 days after emergency, total and mineral nitrogen were determined in the soil, as well as that one derived from the legume plants, also, it was determined the total nitrogen accumulated in the corn plant, and the one derived from the legume plants. The N losses in the soil-plant system were also determined.

Results showed that nitrogen from velvet bean participated in greater proportion in soil and corn plant nitrogen; the shoots were responsible for most of this accumulation. Added dry matter of leguminous species was intensively and promptly mineralized preserving the soil born nitrogen. Mineralization of the legume plant N was greater in the podzolic soil than in the latosol and nitrogen losses were more intense for velvet bean in the podzolic.

1. INTRODUÇÃO

O manejo inadequado do solo pode levar, com o passar do tempo, a sérias conseqüências, exaurindo-o de reservas orgânicas e minerais, e transformando-o em terras de baixa fertilidade. Nos solos tropicais, susceptíveis a esse fenômeno, torna-se necessário o emprego de práticas que visem minimizar o problema (MELLO & BRASIL SOBRINHO, 1960).

Com a prática da adubação verde é possível recuperar a fertilidade do solo proporcionando aumento de matéria orgânica, CTC e disponibilidade de micronutrientes; formação e estabilização de agregados; melhoria das condições para infiltração de água e aeração; diminuição da amplitude de variação térmica; controle de nematóides e, fornecimento de nitrogênio obtido da fixação biológica, no caso das leguminosas incorporadas ao solo (IGUE, 1984).

Durante as últimas décadas houve um declínio no uso da adubação verde, devido à intensificação dos cultivos e aumento da disponibilidade de fertilizantes químicos (SINGH et al., 1991).

Atualmente, busca-se um sistema de produção capaz de recuperar a fertilidade do solo. O cultivo de leguminosas como cobertura do solo no outono-inverno têm apresentado resultados satisfatórios, tanto na obtenção de renda extra na entressafra, quanto em termos de efeitos benéficos à cultura subsequente (BULISANI et al., 1987).

Segundo FRANCO & SOUTO (1984), as leguminosas comumente usadas em adubação verde fixam, em média, 180 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ que é adicionado ao solo, podendo assim contribuir na economia de nitrogênio. Com esta prática pode-se recuperar, em parte ou no todo, a fertilidade do solo perdida devido ao manejo inadequado ou adoção de monocultivo, fornecendo nitrogênio à cultura seguinte e evitando, assim, adubos altamente solúveis que podem poluir o ambiente (KOHL et al., 1971).

No Brasil, tanto no Estado de São Paulo quanto em outras regiões do país, a prática da adubação verde vem sendo utilizada há mais de 30 anos com excelentes resultados sob as mais diversas condições de produção (MIYASAKA, 1984), sendo observados resultados positivos, quanto ao fornecimento de nitrogênio para a cultura seguinte, nas culturas do milho, semeado após soja, (MASCARENHAS et al., 1986) algodão após soja, cana-de-açúcar após soja em áreas de reforma, e milho após tremoço (TANAKA et al., 1992 ; KANTHACK et al., 1991 ; PEREIRA et al., 1988; GALLO et al., 1983 e GALLO et al., 1986).

Mesmo assim, essa prática ainda continua restrita a um número reduzido de agricultores.

As pesquisas relacionadas ao movimento do nitrogênio no sistema solo-planta, muitas vezes, são prejudicadas pela dificuldade em se distinguir o elemento de diferentes fontes. Com o uso do ¹⁵N, isótopo estável do nitrogênio, pode-se determinar com precisão seus caminhos no ambiente (SMITH et al., 1963 & FRIED et al., 1975).

O nitrogênio é o nutriente mineral exigido em maior proporção estando associado a todos os processos vitais das plantas. O incremento da produção mundial de alimentos está freqüentemente relacionado à adição de nitrogênio que apresenta elevado custo. Contudo, na maioria dos estados brasileiros a recomendação da adubação

nitrogenada não considera parâmetros da análise de solo e sim, informações do histórico da área, produtividade esperada e planta cultivada, com base em alguns estudos muito gerais (CANTARELLA et al., 1993).

Assim posto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica do nitrogênio da leguminosa adubo-verde incorporada ao solo, determinando-se as transformações do N adubo-verde no solo, o aproveitamento do N-leguminosa pelo milho, e as possíveis perdas de nitrogênio do sistema solo-planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Várias são as possibilidades de se aumentar a produtividade das plantas cultivadas sem perturbar o ambiente. Dentre elas, a utilização das plantas na reciclagem dos nutrientes e manutenção da fertilidade do solo, associadas às técnicas do plantio direto e do cultivo mínimo seriam, provavelmente, o caminho lógico para obtenção de eficiência produtiva e conservacionista (BULISANI et al., 1987).

A prática de incorporação de plantas ao solo com o objetivo de manter ou melhorar sua fertilidade para o cultivo subsequente é denominada de adubação verde.

Segundo MONTOJOS & GARGANTINI (1963) as leguminosas foram cultivadas pelas populações lacustres da Suíça entre os anos de 5.000 a 4.000 AC. Referem-se, ainda, ao plantio da soja entre 3.000 a 2.000 AC e ao emprego das leguminosas na agricultura pelos egípcios. Esta prática milenar causa alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, trazendo benefícios à cultura subsequente. Apesar do reconhecimento, desde os primórdios da agricultura, da importância das leguminosas, somente no século passado o fenômeno da fixação biológica do nitrogênio foi explicado.

Durante as últimas duas décadas houve um declínio considerável no uso da adubação verde, devido à intensificação do cultivo e aumento da disponibilidade de fertilizantes químicos (SINGH et al., 1991).

As leguminosas comumente usadas em adubação verde fixam, em média, $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo este adicionado ao solo, podendo assim reduzir o emprego de fertilizantes nitrogenados. Entretanto, para obtermos tal resultado é necessário que haja compatibilidade do cultivo da leguminosa usada como adubo-verde com a cultura beneficiada, assim como, otimizar os demais fatores de produção. Os benefícios resultantes da adubação verde podem ser incrementados pela inoculação com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* mais eficientes, associação com fungos micorrízicos, aplicações mais elevadas de fosfatos naturais e a inclusão de micronutrientes como, molibdênio e cobalto, o que justifica a intensificação dos trabalhos de pesquisa e experimentação em todo país (FRANCO & SOUTO, 1984).

Embora encontre-se na literatura resultados de pesquisa obtidos nas mais diversas instituições do país, que indicam efeito favorável da adubação verde na produção agrícola, tanto em pequenas como em grandes áreas como as ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (MASCARENHAS et al., 1994), a prática da adubação verde continua ainda restrita a um número reduzido de agricultores (FREITAS et al., 1984).

A grande limitação do uso de leguminosas para adubação verde está na compatibilização do cultivo da cultura na mesma área (FRANCO & SOUTO, 1984), na perda de área de cultivo da cultura comercial (MIYASAKA et al., 1966) e a dificuldade de determinar com precisão a real contribuição do adubo verde na nutrição das plantas cultivadas (MURAOKA, 1984).

Segundo BULISANI et al. (1987), há vários sistemas de cultivo, incluindo a utilização de leguminosas como cobertura de solo, no outono-inverno, que têm apresentado resultados satisfatórios, tanto na obtenção de

renda extra no período da entressafra de culturas de verão quanto em termos de produção e melhoria do solo, com efeitos benéficos na cultura subsequente.

O potencial das leguminosas como adubo verde em fornecer nitrogênio às plantas, além de fatores do meio, depende da sua capacidade de fixar nitrogênio. FRANCO & SOUTO, (1984), determinaram o potencial de fixação de nitrogênio da mucuna-preta ($157 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e da crotalária juncea ($154 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Segundo MURAOKA (1984), tem sido dada pouca ênfase na quantificação da eficiência quanto ao fornecimento de nutrientes de adubos verde para as culturas. A técnica isotópica, utilizando o isótopo ^{15}N , permite obter informações precisas sobre a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, e uma vez marcado o adubo verde com o isótopo é possível discriminar, no solo e na cultura plantada em seqüência, a porcentagem e a quantidade desse nutriente vinda do solo ou do adubo verde. Com o uso dessa técnica é possível acompanhar o nitrogênio da leguminosa nos diferentes compartimentos possíveis, como por exemplo do N mineral ou total do solo, para a cultura implantada e estimar as perdas, procedendo-se assim, um balanço da entrada e saída do nutriente no sistema solo-planta.

O nitrogênio aplicado ao solo, como resíduo vegetal ou fertilizante mineral, pode seguir os seguintes caminhos: ser absorvido pela planta, perdido para fora do sistema solo-planta por lixiviação e perdas gasosas, ser imobilizado no solo, por ação microbiológica, e gradualmente transformado em formas estáveis, permanecendo assim no solo. Em geral, 50% do nitrogênio do fertilizante aplicado ao solo é absorvido pelas plantas, 25% é perdido por diferentes mecanismos e 25% permanece no solo em formas mais ou menos estáveis (AZAM et al., 1985).

Estudos de incorporação de resíduos de leguminosas marcadas com ^{15}N no campo indicam que de 10 a 34% do nitrogênio da leguminosa pode ser recuperado no plantio subsequente com centeio ou trigo (LADD et al., 1981b, 1983; AZAM et al., 1986, MULLER & SUNDMAN, 1988; TA & FARIS, 1990), e 42% no arroz em vaso (SILVA, 1991).

JANS-HAMMERMEISTER et al., (1993b) estudaram a dinâmica do nitrogênio quando aplicaram restos vegetais de ervilha (*Pisum sativum*) em dois estádios, e dois solos diferentes, quanto ao teor de argila e encontraram uma recuperação do nitrogênio de 16% para centeio semeado após a incorporação do resíduo. Os mesmos autores concluíram que a taxa mais elevada de decomposição do material vegetal adicionado, estava associada ao solo de mais baixo teor de argila. Tal fato está em concordância com AMATO & LADD (1992), que conduziram estudos com 23 solos da Austrália e concluíram que a decomposição de resíduo de *Medicago littoralis* está correlacionado indiretamente com o conteúdo de argila e CTC do solo.

AZAM et al. (1985) realizaram estudos de incorporação ao solo de resíduo de *Sesbania aculeata* marcada com 0,617% de átomos em excesso de ^{15}N e determinaram que, somente, 5% do N da leguminosa foi absorvido por plantas de milho. No balanço realizado pelos autores, as perdas encontradas estiveram ao redor de 5% quando foi aplicado apenas sesbânia. Quando foi adicionado sulfato de amônio e sesbânia, as perdas passaram a 19%, e com apenas sulfato de amônio as perdas chegaram próximas de 40%. Outrossim, a baixa marcação isotópica do resíduo utilizado por AZAM et al. (1985) pode ter mascarado os resultados obtidos. Segundo BARTHOLOMEW (1965) a precisão dos ensaios isotópicos é proporcional à sua marcação, ou seja, quanto mais baixa a marcação, menor a precisão.

LADD et al. (1981b) incorporaram *Medicago littoralis* marcado com ^{15}N ao solo e observaram que de 11 a 17% do N da leguminosa foi absorvido pelo trigo e de 72 a 78% permaneceu no solo como resíduo orgânico. Os mesmos autores incorporaram *Medicago littoralis* em dois tipos de solos, diferentes quanto aos teores de nitrogênio e observaram que no solo pobre, a mineralização do nitrogênio da leguminosa foi muito mais intensa, sendo que de 10,5 a 13,2% do N mineral do solo adveio do adubo verde, contra 5,3 a 5,9% no solo mais rico em N, respectivamente, para amostras coletadas após a semeadura do trigo e no florescimento. Os autores também sugeriram que o papel mais importante do resíduo de leguminosas foi garantir nitrogênio para as culturas subseqüentes a longo prazo e não como fonte imediata de nitrogênio.

LADD et al. (1983), encontraram valores para nitrogênio na planta derivado do adubo verde da ordem de 27,8% e 20,2%, respectivamente, para o solo mais rico e mais pobre em N. A eficiência de utilização ou recuperação do nitrogênio foi de 17% para o solo mais pobre. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por MOORE (1974) que trabalharam com resíduo de leguminosas na cultura de capim de Rhodes e, também, com os resultados de NORMAN & WERKMAN (1943), quando trabalharam com incorporação de soja em vasos.

LADD et al. (1983), determinaram a contribuição do N da leguminosa para o N mineral do solo em dois solos diferentes quanto aos teores de nitrogênio e obtiveram resultados que indicaram o solo pobre em nitrogênio como o de maior mineralização, ou seja, 13% de N-mineralizado contra 5% no solo mais rico, estando estes resultados de acordo com os de LADD et al., (1981a) e também com outros autores citados por BARTHOLOMEW (1965).

