

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Adubação nitrogenada com uréia e adubos verdes na cultura do arroz
e efeito residual no feijoeiro**

Freddy Sinencio Contreras Espinal

**Tese apresentada para obtenção do título
de Doutor em Agronomia. Área de
concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba
2008**

Freddy Sinencio Contreras Espinal
Engenheiro Agrônomo

**Adubação nitrogenada com uréia e adubos verdes na cultura do arroz
e efeito residual no feijoeiro**

Orientador:
Prof. Dr. **TAKASHI MURAOKA**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas**

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Contreras Espinal, Freddy Sinencio

Adubação nitrogenada com uréia e adubos verdes na cultura do arroz e efeito residual no feijoeiro / Freddy Sinencio Contreras Espinal. - - Piracicaba, 2008.
96 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Adubo verde 3. Arroz 4. Crotalaria 5. Feijão 6. Fertilizantes nitrogenados 7. Isótopos 8. Uréia I. Título

CDD 633.18
C764a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus, pela existência da humanidade e principalmente de nosso planeta terra
À minha razão de viver Annelle e Thais.
À minha esposa Altagracia,
pelo amor, paciência, compreensão e incentivo.

Aos meus pais, Ramona Espinal e Ramon Contreras,
exemplos de dignidade e honestidade.

Aos meus irmãos, Carmen Estela Ramos e Ramon M. de Js Contreras Espinal,
pela sua coragem de lutar por ideais e princípios.

OFEREÇO e DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor e compreensão em todo momento nesta fase da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Takashi Muraoka por sua amizade, apoio, paciência e valiosos ensinamentos. Sempre com esse bom humor característico dele.

Ao Dr. Edson Cabral da Silva, sem sua ajuda seria muito difícil chegar ao final. Amigo tem coisas que nunca na vida se terminam de pagar e não tem dinheiro que substitua sua colaboração e todo o esforço que você deu para mim e para minha família durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de realização do curso.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), por permitir o uso das instalações do Laboratório de Fertilidade do Solo para realização deste trabalho.

Ao Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), pela liberação no serviço para o curso de Doutorado.

Aos professores da ESALQ/USP Dr. Antonio Roque Dechen, Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Dr. Jairo Antonio Mazza, Dr. Jorge de Castro Kiehl, Dr. Luis Ignacio Prochnow, Dr. Durval Dourado Neto, aos professores do CENA/USP Dr. Takashi Muraoka, Dra. Marisa Piccolo e Dr. Paulo César Oseche Trivelin pelos ensinamentos científicos.

Ministério das Relações Exteriores (MRE), Divisão de Temas Educacionais (DCE), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão e administração da bolsa convenio PEC-PG de doutorado.

Às funcionárias do Laboratório de Fertilidade do Solo do CENA/USP Marileusa A. Bassi e Sandra Tereza Pereira pela amizade e auxílio na realização das análises laboratoriais.

Aos funcionários do CENA/USP Fernanda Meucci, João Salvador e Henriqueta pela amizade e colaboração.

À anterior secretária da Pós-Graduação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Nancy C. Amaral.

Aos colegas de sala de pós-graduando de fertilidade de solo, eu são os amigos mais perto do coração; Hector, Alinne, Cabral, Tatiana, Felipe, Zaqueu, Denis, Fernanda, Vinício e Anderson pela amizade, companheirismo e colaboração.

Aos meus caros amigos; Alenay, Raul, Adna, Eloise, Gean, Lilian, Lucia, Juliana, Adriana, Fredy, Pastora, Alba, Rodrigo, Cesar, vocês me proporcionaram alegria durante tudo o curso.

Em especial aos amigos Fernanda, Isabelle e Carlos pela distinta amizade e auxílio no desenvolvimento da tese.

Vinicius Franzini, tem amigo que sabem ser amigo, quando um precisa deles, sem pedir nada em troca.

Cesar Moquete, Cristina Benitez e Juliana Nova pessoas que admiro muito profissionalmente e por sua coragem para enfrentar os obstáculos que estão no

caminho, sempre escute um incentivo para continuar estudando e principalmente aumentar o conhecimento na área de solo e fertilidade.

Em especial as minhas sobrinhas Jennifer e Karla, sempre estiveram dentro de mim, ainda estando longe.

Aos colegas de IDIAF, “O degrau de uma escada não serve simplesmente para que alguém permaneça em cima dele, destina-se a sustentar o pé de um homem pelo tempo suficiente para que ele coloque o outro um pouco mais alto.” Thomas Huxley

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 DESENVOLVIMENTO	14
2.1 Revisão bibliográfica	14
2.1.1 Nitrogênio	14
2.1.1.1 Mineralização e imobilização do nitrogênio	15
2.1.2 Cerrado do Brasil	16
2.1.3 Adubos verdes	16
2.1.3.1 Espécies utilizadas	16
2.1.3.2 Importâncias dos adubos verdes em sistemas de cultivos	18
2.1.3.3 Recuperação de nitrogênio com adubos verdes	20
2.1.4 Método de diluição do isótopo ¹⁵ N.....	21
2.1.5 Cultura de arroz.....	22
2.1.5.1 Importância social e econômica do arroz	22
2.1.5.2 Sistema de cultura de arroz.....	23
2.1.5.3 Fertilização com nitrogênio em arroz.....	23
2.1.5.4 Medição indireta das quantidades de clorofilas nas folhas.....	25
2.1.6 Cultura de feijão	26
2.1.6.1 Importância da cultura do feijão	26
2.1.6.2 Fertilização nitrogenada do feijão.....	26
2.2 Material e métodos	28
2.2.1 Localização do experimento.....	28
2.2.2 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental.....	29
2.2.3 Dados climáticos	30
2.2.4 Marcação isotópica dos adubos verdes	31

2.2.5 Cultivo de arroz	32
2.2.5.1 Cultivar de arroz	32
2.2.5.2 Quantidades de adubos verdes.....	32
2.2.5.3 Semeadura e fertilização.....	33
2.2.5.4 Colheita	33
2.2.6 Cultivo de feijão.....	34
2.2.6.1 Cultivar de feijão.....	34
2.2.6.2 Semeadura e fertilização.....	34
2.2.6.3 Colheita do feijão.....	35
2.2.7 Avaliações	35
2.2.7.1 Análises químicas do solo	35
2.2.7.2 Relação carbono nitrogênio (C/N) dos adubos verdes	35
2.2.7.3 Altura de planta	35
2.2.7.4 Números de perfilhos	36
2.2.7.5 Valores indiretos do teor de clorofila	36
2.2.7.6 Produtividade de grãos.....	36
2.2.7.7 Teor de N total, enriquecimento em % de átomos de ¹⁵ N na planta.....	37
2.2.7.8 Quantificação do aproveitamento do N pelas plantas de arroz e de feijão proveniente dos adubos verdes, da uréia e do solo	37
2.2.8 Análise estatística dos dados	39
2.3 Resultados e discussão.....	40
2.3.1 Produção de adubos verdes marcado com ¹⁵ N.....	40
2.3.2 Características agronômicas	41
2.3.2.1 Valores de perfilhamento inicial e do SPAD (medidor de clorofila)	41
2.3.2.2 Altura da planta de arroz	45
2.3.2.3 Produtividade de palha de arroz.....	47
2.3.2.4 Produtividade de grãos.....	48
2.3.3 Adubos verdes marcado com ¹⁵ N.....	51
2.3.3.1 Teor de nitrogênio na planta.....	51

2.3.3.2 Acúmulo de nitrogênio, porcentagem e quantidade de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento do N pelo arroz	54
2.3.3.3 Absorção de N das raízes e parte aérea dos adubos verdes.....	60
2.3.4 Adubação mineral com nitrogênio	63
2.3.4.1 Teor de nitrogênio total na planta de arroz.....	63
2.3.4.2 Acúmulo de N, quantidade, porcentagem e aproveitamento de N proveniente do fertilizante pela planta de arroz	64
2.3.4.3 Parcelamento do nitrogênio mineral e aplicação dos adubos verdes.....	70
2.3.5 Quantidade e porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do solo	72
2.3.6 Efeito residual do N mineral e orgânico na planta de feijão.....	74
2.3.6.1 Produção de massa seca de parte aérea e de grãos	74
2.3.6.2 Acúmulo de nitrogênio na planta de feijão.....	75
2.3.6.3 Quantidade e aproveitamento de N residual do fertilizante mineral e adubo verde pelo feijoeiro	76
3 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS.....	82

RESUMO

Adubação nitrogenada com uréia e adubos verdes na cultura do arroz e efeito residual no feijoeiro

A associação de adubos verdes a fontes minerais de N para as culturas está tornando-se uma opção promissora de manejo da fertilização nitrogenada, com o objetivo de recuperar a fertilidade de solo, aumentar a matéria orgânica do solo, reduzir as perdas de N mineral de fontes prontamente disponíveis, e no caso das leguminosas incorporarem nitrogênio ao solo proveniente da fixação biológica. Os objetivos deste trabalho foram: (1) avaliar o aproveitamento do nitrogênio da crotalária, do milho e da uréia pelo arroz e o efeito residual no feijoeiro cultivado em sucessão, (2) avaliar a contribuição do N das raízes e da parte aérea desses adubos verdes para o arroz e o feijoeiro, e (3) quantificar o N na planta proveniente dos adubos verdes em relação à época de aplicação da uréia (semeadura e cobertura). Foram desenvolvidos experimentos com Latossolo Vermelho distroférico típico em casa de vegetação no CENA/USP em três fases: (a) marcação isotópica dos adubos verdes com ^{15}N realizada com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ enriquecido em 10 e 5% de átomos de ^{15}N para a crotalária e milho, respectivamente, (b) cultivo de arroz em vasos de 4 kg de TFSA com delineamento experimental inteiramente casualizado com 12 tratamentos e três repetições, dispostos em esquema fatorial 3 x 4, correspondendo a combinação de crotalária, milho e sem adição fonte orgânica de N com quatro doses de ^{15}N -uréia (0; 28,6; 57,2; 85,8 mg kg⁻¹ de N), e (c) cultivo de feijão nos mesmos vasos após o cultivo de arroz. A produtividade de grãos de arroz foi influenciada positivamente pela utilização de crotalária quando comparada ao milho e ao tratamento sem adubo verde, com maior efeito a medida que se aumentou a dose de N mineral. O aproveitamento do N da crotalária (18,9%) foi mais de duas vezes superior ao do milho (7,8%). As doses de uréia, nos tratamentos com ou sem uso adubo verde, não influenciaram o aproveitamento de N do fertilizante pela planta de arroz (palha+grão), sendo a média geral de aproveitamento de N-uréia de 53,76%. O aproveitamento do N das raízes dos adubos verdes foi de 14,1%, enquanto da parte aérea foi de 16,8%. Com o uso de crotalária, observou-se maior aproveitamento de N-uréia aplicado na semeadura (61,7%) em relação à cobertura (47,1%), mas esse efeito não foi observado para o milho e sem adição de adubo verde. O aproveitamento do N residual dos adubos verdes pelo feijão foi de 3,56% para o N da crotalária e de 3,43% para o N de milho, e superior ao do N do fertilizante (2,63%).

Palavras-chave: Fertilização; Nitrogênio ; ^{15}N ; Isótopo ; Eficiência; Aproveitamento de N; Diluição isotópica; Mineralização; Imobilização

ABSTRACT

Nitrogen fertilization with urea and green manures in rice crops and its residual effect in bean crop

The association of green manures and mineral N sources is becoming a promising option for nitrogen fertilizer management, with the objective of recovering the soil fertility, increase of soil organic matter, reduce the loss of mineral N from the readily available sources, and in the case of legume incorporate biologically fixed N to the soil. The objectives of this research were to: (1) evaluate the utilization of N by the rice crop from crotalaria (sunhemp), millet and urea and its residual effect on bean crop (*Phaseolus vulgaris L.*) grown in succession; (2) evaluate the contribution of N from the roots and above ground part of these green manures to rice and bean crops, and (3) quantity the N in the plant derived from the green manures in relation to the urea application time (at seeding and topdressing). Experiments were carried out with typic dystrophic Red Latosol (oxisol) in green house at CENA/ USP, in three phases: (a) green manures labeling with ^{15}N , using $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ enriched with 10 and 5% ^{15}N , for crotalaria and millet, respectively; (b) rice growth in pots containing 4 kg of air dried soil, in completely randomized design with 12 treatments and three replicates, arranged in a 3 x 4 factorial scheme, corresponding to combination of crotalaria, millet and without addition of organic N, with four rates of urea- ^{15}N (0; 28.6; 57.2; 85.8 mg N Kg $^{-1}$), and (c) bean plant growth after rice cultivations. The rice grain productivity was affected positively by the crotalaria when compared to millet and treatment without green manure, with greater effect with increasing mineral N rate. The crotalaria N utilization (18.9%) by the rice plants was more than two times higher than from the millet (7.8%). The urea rates, in the treatments with or without green manure, did not affect the utilization by the rice plants (grains + husk) of N from the fertilizer (53.76% in average). The utilization of green manure roots N by the rice plants was 14.1%, while of above ground parts was 16.8%. With crotalaria, higher utilization of N occurred from urea applied at seeding (61.7%) compared to the top dressed application (47.1%), but this effect was not observed for millet and without addition of green manure. The utilization of green manures residual N by the bean crop was only 3.56% from crotalaria and 3.43% from millet, which were higher than from fertilizer N (2.63%).

keywords: Fertilization; Nitrogen; ^{15}N ; Isotope; Efficiency; N utilization; Isotopic dilution; Mineralization; Immobilization

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) demonstrou recentemente grande preocupação com os estoques e com a alta no preço dos alimentos no mundo, o que pode agravar o problema da fome no mundo, principalmente para a população que se encontra próxima à linha da pobreza (FAO, 2008). O arroz é considerado pela FAO como o alimento mais importante para a segurança alimentar do mundo, já que mais da metade da população mundial depende deste cereal para atender suas necessidades diárias de energia alimentar.

A nível mundial, a cultura de arroz ocupa o segundo lugar depois do trigo em superfície colhida, embora se considerar sua importância como cultivo alimentício, este proporciona mais calorias por hectare que qualquer outro cereal.

O Brasil é o maior produtor mundial de arroz de terras altas (sequeiro) e o nono produtor mundial deste cereal, considerando os dois sistemas de cultivo: irrigado e de terras altas, com produção de cerca de 11,7 milhões de toneladas de grãos com casca, para um consumo da mesma ordem (CONAB, 2008). A maioria das lavouras de arroz de terras altas e grande parte das lavouras de feijão estão localizadas na região dos Cerrados, cujos solos possuem baixa fertilidade (EMBRAPA, 2006; FAGERIA, 1998).

O cultivo de arroz de terras altas na região do Cerrado ocorre predominantemente sobre Latossolos (Oxisols), os quais possuem baixa fertilidade e com conteúdo de matéria orgânica (MOS) na faixa de 15 a 25 g kg⁻¹. Nos solos de cerrado, um dos aspectos mais importantes para a produção das culturas é o manejo da fertilidade, particularmente do nitrogênio. Fertilizantes nitrogenados, entretanto, podem poluir o meio ambiente, se não forem utilizados na dose adequada e aplicados de modo correto. O uso eficiente de N é significativo no aumento da produção de culturas anuais, como o arroz. (FAGERIA; PRABHU, 2004).

Estudos demonstraram que a eficiência de utilização de nitrogênio dos cereais é de 33% no mundo, e um aumento de 1% desta eficiência na produção mundial de cereais, levaria a uma economia de US \$ 234,658,462.00 no custos do fertilizante nitrogenado. Conseqüentemente, um aumento de 20% na eficiência de utilização de

nitrogênio resultaria em uma economia de US \$ 4,7 bilhões por ano (RAUN; JOHNSON, 1999). Em razão disto, postula-se que a combinação de fontes orgânicas de nitrogênio, na forma de resíduos de adubos verdes, com fontes minerais, seja uma alternativa de manejo viável, por reunir efeitos imediatos e de longo prazo.

Os adubos verdes mais prontamente disponíveis constituem uma fonte valiosa de N e de matéria orgânica (BURESH; DE DATTA, 1991; LADHA et al., 2000; MORAN et al., 2005). O nitrogênio é o nutriente mineral que repercute de forma mais direta sobre a produção de arroz (PETERS; CALVERT, 1982), pois aumenta a porcentagem de espiguetas cheias, incrementa a superfície foliar e contribui para o aumento da qualidade do grão.

Nesse contexto, estabeleceu-se a hipótese de que o uso de adubos verdes como fonte de N conjuntamente com o N-uréia aumenta a eficiência de utilização do N dessas fontes pelo arroz e prolonga a permanência do N no solo, proporcionando efeito residual no feijoeiro cultivado subsequentemente ao arroz.

O presente trabalho, utilizando-se crotalária, milho e uréia marcados com ^{15}N , tem como principais objetivos: avaliar o aproveitamento do nitrogênio mineralizado dos adubos verdes crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e milho (*Pennisetum glaucum* L.) e do N da uréia, pelo arroz e o efeito residual no feijoeiro; verificar a quantidade de N proveniente do solo nas culturas do arroz e feijão; avaliar a contribuição em N das raízes e da parte aérea dos adubos verdes (crotalária e milho) para o arroz; quantificar o nitrogênio na planta proveniente dos adubos verdes em relação à época de aplicação de nitrogênio mineral (semeadura e cobertura) e avaliar a influência dos adubos verdes no aproveitamento do N da uréia, e vice-versa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Nitrogênio

O aumento exponencial da aplicação de fertilizantes contendo nitrogênio (N) (SMIL, 1997, 1999), entre 1960 e 2000 por práticas agrícolas intensivas tem acarretado degradação da qualidade do ar e da água (PINSTRUP-ANDERSON et al., 1997; TILMAN et al., 2001).

O movimento de nitrogênio abaixo do sistema radicular e para as águas subterrâneas podem causar problemas a saúde humana e animal (SPALDING; KITCHEN, 1988).

A atmosfera contém aproximadamente 78% de nitrogênio, que não pode ser utilizado diretamente pela plantas superiores, as quais não são capazes de metabolizar o N₂ diretamente a proteína (HAVLIN et al., 2005). Entretanto, as leguminosas podem utilizar este nitrogênio por meio da fixação simbiótica dos microrganismos e a planta (BARBER, 1995; HAVLIN et al., 2005; RAIJ, 1991; MENGEL; KIRKBY, 1987).

Segundo Barber (1995), o nitrogênio no solo divide-se em cinco categorias: (1) nitrogênio na matéria orgânica; (2) nitrogênio mineral no solo e nos sítios de troca; (3) nitrogênio nos resíduos de plantas no solo; (4) amônio fixado em minerais argilosos; e (5) nitrogênio gasoso na atmosfera do solo.

Apesar do N ser um dos elementos mais abundantes na Terra, é o nutriente que mais limita o crescimento da maioria das plantas, devido à sua indisponibilidade (SMIL, 1999; SOCOLOW, 1999; GRAHAM; VANCE, 2000). Segundo Vance (2001) apenas a luz solar e água são mais importantes que o nitrogênio. Este autor também relata que a produção de alimentos de alta qualidade e rico em proteínas é extremamente dependente da disponibilidade suficiente de N. As plantas adquirem nitrogênio de duas fontes principais: (a) do solo, através de fertilizantes comerciais, adubos verdes, e / ou mineralização da matéria orgânica, e (b) da atmosfera através da fixação simbiótica de N₂. O nitrogênio (N) é essencial para o crescimento normal das plantas. Todos os

processos biológicos vitais estão relacionados com a existência de plasma funcional, do qual N é um componente básico (proteínas, ácidos nucleicos). O nitrogênio é também um componente fundamental de muitos outros compostos de primordial importância para a unidade fisiológica do metabolismo, tais como a clorofila, nucleotídeos, proteínas, poliaminas, alcalóides, enzimas, hormônios e vitaminas (EPSTEIN; BLOOM, 2005; HAVLIN et al., 2005; MENGEL; KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1995; FURLANI, 2004).

Aproximadamente 75% do nitrogênio das folhas estão associados com os cloroplastos que são fisiologicamente importantes na produção de matéria seca através da fotossíntese (DALLING, 1985).

2.1.1.1 Mineralização e imobilização do nitrogênio

A mineralização de nitrogênio é a transformação de N orgânico para a forma mineral (NH_4^+) (HAVLIN et al., 2005; JANSSON; PERSSON, 1982) através de duas reações; a) Aminização, que é a decomposição hidrolítica de proteínas e liberação de aminas e aminoácidos. Em meio neutro as bactérias são dominantes na quebra de proteínas e com envolvimento de alguns fungos e actinomicetos, sob condições ácidas os fungos prevalecem e b) Amonificação, representada pelo processo que retorna o nitrogênio incorporado para a forma de amônia. Uma população muito diversificada de bactérias, fungos e actinomicetos são capazes de liberar amônio (aeróbicos e anaeróbicos). A mineralização deve-se à ação de microrganismos quimiorganotróficos do solo que requerem carbono como fonte de energia.

De acordo com Barbel (1995) aproximadamente 2% do nitrogênio no solo é mineralizado a cada ano. Presumindo uma camada de solo de 20 cm de espessura e densidade de 1,3, isto representa de 10 a 200 kg N anual liberado do solo. Como a maioria dos solos apresentam um total de N na faixa de 0,05 a 0,1% N, assim eles liberam de 25 a 50 kg ha^{-1} N por ano. Normalmente, o teor de N total da camada de 0 a 0,20 m dos solos brasileiros cultivados varia de 0,05 a 0,5% de N, o que equivale de 1.000 a 10.000 kg ha^{-1} (MALAVOLTA, 1980). Isto representa disponibilidade de 20 a 200 kg ha^{-1} de N.

A imobilização de N é a conversão de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) oriundo dos fertilizantes minerais ou orgânicos (reimobilização) para a forma orgânica. A imobilização é basicamente o contrário da mineralização. Entretanto, esse processo além de ser promovido por microrganismos quimiorganotróficos, é realizado também pelas plantas através da assimilação e incorporação em seus tecidos.

Se a matéria orgânica apresenta alta relação C/N, os microorganismos imobilizarão NH_4^+ e NO_3^- da solução de solo. Os microrganismos competem efetivamente com as plantas por N mineral durante o processo de imobilização, e as plantas podem se tornar deficientes em nitrogênio (BARBEL, 1995).

2.1.2 Cerrado do Brasil

O Cerrado localiza-se principalmente no Planalto Central Brasileiro e é um ecossistema similar às Savanas da África e da Austrália. Os solos de Cerrado do Brasil representam o maior potencial para expansão da fronteira agrícola, porém são ácidos, limitando a produção agrícola e para sua incorporação ao processo produtivo, é imprescindível o uso adequado de adubação e calagem. O manejo adequado da adubação não somente aumenta a produtividade, mas também propicia maior retorno econômico para os produtores (EMBRAPA 2006; FAGERIA, 2001).

A mineralização da matéria orgânica no Cerrado, como nas demais regiões tropicais, é bastante rápida, por causa da elevada temperatura e alta umidade do solo durante parte do ano (SANCHEZ; LOGAN, 1992).

2.1.3 Adubos verdes

2.1.3.1 Espécies utilizadas

A maioria das espécies vegetais utilizadas como condicionadora de solo em condições de Cerrado tem como principal objetivo promover a diversidade biológica dos agroecossistemas, aumentar a fitomassa vegetal dos sistemas de produção, incrementar a quantidade e melhorar a qualidade da matéria orgânica do solo, além de serem mais eficiente na reciclagem dos nutrientes, como também proporcionam cobertura ao solo na entressafra, protegendo dos principais agentes de degradação

(BURLE et al., 2006).

No Cerrado existem diversas leguminosas utilizadas como adubos verdes, entre as quais se podem citar o guandu (*Cajanus cajan*), crotalárias (*Crotolaria juncea*, *Crotolaria ochroleuca*, *Crotolaria paulina* e *Crotolaria spectabilis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e o feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) (PEREIRA et al., 1992).

A *Sesbania* é outra leguminosa comumente usada na Ásia e África como adubos verdes na cultura de arroz para adicionar nitrogênio orgânico ao solo. As espécies mais comuns de *Sesbania* na Ásia são *Sesbania cannabina* que promove a fixação de nitrogênio nos nódulos em suas raízes e a *Sesbania rostrata* que promove fixação de nitrogênio nos nódulos das raízes e talos e comumente encontrado na África (LADHA; BELL, 2004).

A crotalária *juncea* foi introduzida no Brasil inicialmente para produção de fibras e foi difundida como planta condicionadora de solo. Esta espécie é utilizada no Cerrado e apresenta elevado potencial para cobertura de solo (BURLE et al., 2006). A crotalária *juncea* e o milho apresentam um ciclo de floração na faixa de 57 a 90 dias, sendo estas culturas com o menor ciclo introduzidas no Cerrado (CARVALHO et al., 1999a; PEREIRA et al., 1992; SALTON; KICHEL, 1998).

A crotalária é uma planta originária da Índia e Ásia tropical com ampla adaptação às regiões tropicais, subarborescente, podendo atingir até 3 m de altura, pubescente, caule ereto, semilenhoso, crescimento determinado (BURLE et al., 2006). Apresenta bom desenvolvimento em solos argilosos e franco arenosos arejados, não tolerando encharcamento (PEREIRA et al., 1992). A crotalária *juncea* apresenta elevada capacidade para fixar N, 150 a 165 kg ha⁻¹ de nitrogênio (CALEGARI, 1995), além de ser eficiente na absorção e no acúmulo de nutrientes, sobretudo Mg. Em solo de Cerrado, a absorção de nutrientes, varia em função da época de semeadura. Essa leguminosa absorveu 259 kg ha⁻¹ de N, quando semeada em janeiro, reduzindo para 113 kg ha⁻¹ de N no plantio de março (BURLE et al., 2006). Já Carvalho et al. (1999b) reportaram uma absorção de 443 kg ha⁻¹ de N, na estação chuvosa, além de outros nutrientes contidos na fitomassa dessa leguminosa.

A crotalária é relativamente tolerante à seca, em solos sem a presença de camadas compactadas, e eficiente na absorção de nutrientes, principalmente N, K e Mg (ALVARENGA et al., 1995; BURLE et al., 2006; CALEGARI, 1995).

O milheto é uma planta anual, da família das gramíneas de clima tropical, originária da África, apresenta hábito ereto, podendo atingir até 5 m de altura. Apresenta condições de se desenvolver e produzir grãos em condições extremamente secas e solos de baixa fertilidade, respondendo muito bem à adubação. O sistema radicular é profundo (pode atingir até 3,60 m) e abundante, o que permite tolerar deficiência hídrica. No Cerrado, a partir de 1990 passou a ser cultivado mais intensamente o milheto na safrinha (BURLE et al., 2006). Apresenta teor médio de 12,8 g kg⁻¹ de nitrogênio e 0,9 g kg⁻¹ de fósforo na parte aérea (CARVALHO et al., 1999a). O milheto apresenta elevadas taxas de cobertura, e o maior tempo de permanência de seus resíduos no solo deve-se à alta relação C/N, sendo de 22,2 para as folhas e de 91,5 para o caule (SODRÉ FILHO et al., 2004), proporcionando maior resistência à decomposição e uniformidade de distribuição sobre o solo (ALVARENGA et al., 2001; OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002).

O milheto é a principal gramínea utilizada para fins de cobertura do solo em Sistema de Plantio Direto na região de cerrado, ocupando uma área estimada em quatro milhões de hectares (MARTINS NETO; BONAMIGO, 2005). Pode ser usado como forragem aos animais no sistema de integração lavoura-pecuária, sendo posteriormente deixado para rebrote e produção de fitomassa para implantação do SPD.

2.1.3.2 Importâncias dos adubos verdes em sistemas de cultivos

A Adubação verde consiste em incorporar plantas verdes não-lenhosas (ou partes dessas plantas) no solo, por meio da lavoura. Pode ser plantas que crescem ao mesmo tempo ou depois da cultura principal, com a finalidade de disponibilizar os nutrientes, aumentar ou preservar o conteúdo da matéria orgânica no solo e a capacidade do solo de reter umidade, além de proteger o solo contra a erosão hídrica e eólica (SCHÖLL; NIEUWENHUIS, 2003).

A adubação verde e/ou incorporação de resíduos das culturas de arroz tem potencial para aumentar a matéria orgânica do solo, proporcionando simultaneamente altos rendimentos em grãos (AULAKH et al., 2001). Em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica, a combinação de fertilizantes nitrogenados mineral com adubos verdes, como as leguminosa, após quatro anos de estudo em rotação arroz- trigo, proporcionou a redução da quantidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados na faixa de 25 a 50% conseqüentemente diminuído o potencial de contaminação das águas subterrâneas com NO_3 , promovendo uma agricultura sustentável e ambientalmente racional em sistemas subtropical (AULAKH et al., 2000).

Uma das desvantagens do uso de adubos verdes na agricultura consiste na dificuldade de coincidir a disponibilidade de nitrogênio das fontes orgânicas com a demanda da cultura (PANG; LETEY, 2000). A liberação gradual de N pela decomposição dos resíduos da adubação verde pode ser melhor sincronizada com a absorção desse nutriente pela planta, possibilitando maior eficiência da absorção de N, rendimento agrícola e redução das perdas de N por lixiviação (WIVSTAD 1999; AULAKH et al., 2000; CLINE; SILVERNAIL, 2002).

A adubação verde possibilita a recuperação da fertilidade do solo, aumentando o conteúdo de matéria orgânica (IGUE, 1984; MURAOKA et al., 2002), a qual se caracteriza por ser a principal responsável pela CTC dos solos tropicais e em importante fonte de N para as culturas (RAIJ, 1991). Contudo, a qualidade do resíduo vegetal, principalmente a sua relação C/N, e a disponibilidade de N mineral na solução do solo, aliada às condições climáticas e às características do solo, sobretudo a textura, influenciam diretamente na velocidade de decomposição/mineralização dos resíduos (AMADO; MILNICZUK; AITA, 2002; LARA CABEZAS et al., 2004; SILVA et al., 2006).

Estudos demonstram que o uso de plantas de cobertura pode otimizar os efeitos dos fertilizantes minerais, possibilitando, para alguns nutrientes, redução da quantidade a ser aplicada, e quando ao uso de algumas espécies, como as de leguminosas, por exemplo, pode, para algumas culturas e faixas de produtividade, suprir integralmente o nitrogênio às culturas (SCIVITTARO et al., 2000; AMADO; MILNICZUK; AITA, 2002; SILVA et al., 2006). Em adição ao nitrogênio, as plantas de cobertura também contêm

outros macro e micronutrientes em formas orgânicas lábeis.

2.1.3.3 Recuperação de nitrogênio com adubos verdes

O rendimento das culturas anuais freqüentemente é incrementado pela prática de rotação de cultura com leguminosas, o que pode ser atribuído ao incremento da disponibilidade de nitrogênio do solo (MURAOKA et al., 2002; LADHA et al., 2000; YOSHIDA, 1995) e pelo efeito benéfico da rotação melhorando as propriedades físicas do solos (HAVLIN et al., 2005).

Muraoka et al. (2002), utilizando leguminosas crotalária (*Crotalaria juncea*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) como adubos verdes, reportaram um efeito equivalente à fertilização de 40 kg ha⁻¹ N como uréia, indicando que estas leguminosas constituem uma importante fonte alternativa de nitrogênio e de outros nutrientes para as plantas, em função da liberação lenta e em sincronia com as necessidades das culturas (CALEGARI, 2004; STUTE; POSNER, 1995). Melhores resultados foram reportados por Ladha et al. (2000), que obtiveram 60,5 kg ha⁻¹ N em função da fixação simbiótica de nitrogênio pela leguminosa e azolla na cultura de arroz.

Gathumbi et al. (2003) verificaram que a rotação de culturas com combinação de leguminosas de diferentes capacidades de produção de raízes, podem influenciar a distribuição e incrementar a quantidade de raízes no subsolo.

Scivittaro et al. (2004) realizaram um experimento para determinar o padrão temporal de liberação de nitrogênio da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e estudar a dinâmica do N contido nesse adubo verde no sistema solo-planta, e verificaram que a incorporação de mucuna-preta promoveu aumento da produção de matéria seca e da absorção de N pelas plantas de arroz. Os valores máximos para essas variáveis foram proporcionados pelos períodos de incubação de 38 e 169 dias, respectivamente.

A eficiência de utilização, comumente denominada de aproveitamento ou recuperação do fertilizante mineral ou orgânico pela cultura, é diretamente dependente do seu manejo ou técnica de fornecimento (YAMADA, 1996; SCIVITTARO et al., 2000).

Para o N, a baixa eficiência de utilização pelas culturas deve-se aos processos de perdas por volatilização de amônia, desnitrificação, erosão, lixiviação e pela imobilização microbiana (HAVLIN et al., 2005).

O aproveitamento do N-orgânico contido no adubo verde ou em resíduos vegetais, depende das características desse resíduo como relação C:N, lignina/N e polifenóis/N, teor de N, de lignina e de polifenóis (MYERS et al., 1994). Existem fatores ambientais que também afetam a disponibilidade do N no solo para as plantas, relacionados à sua ação sobre a atividade dos microrganismos decompositores (quimiorranotróficos), dentre os principais destacam-se a temperatura, a umidade, o teor e a localização da matéria orgânica (DICK, 1983) e a quantidade de resíduo vegetal deixado ou adicionado ao solo (AMADO; MILNICZUK; AITA, 2002).

2.1.4 Método de diluição do isótopo ^{15}N

Existem vários isótopos de nitrogênio, radioativos e estáveis, apresentando números de massa que variam entre 12 e 19 (HEATH, 1973). O isótopo radioativo de N de mais longa meia vida é o ^{13}N , de apenas 10,05 minutos (CLEEMPUT; ZAPATA; VANLAUWE, 2008). Isso limita praticamente a sua aplicação na pesquisa agrícola. O nitrogênio tem dois isótopos estáveis, o ^{14}N e ^{15}N . No Brasil, o uso do ^{15}N ainda está restrito a algumas instituições de pesquisa, devido, principalmente, ao alto custo analítico e dificuldades instrumentais para análise de ^{15}N . Paradoxalmente, Axmann e Zapata (1990) descrevem que os fatores limitantes para o uso de ^{15}N anteriormente mencionado não existem, o que não é a realidade no mundo, pois em adição a essas limitações, há a carência de profissionais capacitados para a elaboração projetos e interpretação de resultados de experimentos com o uso do isótopo estável (BOARETTO; TRIVELIN; MURAOKA, 2004)

O uso dos isótopos estáveis ^{14}N e ^{15}N como traçadores é fundamentado nas suas abundâncias naturais, respectivamente, numa razão de 99,634% e 0,366% ou 273/1 (CLEEMPUT; ZAPATA; VANLAUWE, 2008). A razão $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ aproximadamente constante na atmosfera e substâncias naturais é o que permite que compostos nitrogenados com suas proporções alteradas artificialmente (enriquecidos ou

empobrecidos) possam ser usados como traçadores, monitorando-se a taxa na qual muda o seu conteúdo e o enriquecimento de ^{15}N , devido à diluição pelo influxo de ^{14}N .

Em 1954, Kirkham e Bartolomeu publicaram um conjunto de equações para a utilização de elemento marcador, para determinar as taxas brutas de mineralização e imobilização de nutrientes no solo. As equações foram formuladas com base em transformações do nitrogênio no solo, utilizando o isótopo estável ^{15}N . As recentes aplicações do método de diluição isotópica têm sido largamente utilizadas para o estudo das transformações N no solo (DAVIDSON et al., 1991; SMITH et al. 1994; MONAGHAN; BARRACLOUGH 1995, 1997; ZAMAN; CAMERON, 1999, ZAMAN; CAMERON; FRAMPTON, 1999). O método de diluição isotópica, também vem sendo utilizado para o estudo in vivo em animais e cinética de investigação biomédica (SHIPLEY; CLARK 1972). Mais recentemente, foi revisada por Di; Cameron e McLaren (2000) a técnica da diluição isotópica para estudar as taxas brutas de transformação de nitrogênio, fosfato e enxofre no sistema solo-planta.

A técnica de diluição isotópica para o estudo da transformação das taxas brutas de nutrientes no solo envolve uma marcação de nutrientes mineral, por exemplo NH_4^+ , NO_3^- , que pode ser considerado como um compartimento, e o acompanhamento do ritmo a que o marcador isotópico é diluído, como nutrientes são libertados ou retirados.

O uso de fonte marcada com ^{15}N constitui-se no método que permite quantificar com maior precisão a eficiência de utilização deste nutriente e a fonte originária, seja solo, fertilizantes orgânicos ou inorgânicos.

2.1.5 Cultura de arroz

2.1.5.1 Importância social e econômica do arroz

O arroz é um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico. É considerado o cultivo alimentar de maior importância em muitos países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, onde vivem 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de dois terços da população subnutrida mundial. Fischer (1998) indica que a produção de arroz deve aumentar dramaticamente para atender a demanda projetada para 2025. Se as tecnologias para a utilização de

nutriente pela cultura do arroz se mantiverem inalteradas, vai exigir aumento de aproximadamente de 300% na produção.

O arroz representa um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem (NAVES; BASSINELLO, 2006). É uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições edafoclimáticas, e considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate à fome no mundo.

O arroz irrigado não tem sido capaz de abastecer o mercado interno, portanto a inserção definitiva do arroz de terras altas é interessante para garantir o abastecimento interno sem a necessidade de aumentar as importações.

2.1.5.2 Sistema de cultura de arroz

O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo de 11,7 milhões de toneladas de grãos em casca. Essa produção é oriunda de dois sistemas de cultivo: irrigado e de sequeiro (CONAB 2008).

A maioria das lavouras de arroz de terras altas, no Brasil, está localizada na região dos cerrados. Essa região é caracterizada pelo predomínio de solos com baixa fertilidade natural e elevada saturação por alumínio, além da ocorrência de períodos curtos de estiagem, denominados veranicos (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006)

O cultivo de arroz de terras altas corresponde a 65,2% da área total cultivada no Brasil, e contribui com 40,9% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002). Esse resultado é explicado pela baixa produtividade do sistema de cultivo de terras altas que ocupa a maior área de cultivo.

2.1.5.3 Fertilização de nitrogênio em arroz

A cultura do arroz responde a adubação nitrogenada, aumentando a quantidade adicionada em função da utilização de espécies morfo-fisiologicamente adaptadas a altas respostas ao nutriente, como as espécies de porte baixo.

A eficiência com que o nitrogênio é utilizado (EUN) pela planta de arroz é também afetada pela eficiência de absorção de N (EAN). Samonte et al. (2006) reportam que a EAN e EUN afetam positivamente e diretamente a produtividade. Os autores citaram ainda que EUN esta correlacionada com o conteúdo de proteína no grão de arroz.

Muitos estudos utilizando ^{15}N concluíram que a eficiência de recuperação ou aproveitamento do nitrogênio em arroz é baixa, variando de 20 a 40% (DE DATTA et al., 1988; SCHNIER et al., 1990; BRONSON et al., 2000; RAO et al., 1991).

O requerimento, utilização e armazenamento de N pelas culturas variam em função da espécie, e dentro desta de suas diferentes variedades e híbridos, tendo uma máxima exigência em períodos de crescimento inicial, ocorrendo a medida que a planta se desenvolve e cresce diluições no seu conteúdo de N, com conseqüente aumento do acúmulo de carboidratos, produtos do processo fotossintético (OLSON; KURTZ, 1982).

Em experimento de 14 anos na cultura de arroz-arroz com diferentes fontes de N (mineral e orgânico) em solo inundados e aerado, os resultados indicam que a disponibilidade de N para a planta foi mantido com o tempo e os rendimentos foram reduzidos para ambos os sistema (inundado e aerado), indicando um declínio na eficiência fisiológica do uso de N. Ademais, observaram efeitos residuais de N com o uso de adubos verdes para a produção de grãos de arroz e para a absorção N (LADHA et al., 2000).

Para a cultura de arroz no Cerrado, Sousa e Lobato (2002) recomendaram uma dose de nitrogênio na semeadura de 20 kg N ha^{-1} e 50 kg N ha^{-1} em cobertura, para expectativa de rendimento de 5 Mg ha^{-1} . Os autores afirmam que, as dosagens devem ser aumentadas em 20% quando o arroz for cultivado em áreas com alto potencial de reposta a nitrogênio. Fageria; Oliveira e Stone (2003) recomendam uma dose de N em torno de 90 kg N ha^{-1} aplicado em duas vezes, sendo a metade no plantio e o restante na época do perfilhamento ativo.

Vários pesquisadores do mundo, inclusive alguns do Brasil, investigam um método que relacione parâmetros da análise de solo com a recomendação da dose de nitrogênio a ser aplicada para uma determinada cultura, mas freqüentemente sem muito êxito. Em alguns estados brasileiros, a dose de N recomendada está relacionada com

os teores de matéria orgânica do solo, o histórico da área, a produtividade esperada, o preço do fertilizante nitrogenado (RAIJ et al., 1996; SOUSA; LOBATO, 2002).

2.1.5.4 Medição indireta das quantidades de clorofilas nas folhas

O medidor portátil de clorofila (SPAD) que proporciona uma leitura instantânea de uma maneira não destrutiva de folhas consiste numa alternativa de indicação do nível de nitrogênio na planta. Quando corretamente calibradas por cultivares e zonas de cultivos importantes, serve como uma ferramenta eficiente para a avaliação das necessidades variáveis de aplicações de nitrogênio na produção de arroz (DOBERMANN; FAIRHURST, 2000).

No Japão, país de origem do equipamento, o SPAD é bastante utilizado, devido, principalmente por terem cultivares bem definidas por regiões, os quais são em número reduzido, já bem estabelecido os padrões para ser usado. No Brasil e muitos outros países, existem diversos trabalhos com esse equipamento, mas ainda não tem sido utilizado para o diagnóstico da nutrição de nitrogenada.

As leituras efetuadas pelo clorofilômetro correspondem ao teor de clorofila presente na folha da planta (TAKEBE; YONEYAMA, 1989). O conteúdo de clorofila correlaciona-se com a concentração de N na planta e com o rendimento das culturas (SCHEPERS et al., 1992; BLACKMER; SCHEPERS, 1995). Assim, o elevado teor de clorofila é resultante do excesso de nitrogênio na planta (TROEH; THOMPSON, 2007)

Os resultados mostram que a necessidade de nitrogênio na planta de arroz usando o clorofilômetro reduz o requerimento de nitrogênio de 12,5 até 25%, sem perda em rendimento (SINGH et al., 2002). Em trabalho realizado por Shukla et al. (2004) obtiveram alta correlação da leitura do SPAD com a aplicação de fertilizante nitrogenado na cultura de arroz. Isto pode denotar uma melhor eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados.

2.1.6 Cultura de feijão

2.1.6.1 Importância da cultura do feijão

A produção mundial de feijão em 2004 foi superior a 18,0 milhões de toneladas, ocupando uma área aproximada de 27 milhões de hectares. Ao redor de 66% da produção mundial resultou de sete países, sendo o Brasil o maior produtor, com 16,3% da produção mundial (FAO, 2008).

Segundo CARNEIRO (2002), o feijão é cultivado em todos os estados brasileiros em função da sua boa adaptação as mais diferentes condições edafoclimáticas e diversos sistemas de cultivo. O feijão representa para grande parte da população da América Latina um dos alimentos básicos, pois constitui uma importante fonte de proteína, pois o teor protéico pode chegar a 33%, e elevado valor energético, em média 341 calorias por 100g, sendo a principal fonte de minerais, vitaminas e fibras (POMPEU, 1987).

A produção de feijão está intimamente associada às áreas de pequenas propriedades, cultivado essencialmente por produtores descapitalizados e voltada para a subsistência. A produtividade média de feijão no Brasil é baixa, variando muito entre as diferentes regiões e épocas de cultivo, classificadas como “das águas” (690 kg ha⁻¹), “da seca” (797 kg ha⁻¹) e “de inverno” (2.123 kg ha⁻¹) (IBGE, 2005).

2.1.6.2 Fertilização nitrogenada do feijão

O feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes em decorrência do sistema radicular superficial e do ciclo curto (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994). Apesar de ser leguminosa, com baixa a eficiência na fixação simbiótica de nitrogênio, não sendo assim na cultura de soja, é necessário a adubação nitrogenada para se obter boa produtividade nesta cultura. A recomendação de N e P para obtenção de elevadas produtividades é relativamente alta (RAIJ et al., 1996; SOUSA; LOBATO, 2004).

Fageria (2001) avaliou as respostas de arroz de sequeiro, feijão, milho e soja cultivados em sistema de rotação, variando a saturação por bases em solo de cerrado, e concluiu que a resposta à saturação por bases variou para as cultura e a tolerância a

acidez foi na ordem de arroz > feijão > milho > soja, tendo verificado também que o pH adequado para a arroz foi de 5,6 e para o feijão de 6,2.

Segundo Barbosa Filho e Silva (2000), o feijoeiro responde à adubação nitrogenada em cobertura, tendo obtido em um trabalho realizado em Goiânia a produção 3.170 kg ha^{-1} de grãos com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Os autores concluíram que o número de parcelamento do N em cobertura não afeta a produtividade do feijoeiro.

A resposta ao N é influenciada pelos resíduos de cultura anterior deixados na superfície. Em pesquisa realizada por Barbosa; Fageria e Silva (2001) a resposta da cultura de feijão após a cultura de arroz, desenvolveu-se no solo um ambiente de maior imobilização e menor disponibilidade de N para as plantas de feijão. O que indica que parte do N aplicado foi consumida pela população microbiana do solo no processo de decomposição da palhada do arroz, causando, assim, um déficit de N para o feijoeiro.

Silveira e Damasceno (1993) verificaram aumento na massa de matéria seca, teor e conteúdo de N na parte aérea e de número de vagens por planta pelo aumento das doses de N. Os mesmos autores reportaram resposta quadrática para a produtividade de grãos atingindo o máximo com 72 kg ha^{-1} de N. Mesmo comportamento foram reportado por Farinelli et al., (2006) que indicaram que aumentos nas doses de nitrogênio em cobertura proporcionam acréscimo na produtividade e no potencial fisiológico das sementes de feijão.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, localizado no município de Piracicaba – SP. Foram utilizados vasos plásticos contendo 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) para a marcação dos adubos verdes e 4 kg de TFSA para o cultivo de arroz e feijão. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) típico, A moderado, textura argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio (EMBRAPA, 1999). A terra foi coletada da camada de 0 a 0,20 m, da fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, localizada no município de Selvíria-MS, 335 m de altitude.

O estudo compreendeu três fases. A primeira, correspondeu à produção de massa vegetal de crotalária e milho, com e sem marcação isotópica com ^{15}N . Na segunda, as raízes e parte aérea de crotalária ou milho foram incorporadas ao solo cultivando-se arroz logo após. Na terceira, após a colheita do arroz, foi instalado o cultivo de feijão nos mesmos vasos, para a avaliação do efeito do N residual dos adubos verdes e do sistema radicular do arroz, e do N da uréia.

As análises das amostras de solo coletadas antes do início do experimento foram determinadas conforme metodologias descritas por Raij et al. (2001), apresentou os seguintes resultados: pH (CaCl_2): 4,8; pH (H_2O): 5,3; N total: 1 g kg^{-1} ; M.O.: $12,7 \text{ g dm}^{-3}$; P (resina): $11,7 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca: $20,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $10,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K: $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $26,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; S: $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$; SB: $32,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC: $58,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação por bases de 55%.

Para o cálculo da dose de nitrogênio foi considerada a quantidade de 1.750.000 plantas de arroz por hectare na doses equivalente de 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de N, sendo transformado estas quantidades de nitrogênio em miligrama por cada quilograma de terra (mg kg^{-1}).

A adubação com fósforo correspondeu à dose de $25,51 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, e potássio foi de $24,94 \text{ mg kg}^{-1}$ de K aplicadas ambos no momento da semeadura. Todos os vasos

da primeira e segunda fase receberam a mesma dose de fósforo e potássio. Os fertilizantes utilizados foram superfosfato simples e cloreto de potássio.

2.2.2 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi disposto em esquema de delineamento inteiramente casualizado com 12 tratamentos e três repetições, dispostos em esquema fatorial 3 x 4, constituído pela combinação de dois adubos verdes (crotalária e milho) e um correspondente ao solo sem adição de fonte orgânica de nitrogênio) com quatro doses de nitrogênio na forma de ^{15}N -uréia, (0; 28,6; 57,2; 85,8 mg kg⁻¹ de N) conforme apresentado na Tabela 1. Foram adicionados tratamentos para avaliar a contribuição das raízes e parte aérea dos adubos verdes (crotalária e milho), e quantificar o nitrogênio na planta proveniente dos adubos verdes em relação à época de aplicação de nitrogênio (base e cobertura) (Tabela 2).