LADD et al. (1983), verificaram em ensaios de campo que a recuperação por culturas do nitrogênio do adubo verde, foi maior em solo mais rico em nitrogênio obtendo 28% contra 20% de recuperado no solo mais pobre em N. Os autores observaram uma rápida estabilização do N de leguminosas com baixa relação C/N e este fenômeno durou aproximadamente 6 meses. Tal fato pode influir no efeito residual do segundo plantio realizado após a incorporação do resíduo de leguminosas. LADD et al., (1983) encontraram, também, valores menores que 5% de recuperação do N de leguminosas no segundo cultivo. Para fins de comparação desses resultados com os de efeito residual de uma fonte mineral de nitrogênio, pode-se citar que AMBROSANO (1989) encontrou recuperações de até 22% para o segundo corte e 7% para o terceiro corte em capim colônia var. Tobiatã, após adição de sulfato de amônio- ^{15}N ao solo.

Com relação às doses aplicadas, LADD et al., (1983) encontraram recuperação, em ensaios de campo, ao redor de 25% quando aplicaram 48,4 kg N/ha de leguminosa e 21% quando a dose aumentou para 96,8 kg N/ha. As recuperações medidas para o solo foram respectivamente de 57,3% e 56,3%, para dose menor e maior.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo da dinâmica do nitrogênio de leguminosas adubo verdes através da técnica isotópica, utilizando-se do marcador ^{15}N , só foi possível de ser implementada depois da obtenção das leguminosas marcadas com ^{15}N .

Para sabermos quanto de material vegetal marcado produzir baseou-se em um projeto de ensaio para ser conduzido em casa de vegetação, adotando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial com os seguintes fatores: duas leguminosas adubo verde; dois solos; duas partes da leguminosa marcada com ^{15}N (parte aérea e raízes); cinco tempos de amostragem e três repetições, que serão detalhados a seguir.

3.1. Espécies de leguminosas adubo verde

Foram utilizadas as leguminosas: Crotalária júncea, (*Crotalaria juncea* L.) cultivar IAC-1-2, e Mucuna-preta, (*Mucuna aterrima*), sinonímia *Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy, cultivar comum, cujas características são apresentadas a seguir.

As crotalárias são originárias da Índia, com ampla adaptação às regiões tropicais. As plantas são arbustivas, de crescimento ereto e determinado, produzem fibras com celulose de alta qualidade, próprias para a indústria de papel e outros fins. Recomendada para adubação

verde, é uma espécie de crescimento rápido, atingindo em estação normal de semeadura altura de 3,0 a 3,5 metros. É considerada má hospedeira de nematóides formadores de galhas e cistos. Apresenta produtividade média normal que vai de 10 a 15 t/ha de material seco (MS). O ciclo, do plantio até a colheita das vagens pode chegar a 180 dias, porém para fins de adubação verde recomenda-se cortar quando ela apresenta máxima produção de material seco, que culmina com o florescimento, ao redor de 120 dias (SALGADO et al., 1987).

A mucuna-preta é planta de crescimento rasteiro e vigoroso, de ciclo anual ou bianual e de ampla adaptação, recomendada, sobretudo, para adubação verde. Apresenta comprovada eficiência no controle da população de nematóides formadores de galhas, e sua produção de material seco pode alcançar a 10 t/ha. O ciclo, do plantio até colheita das vagens pode chegar a 240 dias, mas para fins de adubação verde, recomenda-se o corte na época de florescimento, por volta de 120 dias (BULISANI & BRAGA, 1987).

As características agronômicas de alta produtividade e grande capacidade de fixação biológica do nitrogênio (FBN), comprovado controle de nematóides, e a grande aceitação e utilização em grande escala para fins de adubação verde, segundo MASCARENHAS et al. (1994), colaboraram para escolha e utilização das duas espécies de leguminosas no presente trabalho.

3.2. Marcação das leguminosas adubo verde com ^{15}N

Planejou-se produzir 2.700 g de material vegetal seco de cada leguminosa, sendo metade marcado com ^{15}N . Para se chegar a esse valor, baseou-se em um esquema fatorial em delineamento inteiramente casualizado, contendo

2 leguminosas adubo verde; 2 solos; 2 partes da leguminosa marcada com ^{15}N (parte aérea e raízes); 5 tempos de amostragem e 3 repetições e um tratamento adicional, sem adubação verde, contendo 2 solos; 5 tempos de amostragem e 3 repetições, totalizando 150 parcelas, sendo que cada leguminosa seria aplicada em 30 parcelas com massa estimada para incorporação de 45g de MS total (parte aérea mais raízes).

3.2.1. Estratégia de marcação

O material vegetal marcado com o isótopo ^{15}N foi obtido partindo-se do pressuposto que a leguminosa não deveria fixar o nitrogênio da atmosfera durante o seu crescimento, para não reduzir a marcação com o isótopo ^{15}N a ser absorvido do nitrogênio aplicado ao solo. Para tanto, todo solo utilizado no crescimento das leguminosas foi esterilizado com brometo de metila (10 ml de BROMEX para cada 200 kg de solo) e as sementes tratadas com hipoclorito de sódio. Foi utilizado um solo mineral, pobre em matéria orgânica e nitrogênio, para que a fonte principal de N à leguminosa fosse aquela adicionada ao solo e enriquecida no isótopo ^{15}N . Promoveu-se o parcelamento da dose total de nitrogênio para que o nutriente estivesse disponível em vários estádios ficando menos sujeito à perdas. As leguminosas foram semeadas, em época não convencional (inverno), em casa de vegetação e mantidas com aquecimento e iluminação artificial, para com isso, evitar a fixação simbiótica do N_2 e garantir um crescimento adequado. Planejou-se uma marcação mínima de 2 átomos % em excesso de ^{15}N no material vegetal.

O solo escolhido foi um podzólico vermelho amarelo fase arenosa de baixo teor de matéria orgânica, e apresentando as seguintes características: $25 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de P

(resina); 10 g/kg de MO; 4,7 de pH (CaCl_2); 1,4 mmol (K^+)/dm³; 15 mmol ($1/2\text{Ca}^{2+}$)/dm³; 5 mmol ($1/2\text{Mg}^{2+}$)/dm³; 23 mmol ($\text{H}^+ + 1/3\text{Al}^{3+}$)/dm³; 46,4 mmol (+)/dm³ de CTC e 50 % de saturação por bases.

3.2.2. Correção e adubação do solo

Utilizaram-se vasos contendo 10 kg de terra e procedeu-se a adubação básica de 80 mg/kg de solo de P (super fosfato triplo), 50 mg/kg de solo de K (cloreto de potássio) e 5 mg/kg de solo de FTE-BR-12 (mistura de micronutrientes). Para correção da acidez do solo foram adicionados 7,6 g/vaso de calcário dolomítico calcinado. Após a correção e adubação o solo apresentou o seguinte resultado de análise química: 46 µg/cm³ de P (resina); 10 g/kg de MO; 5,7 de pH (CaCl_2); 3,4 mmol (K^+)/dm³; 31 mmol ($1/2\text{Ca}^{2+}$)/dm³; 14 mmol ($1/2\text{Mg}^{2+}$)/dm³; 16 mmol ($\text{H}^+ + 1/3\text{Al}^{3+}$)/dm³ e 74 % de saturação por bases.

3.2.3. Crescimento das leguminosas e adubação com sulfato de amônio-¹⁵N

A mucuna-preta foi semeada em 11 de maio de 1993, as sementes germinaram 7 dias após a semeadura (18/05/93). As plantas apresentaram desenvolvimento adequado, apesar de duas adversidades que foram contornadas, ou seja; ataque de fungo, identificado como sendo o *Fusarium* spp, controlado com aplicações de BENLATE (1,5g/2l) aplicando-se 100 ml por vaso de 10 kg de terra (duas aplicações a cada 7 dias) e uma leve toxidez de manganês, provavelmente consequência da esterilização agravada pelo cultivo em época mais fria, que foi controlada com uma calagem adicional de 4g de calcário dolomítico calcinado.

Aplicou-se 1,2 g de N/vaso em 3 vezes nos dias 26/05/93 (8 Dias Após Emerfência-DAE), colocando-se 0,3 g de N/vaso; 16/06/93 (21 DAE), mais 0,3 g de N/vaso e finalmente no dia 29/06/93 (34 DAE) 0,6 g de N/vaso. O nitrogênio utilizado estava na forma de sulfato de amônio e apresentava 11,37 átomos % de ^{15}N .

A colheita da mucuna-preta deu-se no dia 13 de agosto de 1993 totalizando um ciclo de 94 dias. A colheita foi definida pela concentração de ^{15}N encontrada em folhas que eram colhidas ao acaso e analisadas semanalmente, e pela inspeção da ocorrência de nodulação. No caso da mucuna-preta o resultado de ^{15}N da ultima amostragem foi 2,6 átomos % de ^{15}N e verificou-se uma grande ocorrência de nódulos.

A crotalária só pode ser semeada em 27 de maio de 1993 devido a sua baixa tolerância a toxidez de manganês que o solo apresentava cujos teores nas plantas chegaram a 1.400 mg/kg, contra 218 mg/kg em plantas normais e duas semeaduras foram perdidas com a morte das plantas. Após correção adicional com 4 g/vaso de calcário dolomítico as plantas germinaram plenamente em 02/06/93.

A aplicação de nitrogênio na crotalária contou com uma dose a mais de 0,3 g/vaso de N para garantir a marcação desejada e o pleno desenvolvimento, uma vez que as plantas não apresentavam nenhuma nodulação no início do crescimento.

As datas de aplicação de nitrogênio no solo foram as seguintes: 17/06/93 (15 DAE) (0,3 g/vaso de N); 29/06/93 (27 DAE) (0,3 g/vaso de N); 14/07/93 (43 DAE) (0,6 g/vaso de N); e finalmente 04/08/93 (63 DAE) (0,3 g/vaso de N). A concentração de ^{15}N no sulfato de amônio foi a mesma da aplicada na mucuna e a colheita da crotalária se deu em 22 de setembro de 1993, totalizando um ciclo de 118 dias.

No caso da crotalária a última análise de ^{15}N apresentou 3,69 átomos % de ^{15}N .

Todo o procedimento relatado na obtenção das leguminosas marcadas com ^{15}N foi repetido na obtenção de material vegetal sem marcação com o isótopo, fazendo uso de sulfato de amônio comum, sendo essa atividade desenvolvida simultaneamente a primeira.

Utilizaram-se de 35 vasos tanto na produção de mucuna-preta marcada com ^{15}N como para não marcada. Para a crotalária utilizaram-se 34 vasos com ^{15}N e igual número para não marcada.

3.3. Solos

Foram utilizados dois solos coletados na camada de 0 a 20 cm, secos ao ar e tamisados a 2 mm, a saber: latossolo roxo (LR), distrófico, cuja análise química da terra revelou: 23 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de P (resina); 32 g/kg de matéria orgânica (MO); 5,5 de pH (CaCl_2); 4,8 mmol (K^+)/ dm^3 ; 32 mmol ($1/2 \text{Ca}^{2+}$)/ dm^3 ; 14 mmol ($1/2 \text{Mg}^{2+}$)/ dm^3 ; 28 mmol ($\text{H}^+ + 1/3 \text{Al}^{3+}$)/ dm^3 ; 78,8 cmol(+)/ dm^3 de CTC e 64 % de saturação por bases; podzólico vermelho amarelo fase arenosa distrófico (PV), que apresentou as seguintes características químicas: 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de P (resina); 10 g/kg de MO; 4,3 de pH (CaCl_2); 1,7 mmol (K^+)/ dm^3 ; 6 mmol ($1/2 \text{Ca}^{2+}$)/ dm^3 ; 1 mmol ($1/2 \text{Mg}^{2+}$)/ dm^3 ; 28 mmol ($\text{H}^+ + 1/3 \text{Al}^{3+}$)/ dm^3 ; 36,7 mmol(+)/ dm^3 de CTC e 23 % de saturação por bases. As análises foram realizadas no laboratório da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agrônomo (IAC), Campinas e as unidades estão expressas no Sistema Internacional (CANTARELLA & ANDRADE, 1992).

Os vasos continham 6kg de terra fina seca ao ar e apresentaram, em média, 5.304 g e 4.742 g para o PV e LR respectivamente, de solo seco em estufa 110°C. Os pesos

dos solos secos em estufa foram usados para o cálculo das variáveis expressas por vaso.

3.4. Correção e adubação básica dos solos

Para que não houvesse limitação nutricional no crescimento do milho foi efetuada, antes da incorporação das leguminosas adubo verde, adubação dos solos: 1,0 g/vaso de P (super triplo); 700 mg/vaso de K (cloreto de potássio); 250 mg/vaso de Mg (óxido de magnésio); 20 mg/vaso de Zn (sulfato de zinco); 20 mg/vaso de Mn (sulfato de manganês); 6 mg/vaso de Cu (sulfato de cobre); 2 mg/vaso de B (ácido bórico). Somente o PV recebeu 5,4 g por vaso de uma mistura 3:1 de CaCO_3 e MgCO_3 , para elevar a saturação por bases para 70%.