Tabela 1 - Tratamentos utilizados em combinação de adubos verdes e doses de nitrogênio

Tratamentos	Adubos verdes	Dose de N no arroz
		-----mg kg ⁻¹ -----
1	Sem adubo verde	0
2	Sem adubo verde	28,6 [§]
3	Sem adubo verde	57,2 [§]
4	Sem adubo verde	85,8 [§]
5	Crotalária marcada	0
6	Crotalária marcada*	28,6 [§]
7	Crotalária marcada	57,2 [§]
8	Crotalária marcada	85,8 [§]
9	Milho marcado	0
10	Milho marcado	28,6 [§]
11	Milho marcado	57,2 [§]
12	Milho marcado	85,8 [§]

[§] Uréia marcada (^{15}N -uréia). *Todos os tratamentos que receberam crotalária ou milho marcado receberam uréia normal e tiveram réplica do mesmo, com adubos verdes sem marcação e ^{15}N -uréia, para distinguir os efeitos das respectivas fontes de N.

Tabela 2 - Tratamentos adicionais em relação à aplicação de raiz (R) e parte aérea (PA) marcada dos adubos verdes crotalária e milho e marcação da fertilização em diferentes épocas

Tratamentos	Adubos verdes		Dose de N no arroz -----mg kg ⁻¹ -----
1	Crotalária	PA [§] + R	57,2
2	Crotalária	PA + R [§]	57,2
3	Milho	PA [§] + R	57,2
4	Milho	PA + R [§]	57,2
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
5	Sem		11,4 [§] +45,8
6	Sem		11,4+45,8 [§]
7	Crotalária		11,4 [§] +45,8
8	Crotalária		11,4+45,8 [§]
9	Milho		11,4 [§] +45,8
10	Milho		11,4+45,8 [§]

[§]Produto marcado com ¹⁵N,

2.2.3 Dados climáticos

Foram registradas as temperaturas mínimas e máximas ocorridas durante o período de desenvolvimento dos experimentos, conforme apresentada na Figura 1. Esses dados foram obtidos por meio de um termômetro máximo-mínimo, que foi pendurado próximo à área do experimento no interior da casa de vegetação.

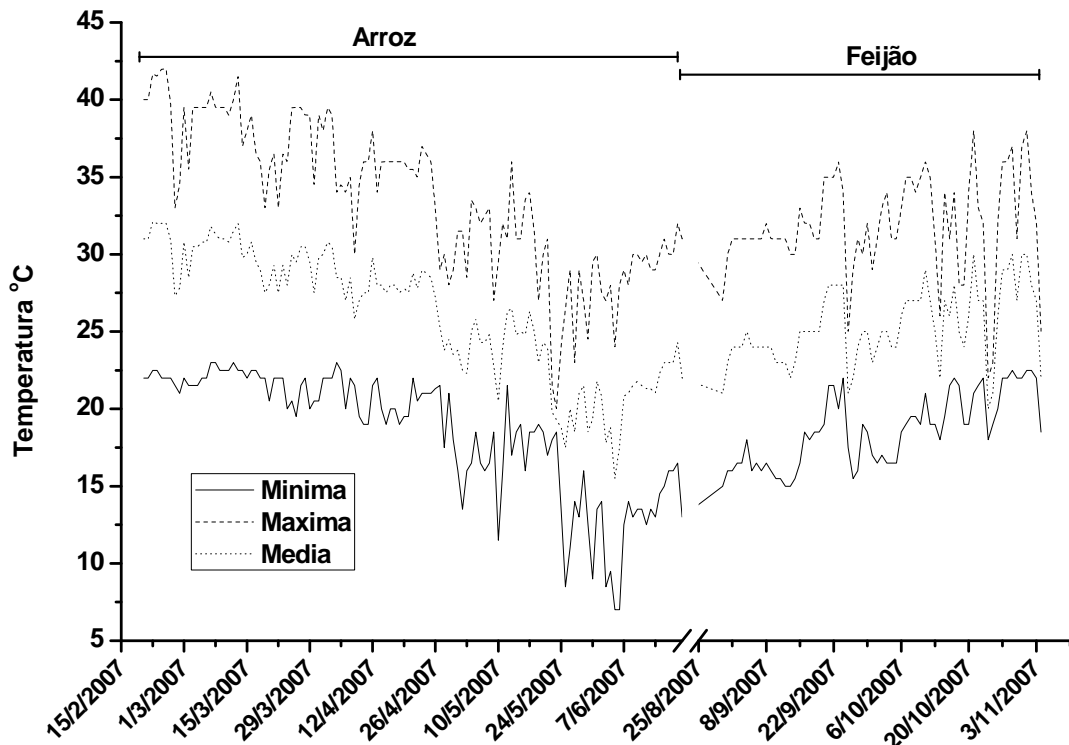


Figura 1 – Distribuição das temperaturas mínimas, média e máximas durante os períodos de cultivos de arroz e feijão no ano de 2007

2.2.4 Marcação isotópica dos adubos verdes

A crotalária juncea e o milho (cultivar ADR 500) foram cultivados em vasos de polietileno contendo 5 kg de TFSA. A semeadura foi realizada em 07/11/2006 e utilizou-se de 12 e 14 sementes por vasos de crotalária e milho, respectivamente. Aos 10 dias após emergência (DAE) foi realizado o desbaste, mantendo-se cinco plantas por vaso para a crotalária e milho. A marcação isotópica da crotalária e do milho foi realizada com a dose de 300 mg de nitrogênio por vaso, na forma de sulfato de amônio em solução enriquecida em 10 e 5% de átomos de ^{15}N em excesso para a crotalária e milho, respectivamente, parcelados em três aplicações de 100 mg por vaso, aos 15, 33 e 45 DAE. Isto, com a finalidade de se obter material vegetal com enriquecimento superior a 2% de átomos de ^{15}N em excesso, valor satisfatório para estudo da dinâmica

do N proveniente de adubos verdes no sistema solo-planta (AMBROSANO et al., 1997). As plantas foram regadas diariamente com água deionizada.

Simultaneamente, foram cultivados também milho e crotalária em vasos com aplicação da mesma dose de sulfato de amônio comercial (não enriquecido em ^{15}N), tendo como finalidade produzir material vegetal que foi utilizado na duplicação dos tratamentos, para ser avaliado o efeito do N proveniente dos adubos verdes, N proveniente da uréia e N proveniente do solo na cultura do arroz e do feijão cultivado subsequentemente.

A colheita das plantas utilizadas como adubos verdes foi realizada aos 63 DAE. As plantas de crotalária e milho foram separadas em raízes e parte aérea, fragmentadas em pedaços de aproximadamente 0,02 m de comprimento, com auxílio de facão e tesoura. Em seguida, o material vegetal foi seco em estufas com circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas, retirando-se amostras para a análise de ^{15}N . O restante do material vegetal fragmentado foi misturado com toda a terra antes do adicionamento da mesma aos vasos, 12 dias antes da semeadura do arroz. Os cálculos foram realizados em base ao equivalente em matéria seca de adubos verdes de 12 Mg ha⁻¹. As quantidades de raiz e parte aérea dos adubos verdes utilizadas foram na mesma proporção obtida nos vasos.

2.2.5 Cultivo de arroz

2.2.5.1 Cultivar de arroz

Foram utilizadas as sementes de arroz da cultivar IAC-202. Este genótipo apresenta altura média de 87 cm, sendo considerado de porte baixo e intermediário, em função de seu porte baixo tem mostrado ótima resistência ao acamamento. Essa cultivar apresenta um ciclo médio de 87 dias e uma produção de grãos em casca do arroz de 3.135 kg ha⁻¹, considerada uma cultivar de alto potencial produtivo.

2.2.5.2 Quantidades de adubos verdes

O arroz foi cultivado em vasos de polietileno contendo 4 kg de TFSA, previamente peneirada e misturada com a parte aérea e raiz dos adubos verdes. A quantidade

utilizada da parte aérea foi de 20 g por vaso para crotalária e milho, e 3 e 5 g de raiz de crotalária e milho por vaso, conforme os tratamentos. A diferença nas quantidades de raízes aplicada foi devido à maior quantidade destas no milho, sempre visando manter a proporção encontrada na marcação feita na primeira fase do experimento. A adubação com fósforo e potássio foi realizada conforme os resultados da análise do solo e recomendação descrita em Rajj et al. (1996).

2.2.5.3 Semeadura e fertilização

A semeadura do arroz foi realizada em 16/02/2007, numa densidade de 15 (sementes por vaso). O desbaste foi feito oito DAE das plântulas, deixando-se quatro plântulas por vaso. Aos 10 DAE, foi realizada a fertilização de base, exceto nos tratamentos controles (0 mg kg⁻¹ de N). Essa fertilização de base correspondeu a 11,4 mg kg⁻¹ de N (¹⁵N-uréia), sendo essa quantidade descontada da dose total de N dos tratamentos (28,6, 57,2 e 85,8 mg kg⁻¹ de N), e o restante (17,2, 45,8 e 74,4 mg kg⁻¹ de N) foi aplicado em cobertura no máximo perfilhamento, que ocorreu aos 43 DAE. O fertilizante utilizado foi ¹⁵N-uréia com enriquecimento de 1,5% em átomos de ¹⁵N em excesso. Para os tratamentos que receberam somente de uma marcação, correspondente à primeira fertilização com 11,4 mg kg⁻¹ de N (¹⁵N-uréia), o enriquecimento foi de 3,0% em átomos de ¹⁵N em excesso.

2.2.5.4 Colheita

A colheita do arroz foi realizada na maturação fisiológica dos grãos (120 DAE), e as plantas foram separadas em parte aéreas e panículas. Esses materiais foram mantidos em estufa com circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas para secagem. As amostras então foram pesadas e as partes aéreas foram moídas e submetidas a passagem na peneira de 10 mesh (2,00 mm). Para garantir uma maior homogeneização do material, foram misturadas com auxílio de um bastonete de cristal e retirada uma amostra menor para ser moída e peneirada novamente numa malha de 40 mesh (0,42 mm), posteriormente determinada a concentração de ¹⁵N e N total.

2.2.6 Cultivo de Feijão

2.2.6.1 Cultivar de feijão

Foram utilizadas sementes de feijão da cultivar Pérola (linhagem LR 720982 CPL53) proveniente de trabalho de seleção de linhas puras da cultivar Aporé, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão. O cultivar Pérola apresenta hábito de crescimento indeterminado (entre os tipos II e III); porte semi-ereto; ciclo de 90 dias; média de 46 dias para floração e peso de 100 sementes de 27 g. Essa cultivar apresenta resistência à ferrugem e ao mosaico-comum. Seu potencial de produtividade é de 4.000 kg ha⁻¹ (YOKOYAMA et al., 1999).

2.2.6.2 Semeadura e fertilização

A semeadura do feijão (24/08/2007) foi realizada nos vasos em que o arroz foi cultivado mantendo-se o sistema radicular do mesmo, correspondendo 65 dias após a colheita do arroz. Foram semeadas quatro sementes por vaso e 10 DAE foi realizado o desbaste mantendo-se duas plantas por vaso. O delineamento experimental utilizado no experimento de feijão foi o mesmo descrito para o cultivo de arroz. No cultivo de feijão, todos os vasos receberam as mesmas doses de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, com a finalidade de possibilitar a distinção do efeito residual dos adubos verdes (crotalária e milho) e sistema radicular do arroz e do fertilizante mineral nitrogenado aplicado ao arroz. Para os cálculos dos fertilizantes foi considerada uma densidade de 200.000 plantas por hectare. Foi aplicada uma dose equivalente de fertilizante de 10 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 30 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de S. A doses de nitrogênio em cobertura correspondeu a 40 kg ha⁻¹ de N, realizada 23 DAE (21/09/2007). As adubações na semeadura e cobertura foram realizadas conforme as recomendações descritas por Raij et al. (1996). Os fertilizantes utilizados foram sulfato de amônio para suprir nitrogênio e enxofre, para o fósforo se utilizou superfosfato triplo e para potássio foi utilizado cloreto de potássio.

Conjuntamente com a adubação de base foi realizada uma aplicação de

Rhizobium CIAT 899 *p. vulgaris* UM 1899, com o objetivo de simular as condições da cultura de feijão no campo. A não realização desta aplicação de *Rhizobium* poderia-se estar superestimando o efeito residual do nitrogênio proveniente dos fertilizantes e adubos verdes

2.2.6.3 Colheita do feijão

Primeiramente foram coletadas todas as vagens por vasos e a seguir a parte aérea da plantas. Após a colheita das plantas e vagens, foi realizada a secagem a 60°C por 72 horas e determinada a produtividades de grãos e massa seca da parte aérea. Foi adotado o mesmo procedimento descrito para a parte aérea do arroz, com duplo peneiramento das amostras e retirada uma amostra para análise de ¹⁵N, N total.

2.2.7 Avaliações

2.2.7.1 Análises químicas do solo

As análises químicas foram realizadas antes da instalação dos experimentos, para: pH, MO, P, K, Ca, Mg, H + Al e S, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001), e para os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foi utilizado o DTPA como extrator. Foi realizado também o N total (BREMNER, 1996)

2.2.7.2 Relação carbono nitrogênio (C/N) dos adubos verdes

Foi determinada em amostras coletadas na época do manejo (colheita) dos adubos verdes e determinada pela combustão via seca da amostra a 1400 °C, no aparelho LECO C/N.

2.2.7.3 Altura de planta

A altura das plantas foi determinada medindo-se a distância compreendida entre a superfície do solo e o ápice da panícula mais alta, durante o estágio de maturação dos grãos, correspondente ao estágio 9 no ciclo da planta de arroz (IRRI, 2002).

2.2.7.4 Números de perfilhos

O número de perfilhos foi avaliado em função do número de plantas deixadas após o desbaste e o por vaso aos 21 dias após a emergência (DAE).

2.2.7.5 Valores indiretos do teor de clorofila

Para a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente na folha de modo não destrutivo, rápido e simples, foi utilizado o medidor portátil desenvolvido pela Minolta SPAD-502[®], denominado clorofilômetro. Para o cultivo de arroz, foi medido na parte central da segunda folha desenvolvida a partir do ápice, com exceção da realizada na folha bandeira. A leitura realizada aos 21, 44, 52 e 84 dias após emergência (DAE) no cultivo de arroz. A leitura feita aos 21 DAE correspondeu aos 11 dias após da fertilização de base, enquanto à leitura aos 44 DAE foi um dia após a fertilização de cobertura e após 10 dias foi realizada a avaliação de 52 DAE. A última leitura do clorofilômetro foi realizada na folha bandeira (84 DAE).

Para o cultivo de feijão foram realizadas três leituras com o clorofilômetro aos 23, 35 e 42 DAE. Foram feitas seis leituras por vaso, correspondendo a três por plantas. Todas as leituras do clorofilômetro para o cultivo de arroz e feijão foram feitas das 10:00 12:00h.

2.2.7.6 Produtividade de grãos

A produtividade em grãos (g vaso^{-1}) do cultivo de arroz foi obtida através da massa dos grãos secos corrigido a 13% de umidade por cada vaso, para tais fins foram extraídas amostras no secador a 105 °C por 72 horas para determinar o conteúdo de umidade dos grãos em base ao peso úmido, utilizando a equação 1.

$$U(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_u} \times 100 \quad (1)$$

U = umidade dos grãos em porcentagem e base úmida

m_u = massa dos grãos úmido

m_s = massa dos grãos seco a 105 °C por 72 horas

2.2.7.7 Teor de N total, enriquecimento em % de átomos de ^{15}N na planta

As amostras de planta dos adubos verdes, arroz e feijão foram moídas e submetidas a passagem em peneira de 40 mesh e pesada em balança de precisão (cinco casas decimais). As análises do enriquecimento em ^{15}N (% de átomos) e de N total foram determinadas em espectrômetro de massa (IRMS), interfaceado com um analisador elementar, conforme metodologia descrita em Barrie e Prosser (1996).

2.2.7.8 Quantificação do aproveitamento do N pelas plantas de arroz e de feijão proveniente dos adubos verdes, da uréia e do solo

Os cálculos da eficiência de utilização do N foram realizados considerando-se a quantidade e o enriquecimento (% de átomos de ^{15}N em excesso) da fonte de N aplicada, crotalária ou milheto marcados com ^{15}N ou ^{15}N -uréia, descontados a abundância natural do isótopo estável de ^{15}N , que é de 0,366%. Os tratamentos foram avaliados pela produtividade de matéria seca, teor de N total, porcentagem de N na planta (arroz e feijão) proveniente dos adubos verdes (%NppAV), porcentagem de N na planta proveniente do fertilizante – uréia (%Nppf), quantidade de N na planta proveniente dos adubos verdes (QNppav) e do fertilizante uréia (QNppf) e do solo (QNppS) e o aproveitamento do N pela planta proveniente dos adubos verdes ou do N da uréia (%Ap).

A quantidade de nitrogênio acumulada em mg vaso^{-1} na parte aérea e grão do cultivo de arroz e feijão, é o resultado da massa seca produzida por vaso e teor de nitrogênio no respectivo compartimento.

Nitrogênio acumulado

$$NA = N \times MS \quad (2)$$

NA = Nitrogênio acumulado (mg vaso^{-1})

N = Nitrogênio (g kg^{-1})

MS = Massa seca (g)

Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante ($\%N_{ppf}$)

$$\%N_{ppf} = \frac{a-c}{b-c} \times 100 \quad (3)$$

a = abundância de ^{15}N (% de átomos) na parte aérea e grão

b = abundância de ^{15}N (% de átomos) no fertilizante ou adubos verdes;

c = abundância natural de ^{15}N (0,366% de átomos) no solo

Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

$$QN_{ppf} = \frac{\%N_{ppf}}{100} \times NA \quad (4)$$

O aproveitamento (Ap) do nitrogênio do fertilizante na parte aérea ou grão em %; se refere à porcentagem da dose de N aplicada via fertilizante recuperado na planta, foi determinado pela equação 5.

$$\%Ap = \frac{QN_{ppf}}{QN_{ap}} \times 100 \quad (5)$$

QN_{ap} = Quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizantes ou dose de N

A quantidade de nitrogênio na planta de arroz e de feijão (grãos e parte aérea) proveniente dos adubos verdes, milheto e crotalária (QN_{ppAV}) e do aproveitamento do

N (Ap%) pelo arroz e feijão, utilizou-se o mesmo procedimento de cálculos citados anteriormente, para o cálculo do N proveniente do fertilizante, considerando como cociente o percentagem de átomos ^{15}N excesso dos adubos verdes .

Quantidade de N na planta de arroz (palha + grãos) proveniente do solo

$$QN_{ppS} = NA - QN_{ppf} - Qn_{ppAV} \quad (6)$$

Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do solo

$$\%N_{ppS} = \frac{QN_{ppS}}{NA} \times 100 \quad (7)$$

2.2.8 Análise estatística dos dados

A análise de variância dos dados foi realizada aplicando-se o teste F, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão. O programa estatístico utilizado foi SAS (Statistical Analysis System "SAS System for Windows-release 8.02" (SAS, 2001).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Produção de adubo verde marcado com ^{15}N

A produtividade de matéria seca (MS) do milho foi superior à da crotalária, tanto para a parte aérea como para a raiz (Tabela 3), tendo esta última correspondido o dobro da produzida pela crotalária. Em relação à matéria seca total, a quantidade de raízes foi de 19,40% para o milho e de 12,86% para a crotalária. Embora a produtividade de matéria seca de parte aérea e de raiz de milho tenha sido superior à de crotalária, o mesmo não ocorreu para o teor de nitrogênio total, que correspondeu a mais que o dobro na parte aérea de crotalária e praticamente o dobro na raiz. Resultados semelhantes foram observados por Perin et al. (2004) e Ramos et al. (2001). Tal fato se deve à crotalária ser uma espécie de leguminosa, que tem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico nas raízes, em simbiose com bactérias do gênero *Rizobium* e *Bradyrhizobium* (VICTORIA et al., 1992; AMBROSANO et al., 1997), apesar da fertilização mineral nitrogenada.

Tabela 3 - Produtividade de matéria seca, teor de N total, concentração de ^{15}N , nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (Nppf) e relação C/N da parte aérea e do sistema radicular da crotalária e do milho, aplicados ao solo como fonte orgânica de nitrogênio para a cultura do arroz e feijão

Adubo verde	Matéria seca --g vaso ⁻¹ --	Teor Nitrogênio --g kg ⁻¹ --	Concentração de ^{15}N -% de átomos-	Nppf --%--	Relação C/N
Parte aérea					
Crotalária	50,32 b*	24,0 a	3,751	33,85	17,9/1
Milho	60,46 a	10,7 b	3,501	62,70	39,2/1
Sistema radicular					
Crotalária	7,43 b	19,2 a	3,646	30,98	17,7/1
Milho	14,54 a	10,0 b	3,290	56,68	32,0/1

*médias com letras iguais nas colunas, dentro de cada parte da planta, não diferem de acordo com o teste de Tukey ao 5%.

A concentração de ^{15}N na crotalária foi superior à obtida no milho, tanto na parte aérea como no sistema radicular; provavelmente devido ao uso de uma concentração de 10% de átomos em excesso para crotalária e de 5% para o milho, práticas recomendadas em virtude da possibilidade de fixação biológica de N que normalmente ocorre em leguminosa, assim, promovendo a diluição de ^{15}N pelo influxo de ^{14}N , a exemplo do observado por Ambrosano et al. (1997) e Silva et al. (2006).

A concentração média de ^{15}N em porcentagem de átomos para a crotalária e milho foi de 3,737 e 3,460%, respectivamente. Esses valores, de acordo com Ambrosano et al. (1997), são satisfatórios para o estudo da dinâmica do N de adubos verdes no sistema solo-planta. Estes autores recomendam valores acima de 2% de enriquecimento em ^{15}N em adubo verde.

Foram obtidos menores valores de nitrogênio proveniente do fertilizante (Nppf) para a crotalária (33,85% para a parte aérea da planta e 30,98% para o sistema radicular) em comparação com o milho (62,70 e 56,68% para a parte aérea e raiz, respectivamente), confirmando, assim, a fixação biológica de N pela crotalária.

2.3.2 Características agronômicas

2.3.2.1 Valores de perfilhamento inicial e do SPAD (medidor de clorofila)

As leituras do SPAD apresentam altas correlações com as doses de fertilizantes nitrogenado em arroz (PENG et al., 1993; SHUKLA et al., 2004; SILVA et al., 2007). O clorofilômetro mede um valor relacionado ao teor de clorofila na folha sem destruí-la (ARGENTA; SILVA; BORTOLIN, 2001; PENG et al., 1993).

Na Figura 2 são apresentadas as médias do número de perfilhos por planta e dos valores do SPAD em função das doses de N, aos 21 dias após a emergência (DAE).

Como esperado, o número de perfilhos por planta não apresentou diferença significativa entre os tratamentos correspondentes às doses de 28,6, 57,2 e 85,8 mg kg^{-1} de N. Nesse momento as plantas apresentavam-se no estágio de perfilhamento (IRRI,

2002,) e todos os tratamentos (exceto à testemunha) tinham recebido a mesma dose de N ($11,4 \text{ mg kg}^{-1}$) na semeadura, porém ainda não se havia aplicado o N em cobertura. No entanto, observou-se maior número de perfilhos nos tratamentos em que se aplicou uréia em relação à testemunha.