Esperaram-se oito dias para reação do corretivo e adubos para que a instalação do experimento se processasse e a nova análise química do solo mostrou. LR: 67 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de P(resina); 32 g/kg de MO; 5,5 de pH (CaCl_2); 9,6 mmol (K^+)/ dm^3 ; 49 mmol ($1/2 \text{Ca}^{2+}$)/ dm^3 ; 26 mmol ($1/2 \text{Mg}^{2+}$)/ dm^3 ; 25 mmol ($\text{H}^+ + 1/3\text{Al}^{3+}$)/ dm^3 e 77 % de saturação por bases. PV: 79 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de P(resina); 10 g/kg de MO; 5,6 de pH (CaCl_2); 7,8 mmol (K^+)/ dm^3 ; 32 mmol ($1/2\text{Ca}^{2+}$)/ dm^3 ; 14 mmol ($1/2\text{Mg}^{2+}$)/ dm^3 ; 13 mmol ($\text{H}^+ + 1/3\text{Al}^{3+}$)/ dm^3 e 81 % de saturação por bases.

Após 30 dias da semeadura do milho foi efetuada uma adubação suplementar em todos os vasos de 238 mg de P (KH_2PO_4); 500 mg de K (K_2SO_4), para garantir que esses nutrientes não limitassem o crescimento do milho e 125 mg de Mg (sulfato de magnésio) devido o sintoma de deficiência do nutriente. Essa adubação foi repetida 30 dias após a primeira, com exceção do Mg que foi retirado, uma vez que havia desaparecido o sintoma de deficiência.

3.5. Incubação dos solos com material vegetal de leguminosas adubo verde

Planejou-se uma adubação verde com mucuna-preta e crotalária onde seriam aplicadas as seguintes quantidades: dose equivalente a 13 t/ha de MS de parte aérea de mucuna-preta que correspondeu a 39 g de MS por 6 kg de terra e foram adicionadas, também, o equivalente a 2,7 t/ha de MS, ou seja, 8,2 g de MS de raízes por 6 kg de terra.

Para a crotalária júncea foi, também, aplicada quantidade equivalente a 13 t/ha de MS de parte aérea, cuja transformação para 6 kg de terra resultou em 39g de MS de parte aérea e foram adicionadas, também, o equivalente a 2,2 t/ha de MS, ou seja, 6,6 g de MS de raízes por 6 kg de terra.

Todo o material das leguminosas foi moído e misturado o mais homogeneamente possível com a massa de solo. Após incorporação das leguminosas, efetuada em 8/03/94 os solos foram incubados por um período de 36 dias antes da semeadura do milho, que ocorreu em 14/04/94.

3.6. Delineamento experimental

Foi adotado um delineamento experimental inteiramente casualizado e os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial com os seguintes fatores: duas leguminosas adubo verde; dois solos; duas partes da leguminosa marcada com ^{15}N (parte aérea e raízes); cinco tempos de amostragem e três repetições. O experimento contou, também, com um tratamento adicional, sem adubação verde, contendo os dois solos, cinco tempos de amostragem e três repetições, totalizando 150 parcelas.

As leguminosas adubo verde foram a mucuna-preta e crotalária juncea, sendo que os tratamentos com a parte aérea das leguminosas marcadas com ^{15}N , receberam as raízes não marcadas, e para os tratamentos com raízes marcadas com o isótopo a parte aérea incorporada não continha o isótopo (abundância natural).

Os solos foram um LR e o PV e as amostragens ocorreram aos 20, 30, 40, 60 e 100 dias após emergência (DAE) do milho, que corresponderam as datas de: 11/05/94; 21/05/94; 31/05/94; 20/06/94 e 30/07/94.

O milho utilizado foi o AG-303, tratando-se de um híbrido precoce. Na semeadura foram utilizadas 10 sementes por vaso e logo após a emergência, procedeu-se ao desbaste, deixando-se apenas 4 plantas por vaso.

3.7. Determinações em amostras de planta e solo

3.7.1. Material seco do milho

As plantas de milho foram separadas em parte aérea e raízes e determinada a massa de material seco em cada tempo de amostragem. O procedimento utilizado foi o corte da parte aérea e o solo foi peneirado para que a coleta das raízes fosse a mais completa possível.

O material colhido foi lavado e seco em estufa a 60°C até peso constante.

O material devidamente seco foi pesado e moído para encaminhamento às análises de nitrogênio total e de ^{15}N .

3.7.2. Nitrogênio total na planta

3.7.2.1. Nitrogênio total acumulado

O nitrogênio total acumulado nas plantas foi determinado na parte aérea e raízes do milho pelo método semi-microKjeldahl, com NO^{-3} incluído, com digestão de 100 mg de material com posterior destilação e titulação, segundo BREMNER (1965).

O cálculo do nitrogênio acumulado foi feito utilizando a equação 1:

$$\text{Equação 1. } \text{NA} = (\%N * \text{MS})/100$$

sendo: NA = Nitrogênio acumulado (mg)

%N = Percentagem de nitrogênio (%)

MS = Material seco (mg)

3.7.2.2. Nitrogênio na planta derivado do adubo verde

Na análise isotópica, as amostras foram processadas pelo método modificado de combustão de Dumas, segundo PROKSCH (1969), para transformar o nitrogênio combinado em N_2 , cuja composição isotópica foi determinada no espectrômetro de massas VARIAN MAT modelo CH4 (TRIVELIN et al., 1973).

Obtidas as percentagens de átomos de ^{15}N em excesso na planta, parte aérea ou raízes, e na leguminosa utilizada como adubo verde, calculou-se a percentagem do nitrogênio na planta, parte aérea ou raízes, derivado do adubo verde pela equação 2. (ZMP DAV).

Equação 2:

$$\% \text{NPDAV} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso planta}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso ad. verde}} * 100$$

sendo: % átomos ^{15}N excesso planta = % átomos de ^{15}N na planta subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366 % ^{15}N).

% átomos ^{15}N excesso ad. verde = % átomos de ^{15}N no adubo verde subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366 % ^{15}N).

3.7.2.3. Quantidade de nitrogênio na planta derivado do adubo verde

A quantidade de nitrogênio na planta derivado do adubo verde foi obtida pela equação 3.

Equação 3: $\text{QNPDAV}(\text{mg/vaso}) = (\% \text{NPDAV} * \text{NA})/100$

sendo: NA= quantidade de nitrogênio acumulada (mg/vaso)

%NPDAV = percentagem de nitrogênio na planta derivado do adubo verde

3.7.3. Nitrogênio total do solo

As amostras de solo foram secas até peso constante em temperatura de 60°C e uma subamostra foi levada a estufa 110°C para que os resultados fossem depois corrigidos com base à terra seca em estufa (TSE).

Para análise de nitrogênio total acumulado foram tomadas 2 g de solo seco a 60°C e feita por digestão-destilação segundo BURESH et al. (1982).

3.7.3.1. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde

Após a determinação por destilação-titulação do teor de nitrogênio no solo, acrescentou-se ao extrato 1 ml de solução de ácido sulfúrico 1N, a seguir o material foi colocado para secar em estufa a 50 °C até cristalização do ácido bórico. Esse material agora seco foi armazenado até ser analisado em espectrômetro de massa para determinação do ^{15}N .

No preparo de amostras de solo para análise isotópica de nitrogênio após digestão-destilação-titulação e secagem do extrato, foi utilizado o método por via úmida com hipobromito de lítio (RITTEMBERG, 1946), modificado de acordo com IAEA (1976).

O nitrogênio total no solo derivado do adubo verde (%) foi calculado pela equação 4.

Equação 4:

$$\% \text{NSDAV} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso solo}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso ad. verde}} * 100$$

sendo: % átomos ^{15}N excesso solo = % átomos de ^{15}N no solo subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366% ^{15}N).

% átomos ^{15}N excesso ad. verde = % átomos de ^{15}N no adubo verde subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366% ^{15}N).

3.7.3.2. Quantidade de nitrogênio do solo derivado do adubo verde

A quantidade de nitrogênio no solo derivado do adubo verde foi obtida da equação 5.

Equação 5: $QNSDAV(mg/vaso) = (\%NSDAV * NA)/100$

sendo: NA= quantidade de nitrogênio total do solo (mg/vaso)

$\%NSDAV$ = percentagem de nitrogênio total no solo derivado do adubo verde

3.7.4. Nitrogênio mineral do solo

O nitrogênio mineral no solo foi determinado pela importância que ele representa quando se adiciona ao solo matéria orgânica contendo nitrogênio.

3.7.4.1. Determinação do nitrogênio mineral

O nitrogênio mineral (nitrato e amônio) foi determinado pela extração com KCl 2N de uma amostra de 50 g de terra, agitando-se a amostra com 150 ml de KCl 2N, filtrando e destilando-se o extrato com MgO e liga de Devarda, de acordo com a metodologia descrita por BURESH et al. (1982).

Os extratos destilados foram utilizados nas determinações de ^{15}N da mesma forma como procedido para aqueles de N total do solo.

3.7.4.2. Nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde

O cálculo da percentagem do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde ($\%NMSDAV$), foi efetuado segundo a equação 6.

Equação 6:

$$\%NMSDAV = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso } N_{\text{mineral}}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso ad. verde}} * 100$$

sendo: % átomos ^{15}N excesso N_{mineral} = % átomos de ^{15}N no N_{mineral} subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366% ^{15}N).

% átomos ^{15}N excesso ad. verde = % átomos de ^{15}N no adubo verde subtraindo-se a abundância natural de ^{15}N (0,366% ^{15}N).

3.7.4.3. Quantidade do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde

A quantidade de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde foi obtida pela equação 7.

Equação 7: $QNMSDAV(\text{mg/kg}) = (\%NMSDAV * NA)/100$

sendo: NA= quantidade de nitrogênio mineral no solo (mg)

%NMSDAV = percentagem de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde

3.7.4.4. Nitrogênio mineralizado total nos tratamentos com e sem adubo verde

Calculou-se o nitrogênio mineral do solo em mg/vaso multiplicando-se o valor determinado em mg/kg pela massa total de terra seca em estufa presente no vaso.

Calculou-se o N-mineralizado total para os tratamentos crotalária juncea, mucuna-preta e sem adubo verde somando-se os valores do N-mineral do solo com N-total na planta, parte aérea e raízes. Isto foi feito para os solos LR e PV.

Utilizou-se, também do N-mineralizado dos tratamentos testemunhas para denominá-los de N-mineralizado sem adubo verde e do N-mineralizado total, subtraído do N-mineralizado do adubo verde para denominá-lo de N-mineralizado, nativo do solo, no tratamento com adubo verde

3.7.4.5. Nitrogênio mineralizado (PA+RA) derivado das leguminosas adubo verde

Para obter-se o nitrogênio mineralizado derivado das leguminosas adubo verde calculou-se o nitrogênio mineral do solo proveniente das leguminosas adubo verde em mg/vaso somando-se com a quantidade de nitrogênio na parte aérea e raízes do milho, provenientes das leguminosas adubo verde.

3.7.5. Nitrogênio não recuperado do sistema solo- planta (percentagem de perda)

No balanço de nitrogênio foram computadas as entradas de nitrogênio via adubação verde, subtraindo-se a quantidade residual de nitrogênio no solo derivado do adubo verde, e a quantidade de nitrogênio do adubo verde extraído pela planta de milho (parte aérea e raízes).

O resultado obtido foi colocado na forma de percentagem do total de nitrogênio aplicado e chamado de percentagem de perda, cujo significado exprime o quanto de nitrogênio foi perdido do total aplicado, ou seja, a percentagem que não foi encontrada no sistema solo planta.

3.7.6. Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta

Para podermos calcular o balanço de nitrogênio no sistema solo-planta foi necessário calcularmos a percentagem de eficiência de utilização do nitrogênio na planta, parte aérea e raízes, bem como o nitrogênio presente no solo e no N-mineral, sendo que as perdas foram determinadas pela diferença entre o nitrogênio que entrou via adubo verde e o presente no solo, mineral e orgânico, e o extraído pela planta.

Para calculo da percentagem de eficiência de utilização empregou-se as equações 8, 9 e 10:

$$\text{Equação 8: \%EUplanta} = (\text{QNPADAV} + \text{QNRADAV}) / \text{QAVA} * 100$$

sendo: QNPADAV= quantidade de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde (mg/vaso)

QNRADAV= quantidade de nitrogênio nas raízes do milho derivado do adubo verde (mg/vaso)

QNAVA= quantidade de nitrogênio do adubo verde adicionada (mg/vaso)

$$\text{Equação 9: \%EUsolo} = (\text{QNSDAV} / \text{QAVA}) * 100$$

sendo: QNSDAV= quantidade de nitrogênio no solo derivado do adubo verde (mg/vaso)

QNAVA= quantidade de nitrogênio do adubo verde adicionada (mg/vaso)

$$\text{Equação 10: \%Eumineral} = (\text{QNMSDAV} / \text{QAVA}) * 100$$

sendo: QNMSDAV= quantidade de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde (mg/vaso)

QNAVA= quantidade de nitrogênio do adubo verde adicionada (mg/vaso)

No balanço de nitrogênio foram computadas as quantidades de nitrogênio aplicadas, via adubação verde (mg/vaso) e o nitrogênio recuperado no solo foi a soma do N-mineral com o N-total no solo derivado do adubo verde.

3.8 Análise estatísticas

As médias dos fatores solo e parte foram comparadas pelo teste F. O teste de Tukey foi utilizado para comparações entre médias do fator tratamento (crotalária juncea, mucuna-preta e sem adubo verde) e regressão polinomial para estudar efeito de épocas de amostragem. O programa para computadores SAS foi utilizado para efetuar as análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de leguminosas adubo verde marcadas com ^{15}N

Os resultados de produção de material seco, teor de nitrogênio e abundância de ^{15}N de leguminosas adubo verde constam da tabela 1.

Tabela 1. Material seco, teor de nitrogênio e abundância de ^{15}N de leguminosas adubo verde.

Espécie	Material seco	Teor de N	Abundância de ^{15}N
	----- g -----	-- g/kg --	--- Átomos% ---
Mucuna preta			
Parte aérea	2.640	27,6	3,177
Raízes	640	28,3	2,803
Crotalária juncea			
Parte aérea	2.200	16,8	4,337
Raízes	300	12,2	4,301

A crotalária juncea apresentou maior enriquecimento em ^{15}N devido à baixa ocorrência de fixação simbiótica de N_2 , o que ficou caracterizado pela pequena nodulação radicular, fato esse confirmado pelo menor teor de nitrogênio e crescimento das raízes. Por sua vez a mucuna-preta mostrou um grande número de nódulos na colheita, apesar do cuidado para se evitar a nodulação. Como conseqüência, ela apresentou maior crescimento, tanto da parte aérea como de raízes, maior teor de nitrogênio nas raízes o que acarretou a diluição isotópica do nitrogênio (marcação com ^{15}N mais baixa).

A previsão inicial de produção de material seco de leguminosas foi atingida devido ao crescimento adequado das plantas, sendo obtido material vegetal de leguminosas com enriquecimento superior a 2% de átomos de ^{15}N .

4.2. Nitrogênio total do solo

Na tabela 2 pode-se observar as médias dos teores de nitrogênio para os tratamentos com e sem adubo verde, em cada solo e em função das épocas de amostragem.

Tabela 2. Teores de nitrogênio dos solos LR e PV nos tratamentos com e sem incorporação de adubo verde (crotalária juncea e mucuna preta) nos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	-DAE*	-----mg/kg-----				
LR	20	1280	1169	1345	1281	1100
	30	1256	1300	1338	1364	1220
	40	1291	1270	1309	1294	1199
	60	1212	1180	1418	1288	1089
	100	1245	1249	1275	1234	1068
		1245	B	1315	A	1135 C
PV	20	444	394	451	443	256
	30	336	354	472	450	270
	40	362	388	412	399	293
	60	341	333	454	420	253
	100	343	338	453	396	263
		363	B	435	A	267 C

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias com letras distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Pode-se observar à tabela 2 que os solos com leguminosas adubo verde apresentaram maior teor de nitrogênio que os sem, sendo que, independentemente do solo, onde se incorporou a mucuna-preta verificou-se maior teor de nitrogênio, seguido da crotalária juncea. A mucuna-preta apresentou teor de nitrogênio elevado, quase o dobro do teor encontrado na crotalária juncea (tabela 1), aumentando significativamente o N dos solos.

Observa-se na tabela 3 diferença entre as médias de teor de nitrogênio dos solos, sendo que, o LR apresentou maior valor que o PV, independentemente dos tratamentos com e sem incorporação de espécie de leguminosas, parte das leguminosas ou do tempo. Isso se deveu, em grande parte, às diferenças texturais, sendo o LR mais rico em argilas que fixam substâncias húmicas na forma de organo-minerais e que preservam a matéria orgânica do ataque de microrganismos. Isso é comprovado pelo maior teor de matéria orgânica (MO) no LR, 30 g/kg de MO em relação a 10 g/kg no PV. Segundo STEVENSON (1982), mais de 90% do nitrogênio das camadas superficiais da maioria dos solos está na forma orgânica.

Tabela 3. Nitrogênio total dos solos LR e PV (mg/kg de solo)

Solo	N (mg/kg de solo)	
LR	1.259	A
PV	389	B

C.V. = 7,69%

Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Não se verificou diferenças significativas no teor de nitrogênio dos solos para parte da leguminosa, e nas cinco amostragens, tanto nos tratamentos com adubo

verde (mucuna-preta e crotalária juncea) como para o sem adubo verde (tabela 2).

4.2.1. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (%NSDAV).

Pode-se observar à tabela 4 as médias de %NSDAV dos tratamentos nos dois solos e nos tempos de amostragem.

Tabela 4. Percentagem de nitrogênio no solo derivado da parte do adubo verde (%NSDAV) em relação à incorporação das leguminosas (crotalária juncea e mucuna-preta), nos solos LR e PV nos tempos de amostragem.

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta	
		PA*	RA*	PA	RA
	-DAE*-	----- % -----		-----	
LR	20	8,0	1,1	12,1	2,9
	30	7,8	1,0	11,7	3,0
	40	7,2	0,9	10,9	3,1
	60	7,1	1,2	8,7	2,9
	100	7,4	1,2	11,3	2,8
		7,5Ba	1,1Bb	11,0Aa	2,9Ab
PV	20	21,6	3,0	29,8	8,1
	30	19,8	3,1	29,5	7,1
	40	18,3	2,5	27,1	6,2
	60	17,6	2,7	26,3	7,4
	100	18,1	2,9	26,3	6,9
		19,1Ba	2,9Bb	27,8Aa	7,2Ab

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Letras maiúsculas são para comparações na horizontal, entre espécies e as minúsculas entre partes dentro de cada espécie, sendo que as letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Na tabela 5 observam-se as médias de %NSDAV independente do tempo e da parte da leguminosa, para os solos LR e PV. Pode ser constatado a significativa contribuição do nitrogênio das leguminosas no solo podzólico, sendo maior o fornecimento de nitrogênio da mucuna-preta. A parte aérea da mucuna-preta contribui com 27,8% do N total encontrado no PV, valor esse maior que no LR (11,0%). Para crotalária juncea os valores foram menores que para a mucuna-preta nos dois solos (tabela 4).

JANS-HAMMERMEISTER et al. (1993b), estudaram a dinâmica do nitrogênio quando resíduo de ervilha foi aplicado em solos com diferentes teores de argila e verificaram que a maior taxa de mineralização de nitrogênio do resíduo ocorreu no solo com baixo teor de argila.

Uma vez que o PV pode facilitar a mineralização do adubo verde, por ser um solo mineral, pobre em nitrogênio, a maior contribuição do N das leguminosas no N total deste solo já era esperado e os valores verificados, indicam a grande importância da adubação verde para o solo PV.

Tabela 5. Percentagem do nitrogênio dos solos (LR e PV) derivado do adubo verde (%NSDAV)

Solo	Mucuna-preta	Crotalária juncea
	----- % -----	
PV	35,0 A	22,0 A
LR	13,8 B	8,6 B

C.V.= 8,69%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Nota-se que nos dois solos tanto o N da parte aérea como o de raízes da mucuna-preta contribuíram com maior percentagem que o da crotalária juncea (tabela 4). Esses resultados mostram a maior contribuição do N da parte aérea das leguminosas adubo verde que é devido à maior quantidade desta que é incorporada ao solo. Contudo, observando a contribuição do N das raízes da mucuna-preta no nitrogênio total dos solos, verifica-se que ela não é desprezível em termos da quantidade de raízes produzida no campo.

Pode-se ainda observar da tabela 4, a contribuição do N da parte aérea e das raízes das leguminosas nos dois solos, sendo esta maior para o tratamento mucuna-preta, tanto o N da parte aérea como de raízes, e a sua maior participação no N total do solo PV. Verifica-se, também, que a crotalária juncea participa do N total em maior proporção no solo PV que no LR, sendo isso devido aos teores de N dos solos, como observado anteriormente (tabela 3).

Na tabela 6 pode-se observar as diferenças significativas de contribuição dos adubos verdes no nitrogênio total dos solos com o tempo, sendo significativa a redução nos valores de %NSDAV ao longo do período experimental. Essa redução é um indicativo da extração do nitrogênio pelas plantas de milho.

A contribuição do N-adubo verde para o nitrogênio total do solo PV, foi mais que o dobro do que no LR. Esse fato ressalta uma vez mais a importância da adubação verde, em termos de suprimento de nitrogênio para solos minerais com baixo teor de matéria orgânica.

Tabela 6. Percentagem do nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (%NSDAV) nos tempos de amostragem, no PV e LR

Tempo	PV	LR
--- *DAE ---	----- % -----	
20	15,6	6,0
30	14,9	5,9
40	13,5	5,5
60	13,5	5,0
100	13,6	5,7

C.V.= 8,69%

F linear

*

*

F quadrático

*

*

R²

0,73

0,77

*DAE=Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

4.2.2. Quantidade de nitrogênio do solo derivado do adubo verde (QNSDAV)

Pela tabela 7 pode-se observar os valores médios para QNSDAV (mg/vaso), parte aérea e raízes, para as leguminosas nos dois solos em função do tempo.

Pode-se observar da tabela 8 que para a quantidade de nitrogênio presente no N total dos solos, a maior contribuição foi da parte aérea do adubo verde no LR.

Apesar da percentagem de N total derivado do adubo verde no PV ser da ordem de três vezes aquela no LR (tabela 4), a quantidade média derivada do adubo verde revelou-se menor pois este solo possui menor teor total de nitrogênio. Esses resultados podem estar indicando que o solo LR retém maior quantidade de nitrogênio do adubo verde, uma vez que sua textura mais argilosa pode proteger a matéria orgânica do ataque de microrganismos, conservando mais o nitrogênio na forma orgânica, ou ainda a mineralização e consequente absorção do N-adubo verde pelo milho foi maior no PV.

Tabela 7. Quantidade de nitrogênio no solo derivado do adubo verde (QNSDAV, mg/vaso) para as leguminosas (parte aérea e raízes), nos solos LR e PV, nos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta	
		PA*	RA*	PA	RA
	DAE*	-----mg/vaso-----			
LR	20	479	60	783	174
	30	464	64	750	191
	40	434	55	737	192
	60	413	70	586	179
	100	442	69	688	162
		446 B	64 B	709 A	179 A
PV	20	512	62	714	189
	30	350	58	738	173
	40	350	48	594	131
	60	311	48	654	166
	100	326	52	640	146
		370 B	54 B	668 A	161 A

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias com letras maiúsculas servem para comparações na horizontal entre espécies, sendo que as letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Tabela 8. Quantidade de nitrogênio do solo derivado da parte aérea e raízes do adubo verde, (QNSDAV, mg/vaso), nos solos LR e PV

Parte da Leguminosa	LR		PV	
	----- mg/vaso -----			
Parte aérea	577	A a	519	A b
Raízes	122	B a	107	B a

C.V. = 18,04%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Observam-se da tabela 9 que ocorreram diferenças na quantidade e percentagem do N total derivado da parte aérea, do adubo verde com o tempo. O mesmo não se verificou para raízes, embora os resultados também mostrem-se decrescentes com o tempo. Esses resultados se devem, em grande parte, à absorção do N mineralizado do adubo verde pelo milho e também por possíveis perdas gasosas de N do sistema solo-planta.

Tabela 9. Quantidade de nitrogênio total do solo derivado do adubo verde (QNSDAV, mg/vaso) e percentagem de nitrogênio do solo derivado do adubo verde (%NSDAV), para parte aérea e raízes, nos tempos de amostragem

Tempo	PA*	QNSDAV	RA*	PA	%NSDAV	RA
---DAE*--	---	mg/vaso	-----	-----	%	-----
20	622	A	121 B	17,9	A	3,8 B
30	576	A	122 B	17,2	A	3,5 B
40	529	A	106 B	15,9	A	3,2 B
60	491	A	116 B	14,9	A	3,6 B
100	524	A	107 B	15,8	A	3,4 B

C.V. (QNSDAV)= 18,04%

C.V. (%NSDAV)=8,69%

Flinear *

ns

*

ns

Fquadrático *

ns

*

ns

R²

0,96

-

0,95

-

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ¹⁵N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ¹⁵N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal para %NSDAV e QNSDAV diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*significativo ao nível de 5%

Observa-se que tanto a parte aérea como raízes da mucuna-preta, forneceram maior quantidade de nitrogênio, para o N total do solo (tabela 8). Em parte, isso pode ser explicado pelo maior teor de nitrogênio, presente nesta leguminosa.

4.3 Nitrogênio mineral do solo

O nitrogênio mineral foi determinado a fim de se avaliar a mineralização do nitrogênio dos adubos verdes, por meio da técnica com o marcador ^{15}N . Contudo determinações do ^{15}N só foram possíveis até a 3^o tempo de amostragem (40 DAE) uma vez que a partir da 4^a época as baixas quantidades de N mineral nos solos não permitiram que fossem realizadas análises isotópicas.