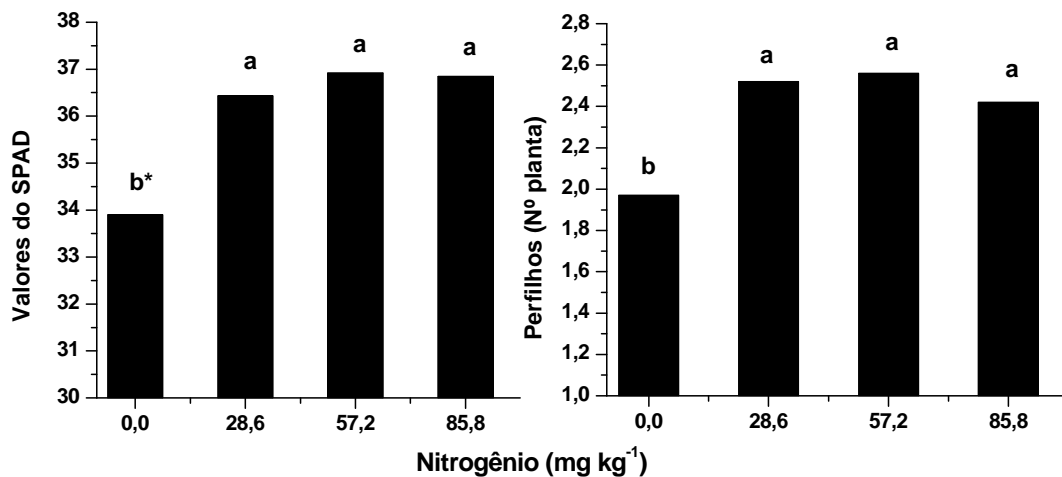


Figura 2 – Valores do SPAD e número de perfilho por plantas em função de doses de nitrogênio na cultura de arroz, aos 21 dias após a emergência (DAE).
*Letras iguais nas colunas não diferem de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5%

As comparações das médias do número de perfilhos por planta e valores do SPAD em relação à aplicação de adubo verde são apresentadas na Figura 3. Nota-se o efeito significativo do uso de crotalária, indicando que esta espécie favoreceu o aumento de perfilhos e valores do SPAD, por causa da maior mineralização e menor imobilização de N mineral aplicado e do N do solo. Este fato, possivelmente deve-se à menor relação C/N, com média ponderada de raiz e parte aérea de 17,87 (Tabela 3). Em função da maior relação C/N da palha do milho (média ponderada de raiz e parte aérea de 37,80, que é equivalente o dobro da encontrada na crotalária), observou-se efeito contrário com a aplicação de milho, que promoveu diminuição do número de perfilhos, provavelmente pela maior imobilização de N mineral do solo e/ou da uréia (Tabela 3). Isto concorda com Troeh; Thompson (2007), esses autores reportaram que em relações C/N maiores a 31/1 uma parte do nitrogênio mineral é imobilizado.

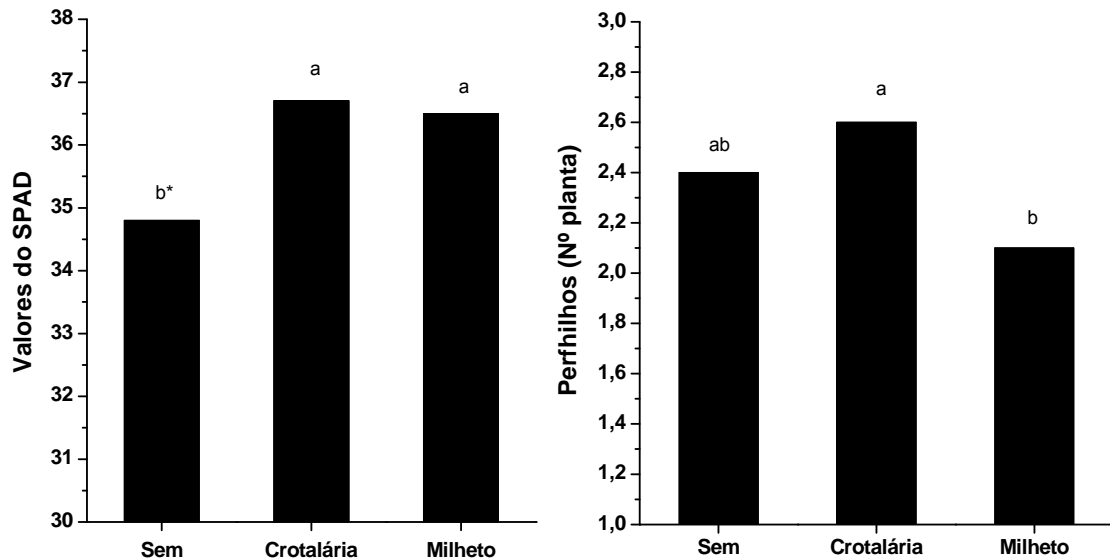


Figura 3 – Número de perfilhos por planta e valores do SPAD em relação a aplicação de adubos verdes, 21 dias após a emergência (DAE). *Letras iguais não diferem de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5%

Verificou-se que os dados das leituras do SPAD aos 1 e 10 dias após a fertilização de cobertura (DAC) em função da dose de nitrogênio ajustaram-se melhor ao modelo quadrático para os adubos verdes (crotalária e milho) e para os tratamentos sem aplicação de fonte orgânica de N (Figura 4). A equação de regressão para a crotalária, milho e sem adubo verde, referente ao 1 DAC foi $Y=37,475+0,1180N-0,00107N^2$, $Y=24,155+0,25192N-0,00235N^2$ e $Y=35,76+0,16469N-0,00153N^2$, respectivamente. Observou-se pelas equações que na ausência da fertilização de N mineral o valor mais alto da leitura do SPAD foi com o uso de crotalária. O uso de milho causou um decréscimo na leitura do SPAD em 32,4% em relação ao tratamento sem adição de adubo verde. Isto indica que ocorreu uma imobilização do N mineral do solo e/ou da uréia, implicando em prejuízo na nutrição da planta de arroz.

Pela Figura 4 observa-se que as equações de regressão em relação às doses de N mineral ajustaram a um modelo quadrático da leitura do SPAD para crotalária, milho e sem aplicação, respectivamente.

Foram observadas diferenças significativas nos valores de perfilamento e do SPAD em função da adição dos diferentes adubos verdes utilizados e da ausência de fontes orgânica de N, nos tratamentos com ou sem aplicação de N mineral na semeadura

O uso de crotalária proporcionou valores maiores do SPAD em relação ao milho aos 10 DAC, com o incremento da dose de N, sendo esta diferença inicialmente de 4,26 do valor do clorofilômetro (Figura 4). A aplicação de crotalária proporcionou condições mais favoráveis à absorção do N aplicado em cobertura, indicando ser essa espécie ser uma melhor alternativa de uso de adubos verdes em relação à de milho, independente da dose de N mineral aplicada.

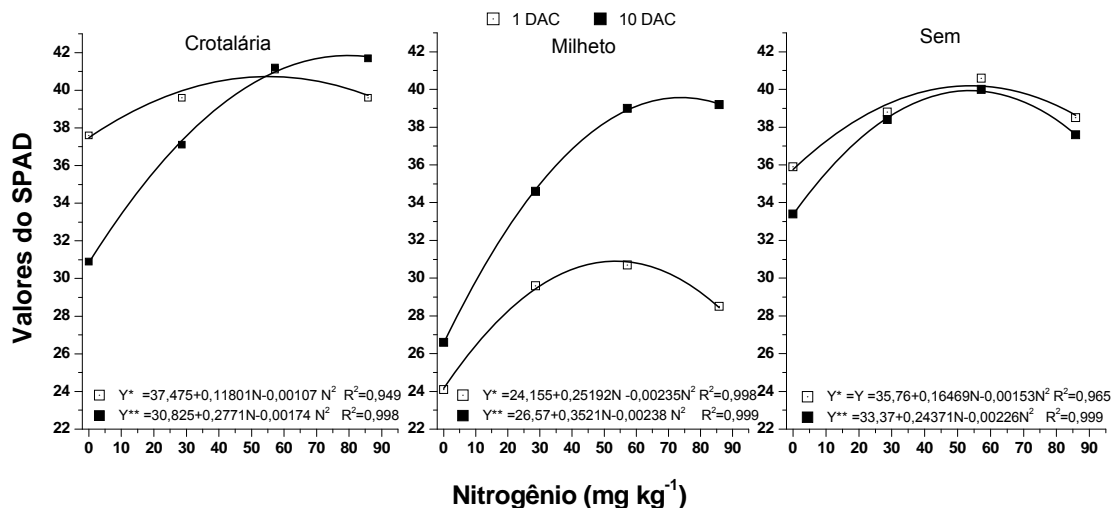


Figura 4 – Valores do SPAD, aos 1 e 10 dias após a fertilização de cobertura (DAC) em relação às doses crescentes de nitrogênio mineral e aplicação de crotalária e milho como fontes de nitrogênio

Os maiores valores das leituras do SPAD, aos 10 DAC, de acordo com as equações ajustadas, foram obtidos nas doses de 79,6; 74,0 e 53,9 mg kg⁻¹ de N, para o uso de crotalária, milho e sem adição de adubo verde, respectivamente.

Para os valores do SPAD aos 10 DAC, a aplicação de crotalária representou uma dose equivalente de 13,28 mg kg⁻¹ N em relação ao milho, sem adição de N mineral.

Comportamento semelhante das equações dos valores de SPAD foi observado sem o uso de adubo verde avaliado aos 1 e 10 DAC (Figura 4). Isto indica menor reposição à aplicação de N mineral de cobertura sem uso de adubo verde. Com o uso de milho, observou-se que a diferença entre as duas leituras aumenta com o aumento da aplicação de N mineral.

2.3.2.2 Altura da planta de arroz

Observou-se efeito significativo ($P \leq 0,01$) dos adubos verdes sobre a altura da planta e a produtividade de palha de arroz. A crotalária proporcionou altura das plantas de arroz superior à aplicação de milho (Figura 5), demonstrando que esta leguminosa favoreceu a síntese e o acúmulo de fitomassa, possivelmente por ter proporcionado condições mais favoráveis à absorção de N das distintas fontes e de outros nutrientes que mineralizaram dos resíduos concomitantemente ao N.

A fitomassa seca da parte aérea, que representa o poder da planta em exportar e acumular nutrientes, foi superior com o uso de adubo verde na forma de crotalária com o valor de 24,70 g por vaso de massa seca.

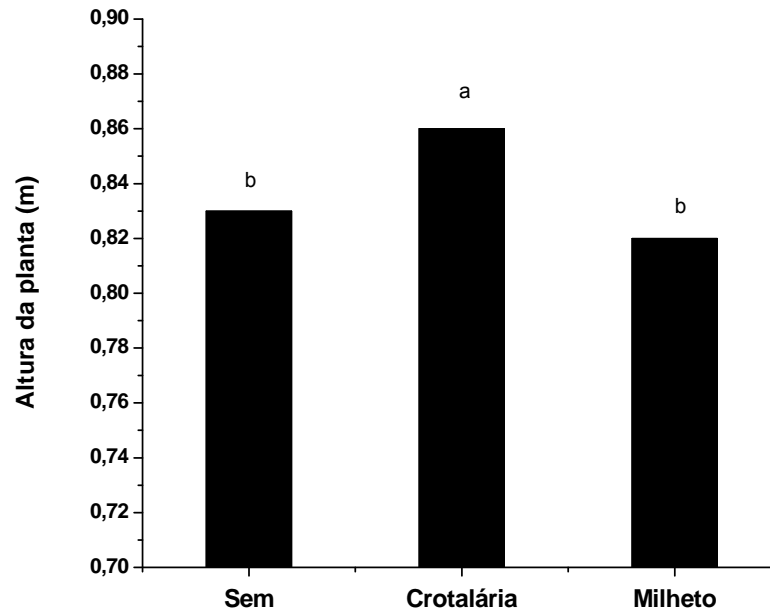


Figura 5 – Altura média da planta de arroz, em relação à aplicação de adubos verdes: milho, crotalária e sem aplicação de fontes orgânica de N. Letras iguais entre coluna não diferem de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A resposta das plantas de arroz em produção de fitomassa seca da palha foi influenciada significativamente pelas doses crescentes de nitrogênio e pelos diferentes adubos verdes (crotalária e milho) e sem adição de N orgânico, não apresentando interação entre fatores. A fitomassa seca da palha de arroz apresentou valor médio de 20,52 g vaso⁻¹ e um coeficiente de variação de 13,32%. Esses dados ajustaram ao modelo de regressão quadrático em função da dose de N mineral, tanto quando do uso de crotalária e o milho. Os dados para fitomassa seca da palha de arroz sem adição N orgânico apresentaram um comportamento linear (Figura 6). Tal fato demonstra que sem o uso de adubo verde as doses de N mineral foram insuficientes para atingir o ponto máximo. Provavelmente em função do menor aporte de N a planta de arroz, evidenciando que os adubos verdes forneceram e proporcionaram condições mais favoráveis a absorção do elemento. A adubação verde melhora as propriedades físicas (NAHAR; HAIDER; KARIM, 1996), químicas e biológicas do solo (MURAOKA et al.,

2002).

2.3.2.3 Produtividade de palha de arroz

Com o uso de crotalária, a produtividade de palha de arroz ajustaram-se melhor pela equação quadrática ($Y=16,8915+0,41316N-0,00346N^2$), atingindo a máxima produtividade ($29,23 \text{ g vaso}^{-1}$) com a dose de $59,71 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral (Figura 6). Para o milho, os dados também ajustaram ao modelo quadrático ($Y=6,2845+0,36082N-0,00248N^2$) com a máxima produtividade ($19,41 \text{ g vaso}^{-1}$) com a dose de $72,75 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral. Comparando as máximas produtividades de palha de arroz de acordo com as regressões, observa-se que o uso de crotalária proporcionou aumento de 33,6% em relação ao uso de milho, que por sua vez, necessitaria um incremento de 21,84% na dose de N mineral para alcançar o ponto máximo de produtividade, comparado ao uso de crotalária.

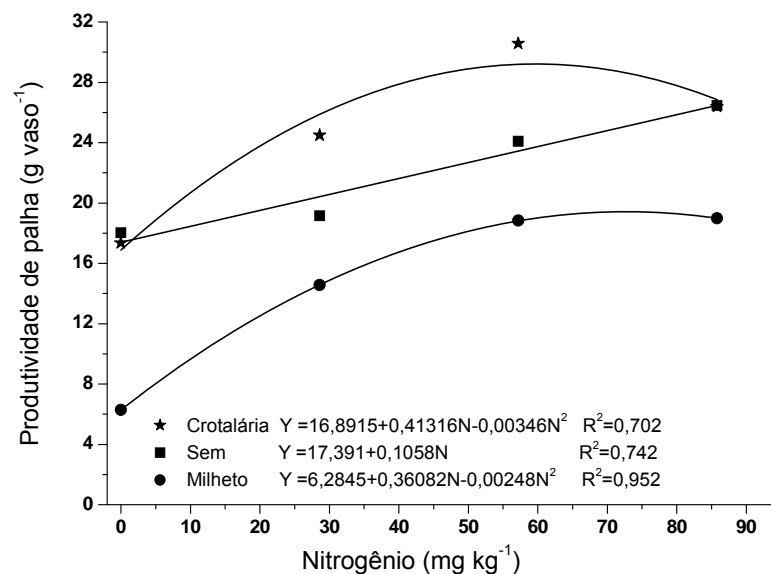


Figura 6 – Produtividade de palha de arroz em função de dose crescente de nitrogênio mineral e uso de crotalária e milho como fontes orgânicas de N

Com relação ao tratamento sem adição de fontes orgânica de N ao solo, a

aplicação de 59,71 mg kg⁻¹ N apresentou uma produtividade de 23,78 g vaso⁻¹ correspondendo esta a 4,72 g vaso⁻¹ (19,90%) superior à produtividade no tratamento com uso de milheto. No entanto, esta dose apresentou comportamento contrário ao uso de crotalária em que a produtividade (29,23 g vaso⁻¹) foi superior em 5,52 g vaso⁻¹ (23,28%). O comportamento com o uso de milheto sugere que aplicação desta espécie induz um aumento na imobilização de N no solo, como já discutido anteriormente, a exemplo do também verificado em outros estudos na cultura de arroz (CLEMENT et al., 1998) e na cultura de milho (SILVA et al., 2006).

2.3.2.4 Produtividade de grãos

Vários autores reportaram o efeito positivo da adubação nitrogenada mineral na cultura do arroz (KOLAR; GREWAL; SINGH, 1993; AMBROSANO et al., 1997; DE DATTA et al., 1988; FARINELLI et al., 2006; GUINDO; WELLS; NORMAN, 1994a; GUINDO; WELLS; NORMAN, 1994b; JENKINSON et al., 2004; SAMONTE et al., 2006; SUREKHA; RAO; SAM, 2008; STONE et al., 1999), e outros demonstraram a importância da aplicação de adubos verdes como fontes de N orgânica (CHERR; SCHOLBERG; MCSORLEY, 2006; FAGERIA, 2007; GLASENER et al., 2002; HAMER; MARSCHNER, 2005; KUMUDINI et al., 2008); MANDAL et al., 2003; MORAN et al., 2005; SHARIFI et al., 2008; SHEEHY et al., 2005; WRIGHT; HONS, 2005; YADVINDER et al., 2004).

O uso de adubos verdes e/ou uréia influenciaram significativamente ($P \leq 0,01$) a produtividade de grãos de arroz. Esta variável ajustou-se ao modelo quadrático em função das doses de N mineral aplicadas como uréia para o uso de crotalária ou milheto e sem aplicação de fonte orgânica de N (Figura 7).

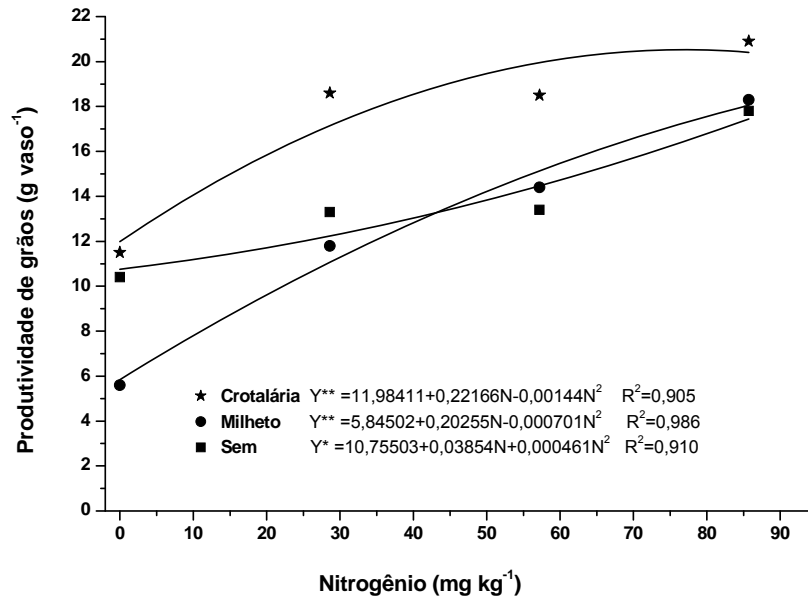


Figura 7 – Produtividade de grãos de arroz em função de doses crescentes de nitrogênio mineral na ausência e presença de adubos verdes (crotalária e milheto)

Embora os tratamentos com aplicação de milheto e sem aplicação de adubos verdes tenham apresentado uma equação quadrática, a aplicação de N mineral não foi suficiente para proporcionar produtividade máxima de grãos. Isso indica que as doses de N estudadas foram insuficientes para a planta de arroz manifestar seu potencial produtivo, não atingindo o ponto de inflexão da curva. Já com a aplicação de crotalária foi alcançada a produtividade máxima ($20,5 \text{ g vaso}^{-1}$) que seria obtida com a dose de $77,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral. Isso demonstra que o uso desta espécie aportou maior quantidade de nitrogênio para a nutrição da planta de arroz, o que contribuiu para a produtividade de grãos com a menor quantidade de N mineral. Resultados semelhantes com uso de leguminosa foram reportado por Muraoka et al. (2002); Scivittaro et al. (2004).

A produtividade de grãos foi influenciada positivamente pela utilização de crotalária quando comparada ao tratamento com milheto e ao sem adubo verde conferindo maior efeito com o aumento da dose de N mineral.

A aplicação de crotalaria na dose zero de nitrogênio mineral proporcionou produtividade de grãos equivalente à aplicação de $26,64 \text{ mg vaso}^{-1}$ de N em relação ao não uso desta leguminosa. Neste sentido, Muraoka et al. (2002) observaram que a crotalaria juncea proporcionou produtividade de grãos ao arroz equivalente à aplicação de 40 kg ha^{-1} de N mineral. Também Silva et al. (2006), avaliando o aproveitamento do N da crotalaria juncea pelo milho cultivado em sucessão sob SPD em dois cultivos, verificaram que embora a recuperação do N tenha sido em média de 21 kg ha^{-1} , a leguminosa proporcionou efeito equivalente à aplicação de 60 a 90 kg ha^{-1} de N na forma de uréia. Isso indica que dentre outros fatores benéficos, possivelmente ocorreu o fornecimento de outros nutrientes que mineralizaram concomitantemente ao N. CHERR; SCHOLBERG e MCSORLEY (2006) indicaram que a qualidade e a natureza da matéria orgânica do solo têm grande influência sobre a disponibilidade de nitrogênio para o crescimento das plantas. No presente trabalho o uso de crotalaria sem aplicação de N mineral no solo conferiu um aumento na produtividade de grãos de 51,26% em relação à aplicação de milho e 12,35% no tratamento sem aplicação de adubo verde, ou seja, a crotalaria representou o equivalente a $24,63 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral. De acordo com Fageria (2007) a adubação verde, além da fixação de N pela leguminosa, melhora as propriedades físicas do solo e fornece outros nutrientes para as plantas (SINGH; KHIND; SINGH, 1991; GEORGE et al., 1994) e, conseqüentemente, aumenta a produtividade das culturas. Isto coincide com os trabalhos de Fageria e Santos (2007); Muraoka et al. (2002); Bordin et al. (2003), esses autores concluíram que a máxima produtividade de grãos na cultura de arroz foi obtida com o uso de adubos verdes e N mineral e indicaram que a combinação de N orgânico conjuntamente com N mineral aumenta a produtividade de grãos no cultivo de arroz.

Observa-se que com o uso de milho e ausência de aplicação de N mineral, ocorreu uma redução de 44,38% na produtividade de grãos, em relação ao tratamento sem aplicação de fontes de N orgânico. Neste sentido, o uso de milho proporcionou uma redução da produtividade de grãos equivalente à aplicação de $26,71 \text{ mg vaso}^{-1}$ de N em relação a testemunha (sem aplicação de N mineral).

Verificou-se também que a produtividade de grãos de arroz com aplicação de N

mineral e uso de milho foi inferior à do tratamento sem uso de adubo verde, até atingir a dose de 43,1 mg kg⁻¹ de N mineral; já a partir dessa dose os tratamentos apresentaram praticamente comportamentos semelhantes. Estes resultados indicam que o uso de milho afetou negativamente a produtividade de grãos de arroz em doses baixas de N mineral. Isto confirma que o uso desta espécie proporcionou imobilização temporária do N, decorrente da atividade da microbiota quimiorganotrófica do solo, em função da sua alta relação C/N. No entanto, a aplicação de alta dose de N contribuiu para a redução da relação C/N. Assim, é importante quando do uso de resíduos com alta relação C/N, proceder maior aporte de N na forma mineral. Resultados similares também foram observados por outros autores reportaram efeito similar com a utilização de milho em outras espécies de gramíneas de alta relação C/N (Silva, 2005).

2.3.3 Adubos verdes marcado com ¹⁵N

2.3.3.1 Teor de nitrogênio na planta

O teor de N na palha de arroz com o uso de crotalária e dose de N mineral apresentou comportamento linear positivo, e os valores de N situaram na faixa de 3,87 a 6,78 g kg⁻¹ (Figura 8). Nota-se que para cada mg de N mineral aplicado, o teor de N aumentou em 33,9 mg kg⁻¹ de massa seca da palha de arroz. Já para o uso de milho, os dados ajustaram à equação de segundo grau $Y=5,445-0,0526N +0,00064N^2$, situando os teores na faixa de 4,36 a 5,64 g kg⁻¹, sendo o teor mínimo de N na palha de arroz com a aplicação de 41,1 mg kg⁻¹ de N mineral ao solo.

O maior teor de N na palha de arroz com o uso de milho foi obtido no tratamento sem aplicação de N mineral quando comparado ao que recebeu 28,6 mg de N, provavelmente em virtude do efeito diluição, pois houve maior produtividade de palha no tratamento sem aplicação de N (Figura 6).