Na tabela 10 constam as médias da variável nitrogênio mineral (nitrato e amônio) nos solos para as duas leguminosas (parte aérea e raízes) nos tempos de amostragem.

Tabela 10. Nitrogênio mineral (nitrato e amônio) dos solos LR e PV para os tratamentos com e sem leguminosas adubo verde, nos diferentes tempos de amostragem.

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	--DAE*	-----mgN/kg-----				
LR	20	11,9	17,0	26,2	23,9	10,1
	30	3,8	7,7	17,7	13,0	4,9
	40	1,1	1,0	11,8	4,3	0,8
	60	1,0	0,7	0,8	0,8	0,4
	100	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
		4,5		10,0		3,3
PV	20	17,6	19,4	21,8	28,0	10,0
	30	11,0	10,9	24,0	23,7	3,6
	40	2,1	4,9	22,6	19,2	0,6
	60	0,6	0,8	3,9	0,9	0,3
	100	0,4	0,6	0,8	0,9	0,3
		6,8		14,6		3,0

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

O nitrogênio mineral (nitrato e amônio) presente no solo foi maior até os 40 DAE no tratamento com mucuna-preta seguido da crotalária juncea e finalmente a testemunha. Outro fato que chama a atenção é que a quantidade de nitrogênio mineral nos solos aos 20 DAE do tratamento com mucuna-preta ser duas vezes e meia maior que a encontrada na testemunha. Observa-se, também, que a partir dos 60 DAE os valores foram muito baixos, menores que 1,5 mg/kg de solo, não se verificando mais diferenças entre tratamentos (tabela 11).

Tabela 11. Nitrogênio mineral do solo (nitrato e amônio) nos tratamentos com e sem adubo verde nos tempos de amostragem

Tempo	Mucuna-preta	Crotalária	Sem adubo verde
DAE*	----- mg/kg -----		-----
20	25,0 A	16,5 B	10,1 C
30	19,6 A	8,4 B	4,3 C
40	14,5 A	2,3 B	0,7 B
60	1,6 A	0,8 A	0,4 A
100	0,7 A	0,6 A	0,4 A

CV= 34,46%

Flinear

*

*

*

Fquadrático

*

*

*

R²

0,76

0,78

0,69

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Observa-se da tabela 12 que o PV apresentou maior teor de N mineral nos tratamentos com adubo verde indicando, mais uma vez, a magnitude dos fenômenos microbiológicos que ocorrem nesse solo, e conseqüentemente maior mineralização do N-adubo verde.

Tabela 12. Teores de nitrogênio mineral do solo (mg/kg) dos tratamentos com e sem adubo verde relacionados aos solos LR e PV

Tratamentos	LR		PV	
	----- mg/kg -----			
Mucuna-preta	10,0	b	14,6	a
Crotalária juncea	4,5	b	6,9	a
Sem adubo verde	3,3	a	3,0	a

C.V.=34,46%

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

4.3.1. Percentagem do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV)

Na tabela 13 são apresentadas médias da variável nitrogênio mineral (nitrato e amônio) dos solos (LR e PV) derivado do adubo verde (%NMSDAV) para as duas leguminosas (parte aérea e raízes) nos solos em função do tempo.

O nitrogênio mineral derivado do adubo verde é a fração do N mineral total do solo que teve origem do adubo verde. Nota-se da tabela 14 que, para a crotalária júncea, houve diferenças entre tempos, observando-se uma queda na contribuição do adubo verde no N mineral do solo. Contudo esse fato não ocorreu com o tratamento mucuna-preta indicando que, além da maior contribuição deste para o nitrogênio mineral do solo, houve, também, uma maior mineralização, uma vez que a planta teste (milho) continuou absorvendo N-mineral do solo.

Tabela 13. Percentagem do nitrogênio mineral (nitrato e amônio) do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV) nos solos LR e PV, nos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalaria juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
--DAE*		----- % -----			
LR	20	32,5	2,5	39,4	6,5
	30	31,6	2,0	44,5	5,8
	40	15,4	1,4	44,2	5,7
		26,5 a	2,0 b	42,7 a	6,0 b
PV	20	44,1	3,1	50,3	7,3
	30	44,6	3,8	56,9	6,3
	40	33,0	2,9	56,4	6,3
		40,6 a	3,3 b	54,5 a	6,6 b

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias seguidas de letras minúsculas são para comparações entre partes dentro de cada espécie, sendo que as letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Esses resultados podem ser consequência de diferenças na relação carbono e nitrogênio (C/N) das leguminosas. Pode-se inferir, com base nos resultados da tabela 1, que a mucuna-preta apresentou uma relação C/N mais estreita que a crotalária juncea. Com isso, ela sofreu ataque mais intenso, por microrganismos do solo, sendo mineralizado mais nitrogênio a partir dela.

Tabela 14. Percentagem do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (%NMSDAV) em relação ao tempo

Tempo	Crotalária juncea	Mucuna-preta
-DAE*-	----- % -----	
20	20,5	25,9
30	20,5	28,4
40	13,2	28,1

C.V.=12,35%

Flinear * ns

Fquadrático * ns

R² 0,90 -

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

A maior contribuição no N mineral do solo foi da parte aérea como se observa da tabela 13. Verifica-se, também, que os resultados de percentagem do N mineral derivado do adubo verde (tabelas 14 e 15) são maiores que aqueles de percentagem de N total do solo derivado do adubo verde (tabela 4) o que indica que o N-adubo verde foi mais mineralizado que o N-nativo do solo (figuras 4, 5 e 6, 7).

Com relação aos solos e partes da planta nota-se à tabela 15 que houve maior contribuição do N da parte aérea dos adubos verde no N mineral do solo PV, enquanto que para raízes, não se observou diferenças significativas entre os solos.

Esses resultados concordam com os de LADD et al. (1983) que obtiveram maiores valores para %NMSDAV para solos pobres em nitrogênio comparados com os mais ricos, quando foram incorporados ao solo resíduo de leguminosas marcadas com ¹⁵N.

Tabela 15. Percentagem de nitrogênio mineral derivado do adubo verde (parte aérea e raízes) nos solos LR e PV

Parte da leguminosa	LR		PV	
	----- % -----			
Parte aérea	34,6	B	47,5	A
Raízes	4,0	A	5,0	A

C.V.=12,35%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Pode-se observar da tabela 16 que aos 20 DAE não havia diferença na %NMSDAV com as espécies para a parte aérea, porém, observou-se a superioridade da mucuna-preta na %NMSDAV de raízes. A partir dos 30 DAE pode-se discriminar entre leguminosas e indicar a mucuna-preta como o adubo que mais forneceu nitrogênio para a fração mineral.

Tabela 16. Nitrogênio mineral do solo derivado da parte aérea ou raízes do adubo verde para as leguminosas nos tempos de amostragem

Parte da leguminosa	Tempo (DAE*)					
	20		30		40	
	PA*	RA*	PA	RA	PA	RA
	----- % -----					
Mucuna	44,8 A	6,9 A	50,7 A	6,1 A	50,3 A	6,0 A
Crotalária	38,3 A	2,8 B	38,1 B	2,9 B	24,2 B	2,2 B

C.V.=12,35%

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Nota-se ainda à tabela 14 a constância dos resultados em função do tempo, para mucuna-preta, o que pode indicar uma proporção constante de nitrogênio do adubo

verde passando para o N-mineral do solo, uma vez que a planta teste (milho) estava absorvendo N dessa fração.

4.3.2. Quantidade do nitrogênio mineral do solo derivado do adubo verde (QNMSDAV)

Na tabela 17 pode-se observar as médias para QNMSDAV (parte aérea e raízes) nos solos LR e PV, em diferentes tempos.

Pode-se notar à tabela 18 que ocorreu uma redução linear na quantidade de nitrogênio derivado do adubo verde no N mineral para o tratamento com crotalária juncea, nos dois solos, porém o mesmo não ocorreu com a mucuna-preta no solo PV, indicando mais uma vez que a diferença na relação C/N das leguminosas, parece ter permitido uma maior mineralização do N mucuna-preta no PV.

Tabela 17. Quantidade de N mineral no solo derivado do adubo verde QNMSDAV para os solos LR e PV nos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta	
		PA*	RA*	PA	RA
	-DAE*-	----- mgN/kg -----		-----	
LR	20	3,9	0,4	10,3	1,5
	30	1,2	0,2	7,9	0,7
	40	0,2	0,0	5,3	0,2
PV	20	7,7	0,6	11,0	2,1
	30	5,0	0,4	13,8	1,5
	40	0,7	0,1	12,7	1,2

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada

*RA - Raízes da leguminosa marcada

*DAE - Dias após emergência do milho

Tabela 18. Quantidade de nitrogênio mineral no solo derivado do adubo verde (crotalária juncea e mucuna-preta) para os diferentes solos em relação ao tempo

Tempo	LR		PV	
	Crotalária	Mucuna	Crotalária	Mucuna
-DAE*	----- mg/kg -----			
20	4,2 B	11,8 A	8,4 B	13,0 A
30	1,4 B	8,6 A	5,4 B	14,6 A
40	0,2 B	5,6 A	0,8 B	12,6 A

C.V.=42,83%

Flinear * * * ns

Fquadrático ns ns ns ns

R² 0,39 0,10 0,26 -

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Da tabela 19 verifica-se que a parte aérea teve maior contribuição no N mineral nos tempos de amostragem. Estes resultados também podem ser decorrentes das relações C/N da parte aérea e raízes das leguminosas.

Tabela 19. Quantidade de N mineral derivado da parte aérea e raízes das leguminosas adubo verde nos tempos de amostragem

Tempo	Parte das leguminosas	
	Parte aérea	Raízes
-DAE*	----- mg/kg -----	
20	8,3 A	1,2 B
30	7,0 A	0,7 B
40	4,7 A	0,4 B

C.V.=42,83%

Flinear ns *

Fquadrático ns ns

R² - 0,22

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Pode-se observar da tabela 18 a maior habilidade da mucuna-preta em fornecer nitrogênio à fração mineral do solo. Esta leguminosa participou em maior quantidade no N mineral do solo nos diferentes tempos. Nota-se, também, a constância da mucuna-preta, principalmente no solo PV, e a menor contribuição da crotalária juncea no fornecimento de N para a fração mineral dos solos. No solo LR a mineralização das leguminosas adubo verde foi menor indicando, mais uma vez, o provável efeito protetor da matéria orgânica que esse solo apresentou (figura 1).

Estes resultados estão em concordância com os de LADD et al. (1983) que encontraram, para solo pobre em nitrogênio, uma maior mineralização, sendo que 13% do nitrogênio mineral originou-se do resíduo vegetal adicionado, comparado a 5% no solo mais rico em nitrogênio. JANS-HAMMERMEISTER et al. (1993a) observaram taxas de mineralização de N em dois solos após adição de ervilha e verificaram que a maior taxa estava associada à solos com baixo teor de argila. Resultados semelhantes também foram constatados por LADD et al. (1981a) e outros autores citados por BARTHOLOMEW (1965).

Pode-se observar da figura 1 a maior quantidade de N-mineralizado da mucuna-preta, tanto no LR como no PV, e a maior taxa de mineralização ocorrendo no solo PV, para ambas as leguminosas, indicando o efeito protetor do LR na matéria orgânica adicionada.

Observa-se das figuras 2 e 3 a quantidade de N-mineralizado total nos solos LR e PV, respectivamente, e verifica-se a maior quantidade de N-mineral nos tratamentos com mucuna-preta, seguidos por crotalária juncea e controle.

Figura 1. Nitrogênio mineralizado derivado do adubo verde nos solos LR e PV

Figura 2. Nitrogênio mineralizado total para os tratamentos no solo LR

Nota-se das figuras 4 e 5 o comportamento do N-mineralizado dos tratamentos com adubo verde no solo LR, sendo que, a maior mineralização do N-nativo do solo nas parcelas sem crotalária juncea, significa que nas parcelas com essa leguminosa, houve uma menor mineralização do N-nativo do solo, ou seja, observa-se um efeito negativo. Esse efeito pode ser observado, também, para o solo PV, nas figuras 6 e 7. Esse efeito negativo, tem sido observado em experimentos com incorporação ao solo de leguminosas (JANS-HAMMERMEISTER et al., 1993b), evidenciando a maior disponibilidade do N do material adicionado, poupando o material orgânico original do solo.

Figura 3. Nitrogênio mineralizado total para os tratamentos no solo PV

Figura 4. Nitrogênio mineralizado no solo LR para o tratamento com crotalaria juncea

Figura 5. Nitrogênio mineralizado no solo LR para o tratamento com mucuna-preta

Figura 6. Nitrogênio mineralizado no solo PV para o tratamento com crotalária juncea

Figura 7. Nitrogênio mineralizado no solo PV para o tratamento mucuna-preta

4.4. Nitrogênio extraído por plantas de milho

4.4.1. Teor de nitrogênio na parte aérea e raízes do milho

Nas tabelas 20 e 21 constam as médias de teor de nitrogênio na parte aérea e raízes do milho em diferentes tempos, nos solos LR e PV.