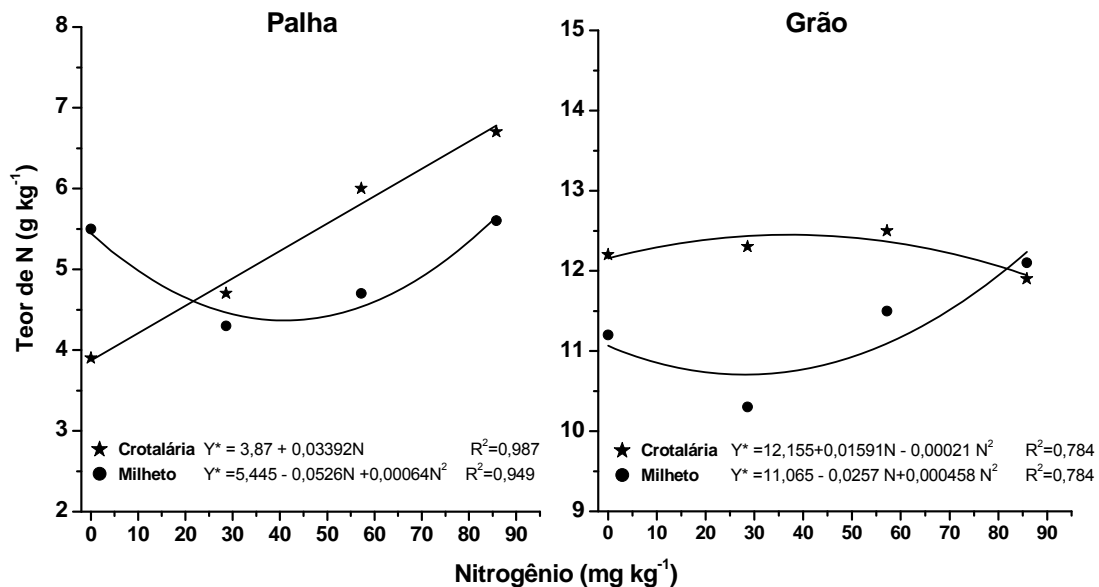


Figura 8 – Teor de nitrogênio na palha e grão de arroz em função da aplicação de nitrogênio mineral e da aplicação de crotalária e milho

Verificou-se um decréscimo do teor de N na palha de arroz com o uso de milho e aumento da dose de N mineral até a aplicação de 41,1 mg kg⁻¹ de N mineral (Figura 8). O uso de milho associado à baixa dose de N mineral pode ter ocasionado uma imobilização do N, com conseqüente indisponibilidade do nutriente, visto que a partir da dose de 41,1 mg kg⁻¹ de N mineral ocorreu aumento do teor de N na palha de arroz, com possível redução da imobilização do N e aumento na mineralização do milho, condicionando, assim, maior disponibilidade do nutriente para a absorção pelas plantas. Além disso, observou-se também aumento na quantidade de N na planta proveniente do adubo verde milho (QNppAV), por efeito de doses maiores de N mineral (Figura 10) e não houve aumento na quantidade de N na planta proveniente do solo (QNppS) nas mesmas doses de N mineral (Figura 16). Comportamento semelhante com o uso de milho e doses de N em condições de campo também foi verificado num Latossolo Vermelho (SILVA, 2005).

De maneira geral, independentemente do uso de adubo verde ou doses de N mineral, os teores de N na palha de arroz situaram-se na faixa adequada de 5,0 a 8,0 g kg⁻¹ (DOBERMANN; WHITE, 1999), mas abaixo das descritas por Raij et al. (1996).

Os teores de N nos grãos foram superiores aos encontrados na palha de arroz (Figura 8), demonstrando serem estes, o principal dreno do nutriente. Com o uso de crotalária os dados ajustaram a um modelo quadrático, em função das doses de N mineral $Y=12,155+0,0159N-0,00021N^2$, apresentando o valor máximo de 12,46 g kg⁻¹ com a dose de 37,9 mg kg⁻¹ de N mineral e o teor mínimo de N no grão foi de 11,97 g kg⁻¹, obtido com a dose de 85,8 mg kg⁻¹ de N mineral. No entanto, a variação entre o teor mínimo e máximo de N no grão foi de 0,49 g kg⁻¹, indicando, assim, pouca influência do N mineral sobre o teor de N no grão com o uso da crotalária.

Para o uso de milho, os dados também ajustaram ao modelo quadrático $Y=11,065 -0,0257N +0,000458N^2$ (Figura 8). No entanto, diferentemente ao uso de crotalária, o maior teor foi obtido com a maior dose de N mineral. Independentemente dos tratamentos os teores ficaram próximo a 12 g kg⁻¹, como descrito por Raij et al. (1996).

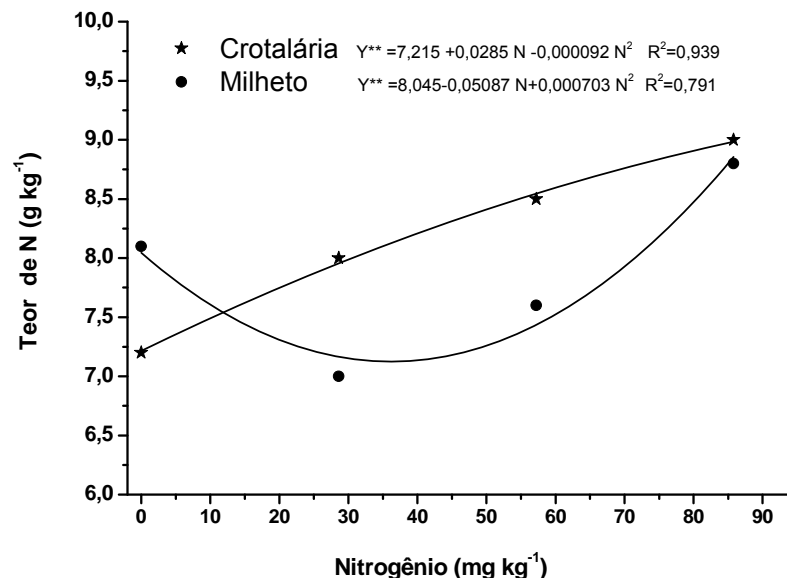


Figura 9 – Teor de nitrogênio na planta inteira (palha+grão) de arroz em relação à aplicação de doses crescentes de nitrogênio e uso de crotalária ou milho

O teor de N na planta de arroz (palha+grão) com uso de crotalária ($Y=7,215+0,0285N-0,000092N^2$) e para o milho ($Y=8,045-0,00509N+0,000703N^2$) em função da dose de N mineral ajustaram-se a equações quadráticas (Figura 9). Observou-se que o teor de N foi menor com o uso de milho (7,12 g kg⁻¹) estimado na dose de 36,18 mg kg⁻¹ de N mineral. Nesta dose de N mineral e com o uso de crotalária, o teor foi de 8,13 g kg⁻¹, representando diferença de 14,2%.

2.3.3.2 Acúmulo de nitrogênio, porcentagem e quantidade de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento do N pelo arroz

Foram observados efeitos significativos das doses de N na quantidade de N acumulada dos adubos verdes (crotalária ou milho) pelas plantas de arroz (palha e grãos). Observou-se que o acúmulo de N na palha de arroz em função das doses de N mineral, tanto para o uso de milho como o de crotalária, apresentou melhor ajuste ao modelo quadrático (Figura 10). O uso de crotalária proporcionou um valor máximo de N acumulado de 182,71 mg vaso⁻¹ de N, correspondente à aplicação de 83,68 mg kg⁻¹ N mineral. Embora tenha se observado um ajuste a um modelo quadrático com o uso de milho, não se atingiu o ponto de máximo dentro das doses de N estudadas.

A dose de N necessária para o máximo acúmulo de N com o uso de crotalária foi de 83,68 mg kg⁻¹ de N, enquanto que com esta mesma dose e uso de milho o acúmulo de N na palha de arroz foi 42,4% menor. Além disso, o uso de crotalária sem aplicação de N mineral equivale a uma dose de 42,53 mg kg⁻¹ de N em relação ao uso de milho sem aplicação de N.

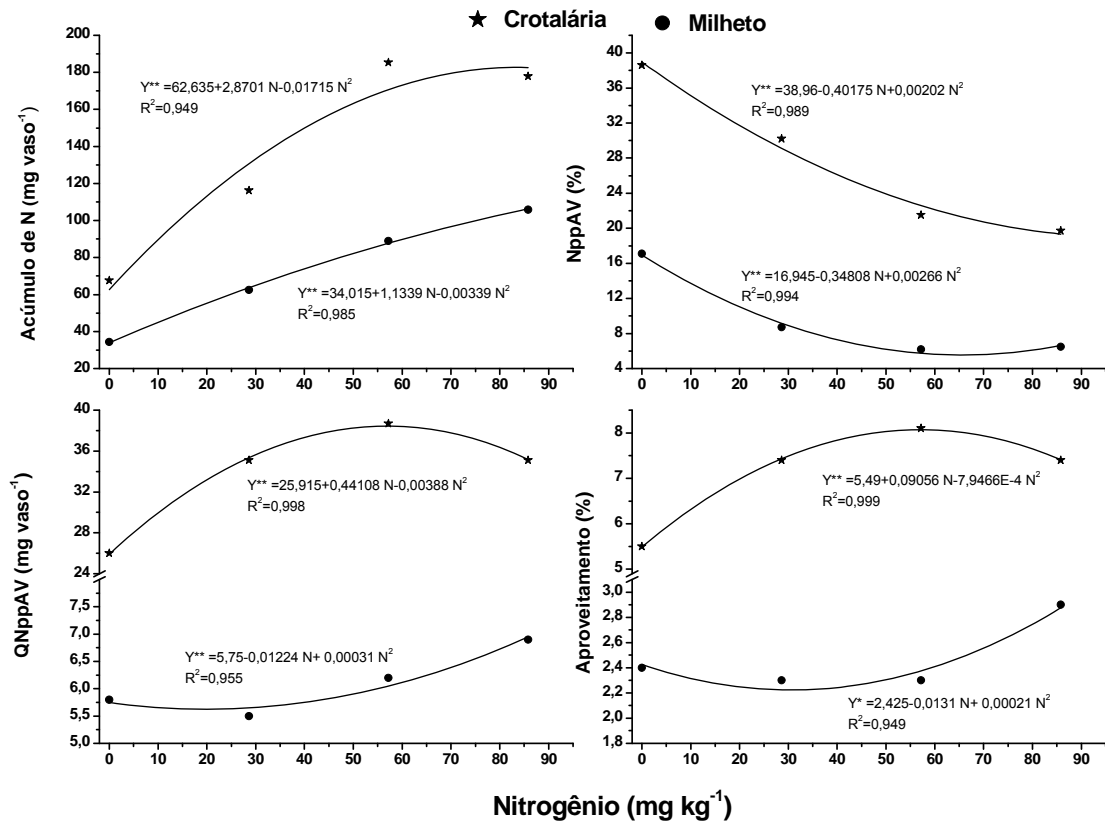


Figura 10 – Acúmulo de nitrogênio, porcentagem (NppAV), quantidade (QNppAV) de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento do nitrogênio dos adubos verdes (crotalária e milheto) pela palha de arroz, em função das doses de nitrogênio mineral

As porcentagens de N na palha de arroz proveniente do adubo verde (NppAV) foram significativas ($P \leq 0,01$) para o uso de crotalária ou milheto em função das doses de N mineral, sendo que os dados ajustaram a um modelo quadrático (Figura 10). Verificou-se uma redução da NppAV com o aumento da dose de N mineral para ambos adubos verdes. Com a aplicação de 65 mg kg⁻¹ de N mineral ao solo e uso de milheto obteve-se o valor mínimo de NppAV (5,56%). Comparando-se o uso de crotalária ao de milheto, na dose zero de N mineral, verificou-se uma diferença de 22,01% com o uso dessa leguminosa no NppAV na palha de arroz.

A quantidade de N na palha de arroz proveniente do adubo verde (QNppAV) tanto para crotalária como milho foi influenciada significativamente ($P \leq 0,01$) pelas doses de N mineral e os dados ajustaram a um modelo de regressão polinomial de segundo grau (Figura 10). As doses de N mineral proporcionaram aumento da QNppAV (crotalária) na palha de arroz, até atingir valor máximo na dose de $56,84 \text{ mg kg}^{-1}$ de N. Nesta dose de N também se observou maior aproveitamento (8,1%) do N da crotalária.

Independentemente da dose de N, a QNppAV (milho) foi inferior à da crotalária, que pode ser explicado, em parte, pela menor quantidade de N aplicado na forma de milho. No entanto, a maior relação C/N desta espécie certamente foi o principal fator que contribuiu para o menor aporte de N desta fonte, visto que, o aproveitamento, que é relativo à dose aplicada, foi muito inferior ao aproveitamento de N da crotalária.

O aproveitamento de N do milho pela palha de arroz apresentou pouca variabilidade em função das diferentes doses de N, situando-se na faixa de 2,2 a 2,8% do N contido no resíduo (Figura 10).

O acúmulo de N no grão de arroz aumentou de forma quadrática com o incremento das doses de N mineral aplicado ao solo conjuntamente com crotalária (Figura 11). Pela equação, estimou-se um valor máximo de $248,7 \text{ mg vaso}^{-1}$ ocorrido com a dose de $69,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral. Verificou-se ainda que, o uso de crotalária representou a dose equivalente a $43,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de N, em relação ao uso de milho. Essa dose é próxima à obtida para o acúmulo de N na palha de arroz, que foi equivalente a $42,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de N (Figura 10). Entretanto, com o uso de milho o comportamento foi linear em função das doses de N mineral ($Y=64,52 + 1,82587N$), sendo que o acúmulo N no grão variou de 64,52 a $221,18 \text{ mg vaso}^{-1}$. Esses valores correspondem a um aumento de acúmulo de N nos grãos de $1,83 \text{ mg vaso}^{-1}$ de N para cada mg de N mineral aplicado ao solo.(Figura 11).

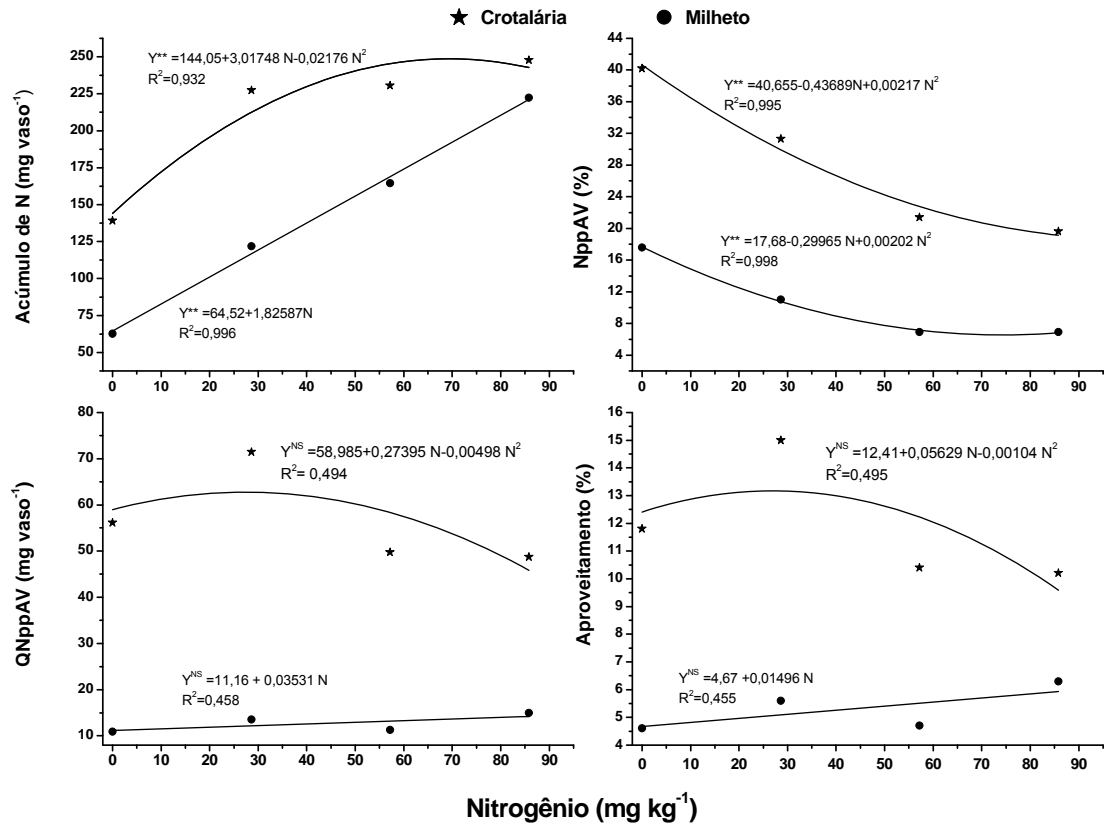


Figura 11 – Acúmulo de nitrogênio, porcentagem (NppAV), quantidade (QNppAV) de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento do nitrogênio dos adubos verdes (crotalária e milheto) pelos grãos de arroz, em função das doses de nitrogênio mineral

A porcentagem de N nos grãos de arroz proveniente do adubo verde (NppAV) em relação às doses de N mineral apresentou efeito significativo ($P \leq 0,01$), com o uso de crotalária ou milheto, e os dados foram ajustados ao modelo de regressão polinomial de segundo grau (Figura 11). Verificou-se uma diminuição na NppAV tanto para o milheto como crotalária com o aumento da dose de N mineral. Quando não foi aplicado N mineral ao solo, a NppAV (crotalária) nos grãos de arroz correspondeu a uma dose equivalente de 23,0 mg kg⁻¹ de N em relação à aplicação de milheto. Observou-se que

a NppAV (milheto) nos grãos de arroz na dose de 52,0 a 85,8 mg kg⁻¹ de N mineral apresentou pequena variação, sendo a diferença inferior a 1% .

A QNppAV (milheto e crotalária) e o aproveitamento de N pelos grãos de arroz não foram influenciados significativamente pela aplicação de N mineral ao solo. Em média a QNppAV (crotalária) foi de 56,4 mg vaso⁻¹, correspondendo a um aproveitamento médio de 11,8% do N aplicado na forma resíduo (476,77 mg vaso⁻¹). Já a QNppAV (milheto) foi em média de 12,7 mg vaso⁻¹, equivalente a um aproveitamento de 5,3% do N aplicado na forma de adubo verde (239,26 mg vaso⁻¹).

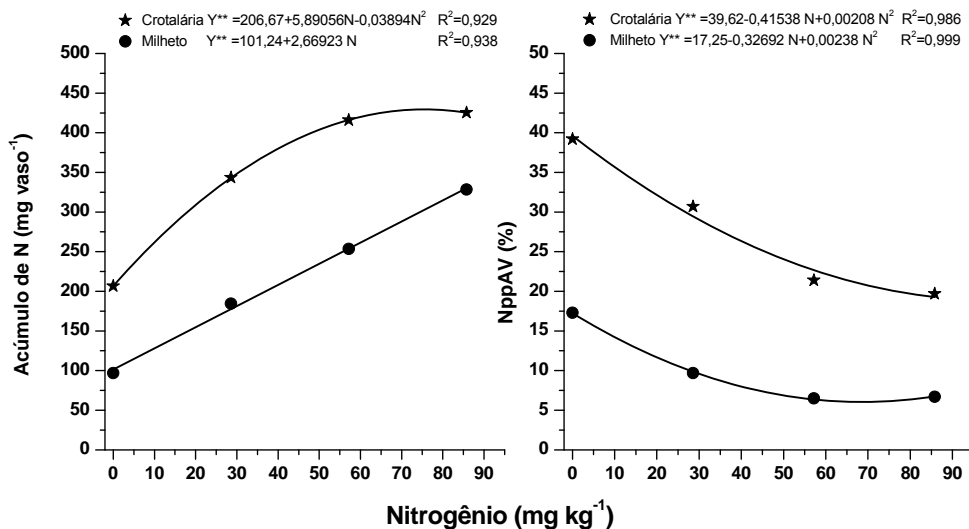


Figura 12 – Acúmulo de nitrogênio e porcentagem (NppAV) de N na planta inteira (palha+grãos) proveniente do adubo verde (crotalária e milheto) em função das doses de nitrogênio mineral

O N acumulado nas plantas (palha+grãos) por vaso aumentou com o aumento da doses de N mineral (Figura 12), semelhante ao observado na palha (Figura 10) e grãos (Figura 11) de arroz. Esse efeito também foi observado para a porcentagem de NppAV, no entanto, apresentou um comportamento quadrático decrescente com o aumento das doses de N-uréia.

Tabela 4 – Acúmulo de nitrogênio na planta de arroz (AN), porcentagem (NppAV), quantidade (QNppAV) de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento (Ap) do nitrogênio dos adubos verdes (crotalária e milho) pela planta inteira de arroz (palha+grão), em função das doses de nitrogênio mineral

Adubo verde	AN	QNppAV	NppAV	Ap
	-----mg vaso ⁻¹ -----		-----%-----	
Crotalária	347,9 a*	90,2 a	27,5 a	18,9 a
Milho	215,8 b	18,6 b	10,0 b	7,8 b
CV%	9,99	15,54	10,21	14,18

*médias com letras iguais nas colunas não diferem de acordo com o teste de Tukey ao 5%.

Considerando-se as médias gerais do acúmulo de nitrogênio (AN), porcentagem (NppAV), quantidade (QNppAV) de N na planta proveniente do adubo verde e aproveitamento (Ap) em função das doses de N, para a planta inteira (palha+grão) de arroz, verificou-se que em todas essas variáveis os valores foram superiores para o N da crotalária (Tabela 4). Comparando-se os valores de QNppAV da crotalária e do milho, observa-se que o QNppAV da leguminosa foi aproximadamente 5 vezes superior ao do milho, que pode ser explicado pela menor quantidade de N aplicada na forma de milho e, principalmente pela maior relação C/N desta espécie (Tabela 3), que certamente promoveu mineralização mais lenta dos resíduos.

O aproveitamento do N do adubo verde, que é relativo à dose de N aplicada, foi de 2,4 vezes superiores para o N da crotalária (18,9%) em comparação ao N do milho (Tabela 4). Outros pesquisadores obtiveram valores de aproveitamento de N da crotalária entre 10% a 37% para o cultivo de arroz (MURAOKA et al., 2002) e de 8% para trigo (ARAÚJO et al., 2005). Estudando outra leguminosa (*Sesbania aculeata*), outros autores relataram aproveitamentos de 19,3% do N aplicado como adubo verde pela planta de arroz (AZAM, 1990) e 19,7% pelo sorgo (KURDALI, et al., 2007).

Usando mucuna-preta como fonte de N, Muraoka et al. (2002) e Scivittaro et al. (2003) encontram valores de aproveitamento de 3 a 8% do N desse adubo verde pelas plantas de arroz e de 12% para milho, respectivamente.

Pelos valores de aproveitamentos observa-se que a maior parte do N dos adubos verdes, principalmente do milho, permaneceu no solo, provavelmente na forma orgânica, visto que estudos demonstram que a maior parte do N do adubo verde tem como destino o solo (HARRIS; HESTERMAN 1994; SILVA et al., 2006; AMADO et al., 2002; SCIVITTARO et al., 2000; SCIVITTARO et al., 2003; MURAOKA et al., 2002; AZAM, 1990; AZAM; MALIK; SAJJAD, 1985; AZAM et al., 1991; AZAM; SIMMONS; MULVANEY, 1994). Mengel (1996) relatou que menos de 50% do N incorporado no solo na forma orgânica é transformado em N inorgânico pela mineralização e a outra parte é encontrada em associação à massa microbiana do solo.

2.3.3.3 Absorção de N das raízes e parte aérea dos adubos verdes

A quantidade de N acumulado não apresentou diferenças entre os tratamentos (Tabela 5), indicando que os distintos adubos verdes (milho ou crotalária) foram indiferentes quanto à absorção e translocação de N para a parte aérea (PA) da planta de arroz. Os valores foram, em média, de 166,0 mg vaso⁻¹ N para o arroz cultivado com uso de crotalária, e de 155,3 mg vaso⁻¹ N com uso de milho.

A porcentagem de NppAV, a QNppAV e o Ap pela palha de arroz (parte aérea, exceto os grãos) foi influenciado pela aplicação de raízes ou PA como fonte orgânica de N (Tabela 5). A maior contribuição da porcentagem de NppAV do N para a palha de arroz foi com o uso da PA de crotalária (21,7%), que correspondeu a 4 vezes mais do que o N fornecido pela PA de milho (5,2%). Já as porcentagens de NppAV da raiz de crotalária e milho não apresentaram diferenças significativas, com média de 2,5% do N na palha (Tabela 5) e nos grãos de arroz (Tabela 6). Esses resultados demonstram que o sistema radicular constitui numa importante fonte de N para as culturas, embora, na maioria das vezes, quando se avalia o fornecimento de N pelos adubos verdes considera-se apenas a parte aérea. Além disso, outros nutrientes podem ser disponibilizados concomitantemente ao N, e também o sistema radicular pode proporcionar outros benefícios ao solo, como a liberação de exudatos radiculares, que possuem grandes quantidades de ácidos orgânicos (málico, cítrico, oxálico, succínico,

dentre outros), e promover melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CARVALHO ; AMABILE, 2006).

Tabela 5 – Acúmulo de nitrogênio (AN), quantidade (QNppAV) e porcentagem (NppAV) e aproveitamento (Ap) do N da parte aérea e raízes da crotalária e do milho pela palha de arroz planta

Adubo verde		AN -----mg vaso ⁻¹ -----	QNppAV	NppAV -----%-----	Ap
Crotalária	Parte aérea	176,3*	38,3a	21,7 a	9,6 a
	Raiz	155,6	4,8b	3,1 b	6,3 ab
Milheto	Parte aérea	155,0	8,3b	5,2 b	4,6 b
	Raiz	155,7	3,2b	2,0 b	5,3 b

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A QNppAV apresentou comportamento semelhante ao da porcentagem de NppAV, ou seja, a aplicação de parte aérea da crotalária foi superior aos demais resíduos utilizados, com valor de 38,3 mg vaso⁻¹ de N na palha de arroz (Tabela 5). Ressalta-se que a quantidade utilizada de raiz de crotalária de 3 g, foi inferior em relação à de parte aérea (20g). Assim, quando se compara o aproveitamento do N, que é relativo à quantidade aplicada, não houve diferenças para o aproveitamento do N da PA e das raízes da crotalária, ou de ambas as partes para o N do milho. Não houve diferença também no aproveitamento do N da raiz da crotalária com o do N da PA ou raiz de milho. Apesar de normalmente considerar-se somente o N contido na parte aérea de adubos verdes, a parte radicular é uma importante fonte de N e de outros nutrientes que podem ser mineralizados (AZAM et al., 1985; SILVA et al., 2007). Outros autores também encontram diferenças no aproveitamento do N entre raiz (52%) e parte aérea (19,6%) de sesbania pela planta de sorgo (KURDALI et al., 2007).

O aproveitamento do N das raízes (5,3%) e parte aérea (4,6%) do milho pela palha de arroz foi inferior ao N da PA da crotalária (9,6%) (Tabela 5), possivelmente devido à mineralização mais lenta do milho, que apresenta maior relação C/N (Tabela 3). Além disso, pode também ter ocorrido reimplantação do N mineralizado da PA do

milheto (LARA CABEZAS et al., 2004; HAVLIN et al., 2005). Normalmente quando resíduos vegetais com uma relação C/N > 30 são adicionados ao solo, ocorre maior imobilização do que mineralização de N durante o processo inicial de decomposição, decorrente de o solo não possuir N suficiente para suprir a microbiota quimiorganotrófica mediadora do processo de mineralização, conforme relatado por Victoria et al (1994) e Fageria; Stone e Santos (2003). Neste sentido, Barber (1995) considera que com a adição de materiais com relação C/N superior a 20 ocorre a imobilização do N. No entanto, outros fatores intrínsecos dos resíduos vegetais influenciam a taxa de mineralização, como por exemplo, o teor de lignina, de polifenóis, a relação lignina/N e polifenóis /N (MYARS et al., 1994; PALM ; SANCHEZ, 1991; SILVA et al., 2006; SCIVITTARO et al., 2000).

Tabela 6 – Acúmulo de nitrogênio (AN), quantidade (QNppAV) e porcentagem (NppAV) e aproveitamento (Ap) do N da parte aérea e raízes da crotalária e do milheto pelos grãos de arroz

Adubo verde		AN	QNppAV	NppAV	Ap
		-----mg vaso ⁻¹ -----		-----%-----	
Crotalária	Parte aérea	215,6	50,2 a	23,3 a	12,5 a
	Raiz	248,5	7,5 b	3,0 b	9,8 ab
Milheto	Parte aérea	210,8	12,2 b	5,8 b	6,8 b
	Raiz	206,2	4,1 b	2,0 b	6,8 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A quantidade de N acumulado nos grãos do arroz não apresentou diferenças significativas entre o uso da crotalária ou milheto (Tabela 6). O valor médio do N acumulado nos grãos foi de 220,3 mg N vaso⁻¹, que representa um aumento de 37,2 % no acúmulo de N no grão em relação à palha de arroz (Tabela 5), demonstrando ser este o dreno principal do nutriente.

Em relação à porcentagem de NppAV nos grãos de arroz, a PA de crotalária foi superior as demais fontes orgânicas de N (Tabela 6). As porcentagem de NppAV nos

grãos de arroz proveniente das raízes de milho foram de 2%, e de 3 % para as raízes de crotalária. O aproveitamento do N da PA de crotalária pelos grãos de arroz foi de 12,5%, sendo este superior ao da PA e raiz do milho. Isto indica que os resíduos da crotalária mineralizaram mais rapidamente que os de milho.

O aproveitamento de N pela planta inteira de arroz foi de 22,1% para a aplicação de N na forma de PA de crotalária e não diferiu da aplicação de raiz desta leguminosa, que apresentou valor médio de 16%. Esses valores foram superiores ao aproveitamento do N da PA e raiz de milho.

2.3.4 Adubação mineral com nitrogênio

2.3.4.1 Teor de nitrogênio total na planta de arroz

Foi observado efeito significativo ($P \leq 0,01$) das doses de N mineral e da ausência e presença de adubos verdes (milho ou crotalária) no teor de N na palha de arroz (Figura 13).

Para o teor de N no grão, embora a uso de adubos verdes tenha proporcionado efeito significativo em função da dose N mineral, o uso de crotalária ($11,5 \text{ g kg}^{-1}$ de N) ou milho ($10,3 \text{ g kg}^{-1}$ de N) foi semelhante estatisticamente, mas inferiores ao tratamento sem uso de adubo verde ($13,6 \text{ g kg}^{-1}$ de N).

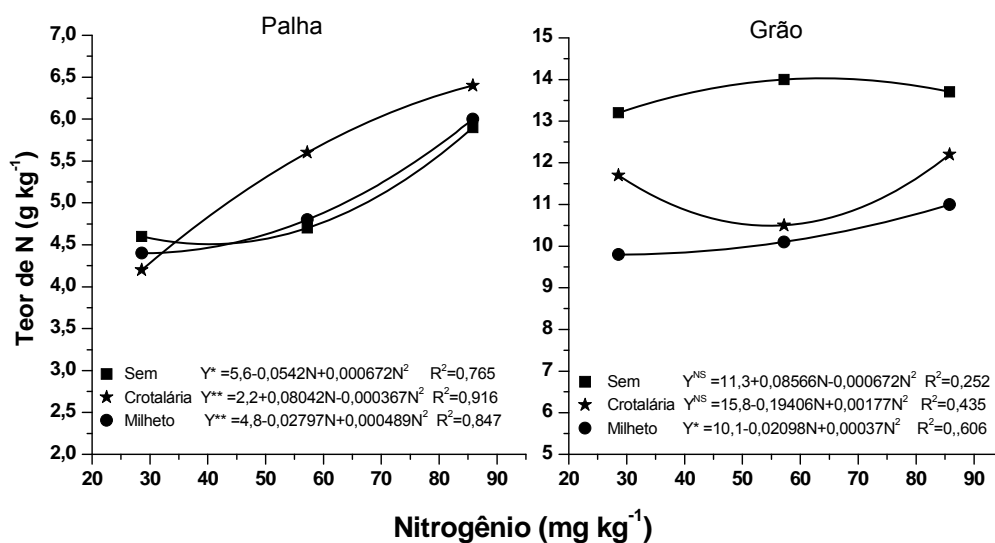


Figura 13 – Teor de nitrogênio na palha e nos grãos de arroz em função das doses de N mineral, na ausência e presença de crotalária ou milheto

O menor teor nos grãos com uso de crotalária foi, provavelmente, pelo efeito diluição, pois nesse tratamento houve maior produtividade de grãos comparados ao sem aplicação de adubo verde; e para o milheto, possivelmente pela maior imobilização do N mineral aplicado e/ou do N nativo do solo.

Observou-se que a dose de $57,2 \text{ mg kg}^{-1}$ N mineral com uso de crotalária proporcionou maior teor de N na palha e nos grãos de arroz, quando comparado ao uso de milheto (Figura 13).

O teor médio de N nos grãos de arroz foi de $12,2 \text{ g kg}^{-1}$ para o uso de crotalária, de $11,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o uso de milheto, e de $13,7 \text{ g kg}^{-1}$ para o tratamento sem a adição de adubo verde.

2.3.4.2 Acúmulo de N, quantidade, porcentagem e aproveitamento de N proveniente do fertilizante pela planta de arroz

Observou-se efeito significativo de doses de nitrogênio sobre todas as demais variáveis relacionadas ao N na palha de arroz proveniente do fertilizante mineral, exceto para o aproveitamento do N (Figura 14). Verificou-se que as doses de N proporcionaram resposta linear e positiva ($P \leq 0,01$) no acúmulo de N na palha de arroz, tanto com uso de crotalária como de milheto e também que a aplicação de N mineral favoreceu o acúmulo de N, a QNppf e a Nppf.

Com o uso de crotalária, a quantidade de N acumulada variou de 98,57 a 187,97 mg vaso^{-1} , de 63,10 a 104,10 mg vaso^{-1} com milheto e de 86,92 a 154,87 mg vaso^{-1} sem uso de adubo verde. Considerando esses valores, observou-se que o uso de milheto aumentou 7,2 mg de N (vaso) na palha de arroz para cada 10 mg de N mineral aplicado no solo (kg), enquanto que o uso de crotalária proporcionou um aumento de 15,6 mg de N (vaso). Isto demonstra que houve maior efeito da combinação dessa leguminosa com as doses de N mineral no acúmulo de N na palha de arroz em relação ao milheto.

Resultados semelhantes com o uso dessa leguminosa foi verificado por Scivittaro et al., (2000).

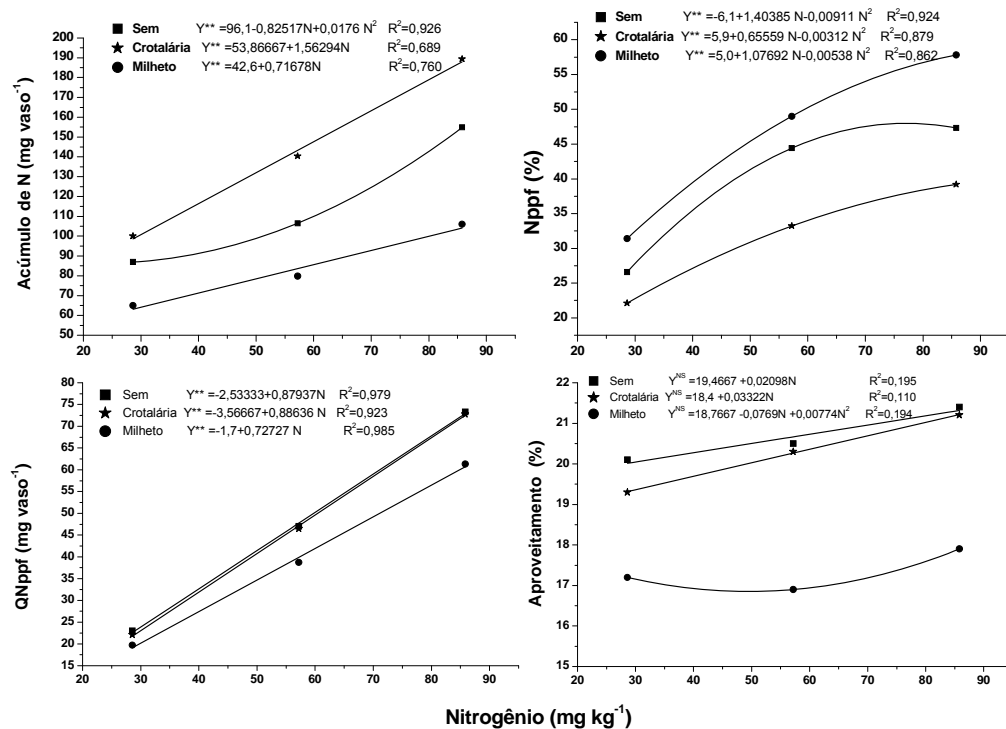


Figura 14 – Acúmulo de nitrogênio, porcentagem (Nppf) e quantidade (QNppf) de nitrogênio na planta de arroz (palha) proveniente do fertilizante e aproveitamento do nitrogênio do fertilizantes pela palha de arroz em função da doses crescente de nitrogênio mineral, na ausência e presença de adubo verde (crotalária ou milheto)

A porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (Nppf) na palha de arroz, ajustou-se ao modelo quadrático, em relação às doses de N mineral, tanto para o uso de milheto ou crotalária como para os tratamentos sem a adição desta fonte de N. A Nppf na palha de arroz variou na faixa de 22,13 a 39,18% para o uso de crotalária, e de 26,56 a 47,27% nos tratamentos sem o uso de adubo verde. Estes valores foram

inferiores à Nppf na palha com o uso de milho e situaram-se na faixa de 31,33 a 57,64%.

A QNppf com o uso de crotalária, milho ou ausência destas fontes apresentaram o mesmo comportamento (linear positivo) em relação às doses de N. Isto indica que o incremento da dose de N mineral proporcionou maior acúmulo de N desta fonte na palha de arroz (Figura 14).

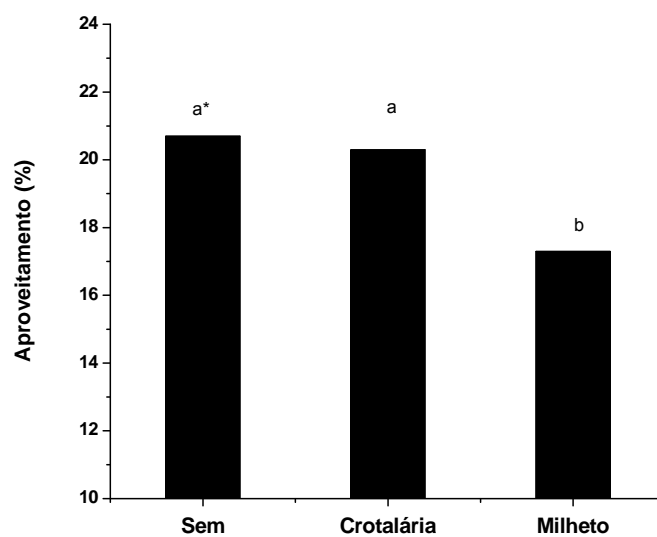


Figura 15 – Aproveitamento do nitrogênio do fertilizante pela palha de arroz, em função do uso de crotalária, de milho ou ausência destas fontes. *Letras iguais nas colunas não diferem de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5%

Observou-se efeito significativo ($P \leq 0,05$) do aproveitamento de N pela palha de arroz em função do uso de adubo verde. No entanto, não houve efeito significativo da aplicação do fertilizante mineral, sendo que o aproveitamento do N do fertilizante pela palha de arroz foi de 19,43%.

Não houve efeito no aproveitamento de N do fertilizante pela palha de arroz nos tratamentos com o uso de crotalária e sem adubo verde (Figura 15). Semelhantemente, Diekmann et al. (1993) também não observaram alterações na recuperação do N do fertilizante mineral em presença de adubos verdes. Por outro lado, Scivittaro et al., (2003) observaram maior aproveitamento do N da uréia na presença de outra

leguminosa (mucuna-preta) e atribuíram este efeito a redução de perdas de N no sistema solo-planta.

Observou-se redução do aproveitamento do N-uréia pelas plantas de arroz no tratamento com uso de milho comparado ao sem adubo verde (Figura 15), provavelmente pela imobilização de parte do N do fertilizante pelo milho prejudicando a absorção de N pela planta. Azam et al. (1985) e Corak; Smith e Mackown (1992) também reportaram redução da eficiência de utilização de N da fonte mineral; esses autores igualmente atribuíram este efeito à imobilização de N do fertilizante.

Para o acúmulo de N no grão de arroz, verificou-se significância ($P \leq 0,05$) em relação à dose de fertilizante, e os dados foram ajustados ao modelo de regressão quadrático para milho, crotalária ou ausência de adubo verde (Figura 16). Houve aumento no acúmulo de N no grão de arroz com o aumento da quantidade de N mineral. O uso de milho proporcionou menor acúmulo de N no grão em relação à crotalária, sendo a maior diferença observada para a dose a $57,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N}$.

Observou-se significância ($P \leq 0,01$) da aplicação de fertilizante mineral e adubos verdes na Nppf. Com o incremento da dose de N mineral houve aumento da Nppf, tanto com o uso de crotalária ou milho como sem adição dessas fontes orgânicas de N. Estimou-se com o uso da equação de regressão de segundo grau, que a dose de $78,6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N}$ proporcionou a maior Nppf (49,62%), sem o uso adubo verde. Com o uso de milho foram observados valores de Nppf na faixa de 31,70% a 61,10%, sendo estes superiores aos valores com o uso de crotalária (21,50% a 41,12%). Valores menores de Nppf na palha de arroz também foram observados com uso de crotalária comparado ao milho (Figura 14).

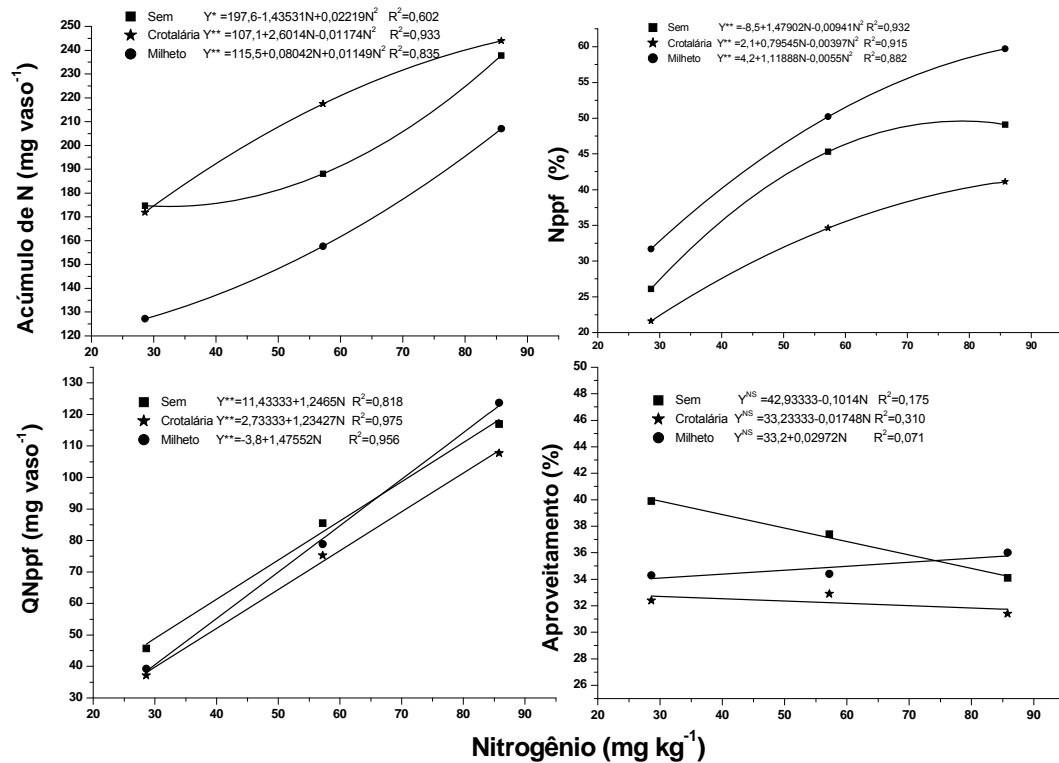


Figura 16 – Acúmulo de nitrogênio, porcentagem (Nppf) e quantidade (QNppf) de nitrogênio na planta de arroz (palha) proveniente do fertilizante e aproveitamento do nitrogênio do fertilizantes pelos grãos de arroz em função das doses de nitrogênio mineral, na ausência e presença de adubo verde (crotalária ou milheto)

Não houve efeito significativo do uso de adubos verdes na QNppf. No entanto, a aplicação de uréia proporcionou efeito significativo ($P \leq 0,01$) e os dados ajustaram a um modelo linear para a aplicação de crotalária, milheto e sem o uso de adubo verde (Figura 16). Os valores da QNppf nos grãos variaram de 40,68 a 116,14 mg vaso⁻¹ para a aplicação de fertilizantes, independentemente da adubação verde. O aproveitamento do N do fertilizante pelo grão de arroz não foi influenciado pelas doses de N mineral e adubo verde, apresentando média de 34,75% (Figura 16).

Na Figura 17 são apresentados os dados da planta inteira de arroz (palha+grão). O acúmulo de N, a QNppf e o aproveitamento de N foram obtidos pelas somatórias dos resultados de palha e grãos, enquanto que a porcentagem de Nppf foi obtida por médias ponderadas. O acúmulo de N na planta de arroz apresentou significância ($P \leq 0,01$) para a aplicação de fertilizante e adubos verdes e os dados ajustados ao modelo de regressão linear. A aplicação de crotalária apresentou os valores mais altos de acúmulo de N, compreendendo a faixa de 273,7 a 435,1 mg vaso⁻¹. Isto representa aumento de 4,8 a 12,7% no acúmulo de N pela utilização de crotalária em relação ao tratamento sem a adição de fontes de N orgânico ao solo. O uso de milho como adubo verde proporcionou efeito negativo no acúmulo de N na planta de arroz, independentemente da dose de nitrogênio N aplicado.

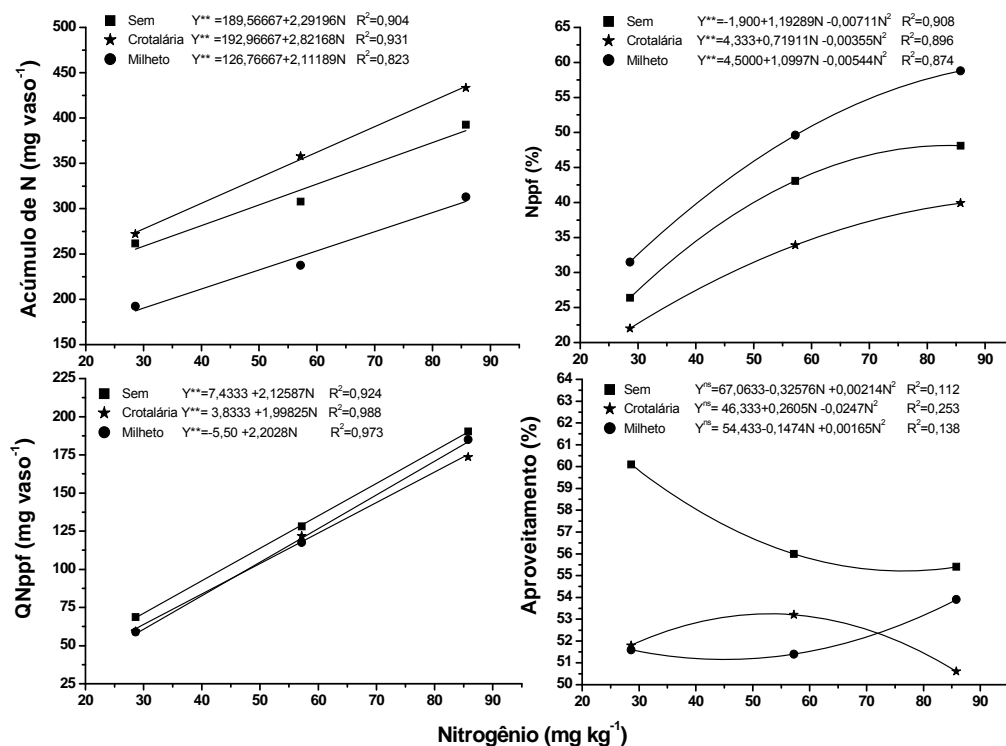


Figura 17 – Acúmulo de nitrogênio, porcentagem (Nppf) e quantidade (QNppf) de nitrogênio na planta de arroz (palha+grão) proveniente do fertilizante e aproveitamento do nitrogênio dos fertilizantes pela planta de arroz (palha+grão), em função das doses de nitrogênio mineral, na ausência e presença de adubo verde (crotalária ou milho)

Houve diferença significativa na porcentagem de Nppf para a aplicação de fertilizante e adubo verde e a resposta foi quadrática e positiva ($P \leq 0,01$) em relação às doses de nitrogênio para cada nível de adubo verde (crotalária, milho e sem o uso de adubo verde).

A QNppf não foi influenciada pelo uso de crotalária ou milho. Entretanto, obteve-se resposta linear positiva ($P \leq 0,01$) em relação às doses de N para a planta de arroz (palha+grão), representada pela equação geral $QNppf = 1,9296 + 2,10897N$. Os valores médios da QNppf situaram-se na faixa de 62,25 a 182,88 mg vaso⁻¹, independentemente da aplicação de adubo verde (Figura 17).

As doses de N e aplicação de adubo verde não influenciaram o aproveitamento de N do fertilizante pela planta de arroz (palha+grão) (Figura 17). Em média, o aproveitamento de N foi de 53,76%. Valor inferior de aproveitamento de N da uréia foi observado por Bronson et al., 2000). Esses autores relataram aproveitamento de 44,4% do N fertilizante na cultura de arroz utilizando o método isotópico.

2.3.4.3 Parcelamento do nitrogênio mineral e aplicação dos adubos verdes

Não houve diferença significativa para a produtividade de grãos de arroz em função do uso de adubos verdes (crotalária ou milho) e sem o uso destas fontes de N, apresentando produtividade média de 17,97 g vaso⁻¹ (Tabela 7). Já a produtividade de palha foi menor com o uso de milho e igual estatisticamente com o uso de crotalária e sem adição de adubo verde. Também houve diferença ($P \leq 0,05$), para o teor e acúmulo de N tanto na palha como nos grãos de arroz, tendo sido observados menores valores com o uso de milho como adubo verde.

Embora não tenha havido diferenças entre os tratamentos sem o uso de adubo verde e o uso de crotalária na produtividade de massa seca, teor de N e acúmulo de N na palha, o uso de crotalária proporcionou maior acúmulo de N nos grãos de arroz.

Tabela 7 – Produtividade de massa seca, teor e acúmulo de N na planta de arroz (palha e grão) em função do uso de adubos verdes (crotalária e milho) e sem o uso de adubo verde

Adubo	Massa seca		Teor de N		Acúmulo de N	
	----g vaso ⁻¹ ----		----g kg ⁻¹ ----		----mg vaso ⁻¹ ----	
Verde	Palha**	Grão ^{ns}	Palha*	Grão**	Palha**	Grão**
Sem	23,48 a	17,15	7,73 a	13,10 a	186,28 a	222,12 b
Crotalária	27,75 a	19,43	8,33 a	12,82 a	232,10 a	248,40 a
Milho	18,18 b	17,33	7,72 b	10,73 b	104,42 b	185,65 c
CV %	15,25	9,09	14,96	7,22	27,30	5,81
Média	23,14	17,97	7,26	12,22	174,27	218,72

Médias com letras iguais nas colunas não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5%.

Comparando-se o acúmulo de N nos grãos entre os tratamentos com ou sem uso de adubos verdes, o uso de crotalária proporcionou aumento de 11,83%, ao contrário do milho, que reduziu em 16,42% o acúmulo desse nutriente nos grãos. Tal fato provavelmente foi devido à imobilização de N.

Como esperado os valores de Nppf e de QNppf foram maiores quando se aplicou o N mineral em cobertura que na semeadura, pois aplicou-se 20% (11,4 mg vaso⁻¹ de N) do total da dose de N na semeadura, e 80% (45,8 mg vaso⁻¹ de N) na adubação de cobertura (Tabela 8). O maior valor de Nppf na planta de arroz foi obtido no tratamento com aplicação de milho, enquanto que o menor foi com a aplicação de crotalária.

Não houve diferença no aproveitamento de N da uréia pela planta de arroz (palha+grãos) em função da adição do N na semeadura ou em cobertura, nos tratamentos sem adição de adubo verde e com o uso de milho. No entanto, com o uso de crotalária observou-se menor aproveitamento de N aplicado em cobertura (47,1%) em relação à semeadura (61,7%); isto provavelmente ocorreu porque o período de maior absorção de N encontra-se entre as fases de perfilhamento e início da reprodutiva (SCIVITTARO; MACHADO, 2004) e aproximadamente 60% do N no grão é adquirido antes do início da panícula na cultura de arroz. (SHEEHY et al., 2005). Apesar disso, a produtividade de fitomassa seca de palha (Figura 6) e grãos (Figura 7)

de arroz neste tratamento foi superior aos com o uso de milho e sem aplicação de adubo verde; isso ocorreu pelo maior aproveitamento do N da crotalária (Figura 10).

Tabela 8 – Porcentagem (Nppf) e quantidade (QNppf) de nitrogênio na planta de arroz (palha+grãos) proveniente do fertilizante e aproveitamento do nitrogênio do fertilizantes em função da aplicação de N na semeadura e em cobertura na ausência e presença de adubos verdes (crotalária e milho)

Adubo Verde	Nppf		QNppf		Aproveitamento	
	-----%-----		-----mg vaso ⁻¹ -----		-----%-----	
	Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura
Sem	7,6 Bab	29,0 Ab	28,9 B	124,1 A	63,3	67,8 a
Crotalária	6,2 Bb	21,6 Ac	28,1 B	107,7 A	61,7 A	47,1 Bb
Milho	8,3 Ba	38,4 Aa	24,0 B	107,3 A	52,7	58,6 a
CV %	9,91	9,41	9,65	7,16	9,61	7,58
Media	7,4	29,7	27,0	113,0	59,2	57,8

Médias com letras minúsculas iguais, na coluna, e maiúsculas, na linha, para as diferentes variáveis, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

2.3.5 Quantidade e porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do solo

Observou-se efeito significativo da dose de N na presença e na ausência de adubo verde sobre a quantidade de N na planta proveniente do solo (QNppS) (Figura 18). Para o uso de crotalária, houve aumento quadrático da QNppS em função do aumento da dose de N mineral. Para o uso de milho, também foi observado comportamento quadrático, ocorrendo aumento da QNppS até a dose de 28,6 mg kg⁻¹ de N, e a partir desta dose os valores mantiveram-se constante. A aplicação de N mineral sem uso de adubo verde também proporcionou efeito quadrático na QNppS. De maneira geral, a maior QNppS foi para o tratamento sem o uso de adubo verde, seguido de crotalária e menor com de milho. Isso indica que a adição de uma fonte mineral proporcionou mineralização do N nativo do solo, sendo este efeito maior com o uso de crotalária.

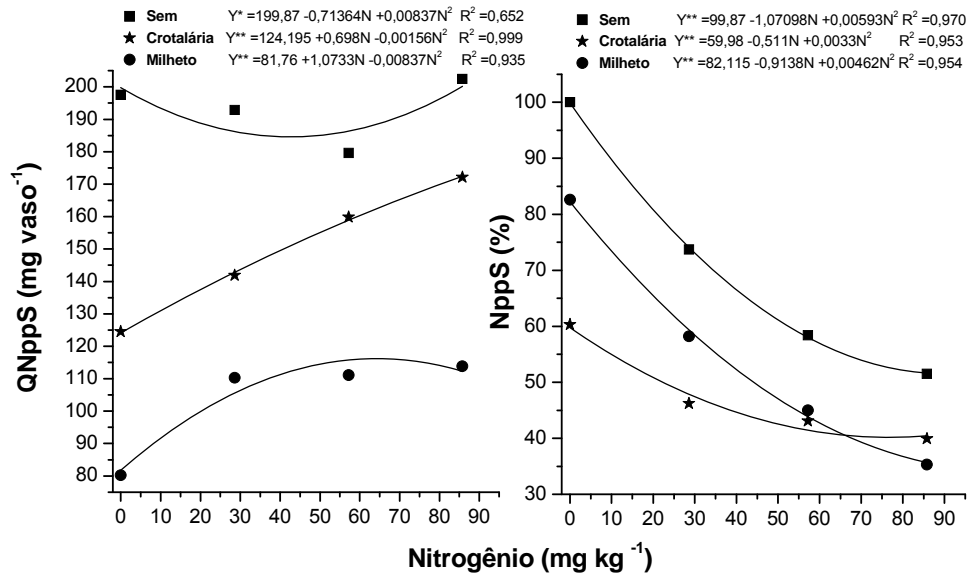


Figura 18 – Quantidade (QNppS) e porcentagem (NppS) de nitrogênio na planta de arroz (palha+grãos) proveniente do solo em função das doses de nitrogênio mineral, na ausência e presença de adubo verde (crotalária ou milho)

Os valores da porcentagem de N na planta proveniente do solo (NppS) diminuíram com o aumento das doses de N mineral em todos os tratamentos (Figura 18). Isto foi provavelmente devido ao efeito de diluição do N na planta, pela maior absorção de N proveniente da uréia (Figura 17). As QNppS e NppS podem estar subestimadas, visto que a planta pode absorver N na forma de NH₃ da atmosfera (HARPER; SHAPER 1995; TRIVELIN, 2000). No entanto, essas quantidades provavelmente foram pequenas em função da baixa concentração de amônia na atmosfera. No Brasil, alguns autores relataram que as concentrações de NH₃ na atmosfera são em média inferiores a 1 µg m⁻³ em áreas não poluídas, de 1 a 5 µg m⁻³ em áreas urbanas e de pastagens, e superior a 5 µg m⁻³ em áreas influenciadas pelas atividades industriais. No Recôncavo Baiano, Campos (1995) encontrou concentrações médias de NH₃ no ar que variaram de <0,1 a 1,0 µg m⁻³ nas áreas distantes de fontes de poluição. Em São Paulo, Fornaro et al. (2000) mediram concentrações de NH₃ durante o inverno, obtendo média de 1,3 µg m⁻³ na Cidade Universitária.

2.3.6 Efeito residual do N mineral e orgânico na planta de feijão

2.3.6.1 Produção de massa seca de parte aérea e de grãos

A produtividade de massa seca de parte aérea (PA) e de grãos de feijão apresentaram melhor ajuste para as equações quadráticas em função das doses de nitrogênio aplicadas ao cultivo precedente (arroz) (Figura 19).

Observa-se que, quando não foi usado adubo verde no cultivo anterior (arroz), a produção máxima estimada de grãos de feijão foi de 5,93 g vaso⁻¹ que correspondeu à dose de 47,6 mg kg⁻¹ de N. Com o uso de crotalária a produção máxima de grãos estimada foi de 6,75 g vaso⁻¹ com a dose de 48,13 mg kg⁻¹ de N mineral. A aplicação desta dose de N mineral no cultivo anterior juntamente com o uso de crotalária proporcionou aumento de 13,83% na produção de grãos de feijão, em relação ao tratamento sem adubo verde e uma redução de 69,14% quando foi usado o milho no cultivo anterior.

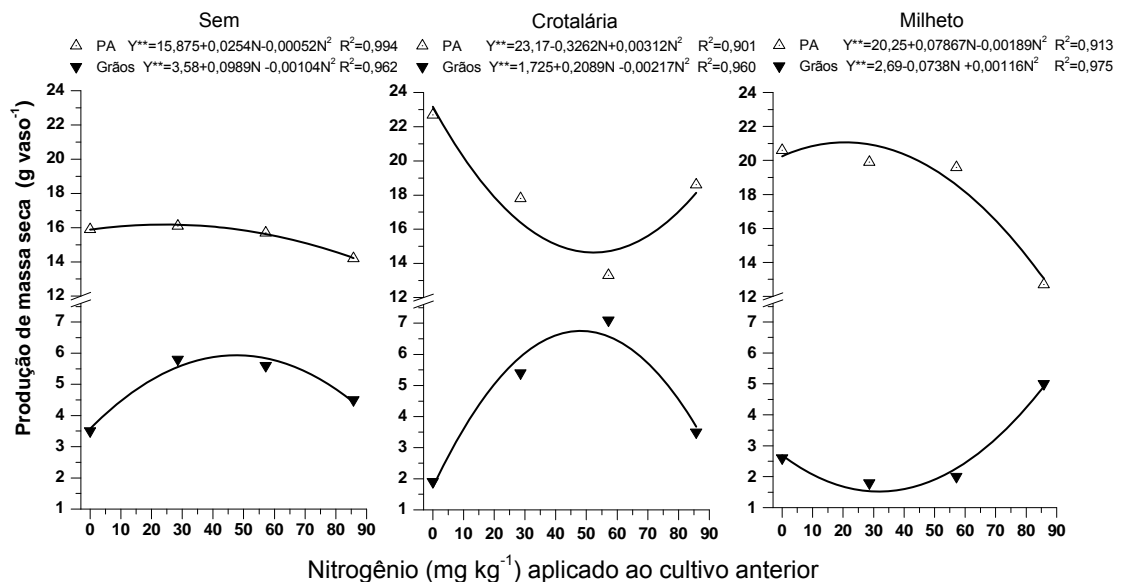


Figura 19 – Produtividade de massa seca de parte aérea (PA) e de grãos de feijão em função das doses de nitrogênio mineral, na ausência e presença de adubo verde (crotalária ou milho), aplicados ao cultivo precedente (arroz)

A produtividade de grãos aumentou até a dose de $48,13 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral na presença de crotalária aplicados ao cultivo precedente (arroz), decrescendo a partir desta dose; efeito contrário foi observado para a produtividade de massa seca de PA.

A produtividade de massa seca de PA e grãos de feijão não foram afetados pela aplicação de N mineral até a dose de $57,2 \text{ mg kg}^{-1}$, na presença de milho, ambos aplicados no cultivo anterior (arroz).

2.3.6.2 Acúmulo de nitrogênio na planta de feijão

O acúmulo de N na planta de feijão (Figura 20), com ou sem o uso de adubo verde, em função das doses de N mineral aplicados no cultivo anterior (arroz) apresentou comportamento semelhante ao da produtividade de massa seca de PA e de grãos (Figura 19).

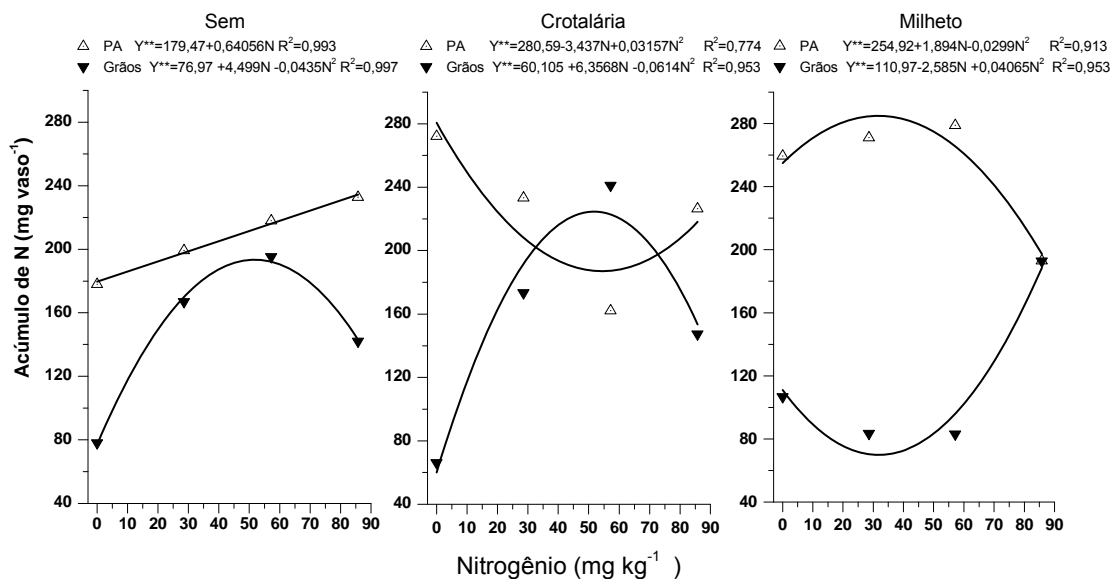


Figura 20 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e grãos de feijão em função das doses de nitrogênio mineral aplicado no cultivo anterior (arroz), na ausência e presença de adubos verdes (crotalária e milho)

O acúmulo de N nos grãos de feijão decorrente do efeito residual da aplicação de N mineral, na dose de $57,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de N, conjuntamente com crotalária no cultivo anterior (arroz) foi 64,3% maior em relação ao tratamento sem aplicação de adubo

verde, representado esta dose o valor máximo de N mineral das equações de regressão para o uso de crotalária e sem adubos verdes. Por outro lado, observa-se também que na dose de $31,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de N mineral conjuntamente com milho no cultivo precedente, proporcionou maior acúmulo de N na PA (80,3%) e menor nos grãos (19,7%). Segundo Troeh e Thompson, (2007) quanto maior a relação C/N, maior o período de imobilização geral, e quanto menor a relação C/N de materiais decomponíveis recentemente adicionados, mais brevemente o nitrogênio será mineralizado. Além disso, indicam que resíduos com relação C/N de 60/1 deveriam ser incorporado ao solo entre 8 a 15 semanas antes da semeadura do cultivo para não coincidir com o período de alta imobilização.

2.3.6.3 Quantidade e aproveitamento de N residual do fertilizante mineral e adubo verde pelo feijoeiro

A quantidade de N residual na planta (PA e grãos) de feijão proveniente dos adubos verdes (crotalária e milho), usados no cultivo anterior (arroz), foi influenciada pela dose de N aplicada no cultivo anterior (Figura 21). Observa-se que a QNppAV tanto na PA como nos grãos de feijão ajustou-se ao modelo quadrático em relação à dose de N mineral aplicado no cultivo anterior (arroz). É importante ressaltar que o efeito residual dos adubos verdes no cultivo de feijão inclui-se o N remineralizado das raízes de arroz. No entanto, não foi considerado o N contido nas raízes de feijão que também permaneceram no solo após a colheita, representando, portanto, uma subestimativa da quantidade de N residual absorvida pela planta de feijão.

Embora a maioria dos estudos na contribuição dos adubos verdes como fonte de nutrientes às plantas cultivadas não contabilize a contribuição da parte radicular, estudos demonstram que esta parte apresenta potencial de aporte de N e outros nutrientes (AZAM et al., 1985; SCIVITTARO et al., 2000; SILVA et al., 2007).

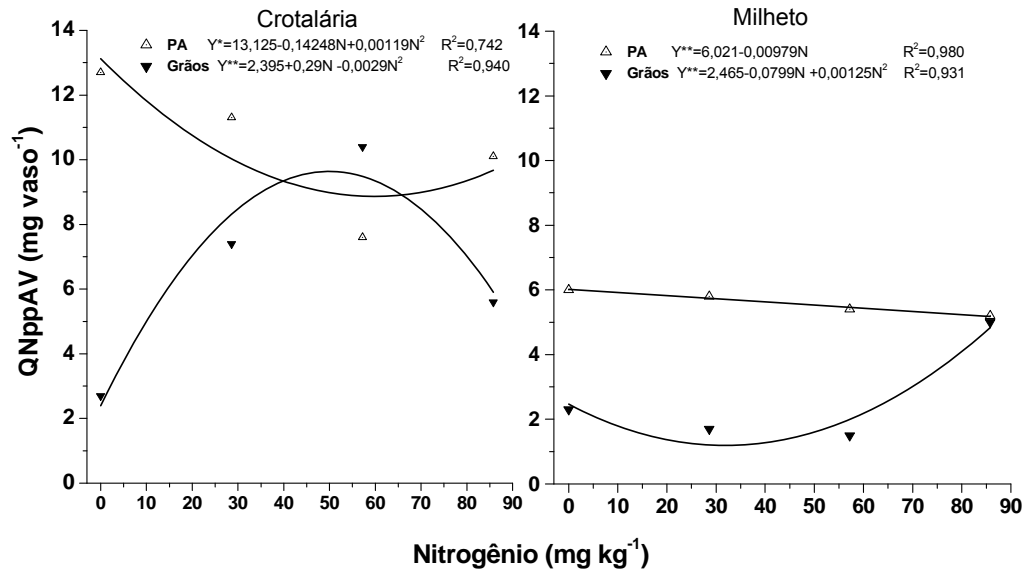


Figura 21 – Quantidade de nitrogênio residual na planta de feijão (PA e grãos) proveniente da crotalária e milheto em função de dose de nitrogênio mineral aplicada ao cultivo anterior (arroz)

Considerando-se as equações de regressão (Figura 21), a QNppAV crotalária (residual) na PA e grãos de feijão, seria praticamente semelhante com a aplicação de 40,29 a 65,45 mg kg⁻¹ de N mineral aplicado ao cultivo precedente (arroz).

Com o uso de milheto, a QNppAV (residual) na PA de feijão não apresentou variação em relação à dose de N aplicada no solo para as plantas de arroz. Isto indica que as distintas quantidades de N mineral aplicada no cultivo precedente não influenciaram a quantidade N residual desta espécie na planta de feijão. O mesmo comportamento também pode ser visualizado para o N residual do milheto nos grãos de feijão até a dose de 57,2 mg kg⁻¹ de N mineral, aplicada no cultivo anterior (arroz).

Independentemente do adubo verde usado no cultivo anterior ou a não adição desta fonte de N, a QNppf residual no feijão aumentou de forma linear com o aumento da dose de N mineral aplicada inicialmente ao cultivo anterior (arroz) (Figura 22). No entanto, não foi verificada diferença significativa entre o uso de milheto ou crotalária e sem usou desta fonte de N.

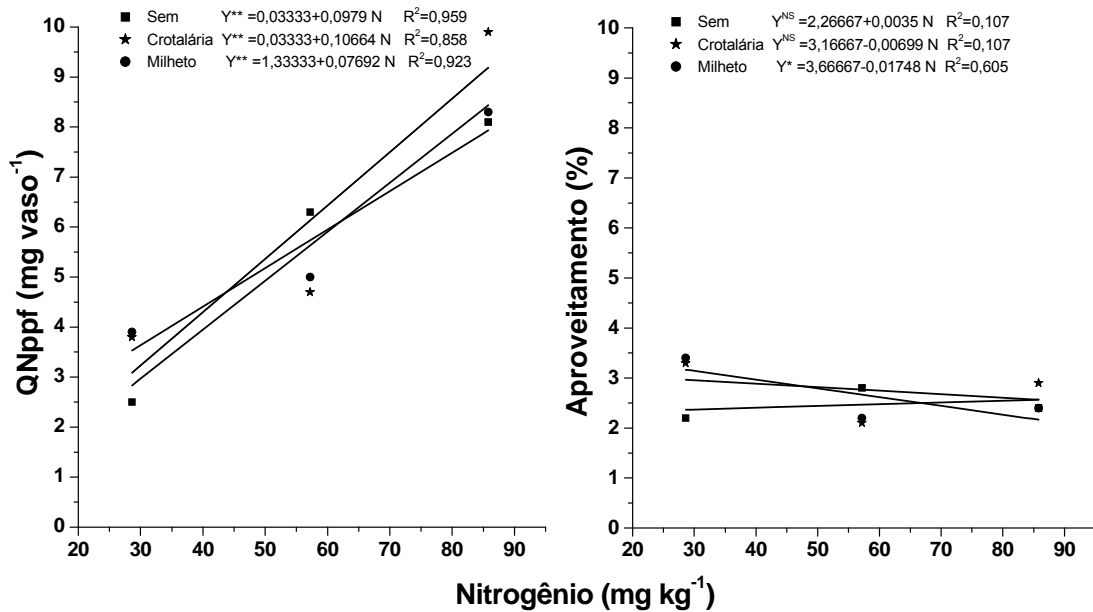


Figura 22 – Quantidade de nitrogênio residual na planta de feijão (PA + grãos) proveniente do fertilizante (QNppf) e aproveitamento de N do fertilizante aplicado no cultivo anterior (arroz), na ausência e presença de adubos verdes (crotalária e milheto)

O aproveitamento do N residual da uréia pelo feijoeiro não foi influenciado pelo uso de adubo verde e sem adição de fontes orgânicas de N, no cultivo precedente, compreendendo um valor médio de 2,77% para o uso de crotalária, de 2,69% para o uso de milheto e de 2,43% sem adição de fontes orgânicas de N (Figuras 22 e 23).

Com relação ao aproveitamento do N residual dos adubos verdes pelo feijoeiro, os valores foram iguais estatisticamente, sendo 3,56% para o N da crotalária e de 3,43% para o N de milheto. Entretanto, houve diferença quando foram analisadas as médias do aproveitamento do N das fontes orgânicas comparado com o de N mineral, com o uso de crotalária ou milheto, tendo o N dos adubos verdes sido superior ao do N do fertilizante (Figura 23). Isto se deve provavelmente a dois motivos: (a) maior quantidade de N que normalmente os adubos verdes disponibilizam, considerando-se o total do adubo verde e (b) a liberação mais lenta do N pelo adubo verde, reduzindo a perda

tanto por volatilização como por lixiviação. Scivittaro et al. (2003) também observaram maior aproveitamento do N residual do adubos verdes (mucuna-preta) que o N da uréia. Segundo Cherr; Scholberg e Mcsorley (2006) a liberação lenta de N da decomposição de resíduos do adubo verde, pode representar aumento da eficiência e/ou rendimento agrícola, reduzindo ao mesmo tempo perdas do N. Assim, o aproveitamento de N e a produtividade de grãos podem ser aumentados quando substitui um terço do N mineral pelo N orgânico (SUREKHA; RAO; SAM, 2008).

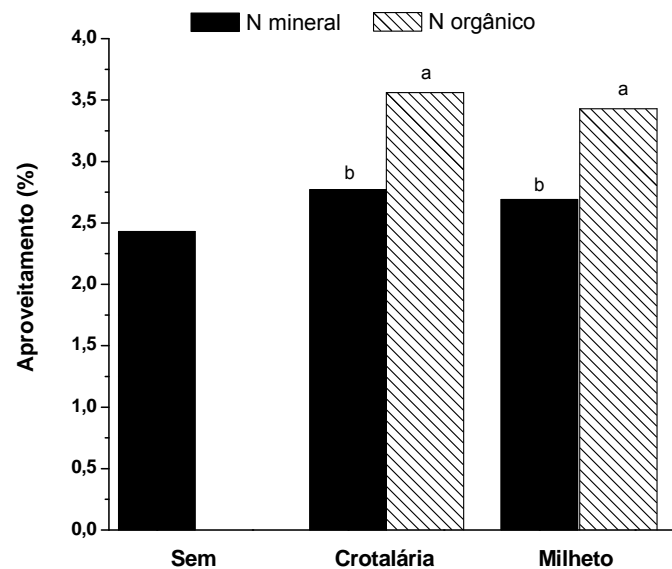


Figura 23 – Aproveitamento de N residual do fertilizante mineral e adubo verde pelo feijoeiro. Médias com letras minúsculas iguais dentro de cada adubo verde não diferem de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5%

3 CONCLUSÕES

- 1- A crotalária proporciona maior produtividade de massa seca ao arroz (grãos e palha) comparada ao milho e sem uso de fonte orgânica de N.
- 2- Com o uso de crotalária, o aproveitamento do nitrogênio aplicado na semeadura pela planta de arroz é maior que do aplicado em cobertura.
- 3- O aproveitamento do N da crotalária pela planta de arroz é superior ao do N do milho.
- 4- A quantidade de N na planta de arroz proveniente do fertilizante aumenta com o aumento da dose de N.
- 5- A contribuição de N na planta de arroz segue a ordem decrescente N-fertilizante > N solo > N adubo verde.
- 6- O aproveitamento do N da parte aérea da crotalária (22,1%) é superior ao de milho (11,4%).
- 7- O aproveitamento do N da raiz da crotalária (16,6%) é superior ao aporte da raiz de milho (12,1%).
- 8- O aproveitamento de N da crotalária pelo grão de arroz é maior do que o aproveitamento da parte aérea desta planta.
- 9- Os adubos verdes não influenciam no aproveitamento do N do fertilizante, e vice-versa, pela planta de arroz.

10-O aproveitamento do N residual do fertilizante pelo feijoeiro é menor que 3% da quantidade aplicada inicialmente no primeiro cultivo.

11- O aproveitamento do N residual do milho da crotalaria pelo feijoeiro é semelhante (3,5% da quantidade aplicada).

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA-FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, p.25-36, 2001.
- AMADO, T.J.C.; MILNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.
- AMBROSANO, E.J.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalaria júncea e mucuna-preta com ¹⁵N para estudos da dinâmica do nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.56, p.219-224, 1997.
- ARAÚJO, A.S.F.; TEIXEIRA, G.M.; CAMPOS, A.X.; SILVA, F.C.; AMBROSANO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.284-289, 2005.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLIN, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.
- AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; BRONSON, K.F. Managing crop residue with green manure, urea, and tillage in a rice-wheat rotation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n.3, p.820-827, 2001.
- AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; KULDIP, S.; BIJAY, S. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.5, p.1867-1876, 2000.
- AZAM, F. Comparative effects of organic and inorganic nitrogen sources applied to a flooded soil on rice yield and availability of N. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.125, n.2, p.255-262, 1990.
- AZAM, F.; ASHRAF, M.; LODHI, A.; SAJJAD, M.I. Relative significance of soil and nitrogenous fertilizer in nitrogen nutrition and growth of wetland rice (*Oryza sativa* L.). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.11, n.1, p.57-61, 1991.

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. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.86, p.3-13, 1985.

AZAM, F.; SIMMONS, F.W.; MULVANEY, R.L. The effect of inorganic nitrogen on the added nitrogen interaction of soils in incubation experiments. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18, n.2, p.103-108, 1994.

AXMANN, H.; ZAPATA, F. Isotopos estables y radioactivos, Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta, Hardarson, G. (Ed.). Vienna: IAEA, 1990. p. 4-42. (Colección de cursos de capacitación, 2.)

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**; a mechanistic approach. 2nd ed. New York: John Wiley, 1995. 414 p.

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F.T.D. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecubria Brasileira**, Brasilia, v.35, p.1317-1324, 2000.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. da. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, 2001. 8p. (Circular Técnica, 49).

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass Spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P.C. O. ; MURAOKA T. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. In: FERTBIO,2004. Lages. **Proceendings**... Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. p. 1-75.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.417-428, 2003.

BREMNER, J.M. Nitrogen-total. In: KLUTE, A.; WEAVER, R.W.; MICKELSON, S.H.; SPARKS, D.L.; BAETELS, J.M. **Methods of Soil Analysis**. Part 3 - Chemical Methods. Madison: SSSA, 1996. p.1085-1121. (Book Series, 5).

BRONSON, K.F.; HUSSAIN, F.; PASUQUIN, E.; LADHA, J.K. Use of ¹⁵N-labeled soil in measuring nitrogen fertilizer recovery efficiency in transplanted rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.1, p.235-239, 2000.

BURESH, R.J ;DE DATTA, S.K. Nitrogen dynamics and management in rice-legume cropping systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 45, p. 1-59, 1991.

BURLE, M. L; CARVALHO, A. M. ; AMABILE, R. F; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A.M. de.; AMABILE, R.F. **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa, Cerrados, 2006. 369p.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118p. (IAPAR. Circular, 80).

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.80, p.62-70, 2004.

CAMPOS, V. P. **Especiação inorgânica de cloro, nitrogênio e enxofre na deposição seca e úmida no Recôncavo Baiano**. 1995. 135 p. Tese (Doutorado na área de Química Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 1995.

CARNEIRO, J.E.S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134 p. Tese (Doutorado em genética) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CARVALHO, A.M.; AMABILE, R. F. **Cerrado - Adubação Verde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 369 p.

CARVALHO, A.M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. da. **Manejo de adubos verde no cerrado**. Embrapa Cerrados, 1999a. 28 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 4).

CARVALHO, A.M. de; CARNEIRO, R. G.; AMABILE, R. F.; SPERA, S. T.; DAMASO, F. H. M. Adubos verdes: efeitos no rendimento e no nitrogênio do milho em plantio direto e convencional. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999b. 20p (Embrapa CPAC. Boletim de pesquisa, 7).

CHERR, C.M.; SCHOLBERG, J.M.S.; MCSORLEY, R. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.2, p.302-319, 2006.

CLEEMPUT, O.V.; ZAPATA, F.; VANLAUWE, B. Use of tracer technology in mineral fertilizer management. In: International atomic energy agency. **Guidelines on nitrogen management in agricultural systems**. VIENNA: IAEA, 2008. chap. 2, p. 19-126.

CLEMENT, A.; LADHA, J.K.; CHALIFOUR, F.P. Nitrogen dynamics of various green manure species and the relationship to lowland rice production. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.2, p.149-154, 1998.

CLINE, G.R.; SILVERNAIL, A.F. Effects of cover crops, nitrogen, and tillage on sweet corn. **Horttechnology**, Alexandria, v.12, n.1, p.118-125, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Comparativo da área, produção e produtividade de grãos, safra 2007/2008** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 set. 2008.

CORAK, S. J.; SMITH, M. S.; MacKOWN, C. T. Fate of ^{15}N labeled legume and ammonium nitrogen sources in a soil-plant system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p. 631-642, 1992.

DALLING, M. J. The physiological basis of nitrogen redistribution during filling in cereals. In: HARPER, J. E; SCHRADER, J. E. HOWELL, R. W. **Exploitation of physiological and genetic variability to enhance crop productivity**. Rockville American of Society of Plant physiologist, 1985. p 55-71.

DAVIDSON, E.A; HART, S.C.; SHANKS, C.S.; FIRESTONE, M.K. Measuring gross mineralisation, immobilisation, and nitrification by ^{15}N isotopic pool dilution in intact soil cores. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, p.335-349, 1991.

DE DATTA, S.K.; SAMSON, M.I.; KAI-RONG, W.; BURESH, R.J. Nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balances in broadcast-seeded flooded and transplanted rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.3, p.849-855, 1988.

DICK, W.A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.102-107, 1983.

DI, H.J.; CAMERON, K.C.; MCLAREN, R.G. Isotopic dilution methods to determine the gross transformation rates of nitrogen, phosphorus, and sulfur in soil: a review of the theory, methodologies, and limitations. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.38, n.1, p.213-230, 2000.

DIEKMANN, K. H.; DE DATTA, S. K.; OTTOW, J. C. G. Nitrogen uptake and recovery from urea green manure in lowland rice measured by ^{15}N and non-isotope techniques. **Plant and Soil**, The Hague, v. 148, p. 91-99, 1993.

DOBERMANN, A.; WHITE, P.F. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v.53, n.1, p.1-18, 1999.

DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T.H. **Rice: Nutrient disorders and nutrient management**. Potash and Phosphate Inst., Singapore and IRRI, Manila, Philippines, 2000. 191 p.

EMBRAPA, **Cultivo do arroz de terras altas**. Sistemas de Produção No 1. Goiânia, (EMBRAPA-CNPAF) 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/index.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.416-424, 2001

FAGERIA, N.K. Green manuring in crop production. **Journal of Plant Nutrition**, Bethesda, v.30, n.4-6, p.691-719, 2007.

FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.123-129, fev. 2004.

FAGERIA, N. K; SANTOS, A. B. dos. Resposta do arroz irrigado à adubação verde e química no Estado de Tocantins. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.387-392, 2007.

FAGERIA, N. K.; STONE L. F.; SANTOS A. B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. ;STONE, L. F. **Cultivo do Arroz de Terras Altas: adubação**. Goiás. EMBRAPA, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Sistemas de Produção,1)

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Situación Alimentaria Mundial**. Disponível em <<https://www.fao.org.br>> Acesso em 20 jun. 2008.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, p.102-109, 2006.

FISCHER, K. S. Toward increasing nutrient use efficiency in rice cropping systems: the next generation of technology. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.56, p.1-6. 1998.

FORNARO, A. Determinação de amônia na atmosfera de São Paulo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 23., 2000. Poços de Caldas:SBQ, 2000. Resumos.... Poços de Caldas: SBQ, 2000, v. 3, p. AB-085.

FURLANI, A. M. C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G. B. (Org.). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GATHUMBI, S. M.; CADISCH, G.; BURESH, R. J.; GILLER, K. E. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, n.2, p.573-582, 2003.

GEORGE, T.; LADHA, J. K.; GARRITY, D. P.; BURESH, R. J. Legumes as nitrate catch crops during the dry-to-wet transition in lowland rice cropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.267-273, 1994.

GLASENER, K.M.; WAGGER, M.G.; MACKOWN, C.T.; VOLK, R.J. Contributions of shoot and root nitrogen-15 labeled legume nitrogen sources to a sequence of three cereal crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, n.2, p.523-530, 2002.

GRAHAM, P.H.; VANCE, C.P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.65, n.2-3, p.93-106, 2000.

GUINDO, D.; WELLS, B.R.; NORMAN, R.J. Accumulation of fertilizer nitrogen-15 by rice at different stages of development. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.2, p.410-415, 1994.

GUINDO, D.; WELLS, B.R.; NORMAN, R.J. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.3, p.840-845, 1994.

HARPER, L.H.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.4, p. 669-675, 1995.

HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B.; PAUL, E. A.; PETERS, S. E.; JANKE, R. R. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 910-915, 1994.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7th ed. New Jersey: Pearson Prentice hall, upper Saddle River, 2005. 516 p.

HAMER, U.; MARSCHNER, B. Priming effects in soils after combined and repeated substrate additions. **Geoderma**, Amsterdam, v.128, n.1-2, p.38-51, 2005.

HEATH, R. L. Table of isotopes. In: WEAST, R. C. (Ed.). **Handbook of chemistry and physics**. 53th ed. Cleveland: The Chemical Rubber, 1973. p. 270-354.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Adubação Verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 232-267.

INSTITUTO BRASILEIRA DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Dados conjunturais do feijão (área, produção e rendimento) Brasil – 1986 a 2003. <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia>>. Acesso em: 25 jan. 2005

IRRI. **Standard evaluation system for rice**. International Rice Research Institute : Los Baños, Philippines, 2002. p. 65

JANSSON, S. L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. **American Society of Agronomy**, Madison n. 22, p. 229-252, 1982.

JENKINSON, D.S.; POULTON, P.R.; JOHNSTON, A.E.; POWLSON, D.S. Turnover of nitrogen-¹⁵-labeled fertilizer in old grassland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, n.3, p.865-875, 2004.

KIRKHAM, D.; BARTHOLOMEW, W.V. Equations for following nutrient transformations in soil, utilizing tracer data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.18, n.1, p.33-34, 1954.

KOLAR, J. S.; GREWAL, H. S.; SINGH, B. Nitrogen substitution and higher productivity of a rice-wheat cropping system through green manuring. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.70, p.301-304, 1993.

KUMUDINI, S.; GRABAU, L.; VAN SANFORD, D.; OMIELAN, J. Analysis of yield-formation processes under no-till and conventional tillage for soft red winter wheat in the south-central region. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, n.4, p.1026-1032, 2008.

KURDALI, F.; AL-AIN, F.; AL-SHAMMAA, M.; RAZZOUK, A.K. Performance of sorghum grown on a salt affected soil manured with dhaincha plant residues using a ^{15}N isotopic dilution technique. **Journal of Plant Nutrition**, London, v.30, n.10, p.1605-1621, 2007.

LADHA, J.K.; BELL, M. **Sesbania**: rice fact sheets. International Rice Research Institute (IRRI), Jan 12, 2004. 1v.

LADHA, J.K.; DAWE, D.; VENTURA, T.S.; SINGH, U.; VENTURA, W.; WATANABE, I. Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.6, p.1993-2001, 2000.

LARA CABEZAS, W.R.L.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, n.34, p.1005-1013, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MANDAL, U.K.; SINGH, G.; VICTOR, U.S.; SHARMA, K.L. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v.19, n.2, p.225-237, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS NETO, D. A.; BONAMIGO, L. A. Milheto: características da espécie e usos. In: MARTINS NETO, D. A.; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Milheto**: tecnologias de produção e agronegócio. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 20 - 36.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, n. 1, p. 83-93, 1996.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th. ed. Berna International Potash Institute, 1987. 687 p.

MONAGHAN, R.; BARRACLOUGH, D. Contributions to gross N mineralisation from ^{15}N -labelled soil macroorganic matter fractions during laboratory incubation. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.27, p.1623-1628, 1995.

MONAGHAN, R.; BARRACLOUGH, D. Contributions to N mineralisation from soil macroorganic matter fractions incorporated into two field soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam v. 29, p.1215-1223, 1997.

MORAN, K.K.; SIX, J.; HORWATH, W.R.; VAN KESSEL, C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, n.6, p.1730-1736, 2005.

MURAOKA, T.; AMBROSANO, E.J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A.L.M.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; SCIVITTARO, W.B. Eficiência de abonos verde (crotalaria y mucuna) y urea, aplicadas solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. **Terra**, Chapingo, v.20, n.1, p.17-23, 2002.

MYERS, R. J. K.; PALM, C. A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P. L. SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce Publication, 1994. p. 81-112.

NAHAR, K.; HAIDER, J.; KARIM, A.J.M.S. Effects of organic and inorganic nitrogen sources on rice performance and soil properties. **Journal of Botany**, Bangladesh, v.25, n.1, p.73-78, 1996.

NAVES, M. M. V.; BASSINELLO, P. Z. Importância na nutrição humana. In: SANTOS, A. B.; STONE L. F.; N. R. A. VIEIRA. 2 ed. **A cultura do Arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2006. cap. 1. p. 17-31.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N. de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1079-1087, 2002.

OLSON, R.A.; KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: Stevenson, F.J (ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.567-604.

PANG, X.P.; LETEY, J. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.1, p.247-253, 2000.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, n. 23 p.83-88, 1991.

PENG, S.; GARCÍA, F.V.; LAZA, R.C.; CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

PEREIRA, J; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.35-40, 2004.

PETERS, G.A.; CALVERT, H.F. The Azzola – Anabaena symbiosis. In: RAOS, N.S.S. (Ed.). **Advances in agricultural microbiology**. New Delhi: Oxford , 1982. p.191-218.

POMPEU, A.S. Melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: BULISANI, E.A (Coord.). **Feijão: Fatores de produção e qualidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.1-28.

PINSTRUP-ANDERSON, P.; PANDY-LORCH, R.; ROSEGRANT, MW. The world food situation: recent developments, emerging issues and long-term prospects. Vision 2020: Food Policy Report. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 36 p. 1997.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAMOS, M.G.; VILLATORO, M.A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v.91, n.2-3, p.105-115, 2001.

RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PAPENDICK, R.I.; PARR, J.F. Influence of added nitrogen interactions in estimating recovery efficiency of labeled nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, n.6, p.1616-1621, 1991.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.3, p.357-363, 1999.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja doutor do seu feijoeiro. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n.68, p.1-16, 1994.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. Milheto uma alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 45, p. 41-43, 1998.

SAMONTE, S.O.P.; WILSON, L.T.; MEDLEY, J.C.; PINSON, S.R.M.; MCCLUNG, A.M.; LALES, J.S. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related Traits in Rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.1, p.168-176, 2006.

SANCHEZ, P.A.; LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A. (Ed.). **Myths and science of soil of the tropics**. Madison: **Soil Science Society of America**, 1992. p.35-46. (Special Publication, 29).

SANTOS, A. B. DOS; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura de arroz no Brasil**: 2. ed. ver. ampl. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2006. 1000p.

SAS INSTITUTE INCORPORATION. **The SAS-System for Windows release 8.02** (TS2M0) (software). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 2001.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17-20, p.2173-2178, 1992.

SCHNIER H.F., DINGKUHN M., DE DATTA S.K., MARQUESES E.P., FARONILLO J.E. Nitrogen-15 balance in transplanted and direct seeded flood rice as affected by different methods of urea application. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.10, p.89-96. 1990.

SCHÖLL, L.; NIEUWENHUIS, R. **Manejo da fertilidade do solo**. Wageningen: Agromisa Foundation, 2003. 97p.

SCIVITTARO, W.B.; MACHADO, M.O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.cap.9, p.259-303.

- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1427-1433, 2003.
- SCIVITTARO, W. B; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Dinâmica do nitrogênio (^{15}N) da mucuna-preta no sistema solo-planta. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.210-215, 2004.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T., BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.917-926, 2000.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Fate of nitrogen (^{15}N) from velvet bean in the soil-plant system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.210-215, 2004.
- SHARIFI, M.; ZEBARTH, B.J.; BURTON, D.L.; GRANT, C.A.; BITTMAN, S.; DRURY, C.F.; MCCONKEY, B.G.; ZIADI, N. Response of Potentially Mineralizable Soil Nitrogen and Indices of Nitrogen Availability to Tillage System. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.72, n.4, p.1124-1131, 2008.
- SHEEHY, J.E.; MNZAVA, M.; CASSMAN, K.G.; MITCHELL, P.L.; FERRER, A.B.; ROBLES, R.P.; PABLICO, P. Temporal origin of nitrogen in the grain of tropical wet-season rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.3, p.698-704, 2005.
- SHIPLEY, R.A.; CLARK, R.E. **Tracer methods for in vivo kinetics, theory and applications**. New York: Academic Press, 1972. 239 p.
- SHUKLA, A.K.; LADHA, J.K.; SINGH, V.K.; DWIVEDI, B.S.; BALASUBRAMANIAN, V.; GUPTA, R.K.; SHARMA, S.K.; SINGH, Y.; PATHAK, H.; PANDEY, P.S.; PADRE, A.T.; YADAV, R.L. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.6, p.1606-1621, 2004.
- SILVA, E.C. da. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) da uréia, domilheto e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 2005. 111 p. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.739-746, 2006.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; ESPINAL, F.S.C.; TRIVELIN, P.C.O.; BUZETTI, S. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2007. p. 56-57.

SILVEIRA, P.M.; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, p.1269-1276, 1993.

SINGH, Y.; KHIND, C. S.; SINGH, B. Efficient management of leguminous green manure's in wetland rice. **Advances in Agronomy**, New York, v.45, p.135-189, 1991.

SINGH, B.; SINGH, Y.; LADHA, J.K.; BRONSON, K.F.; BALASUBRAMANIAN, V.; SINGH, J.; KHIND, C.S. Chlorophyll meter- and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, n.4, p.821-829, 2002.

SMIL V. Nitrogen in crop production: An account of global flows. **Global Biogeochemical Cycles**, v13, p.647-662, 1999.

SMIL, V. Global population and the nitrogen cycle **Scientific American**, v.277, n.1, p.76-81, 1997.

SMITH, C. J.; CHALK, P.M.; CRAWFORD, D. M.; WOOD, J. T. Estimating gross nitrogen mineralisation and immobilisation rates in anaerobic and aerobic soil suspensions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1652 -1660, 1994.

SOCOLOW, R.H. Nitrogen management and the future of food: lessons from the management of energy and carbon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.96, n.11, p.6001-6008, 1999.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A.N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A.M.D. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.327-334, 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 129-146.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 411p.

SPALDING, R. F.; KITCHEN, L. A. Nitrate in the intermediate vadose zone beneath irrigated cropland: *Ground Water Monitoring Review*, Worthington : v. 8, p. 89–95. 1988.

SUREKHA, K.; RAO, K.V.; SAM, T.K. Improving productivity and nitrogen use efficiency through integrated nutrient management in irrigated rice (*Oryza sativa*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.78, n.2, p.173-176, 2008.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.D.; MOREIRA, J.A.A.; YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.926-932, 1999.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p.1063-1069, 1995.

TAKEBE, M.; YONEYAMA, T. Measurement of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 23, n. 1, p. 86-93, 1989.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, Washington v.292, n.5515, p.281-284, 2001.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N**. 2000. 143p. Tese (Livre-Docência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

TROEH, F.R. ; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo**. 6th ed Tradução de DOURADO NETO, D. ; DOURADO, M. N.. São Paulo: ANDREI, 2007. 718p.

VANCE, C.P. Symbiotic Nitrogen Fixation and Phosphorus Acquisition. *Plant Nutrition in a World of Declining Renewable Resources*. **Plant Physiology**, Rockville, v.127, n.2, p.390-397, 2001.

VICTÓRIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 105-119.

WIVSTAD, M. Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing N-15 labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.208, n.1, p.21-31, 1999.

WRIGHT, A.L.; HONS, F.M. Soil Carbon and Nitrogen Storage in Aggregates from Different Tillage and Crop Regimes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, n.1, p.141-147, 2005.

YADVINDER, S.; BIJAY, S.; LADHA, J.K.; KHIND, C.S.; KHERA, T.S.; BUENO, C.S. Effects of Residue Decomposition on Productivity and Soil Fertility in Rice-Wheat Rotation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, n.3, p.854-864, 2004.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho**: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 5p. (Informações Agronômicas, 74)

YOKOYAMA, L.P. O arroz no Brasil de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1. 2002; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99.

YOKOYAMA, L.P.; DEL PELOSO, M.J.; DI STEFANO, J.G.; YOKOYAMA, M. **Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão "Pérola"**: avaliação preliminar. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 20p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 98).

YOSHIDA, T. Nitrogen fixation. In: MATSUO, T. **Science of the rice plant physiology**. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center. 1995. chap. 3. p. 363-368.

ZAMAN, M.; DI, H.J.; CAMERON, K.C. A field study of gross rates of N mineralisation and nitrification and their relationships with microbial biomass and enzyme activities in soils treated with dairy effluent and ammonium fertiliser. **Soil use and management**, Cambridge, v.15, p.188-194. 1999.

ZAMAN, M.; DI, H.J.; CAMERON, K.C.; FRAMPTON, C.M. Gross nitrogen mineralisation and nitrification rates and their relationships to enzyme activities and the soil microbial biomass in soils treated with dairy shed effluent and ammonium fertiliser at different water potentials. **Biology and fertility of soils**, Berlin, v.29, p.178-186. 1999.