Tabela 20. Teores de nitrogênio (g/kg) na parte aérea do milho para os tratamentos e solos em função dos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna preta PA	RA	Sem adubo verde
	-DAE*	-----g/kg-----				
LR	20	39	39	41	41	38
	30	30	30	36	36	35
	40	22	22	33	30	23
	60	13	13	19	17	11
	100	6	7	8	8	6
PV	20	41	41	41	41	39
	30	33	35	38	38	30
	40	26	28	33	29	22
	60	16	17	23	21	11
	100	6	8	10	10	6

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Tabela 21. Teores de nitrogênio nas raízes do milho para os tratamentos e solos em função dos tempos de amostragem

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	-DAE*	-----g/kg-----				
	20	20	20	23	22	20
	30	20	20	23	21	17
LR	40	19	14	17	17	15
	60	8	8	12	12	9
	100	5	6	6	7	6
	20	28	23	28	25	22
	30	22	21	24	30	18
PV	40	14	20	22	24	12
	60	10	8	9	10	6
	100	5	7	8	9	5

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Na tabela 22 verifica-se em todos os tratamentos que houve redução nos teores de nitrogênio da parte aérea das plantas com o tempo, e que o tratamento com mucuna-preta revelou os maiores valores. No início de desenvolvimento do milho (20 DAE), não se observou diferenças significativas entre tratamentos com adubo verde.

Tabela 22. Teores médios de nitrogênio (g/kg) na parte aérea do milho nos diferentes tratamentos, nos tempos de amostragem

Tempo	Crotalária juncea	Mucuna-preta	Sem adubo verde
-DAE*-	-----	g/kg -----	
20	39,9 AB	41,3 A	38,5 B
30	32,2 B	37,0 A	32,4 B
40	24,7 B	31,2 A	22,7 B
60	14,8 B	20,3 A	11,2 B
100	6,8 B	9,3 A	5,8 B

C.V.= 8,66%

Flinear

*

*

*

Fquadrático

*

*

*

R²

0,95

0,96

0,95

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Esses resultados estão de acordo com os de CALVACHE ULLOA (1982), que verificou redução na percentagem de nitrogênio em plantas de milho de 4, para 0,7% dos 15 DAE, aos 150 DAE, respectivamente. Pode-se, também, ressaltar desses resultados que o comportamento do tratamento com crotalária juncea foi semelhante a da testemunha.

Da tabela 23 pode-se notar que o mesmo comportamento de redução no teor de N ocorreu nas raízes do milho. Não foi observada diferença no teor de nitrogênio do milho com o solo (tabela 24).

Tabela 23. Teor médio de nitrogênio total acumulado (g/kg) em raízes do milho em função do tempo

Tempo	Teor de nitrogênio
-DAE* -	----- g/kg -----
20	23,3
30	21,6
40	16,3
60	9,0
100	7,8

C.V.=16,97%

Flinear

*

Fquadrático

*

R²

0,76

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Tabela 24. Teor médio de nitrogênio (g/kg) em função do solo na parte aérea e raízes de milho

Solo	parte aérea	raízes
	----- g/kg -----	-----
LR	24,2 A	14,7 A
PV	25,9 A	16,5 A

C.V.=

8,66%

16,97%

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

4.4.2. Nitrogênio total acumulado na parte aérea e raízes do milho

As médias de nitrogênio total acumulado na parte aérea do milho, para os tratamentos com e sem adubo verde em função do tempo, nos solos LR e PV podem ser observadas na tabela 25.

Tabela 25. Nitrogênio total acumulado na parte aérea do milho dos tratamentos com e sem leguminosas adubo verde, em função do tempo, nos solos LR e PV

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	-DAE*	-----mg/vaso-----				
LR	20	220	208	190	204	206
	30	354	338	368	432	363
	40	380	441	473	519	324
	60	533	513	929	852	400
	100	345	435	596	551	319
		397	B	511	A	322 C
PV	20	148	202	183	171	204
	30	304	364	274	229	316
	40	437	474	339	378	321
	60	505	633	782	712	456
	100	426	486	601	543	326
		398	B	421	A	325 C

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Na tabela 26 constam as média de nitrogênio acumulado nas raízes do milho para os tratamentos em função do tempo, nos solos LR e PV.

Tabela 26. Nitrogênio acumulado nas raízes do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna preta PA	RA	Sem adubo verde
	-DAE*	-----mg/vaso-----				
LR	20	38	48	38	47	50
	30	67	65	88	97	65
	40	81	74	74	75	77
	60	97	92	96	101	104
	100	163	116	153	153	87
		84		92		76
PV	20	39	54	57	43	42
	30	67	70	60	60	67
	40	63	77	74	73	65
	60	75	77	75	94	68
	100	105	95	110	99	70
		72		74		62

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada

*RA - Raízes da leguminosa marcada

*DAE - Dias após emergência do milho

Com relação ao nitrogênio acumulado na parte aérea do milho, (mg/vaso) pode-se observar da tabela 27 que houve resposta quadrática com aumento até 60 DAE e posterior diminuição. Para as raízes o padrão foi linear, ocorrendo acúmulo até os 100 DAE.

Tabela 27. Nitrogênio acumulado (mg/vaso) na parte aérea e raízes do milho em relação ao tempo

Tempo	Milho		Total
	Parte aérea	Raízes	
-DAE*-	----- mg/vaso -----		
20	194	46	239
30	334	71	405
40	409	70	478
60	631	88	719
100	463	115	578
C.V.=	18,70%	27,00%	
Flinear	*	*	
Fquadrático	*	ns	
R ²	0,59	0,47	

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

O nitrogênio acumulado nas plantas de milho relacionado às leguminosas adubo verde pode ser observado na tabela 28. Pode ser destacado que até 30 DAE o crescimento do milho não mostrou diferenças entre tratamentos, devido ao pequeno crescimento das plantas e absorção de nitrogênio, mas a partir dos 40 DAE houve maior acúmulo de N nas plantas dos tratamentos com adubo verde, mostrando que a partir desse estágio, as plantas passaram a absorver mais nitrogênio e esses tratamentos revelaram condições de fornecer-lo. A partir de 60 DAE pode-se destacar que as plantas do tratamento com mucuna-preta acumularam mais nitrogênio que as do tratamento com crotalária, sendo isso devido ao maior teor de nitrogênio da mucuna-preta e à maior quantidade de N mineralizado dessa leguminosa, como verificado anteriormente.

Tabela 28. Nitrogênio acumulado (mg/vaso) na parte aérea do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, em função do tempo

Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta		Sem adubo verde	
-DAE*-	----- mg/vaso -----					
20	194	A	187	A	205	A
30	340	A	326	A	340	A
40	433	A	427	A	322	B
60	546	B	819	A	428	C
100	423	B	573	A	322	C

C.V.=18,70%

Flinear

Fquadrático

R²

*

*

0,81

*

*

0,74

*

*

0,64

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Com relação ao tipo de solo e tratamentos pode-se notar da tabela 29 que para o LR o maior acúmulo de N no milho ocorreu no tratamento com mucuna-preta, seguido da crotalária e finalmente a testemunha. Para o solo PV não se observou diferença entre as leguminosas adubo verde, porém, pode-se notar a superioridade dos tratamentos com adubo verde frente à testemunha.

Tabela 29. Nitrogênio acumulado na parte aérea do milho (mg/vaso) para os diferentes tratamentos em função do tipo de solo

Tratamentos	LR		PV	
	----- mg/vaso -----			
Mucuna-preta	511	A a	421	A b
Crotalária juncea	377	B a	398	A a
Sem adubo verde	322	C a	325	B a

C.V.=18,70%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Verificou-se para a quantidade de nitrogênio acumulado nas raízes do milho, tabela 30 que houve acúmulo de nitrogênio com o tempo. A partir dos 60 DAE pode-se observar que no LR, as raízes acumularam maior quantidade de nitrogênio. Este fato pode ser devido à maior quantidade de nitrogênio total presente nesse solo.

Tabela 30. Quantidade de nitrogênio acumulado nas raízes do milho (mg/vaso) nos solos LR e PV em função do tempo

Tempo	LR		PV	
-DAE*-	mg/vaso			
20	44	A	47	A
30	76	A	65	A
40	76	A	63	A
60	98	A	81	B
100	134	A	92	B

C.V.=27,00%

Flinear

*

*

Fquadrático

ns

ns

R²

0,59

0,42

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

A queda no nitrogênio acumulado na parte aérea do milho, ao final do ciclo, como verificada à tabela 28, também tem sido constatada por outros autores (FLORES, 1986 e VILLAS BÔAS, 1990), assim como em cana-de-açúcar (KEE KWONG & DEVILLE, 1994). Tem sido colocado como explicação que parte do N da parte aérea pode ser redistribuído ao sistema radicular (tabelas 27 e 30), assim como, pode ser perdido à atmosfera por volatilização foliar através da corrente transpiratória em folhas na maturidade ou na senescência. De acordo com FARQUHAR et al. (1979), ocorrem perdas gasosas de NH₃ através das folhas pelo aumento da proteólise durante a senescência.

4.4.3. Percentagem do nitrogênio da parte aérea (%NPADAV) e raízes (%NRADAV) do milho, derivado do adubo verde

Observa-se da tabela 31 as médias para %NPADAV em plantas de milho.

Tabela 31. Percentagem de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde (%NPADAV) (Parte aérea e raízes) em função do tempo nos solos LR e PV nos tratamentos com adubo verde

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
	- DAE*	----- % -----			
LR	20	33,8	2,9	38,0	6,2
	30	33,7	2,6	39,3	6,3
	40	33,3	2,8	39,4	6,3
	60	31,8	2,9	40,1	6,8
	100	32,3	3,0	39,4	6,0
		33,0 B	2,8 b	39,2 A	6,3 a
PV	20	39,9	3,0	48,2	8,0
	30	45,0	3,4	51,7	7,3
	40	42,0	3,4	51,3	7,8
	60	43,2	3,4	51,7	9,7
	100	42,7	3,1	52,1	7,2
		42,6 B	3,3 b	51,0 A	8,0 a

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias seguidas de letras maiúsculas servem para comparações entre PA e quando distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Médias seguidas de letras minúsculas servem para comparações entre RA e quando distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Nota-se da tabela 32 que a percentagem do nitrogênio da planta derivado do adubo verde foi constante durante o decorrer do experimento. Tal fato não é normalmente observado quando se aplica fertilizante mineral ou outra fonte solúvel. O que ocorre com frequência é uma maior percentagem de nitrogênio do fertilizante nas primeiras épocas com redução nos valores nos estádios mais avançados (AMBROSANO, 1989; CALVACHE ULLOA, 1982; KEE KWONG & DEVILLE, 1994).

Tabela 32. Percentagem do nitrogênio na parte aérea do milho derivado da parte aérea e raízes do adubo verde em função do tempo

Tempo	Leguminosas adubo verde		Total
	parte aérea	raízes	
-DAE*-	-----	% -----	-----
20	40,0 A	5,0 B	45,0
30	42,4 A	4,9 B	47,3
40	41,5 A	5,1 B	46,6
60	41,7 A	5,7 B	47,4
100	41,6 A	4,8 B	46,5

C.V.= 6,32%

Flinear ns ns

Fquadrático ns ns

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergênci do milho

Pode-se verificar à tabela 31 que a maior percentagem do nitrogênio derivado do adubo verde, na parte aérea do milho, foi devido tanto à parte aérea como às raízes da mucuna-preta.

O solo PV apresentou maior percentagem de N-adubo verde (tabela 5), e maior percentagem de N-mineral derivado do adubo verde (tabela 15), que refletiu em maior percentagem de N-milho, derivado do adubo verde. Nota-se

pela tabela 33 que a percentagem de nitrogênio da parte aérea do milho derivado da mucuna-preta e crotalária juncea foi maior no solo PV.

Na tabela 34 constataam as médias de percentagem do nitrogênio das raízes do milho derivado da parte aérea e raízes do adubo verde (%NRADAV) em cada solo, nos tempos de amostragem.

Tabela 33. Percentagem do nitrogênio da parte aérea do milho derivado do adubo verde para as duas espécies de leguminosas nos solos LR e PV

Solo	Mucuna-preta	Crotalária juncea
	----- % -----	
PV	59,0 A	45,8 A
LR	45,6 B	35,8 B

C.V.=6,32%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Tabela 34. Percentagem do nitrogênio das raízes do milho derivado da parte aérea e raízes de leguminosas (%NRADAV) nos solos LR e PV, em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
	-DAE*	----- % -----		-----	
LR	20	25,4	2,1	27,6	5,5
	30	28,3	2,3	31,9	5,8
	40	26,9	3,0	24,5	5,3
	60	24,5	3,0	36,5	6,6
	100	25,6	2,0	30,2	5,6
		26,1B	2,5b	30,1A	5,8a
PV	20	30,5	2,6	39,6	6,3
	30	36,1	3,2	41,0	6,0
	40	31,1	2,6	41,1	6,6
	60	34,0	3,2	45,7	7,4
	100	38,1	2,9	47,5	6,8
		34,0B	2,9b	43,0A	6,6a

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias seguidas de letras maiúsculas servem para comparações entre PA e quando distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Médias seguidas de letras minúsculas servem para comparações entre RA e quando distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Os valores de %NRADAV apresentaram comportamento muito semelhante à aqueles da parte aérea sendo que o maior valor médio correspondeu ao solo PV e tratamento mucuna-preta

4.4.4. Quantidade de nitrogênio na parte aérea (QNPADAV) e raízes (QNRADAV) do milho derivado do adubo verde

Nas tabelas 35 e 36 constataam, respectivamente as médias de nitrogênio na parte aérea e raízes do milho derivado do adubo verde nos solos LR e PV, em função do tempo.

Tabela 35. Quantidade de nitrogênio da parte aérea do milho derivado das leguminosas adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) nos solos LR e PV, em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
	-DAE*-	----- mg/vaso -----			
LR	20	74	6	72	13
	30	119	9	145	27
	40	127	13	186	33
	60	170	15	372	58
	100	111	13	235	33
PV	20	61	6	88	14
	30	137	12	143	17
	40	184	16	175	40
	60	219	22	406	67
	100	181	15	314	39

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Tabela 36. Quantidade de nitrogênio das raízes do milho derivado das leguminosas adubo verde (QNRADAV, mg/vaso) nos solos LR e PV em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
	--DAE*	mg/vaso			
LR	20	9,8	1,0	10,4	2,6
	30	18,9	1,5	27,8	5,6
	40	22,0	1,8	15,8	4,0
	60	23,7	2,8	34,9	6,7
	100	40,2	2,6	45,7	8,4
PV	20	12,6	1,4	22,7	2,7
	30	24,3	2,3	25,3	3,7
	40	19,9	2,0	15,3	4,8
	60	25,2	2,5	34,2	7,0
	100	39,8	2,7	52,2	6,8

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Esses resultados podem indicar a translocação do N-parte aérea para o N-raízes. Observa-se que enquanto nas últimas amostragens o valor da QNPADAV diminuiu, o da QNRADAV aumentou.

Pode-se observar na tabela 37 que a maior quantidade de nitrogênio acumulada na parte aérea do milho foi proveniente da parte aérea das leguminosas. Isso foi devido, principalmente, a maior proporção adicionada e quantidade de N da parte aérea em relação às raízes.

Tabela 37. Quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho derivado da parte aérea ou raízes das leguminosas adubo verde (QNPADAV, mg/vaso)

Parte da leguminosa	QNPADAV	
	(mg/vaso)	
Parte aérea	176	A
Raízes	23	B

C.V.=28,70%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

A quantidade de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde foi maior no PV mostrando mais uma vez a importância da adubação verde em solos minerais com baixo teor de matéria orgânica (tabela 38).

Tabela 38. Quantidade de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) nos, solos LR e PV

solo	QNPADAV	
	mg/vaso	
LR	92	B
PV	123	A

C.V.=28,70%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

As quantidades de nitrogênio na parte aérea do milho derivado do adubo verde, para as duas espécies de leguminosas, em função do tempo, podem ser observadas na tabela 39. Pode-se verificar que ocorreu aumento no acúmulo do nitrogênio até os 60 DAE e redução na quantidade de nitrogênio dos 60 aos 100 DAE. Não se observou diferenças entre os tratamentos até os 40 DAE, contudo aos 60 DAE pode-se destacar que a mucuna-preta revelou-se como maior

forneecedora de nitrogênio para o milho. Esses resultados indicam que no tratamento com mucuna-preta ocorreu maior disponibilidade de nitrogênio às plantas de milho devido provavelmente ao maior teor de N do adubo verde, e a sua menor relação C/N, o que proporcionou mineralização mais prolongada do N da matéria orgânica adicionada aos solos.

Tabela 39. Quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho derivado do adubo verde (QNPADAV, mg/vaso) para os tratamentos, em função do tempo

Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta	
-DAE*-	----- mg/vaso -----		-----	
20	74	A	94	A
30	138	A	166	A
40	170	A	212	A
60	212	B	452	A
100	160	B	310	A

C.V.=28,70%

Flinear

ns

*

Fquadrático

*

*

R²

0,10

0,22

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

A redução nas quantidades acumuladas ao final do ciclo seguiu o mesmo padrão verificado com o nitrogênio total e deve-se, muito provavelmente, às perdas por volatilização, de compostos nitrogenados, pelas folhas maduras ou em pré-senescência, que podem ocorrer junto à corrente transpiratória (STUTTE et al., 1979; SILVA & STUTTE, 1981)

O acúmulo de nitrogênio nas raízes do milho, aumentou com o tempo (tabela 40) Esses resultados indicam que, a despeito do fato de também, ocorrerem perdas por descamação, exsudação radicular, assim como de morte de

raízes (ALLISON, 1966), as perdas de N da parte aérea são muito mais expressivas, sendo que parte do N-parte aérea pode estar sendo translocado às raízes, o que refletiu no aumento no acúmulo de N-raízes.

Tabela 40. Quantidade de nitrogênio acumulado das raízes do milho derivado do adubo verde (QNRADAV, mg/vaso) em função do tempo

Tempo	QNRADAV
-DAE*-	--- mg/vaso ---
20	16
30	28
40	26
60	34
100	50

C.V.=43,40%

Flinear *

Fquadrático ns

R² 0,14

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

4.5. Produção de material seco do milho

Das tabelas 41 e 42 pode-se observar, respectivamente, as médias da produção de material seco (MS) da parte aérea e raízes do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV, em função do tempo.

Tabela 41. Produção de material seco (MS) da parte aérea do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV, em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	--DAE*	-----g/vaso-----				
LR	20	5,7	5,3	4,6	5,0	5,4
	30	11,9	11,0	10,3	12,1	10,4
	40	16,9	20,1	14,5	17,4	13,8
	60	40,1	39,7	49,2	49,7	36,1
	100	57,4	63,3	70,3	67,6	54,7
		27,1 B		30,1 A		24,1 C
PV	20	3,6	4,9	4,4	4,1	5,2
	30	9,3	10,4	7,1	6,0	11,3
	40	16,8	16,7	10,3	12,7	14,7
	60	32,6	37,6	33,3	33,2	40,7
	100	64,8	61,8	59,8	53,9	56,2
		25,8 A		22,5 B		25,6 A

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Tabela 42. Produção de material seco (MS) de raízes do milho para os tratamentos com e sem adubo verde, nos solos LR e PV, em função do tempo

Solo	Tempo	Crotaíria juncea		Mucuna preta		Sem adubo verde
		PA*	RA*	PA	RA	
	--DAE*	-----g/vaso-----				
LR	20	1,9	2,4	1,6	2,1	2,5
	30	3,4	3,2	3,7	4,7	3,8
	40	4,2	5,1	4,3	4,6	5,2
	60	12,5	11,7	8,1	8,7	12,3
	100	34,2	20,3	26,9	21,2	13,9
		9,9 A		8,6 B		7,5 C
PV	20	1,3	2,3	2,0	1,7	1,9
	30	3,1	3,7	2,4	2,1	4,4
	40	4,5	3,8	1,8	3,1	5,3
	60	8,0	10,3	8,3	9,6	12,2
	100	19,9	13,1	13,2	12,9	13,7
		7,0 A		5,7 B		7,5 A

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Pela tabela 43 nota-se que houve aumento da massa de material seco da parte aérea do milho até os 100 DAE. Nesse estágio, as plantas se encontravam em início de florescimento. A única diferença significativa observada foi na primeira época (20 DAE), quando a média de produção da testemunha foi maior que aquelas com adubo verde.

Tabela 43. Produção de material seco da parte aérea do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde, em função do tempo

Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta		Sem adubo verde	
-DAE*-	g/vaso					
20	4,9	A	4,5	A	5,3	B
30	10,7	A	8,9	A	10,8	A
40	17,6	A	13,7	A	14,3	A
60	37,5	A	41,3	A	38,4	A
100	61,8	A	62,9	A	55,4	A

C.V.=8,51%

Flinear

*

*

*

Fquadrático

*

*

*

R²

0,97

0,92

0,95

Médias com letras distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Com relação às raízes do milho, houve um aumento da massa de material seco com o decorrer do tempo, e como observado na parte aérea, não se verificou influência dos tratamentos, tabela 44.

Tabela 44. Produção de material seco das raízes do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde em função do tempo

Tempo	Crotalária juncea		Mucuna-preta		Sem adubo verde	
-DAE*-	-----		g/vaso -----			
20	2,0	A	1,9	A	2,2	B
30	3,3	A	3,2	A	4,1	A
40	6,0	A	3,4	A	5,3	A
60	11,3	A	8,7	A	12,2	A
100	19,5	A	18,5	A	13,8	A

C.V.=18,78%

Flinear

*

*

*

Fquadrático

*

*

*

R²

0,86

0,79

0,84

Médias com letras distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

*DAE - Dias após emergência do milho

*significativo ao nível de 5%

Pode-se observar na tabela 45 que para o LR, houve resposta à adubação verde com maior produção com a crotalária seguida da mucuna-preta e finalmente o tratamento sem adubo verde. No PV não houve diferença entre a testemunha, sem adubo verde, e o tratamento que recebeu mucuna-preta. O tratamento com crotalária apresentou rendimento de material seco inferior à da testemunha.

Tabela 45. Produção de material seco da parte aérea do milho (g/vaso) para os diferentes tratamentos em função do solo

Espécie	LR		PV	
	g/vaso			
Mucuna-preta	27,1	a	25,9	a
Crotalária juncea	30,1	a	22,5	b
Sem adubo verde	24,1	a	25,6	a

C.V.= 8,51%

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Para a produção de material seco de raízes, observa-se na tabela 46 que no LR tratamento de maior valor foi o com a mucuna-preta, seguido de crotalária juncea e finalmente a testemunha. No PV não se observou diferenças entre a mucuna e a testemunha e o tratamento crotalária juncea promoveu menor rendimento de material seco de raízes.

Tabela 46. Produção de material seco de raízes do milho (g/vaso) para os tratamentos com e sem adubo verde em função do solo

Espécie	LR		PV	
	----- g/vaso -----			
Crotalária juncea	9,9	A a	7,0	B b
Mucuna-preta	8,6	B a	5,7	A b
Sem adubo verde	7,5	C a	7,5	B a

C.V.=18,78%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

As produções de material seco não apresentaram respostas consistentes com os tratamentos com e sem adubo verde, devido provavelmente ao uso de alta densidade de plantas por vaso, que foi realizado visando-se estudar as taxas de transferência de nitrogênio mineralizado do adubo verde do solo para a planta teste.

4.6. Perda de nitrogênio de leguminosas adubo verde do sistema solo-planta

Na tabela 47 pode-se observar as médias, em percentagem, para as perdas do sistema solo-planta nos solos LR e PV, em função do tempo.

Tabela 47. Perdas de nitrogênio de leguminosas adubo verde do sistema solo-planta nos solos LR e PV, em função do tempo

Solo	Tempo	Crotalária juncea PA*	RA*	Mucuna-preta PA	RA
	--DAE*	------(%)-----			
LR	20	14,1	16,8	19,6	18,5
	30	8,1	7,2	14,2	6,4
	40	11,1	14,0	20,3	3,5
	60	13,3	4,9	39,5	19,0
	100	9,3	11,1	10,0	12,2
		11,2	10,8	20,7	11,9
PV	20	10,6	13,8	23,4	11,7
	30	22,0	15,0	15,7	16,8
	40	15,4	18,0	27,1	28,7
	60	15,3	10,2	4,4	2,4
	100	16,4	12,9	15,8	17,1
		15,9	14,0	17,3	15,3

C.V.=43,63%

*PA - Parte aérea da leguminosa marcada com ^{15}N

*RA - Raízes da leguminosa marcada com ^{15}N

*DAE - Dias após emergência do milho

Apesar de se utilizar um sistema fechado, sem possibilidades de lixiviação, ocorreram perdas na ordem de 15% que podem ser atribuídas aos fenômenos de atividade microbiológicas como a desnitrificação e ou fenômenos físicoquímicos como a volatilização, assim como, biológico, como foram as perdas por volatilização foliar anteriormente mencionadas.

Nota-se da tabela 48 que as espécies se comportaram diferentemente quanto as perdas sendo que o tratamento com mucuna-preta perdeu mais nitrogênio que o com crotalária juncea. Esses resultados podem estar confirmando as diferenças nas relações C/N das leguminosas,

uma vez que foi maior a mineralização da mucuna-preta, com relação mais estreita, ficando o N mais sujeito à perdas.

Tabela 48. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em função dos tratamentos com adubo verde

Espécie	Perdas	
	%	
Mucuna-preta	16,5	A
Crotalária juncea	13,3	B

C.V.=43,63%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Com relação aos solos, de uma maneira geral, o podzólico favoreceu as perdas de nitrogênio, como se pode observar na tabela 49.

Tabela 49. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em relação aos solos LR e PV

Solo	Perdas	
	%	
PV	16,4	A
LR	13,1	B

C.V.=43,63%

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

As maiores perdas encontradas no solo PV podem ser devido a maior mineralização do nitrogênio deixando-o mais sujeito a perdas.

Com relação as épocas de amostragem, pode-se observar da tabela 50 que as perdas de nitrogênio das leguminosas permaneceram praticamente constantes no decorrer do tempo e em média de 15%, indicando mais uma vez que os fenômenos controlados pelos microrganismos do solo como a mineralização e imobilização tendem para um equilíbrio e o nitrogênio fornecido ou perdido dentro de

uma constância natural que não ocorre quando se adiciona ao solo nitrogênio de forma mais solúvel.

Tabela 50. Perdas de nitrogênio (%) do sistema solo-planta em função do tempo

Tempo	Perdas
DAE*	%
20	16,1
30	13,4
40	17,8
60	12,7
100	13,2
C.V.=43,63%	
Flinear	ns
Fquadrático	ns
R ²	-

*DAE - Dias após emergência do milho

4.7. Balanço do nitrogênio de leguminosas adubo verde no sistema solo-planta

Pode-se observar na figura 8 que para o solo LR 80% do nitrogênio adicionado, pelas raízes das leguminosas, permaneceu no solo e menos de 20% foi para a planta do milho, indicando que esse material adicionado, que geralmente apresenta elevada relação C/N, permanece por mais tempo no solo.

No solo PV observa-se que mais nitrogênio adicionado pelos adubos verdes foram para as plantas de milho (acima de 20%), e mais nitrogênio foi perdido do sistema, indicando uma maior mineralização do nitrogênio nesse solo.

As eficiências de utilização do nitrogênio pelas plantas de milho são comparáveis com as obtidas por CALVACHE ULLOA (1982), que obteve 30% no máximo, na maturação do milho, utilizando uréia como fonte de N.

Figura 8. Balanço de nitrogênio para os tratamentos com adubo verde indicando a eficiência de utilização do nitrogênio do adubo verde pelo milho, a recuperação no solo e as perdas do sistema solo-planta

5.CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste trabalho, obtiveram-se as seguintes conclusões: 1. A mucuna-preta participou em maior proporção do nitrogênio do solo e da planta, sendo a parte aérea responsável pela maior quantidade de N presente; 2. O material vegetal das leguminosas adicionado foi mineralizado mais intensamente, preservando o nitrogênio presente no material orgânico original dos solos; 3. A mineralização das leguminosas foi maior no solo podzólico vermelho amarelo (PV); 4. As maiores perdas de nitrogênio foram verificadas para a mucuna-preta no podzólico vermelho amarelo (PV).

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils Adv. Agron., New York, 18:219-258, 1966.
- AMATO, M. & LADD, J.N. Decomposition of ^{14}C -labelled glucose and legume material in a range of soils: Properties influencing the accumulation of organic residues and microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., New York, 24:455-464, 1992.
- AMBROSANO, E.J. Avaliação do crescimento e aproveitamento de fertilizante nitrogenado pelo capim colônia var. Tobiata em diferentes épocas. Piracicaba, 110p. 1989. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/CENA/USP)
- AZAM, F. MALIK, K.A. & SAJJAD M.I. Transformations in soil and availability to plants of ^{15}N applied as inorganic fertilizer and legume residues. Pl. Soil, The Hague 86:3-13, 1985.
- AZAM, F. MALIK, K.A. & SAJJAD M.I. Uptake by wheat plants and turnover within soil fractions of residual N from leguminous plant material and inorganic fertilizer. Pl. Soil, The Hague, 95:97-108, 1986.
- BARTHOLOMEW, W.V. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: Soil Nitrogen (W.V. BARTHOLOMEW AND F.E. CLARK, Eds), p. 287-306. American Society of Agronomy Monograph 10 , Madison, Wisconsin. 1965.

- BREMNER, J.M., 1965. Total nitrogen, In: BLACK, C.A. et alii, eds. Methods of soil analysis, Am. Soc. Agron., Madison, 2:1149-1178.
- BULISANI, E.A. ; BRAGA, N.R. ; ROSTON, A.J. Utilização de leguminosas, como cobertura de solo em sistemas de adubação verde ou rotação de culturas. In: I Encontro Paulista de Plantio Direto. Piracicaba, 1987. p.63-70
- BULISANI, E.A. & BRAGA, N.R. Mucuna-preta, In: Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo. Campinas, (Boletim 200) p.154, 1987.
- BURESH, R.J.; AUSTIN, E.R. & CRASWELL, E.T. Analytical methods in ^{15}N research. Fertilizer Research, The Hague, 3:337-62, 1982
- CALVACHE ULLOA, A.M.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho. Campinas Fundação Cargill, 1982 66p.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In Cultura do Milho: fatores que afetam a produtividade, BULL, T. & CANTARELLA, H., Simpósio sobre fatores que afetam a produtividade do milho e sorgo, Vitória-ES, 1990. Potafos, Piracicaba, 1993, 301p.
- CANTARELLA, H. & ANDRADE, J.C. O sistema internacional de unidades e a ciência do solo. B. Inf. da Soc. bras. Ci. Solo, 17(3):91-102, 1992.
- EDWARDS, A.P., 1973. Isotopic tracer techniques for identification of sources of nitrate pollution. Journal of Environmetal Quality, Madison, Wisconsin, 2:382-387.
- FARQUHAR, G.D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P.M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize. Science, Washington, 203:1.257-1258, 1979.

- FLORES, L.M. Avaliação quantitativa da eficiência de utilização de duas fontes de nitrogênio, $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$ e $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ pela cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1986. 103p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- FRANCO, A. A. & SOUTO, S.M. Contribuição da fixação biológica de N_2 na adubação verde. Adubação Verde no Brasil. Fundação Cargill, Campinas, 1984. p.199-215.
- FREITAS, J.A.D. ; COELHO, M.A. ; FERREYRA, H.F.F. Efeitos de corretivos químicos e materiais orgânicos no movimento da água e estrutura do solo salino-sódico. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 1984 8: 261-4.
- FRIED, M. ; SOPER, R.J. ; BROESHART, H. ^{15}N labelled single-treatment fertility experiments. Agric. J., Madison, Wisconsin, 1975 67: 393-6.
- GALLO, P.B.; SAWAZAKI, E.; HIROCE, R. & MASCARENHAS, H.A.A. Produção de milho afetada pelo nitrogênio mineral e cultivos anteriores com soja. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 1983, 7:149-152.
- GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. & QUAGGIO, J.A. Interação calagem-adubação nitrogenada na produção de sorgo sob deficiência hídrica em rotação com soja. Bragantia, Campinas, 1986, 45 (2):231-238.
- IAEA, Tracer Manual on Crops and Soils. Viena. p.277. (Technical Reports Series, 171), 1976
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo. Adubação Verde no Brasil. Fundação Cargill, Campinas, 1984. p 232-67.
- JANS-HAMMERMEISTER, D.C.; MCGILL, W.B. & JENSEN, T.L. Nitrogen accumulations and relative rates of mineralization in two soils following legume green manuring, Can. J. Soil Sci., Alberta, 74:23-28. 1993a.

- JANS-HAMMERMEISTER, D.C.; MCGILL, W.B. & JENSEN, T.L. Dynamics of ^{15}N in two soil-plant systems following incorporation of 10% bloom and full bloom field pea, Can. J. Soil Sci., Alberta, 74:99-107. 1993b.
- KEE KWONG, K.F. Ng & DEVILLE, J. Application of ^{15}N -labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. Fertilizer Research, Netherlands. 39:223-228, 1994
- KANTHACK, R.A.D.; MASCARENHAS, H.A.A.; CASTRO, O.M. de & TANAKA, R.T. Nitrogênio aplicado em cobertura no milho após tremoço. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 1991, 26 (1):99-104.
- KOHL, D.H. ; SHEARER, G.B. ; COMMONER, B. Fertilizer nitrogen contribution to nitrate in surface water, in a cornbelt watershed. Science, Washington, 1971, 174: 1331-4.
- LADD, J.N.; OADES, J.M. & AMATO, M. Microbial biomass formed from ^{14}C , ^{15}N -labelled plant material decomposing in soils in the field. Soil Biol. Biochem., New York, 13:119-126, 1981a
- LADD, J.N.; OADES, J.M. & AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. Soil Biol. Biochem., New York, 13:251-256, 1981b
- LADD, J.N.; AMATO, M.; JACKSON, R.B. & BUTLER, J.H.A. Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. Soil Biol. Biochem., New York, 15(3):231-238, 1983
- MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. de; BULISANI, E.A.; POMMER, C.V.; SAWAZAKI, E. GALLO, E. & PEREIRA, J.C.V.N.A. Efeito do nitrogênio residual de soja na produção de milho. Instituto agrônomo, 1986, 24p. (Boletim Técnico 58 2ª edição)

- MASCARENHAS, H.A.A; TANAKA, R.T.; COSTA, A.A.; ROSA, F.V.& COSTA, V.F. Efeito residual das leguminosas sobre o rendimento físico e econômico da cana-planta, Campinas, 1994. 15p.(Boletim Científico IAC 32).
- MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Efeitos da incorporação de resíduos de mucuna preta, *Crotalaria juncea* L. e feijão baiano. I. Influência sobre a produção de arroz. Revista de Agricultura, Piracicaba, 1960 35(1): 33-40.
- MIYASAKA, S; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; NERY, C.; CAMPANA, M.P.; SORDI, G. de. Efeitos 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, 1966.
- MIYASAKA, S. Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis. Adubação Verde no Brasil. Fundação Cargill, Campinas, 1984 p. 64-123.
- MONTOJOS, J.C. & GARGANTINI, H. Fixação do nitrogênio do ar pelas bactérias que vivem em simbiose com as raízes das leguminosas. Bragantia, Campinas, 22:731-739, 1963.
- MOORE, A.W. Availability to Rhodesgrass (*Cloris gayana*) of nitrogen in tops and roots added to soil. Soil Biol. Biochem., New York, 6:249-255, 1974.
- MULLER, M.M.; SUNDMAN, V. The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. Pl. Soil, The Hague 105:133-139, 1988.
- MURAOKA, T. Utilização de técnicas nucleares nos estudos da adubação verde. In: ENCONTRO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, Rio de Janeiro, 1983. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p330.

- NORMAN, A.G. & WERKMAN, C.H. The use of the nitrogen isotope ^{15}N in determining nitrogen recovery from plant material decomposing in soil. Jornal of the American Society of Agronomy. 35:1023-1025, 1943.
- PEREIRA, J.C.V.N.A.; MASCARENHAS, H.A.A; MARTINS, A.L.M.; BRAGA, N.R.; SAWAZAKI, E. & GALLO, P.B. Efeito da adubação nitrogenada em cobertura no cultivo contínuo do milho e do algodão e em rotação com soja. Revista de Agricultura, Piracicaba, 63: 95-108, 1988.
- PROKSCH, G. Routine analysis of ^{15}N in plant material by mass-spectrometry. Pl. Soil. The Hague, 31(2):380-384. 1969.
- RITTENBERG, D. The preparation of gas sample for mass-spectrometric analysis. In WILSON, D.W., ed. Preparation and Measure of Isotopic Tracers. Michigan, Ann Arbor. p.31, 1946.
- SALGADO, A.L.B.; BULISANI, E.A.; BRAGA, N.R. & MIRANDA, M.A.C. de. Crotalaria Júncea, In: Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo, Campinas, (Boletim, 200), p.81-82, 1987.
- SILVA, P.R.F., STUTTE, C.A. Nitrogen loss in conjunction with transpiration from rice leaves as influenced by growth stage, leaf position and N supply. Agron. J., Madison, 71(1):95-97, 1981.
- SILVA, R. Potencial da mucuna preta como adubo verde para o arroz-de-sequeiro em latossolo amarelo da amazônia. Piracicaba, 1991. 136p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- SINGH, Y. ; KHIND, C.S. ; SINGH, B. Efficient management of leguminous green manures in wetland rice. Adv. Agron., New york, 1991 45: 137-87.

- SMITH, J.H. ; LEEG, J.O. ; CARTER, J.N. Equipment on ^{15}N analysis of soil and plant material with the mass spectrometer. Soil Sci., New Brunswick, 1963 96: 313-8.
- STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen, In: Nitrogen in Agricultural Soils, Madison, Agronomy Monograph 22, p67-122. 1982.
- STUTTE, C.A., WEILAND, R.T.; BLEM, A.R. Gaseous nitrogen loss from soybean foliage. Agron. J., Madison, 73(1):38-42, 1981.
- TA, T.C. & FARIS, M.A. Availability of N from ^{15}N labelled alfafa residues to three succeeding barley crops under field conditions. Soil Biol. Biochem., New York 22:835-838, 1990.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DIAS, O.S.; CAMPIDELLI, C. & BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 27(11):1477-1483, 1992.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim técnico, 2)
- VILLAS BÔAS, R.L. Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L). Piracicaba, 1990 78p. (Mestrado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP)