USO DE *Sesbania rostrata* **Brem** COMO FONTE DE NITROGÊNIO PARA O ARROZ IRRIGADO

VERA LUCIA GONÇALVES DE ASSIS
Engenheira Agrônoma-Mestre

Orientador: Dr. Takashi Muraoka

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Assis, Vera Lucia Gonçalves de

A848u Uso de Sesbania rostrata Brem como fonte de nitrogênio para o arroz
irrigado. Piracicaba, 1992.
80p.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Arroz irrigado - Adubação nitrogenada 2. Bactéria fixadora de
nitrogênio - Inoculação 3. Leguminosa como adubo verde - Nodulação
4. Nitrogênio em arroz irrigado - Fixação I. Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz - Piracicaba

CDD 633. 18

USO DE *Sesbania rostrata* Brem COMO FONTE DE NITROGÊNIO
PARA O ARROZ IRRIGADO

VERA LÚCIA GONÇALVES DE ASSIS

Aprovada em: 04/12/92

Comissão Julgadora

Prof. Dr. Takashi Muraoka - CENA/USP

Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini - UNESP

Prof. Dr. Leonardo Theodoro Bull - UNESP

Profa. Dra. Siu Mui Tsai - CENA/USP

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira - ESALQ/USP

Dr. Takashi Muraoka

Orientador

Aos meus filhos:

Érico

Eduardo

Maria Valéria

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho contei com a ajuda de várias pessoas. Sou particularmente grata a Francisco Neto de Assis; Dr. Takashi Muraoka, meu orientador; Dra. Siu Mui Tsai; Biol. João Odemir Salvador; Dra. Alaídes P. Ruschel; Prof. Geraldo Victorino de França; aos colegas Marciano de Medeiros Pereira Brito, Arminda Moreira de Carvalho, Rosane M. de Aguiar, Raffaella Rossetto, Amoacy Fabrício, Rosa Maria Vargas Castilhos e Danilo Dufech Castilhos, José Carlos Lago e Ariovaldo Luiz Turatti; aos funcionários do CENA Francisco Montrazzi, Márcio Gava e Mário Bizetto da Seção de Microbiologia do Solo e José Aurélio Bonassi, da Seção de Isótopos Estáveis; à Bibliotecária Angela Vicentini; e as minhas amigas Maria Cristina B. Libardi, Maria da Graça Rodrigues, Maria de Fátima Moraes Piau e Rosane Ruschel.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Experimento 1. Marcha de absorção do Nitrogênio por <i>S. rostrata</i>	15
3.2 Experimento 2. <i>S. rostrata</i> como fonte de N para a cultura do arroz irrigado	18
3.3 Experimento 3. épocas de incorporação de <i>S. rostrata</i> ao solo em relação a nutrição nitrogenada do arroz irrigado.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Experimento 1 - Marcha de absorção de N por <i>S. rostrata</i>	23
4.1.1 Matéria Seca.....	23
4.1.2 Nitrogênio na planta.....	26
4.1.2.1 Fixação de Nitrogênio.....	28

Página

4.1.3 Número e massa de nódulos.....	32
4.2 Experimento 2 - Sesbania rostrata como fonte de N para a cultura do arroz irrigado.....	35
4.2.1 Produção de matéria seca.....	35
4.2.2 Nitrogênio na planta de arroz.....	40
4.3 Experimento 3 - épocas de incorporação de S. rostrata ao solo em relação a nutrição nitrogenada do arroz irrigado.....	48
5. CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
7. APÊNDICE.....	69

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Análise química e textural do solo utilizado na multiplicação de plantas de <i>Sesbania rostrata</i>	13
Tabela 2 - Análise química e textural do solo utilizado no experimento 2.....	17
Tabela 3 - Acúmulo de matéria seca (g.vaso^{-1}) ao longo do ciclo de plantas <i>S. rostrata</i>	23
Tabela 4 - Parâmetros das equações representativas da variação da massa da matéria seca (MS), quantidade de N na planta (QNT) e quantidade de N total na planta proveniente da fixação (NPPFix) ao longo do ciclo de <i>S. rostrata</i>	24
Tabela 5 - Percentagem de N total ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i>	27
Tabela 6 - Quantidade de N (g.vaso^{-1}) total ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i> ...	28
Tabela 7 - Percentagem (%NPPFix) e quantidade de N na planta proveniente da fixação (QNPPFix - mg.vaso^{-1}) ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i>	29
Tabela 8 - Atividade da nitrogenase ($\mu\text{molesC}_2\text{H}_4\text{g}^{-1}$) medida pela técnica da redução do acetileno em nódulos caulinares e radiculares ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i>	29
Tabela 9 - Número de nódulos radiculares e caulinares ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i> .	32
Tabela 10 - Massas de nódulos radiculares e caulinares ao longo do ciclo de plantas de <i>S. rostrata</i>	33

Tabela 11 - Parâmetros das equações representativas da variação do número e da massa de nódulos radiculares e caulinares de <i>S. rostrata</i> com as fases de desenvolvimento das plantas.....	33
Tabela 12 - Matéria seca em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de de <i>S. rostrata</i>	37
Tabela 13 - Quantidade de N (QNT) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de de <i>S. rostrata</i>	41
Tabela 14 - Quantidade de Nitrogênio proveniente do solo+Sesbania (QNPPS) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de de <i>S. rostrata</i>	44
Tabela 15 - Quantidade de Nitrogênio proveniente do Fertilizante (QNPPF) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de <i>S. rostrata</i>	46
Tabela 16 - Produção de matéria seca em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	49
Tabela 17 - % de N total em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	50
Tabela 18 - Quantidade de N total (QNT) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	50
Tabela 19 - % de N na Planta Proveniente da <i>S. rostrata</i> (%NPPSesb.) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	50

Tabela 20 - Quantidade de N na Planta Proveniente da <i>S. rostrata</i> (QNPPSesb.) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	51
Tabela 21 - Quantidade de N na Planta Proveniente do Solo (QNPPSolo) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de <i>S. rostrata</i>	51
Tabela 22 - Teor de N (total e disponível) e sua composição isotópica (15) nas amostras de solo incubadas antes do plantio e depois da colheita. Média de duas repetições.....	52

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Plantas de Sesbania rostrata cultivadas em canteiros nas dependências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.....	16
Figura 2 - Relação entre matéria seca acumulada e taxa de acumulação de matéria seca (TC) e dias após a semeadura em plantas de S. rostrata	24
Figura 3 - Relação entre a quantidade de N na planta (QNT), N proveniente da fixação biológica (QNFix), percentagem de N fixado (%NFix) (Y) e dias após a semeadura (X) em plantas de S. rostrata	30
Figura 4 - Relação entre a atividade da Nitrogenase em $\mu\text{moles de } \text{C}_2\text{H}_4\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Y) e dias após a semeadura em plantas de S. rostrata . As linhas contínuas foram obtidas por suavização manual para demonstrar a tendência do fenômeno.....	30
Figura 5 - Relação entre o número de nódulos (Y) radiculares e caulinares e dias após a semeadura (X) em plantas de S. rostrata	34
Figura 6 - Relação entre o peso de nódulos (Y) radiculares e caulinares e dias após a semeadura (X) em plantas de S. rostrata	34
Figura 7 - Produção de matéria seca em colmos+folhas e grãos ($\text{Y}=\text{g.vaso}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de S. rostrata	38

- Figura 8 - Quantidade de Nitrogênio (QNT) em colmos+folhas e grãos ($Y = \text{mg.vaso}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*..... 42
- Figura 9 - Quantidade de Nitrogênio proveniente da Sesbania e do solo (QNPPS) e do fertilizante (QNPPF) em colmos+folhas e grãos ($Y = \text{mg.vaso}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.....45
- Figura 10 - Partição do Nitrogênio total (QNT) da planta entre a quantidade de nitrogênio proveniente da Sesbania (QNPPSesb) e o do solo (QNPPS), em plantas de arroz, na ausência de N-mineral.....47

USO DE *Sesbania rostrata* Brem COMO FONTE DE NITROGÊNIO PARA O ARROZ IRRIGADO

Autora: Vera Lúcia Gonçalves de Assis
Orientador: Dr. Takashi Muraoka

RESUMO

Em experimentos de vasos em casa de vegetação foram avaliados o acúmulo de matéria seca e de N por *Sesbania rostrata*, uma leguminosa que nodula nas raízes e nos caules, e o uso de material seco e moído dessa planta como fonte de N para o arroz irrigado (cv. BR-IRGA-409).

Avaliaram-se também o número e a massa dos nódulos radiculares e caulinares, a fixação do N₂ atmosférico através da atividade da redução do acetileno (ARA), N-total (Kjeldahl) e pela diluição isotópica, usando-se uréia marcada com 10% de átomos em excesso de ¹⁵N. Como planta controle foi utilizado o capim colonião (*Panicum maximum* CV IZ-1).

A inoculação dos caules de *S. rostrata* com *Azorhizobium caulinodans*, por pulverização, aos 21 e 36 dias após a semeadura, aumentou significativamente (80%) a fixação de N₂ pela planta.

A ARA nos nódulos caulinares predominou sobre a dos radiculares após a inoculação.

O efeito de *S. rostrata* como fonte de N para o arroz irrigado foi no sentido de aumentar, quase sempre linearmente, a massa de matéria seca bem como o conteúdo de N-total nos colmos+folhas e nos grãos, tanto na presença

quanto na ausência de N-mineral.

A quantidade de N na planta proveniente do solo foi superior à proveniente do fertilizante confirmando conclusões encontradas na literatura.

A produção de grãos obtida com a adição de 30g.vaso⁻¹ de matéria seca de *S. rostrata* foi equivalente àquela com 60mg.vaso⁻¹ de N-mineral, representando uma economia de 52% na adição de N na forma de fertilizante mineral.

O aproveitamento do N mineralizado da *Sesbania* pelo arroz foi baixo, tendo sido no máximo de 5,81%.

Na ausência de N mineral, a maior parte do N na planta foi proveniente do solo (exceto na dose S20 de *Sesbania*). Na presença de fertilizante nitrogenado, a maior parte do N na planta foi proveniente dos tratamentos com *Sesbania*. A adição de material vegetal de *S. rostrata* parece ter acelerado a mineralização do N do solo. A utilização do N da *Sesbania* pelo arroz, ao contrário do que se esperava, diminuiu com o aumento do tempo de incubação. Provavelmente a imobilização do N se acentuou com o decorrer do tempo de incubação.

USING *Sesbania rostrata* Brem AS NITROGEN SOURCE FOR
IRRIGATED RICE

Author: Vera Lúcia Gonçalves de Assis -

Adviser: Dr. Takashi Muraoka

SUMMARY:

In pot experiments and in greenhouse were conducted to evaluate the accumulation of dry matter and nitrogen by *Sesbania rostrata*, a leguminous plant which is able to form nodules both in the roots and stems and the use of this of the straw dried from this material as a nitrogen source to irrigated rice (CV BR-IRGA-409).

The number and mass of root and stem nodules, the N_2 fixation through acetylene reduction assay (ARA), total N (Kjeldahl), and isotopic dilution technique, using urea labeled with 10% in excess of ^{15}N were evaluated. *Panicum maximum* (CV IZ-1) was used as the standard plant for the isotopic technique.

Stem inoculation of *S. rostrata* with a culture of *Azorhizobium caulinodans* through pulverization, on the 21st and 36th days after sowing, increased significantly (80%) N_2 fixation by the plant. ARA in the nodules prevailed over the ARA in the root nodules after stem inoculation.

The effect of *S. rostrata* as a N source for the irrigated rice, was aimed to increase, most of the time

linearly the dry matter, as well as the total N content, both in the stem/leaves and grains, not only in the presence but also in the absence of mineral N.

Gains in grain production with the addition of 30g.vaso⁻¹ of dry matter of *S.rostrata* was equivalent to additions of 60 mg.vaso⁻¹ of mineral N, representing a economy of 52% when compared to the fertilizer N.

The utilization of mineralized Sesbania N by the rice plants, however was low, around 5.81% for the best treatment.

In the absence of mineral N, the major contribution to total N was derived from soil-N (except in the S20 treatment). In the presence of mineral N the major part of total N was derived from the treatments which received Sesbania. The addition of this material seems to have accelerated the mineralization of the soil nitrogen.

The utilization of mineralized Sesbania N, unlike what was expected, decreased with increasing incubation period. Probably the nitrogen immobilization increased during the incubation period.

1. INTRODUÇÃO

Para suprir demandas futuras, o IIRI-International Rice Research Institute (1989) estimou que a produção anual de arroz no mundo deve aumentar de 458 milhões de toneladas, obtidas em 1987, para 556 milhões no ano 2000 e para 758 milhões de toneladas em 2020 ou seja, 65% (cerca de 1,9% ao ano). Este aumento na produção de arroz poderá ser possível somente se recursos de solo e de água e insumos na produção forem usados mais eficientemente.

O arroz é um importante componente na dieta da população brasileira, estando o consumo "per capita" ao redor de 50 kg/habitante/ano, sendo sua área de cultivo avaliada em aproximadamente seis milhões de hectares, com uma média de produção de dez milhões de toneladas. O sistema de arroz inundado representa 19% dessa área, estando a média de produtividade ao redor de 3,6 toneladas/hectare (DARIO,1992). Esses rendimentos são considerados baixos se forem comparados com os obtidos pelos países desenvolvidos produtores de arroz.

Sustentar a produção necessária de arroz e conseguir obter os aumentos na produção no futuro exigirá aumento da área irrigada e eficiente uso da água, maior

área plantada com variedades modernas e responsivas e o desenvolvimento de eficiente tecnologia no uso de fertilizantes. E isso deve ser conseguido sem causar impactos adversos no ambiente.

Suprimentos adequados de nutrientes serão cruciais para a expressão do completo potencial de variedades altamente produtivas. O alto custo dos fertilizantes inorgânicos, a ocorrência comum de deficiências multinutricionais em solos sob cultivo intensivo e as reduções expressivas na capacidade produtiva do solo exigem uma avaliação mais cuidadosa sobre o papel da adubação orgânica.

O nitrogênio é um dos mais importantes fatores que governa a produtividade das culturas e o nutriente mais aplicado ao arroz (MARUMOTO, 1986; BURESH & DE DATTA, 1990). O fertilizante nitrogenado é um insumo caro que exige altos recursos energéticos que não são renováveis para a sua produção, que é facilmente perdido e de pouco poder residual (COLAÇO, 1988).

A adubação verde, a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas são práticas da maior importância tanto pelo fato de resultarem em sistemas biologicamente mais eficientes como por reduzirem a poluição ambiental.

As leguminosas, com sua habilidade em fixar N_2 e com prodigiosa facilidade de adaptação aos diferentes

sistemas de cultivo, oferecem oportunidades de aumentar e sustentar a produtividade e a rentabilidade de tais sistemas.

Sesbania rostrata é uma leguminosa que coloniza solos alagados da Região do Sahel, na África Ocidental, e forma nódulos fixadores do nitrogênio atmosférico, tanto nas raízes como nos caules. Esta planta caracteriza-se por sua profusa nodulação caulinar (15-40g de peso fresco de nódulos por planta) e rápido crescimento, podendo alcançar uma altura de três a cinco metros, num período de três a quatro meses (DREYFUS, et al. 1984).

São escassas as pesquisas sobre **Sesbania rostrata** como fonte nitrogenada para o arroz irrigado, sendo ainda desconhecidos trabalhos na literatura brasileira.

Este trabalho teve como objetivos a) observar e avaliar a produção de biomassa por **Sesbania rostrata**; b) verificar o potencial fixador de nitrogênio por essa espécie pelo método da diluição isotópica; c) verificar a potencialidade de **S. rostrata** como fonte de N para o arroz em comparação com N-mineral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Denomina-se adubo verde à planta cultivada ou não com a finalidade de elevar o potencial produtivo de um solo através do enterrio da massa vegetal produzida no local ou importada (VASCONCELOS & FACHECO, 1987). A essas práticas de cultivo e de incorporação dá-se o nome de adubação verde (KIEHL, 1985).

Possivelmente, a adubação verde seja tão velha quanto a própria agricultura. Há indícios de seu uso por chineses em 1134 A.C. (JOFFE, 1955), romanos (BRILL, 1977) egípcios (MUZZILLI et al., 1980) e gregos (KIEHL, 1985).

Entre nós esta prática já era recomendada por D'UTRA (1919) que publicou o trabalho "Adubos verdes: sua produção e modo de emprego", mas somente foi implementada em longa escala por volta de 1940 (FANCELLI, 1990). Contudo, com a entrada dos fertilizantes solúveis no comércio essa prática foi relegada (DUQUE et al., 1986) o que, segundo KIEHL (1985) foi devido tanto à falta de pesquisas sobre o assunto quanto à resistência de agricultores em aceitá-la. Mas, atualmente, segundo FANCELLI (1990), a adubação verde de Outono-Inverno vem recebendo especial atenção por parte das instituições de

pesquisa e despertando o interesse dos agricultores visto que tal prática é efetiva no período de entressafra quando as áreas cultiváveis na primavera estariam normalmente destinadas ao pousio.

Embora também se considere adubação verde a incorporação ao solo de outras espécies vegetais, a cultura de leguminosas é a mais usada para essa finalidade (LOHNIS, 1926b) principalmente pelo fato de elas fixarem simbioticamente o nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo com esse nutriente (MUZZILI et al., 1980), além da sua riqueza em compostos orgânicos nitrogenados (LOHNIS, 1926a) e a presença de um sistema radicular geralmente bem ramificado e profundo (LOHNIS, 1926b, BHARDWAJ, 1981; MIYASAKA et al., 1983). Esses atributos garantem à leguminosa a assimilação de nutrientes do solo que, ao se decomporem, tornam-se disponíveis às culturas subsequentes.

As leguminosas que servem como adubo verde são cortadas ainda verdes (incorporadas ou não ao solo), decompondo-se rapidamente e produzindo matéria seca em volume relativamente pequeno. Por isso, segundo MIYASAKA et al., (1983) as leguminosas, via de regra, não são boas fornecedoras de grandes quantidades de húmus. Para esses autores, ainda, a principal finalidade do emprego das leguminosas como adubação verde é a produção de massa orgânica com maiores quantidades de N, P, K e Ca

do que as gramíneas. Deve-se enfatizar também, que a adubação verde não supre o solo em relação às suas deficiências minerais totais e, se necessário, devem-se aplicar alguma forma inorgânica de N, P, K, Ca e Mg - nas culturas econômicas, e quando se usa o sistema de rotação (GALLARDO-LARA *et al.*, 1980).

A grande limitação ao uso de leguminosas para adubo verde está na compatibilidade do cultivo da cultura principal com a leguminosa na mesma área (FRANCO & SOUTO, 1984) e na dificuldade de se determinar, com precisão, a real contribuição do adubo verde na nutrição das plantas comercialmente cultivadas (MURAOKA, 1984).

Para SILVA (1991), a adubação verde na orizicultura brasileira é praticamente desconhecida. Nos países asiáticos, todavia, principalmente nas Filipinas, essa técnica tem sido estudada e utilizada como fonte alternativa de N para a cultura do arroz. O potencial das leguminosas como adubo verde para o arroz foi notoriamente reconhecido desde 1936 pelo IRRI, quando foi mencionado que a aplicação de um adubo verde poderia promover um grande incremento no crescimento da planta, assegurando uma maior produção do que aquela obtida no sistema de cultivo tradicional.

Conforme WATANABE & ROGER (1984), a fixação do N_2 por leguminosas contribui para a nutrição nitrogenada do arroz, quando essas plantas são incorporadas ao solo

durante a preparação da terra para o arroz irrigado. A importância das leguminosas como adubo verde na cultura do arroz não deve ser negligenciada, particularmente nas lavouras de subsistência.

BURESH & DE DATTA (1991) preconizaram o uso integrado de fertilizantes como essencial para manter altos rendimentos na maioria dos sistemas leguminosas-arroz. Segundo esses autores, o N dos adubos verdes de leguminosas suprem só em parte as exigências de N de uma cultura arroz subsequente e de alto rendimento. Além disso, P e micronutrientes podem limitar a produção de leguminosas, particularmente em solos ácidos e de baixa fertilidade.

As estimativas limitadas da fixação do N_2 por leguminosas nos arrozais sugere que, em muitas situações, usando-se leguminosas alimentícias, o N removido pelo grão excede o N fixado. Por isso, os resíduos são mais usados para alimentação animal do que como uma fonte de N para a cultura do arroz subsequente (ROGER & WATANABE, 1986).

As principais fontes de N para as plantas são: o N do solo, os fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica do nitrogênio (FBN). As reservas de N no solo são limitadas e os fertilizantes nitrogenados são muito caros para os produtores (RINAUDO et al. 1988). É justamente nestes casos que se justifica a exploração de leguminosas, capazes de fixar o N atmosférico (PEOPLES, 1990).

Tendo em vista as necessidades das variedades de

arroz modernas, altamente responsivas ao N e produtivas (FAGERIA & BARBOSA FILHO, 1982), pesquisas recentes com o uso de adubação verde tem sido dirigidas cada vez mais em direção ao manejo integrado desses materiais - com fertilizantes inorgânicos (SILVA, 1991; RIBEIRO, 1991).

O interesse renovado em adubos verdes levou à identificação de leguminosas até agora inexploradas como *Sesbania rostrata*, *Aeschynomene* sp. e *Neptunia oleracea*, (RINAUDO et al., 1983; ALAZARD et al., 1988).

Sesbania rostrata é uma leguminosa da sub-família das Papilionoideae, (DREYFUS & DOMMERGUES, 1981) que coloniza solos alagados da região do Sahel na África Ocidental e forma nódulos fixadores do N atmosférico tanto nas raízes como nos caules. Os nódulos caulinares de *Sesbania rostrata* são sítios ativos de fixação de N_2 , induzidos por estirpe específica da bactéria fixadora, *Azorhizobium caulinodans*, estirpe ORS 571 (DREYFUS et al., 1988). Além disso, devido a sua profusa nodulação caulinar a *Sesbania* pode fixar N_2 mesmo quando o conteúdo de N no meio for alto (DREYFUS & DOMMERGUES, 1980). A profusa nodulação caulinar e a não inibição pelo nitrogênio do solo são duas características que provavelmente contribuem para um alto potencial fixador de N_2 exibido por *S. rostrata*.

Rizóbios específicos de leguminosas de nodulação caulinar diferem, segundo DREYFUS et al., (1984), em dois aspectos dos demais rizóbios conhecidos: 1) o complexo

enzimático nitrogenase parece ser bem mais protegido contra o oxigênio, o que pode ser uma adaptação a sua localização num nódulo fotossintético, e 2) estas bactérias são capazes de crescer num estado de vida livre, às custas de N_2 , o que pode conferir a esses microrganismos uma vantagem saprofítica seletiva (ADEBAYO et al., 1989).

A simbiose de *S. rostrata*-*Azorhizobium caulinodans* é altamente específica (LADHA et al., 1990). *A. caulinodans* não forma nódulos radiculares efetivos em outras espécies de *Sesbania* nem produz nódulos radiculares e caulinares em alguma das espécies de *Aeschynomene*, também noduladora no caule. Uma razão pela qual *S. rostrata* tem limitada promiscuidade é sua ocorrência restrita a poucos países da África Ocidental. Só recentemente que esta espécie foi introduzida na Ásia e em outras partes do mundo. Contudo, tem sido encontrada nodulação espontânea sem inoculação em vários países asiáticos, inclusive nas Filipinas (SINGH et al. 1991).

Algumas espécies de *Sesbania*, especialmente "dhaincha" (*Sesbania cannabina* syn. *S. aculeata*) são usadas como adubo verde nas lavouras orizícolas de regiões tropicais (EVANS e ROTAR, 1987). Tais espécies são bem adaptadas para uso como adubo verde, antes da semeadura do arroz por causa de sua habilidade em tolerar o encharcamento, de crescer em solos de textura fina e de tolerar, até mesmo, a salinidade dos solos (ARUNIN et al.,

1988).

A fixação de N_2 por *S.rostrata* foi estimada pela primeira vez, segundo (RINAUDO et al., 1983), através de uma avaliação do balanço do nitrogênio efetuado em 1980 na Estação da ORSTOM, em Bel Air, próximo a Dakar no Senegal, após uma sucessão de culturas de *S. rostrata*-arroz em microparcelas de $1m^2$. Estes resultados mostraram que *S.rostrata* fixou, pelo menos, 26g de N/m^2 em 52 dias.

LADHA et al. (1988) nas Filipinas estimaram a fixação de N_2 por *Sesbania rostrata* aos 50 dias pelo método de N total (Kjeldahl) na sequência *S. rostrata*-arroz em 190-267 kg N/ha , respectivamente. Recentemente, PAREEK et al. (1990), estimaram a fixação do N_2 de *S. rostrata* pela diluição isotópica do ^{15}N . Os resultados indicam que *S. rostrata* é possivelmente a planta conhecida que mais acumula N_2 num período de tempo mais curto, fixando de 70 a 90% do total de N na planta durante 45 a 55 dias. Os mesmos autores mostraram que a taxa de fixação de N_2 durante 55-65 dias durante a estação úmida foi da ordem de 17kg/ha/dia (quase todo o N derivado da fixação biológica do nitrogênio).

NDOYE & DREYFUS (1988), utilizando a diluição isotópica de ^{15}N compararam o potencial fixador de *S. rostrata* e *S. sesban* (uma espécie de *Sesbania* que nodula nas raízes) cultivadas em condições alagadas e drenadas. A

fixação do N_2 em um período de 60 dias foi 0,7-0,8g N_2 .planta⁻¹ em condições de alagamento e 0,6g em condições drenadas. A fixação de N_2 por *S. sesban*, no mesmo período, foi de apenas 0,05-0,06g. N_2 .planta⁻¹ sob alagamento e 0,13g. N_2 .planta⁻¹ em condições drenadas.

Segundo LADHA (1988) é essencial que se estimem as quantidades de N_2 fixadas por *S. rostrata* a fim de se determinar sua viabilidade econômica em lavouras de arroz e para planejar rotações de culturas mais eficientes.

A fixação do N_2 por leguminosas e não leguminosas pode ser determinada pelo cultivo de planta em um meio em que o sistema radicular esteja enriquecido com isótopo ^{15}N (TRIVELIN, 1982; VOSE & VICTÓRIA, 1986). Como a maior proporção do N existente no solo e na atmosfera (99,6337%) é do isótopo ^{14}N , por comparação da relação $^{15}N/^{14}N$ nas plantas fixadoras e em plantas não fixadoras (controle) é possível se calcular a quantidade de N_2 que é fixada (FRIED & MIDDELBOE, 1977).

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho constou de três experimentos realizados em condições de casa de vegetação, nas dependências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba-SP.

Para a realização dos três experimentos, que serão a seguir descritos, foi inicialmente realizada a multiplicação das plantas o que ocorreu entre 26 de Dezembro de 1990 e 28 de Março de 1991.

O solo utilizado era proveniente de uma várzea tradicionalmente utilizada para o cultivo de arroz irrigado classificado como Terra Roxa Estruturada Podzolizada localizada na área experimental do Departamento de Agricultura da ESALQ.

O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, seco ao ar e passado por peneira com abertura de malha de 4,0mm. Após esse tratamento o mesmo foi acondicionado em sacos plásticos e colocado em vasos de barro com capacidade de aproximadamente 5kg de terra.

Desse material, foram retiradas amostras para análise química e textural (Tabela 1) com base na qual foi

feita a correção de acidez e a adição de fertilizante.

Para corrigir o pH até 6,5 foram colocados 5,8 g de calcário dolomítico Minercal por vaso, com as seguintes especificações: CaO 44%, MgO 22% e Poder de neutralização 130%.

Tabela 1 - Análise química e textural do solo utilizado na multiplicação de plantas de *S. rostrata*.

Análise Química		Análise Textural	
pH(CaCl_2)	4,30	Areia (%)	29
M.O. (%)	2,60	Silte (%)	22
C (%)	0,55	Argila (%)	49
K (me/100cm ³)	0,26	Classe Textural: Argila	
P ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	51,70		
Ca (me/100cm ³)	1,52		
Mg (me/100cm ³)	0,60		
H+Al (me/100cm ³)	7,30		
S (me/100cm ³)	2,40		
CTC (me/100cm ³)	9,70		
V (%)	32,80		

Após trinta dias, cada vaso recebeu 200 ppm de P e 150 ppm de K a partir de soluções preparadas com os adubos superfosfato triplo (46% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O). Foi também adicionada uma solução completa de micronutrientes (H_3BO_3 1,55; MnCl_2 1,81; ZnSO_4 0,22; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,08; H_2MoO_4 0,02 por litro) na base de 0,5ml por kg de terra.

As sementes de *S. rostrata*, oriundas do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, foram escarificadas com ácido sulfúrico concentrado por 40 minutos, segundo

critério de HALEPYATI et al. (1987), lavadas abundantemente em água de torneira e semeadas na base de dez sementes/vaso. Após a emergência, que ocorreu dois dias após, foi realizado um desbaste deixando-se quatro plantas/vaso.

Do total de 30 vasos utilizados, dez receberam 20ml de uma solução de uréia (3g/750 ml de água destilada), enriquecida com 10% de átomos em excesso de ^{15}N oito dias após a semeadura ou seis dias após a emergência das plântulas.

Aos 21 e aos 36 dias após a semeadura foi feita a inoculação das plantas com *Azorhizobium caulinodans*, bactéria que nodula tanto as raízes quanto os caules de *S. rostrata*. Essa bactéria foi isolada por processos microbiológicos padronizados na Seção de Microbiologia do Solo do CENA a partir de porções de caule dessa planta oriundas do CNPAF. Os isolamentos foram cultivados em meio de cultura Na-Lactato, 10g; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1g; K_2HPO_4 1,67g; KH_2PO_4 0,87g; MgSO_4 0,2g; NaCl 0,1g; FeCl_3 , 4mg; extrato de levedura, 1g; agar 12g/l; pH ajustado a 6,8 e autoclavado a 120°C por 20 min, utilizado por DREYFUS et al. (1985).

Após o crescimento em meio sólido as colônias foram transferidas para meio líquido que permaneceu sob agitação contínua por três dias. Após esse período, essa solução inoculante foi pulverizada sobre a parte aérea das plantas de todos os vasos.

Noventa e dois dias após a semeadura, quando as plantas encontravam-se em pleno florescimento, procedeu-se a colheita. Nesta operação, todas as plantas foram cortadas rente ao solo, picadas, pesadas, secas em estufa de circulação de ar, amostradas para análise de N total, acondicionadas em sacos plástico e guardadas para posterior utilização no experimento 2.

Na Fig. 1 encontra-se a fotografia com uma vista parcial desse experimento.

3.1 Experimento 1. Marcha de absorção do Nitrogênio por *S. rostrata*.

Esse experimento foi realizado entre 30 de Abril e 12 de Setembro de 1991.

A planta controle utilizada foi o capim colônia (*Panicum maximum* cv IZ-1).

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro textura média coletado na área da "Fazenda Sertãozinho", com análise química e textural apresentados na Tabela 2.

Após destorroado e passado em peneira de 4,0mm, o solo foi acondicionado em vasos com capacidade de 5,0kg.

As operações de escarificação, adubação, semeadura, marcação isotópica e inoculação da *S. rostrata*

Figura 1 Plantas de **Sesbania rostrata** cultivadas em vasos nas dependências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Tabela 2 - Análise química e textural do solo utilizado no experimento 1.

Análise Química		Análise Textural	
pH(CaCl_2)	4,10	Areia (%)	72
M.D. (%)	2,00	Silte (%)	6
C (%)	na	Argila (%)	22
K ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	0,14	Classe Textural: Franco Argilo-arenoso	
P (ppm)	4,00		
Ca ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	0,40		
Mg ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	0,20		
H+Al ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	3,80		
S ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	0,70		
CTC ($\text{me}/100\text{cm}^3$)	4,50		
V (%)	16,00		

na = não analisado.

foram semelhantes às da fase de multiplicação das plantas já descrita.

O experimento (blocos casualizados em 3 repetições) constou de oito épocas de coleta (15, 30 45, 60, 75, 90, 120 e 150 dias após a semeadura) nas quais foram determinadas: matéria seca, massa e número de nódulos caulinares e radiculares, atividade da redução do acetileno nos nódulos caulinares e radiculares, de acordo com HARDY et al. (1968), N total (Kjeldhal), segundo BREMNER (1965) e ^{15}N conforme descrito em TRIVELIN et al. (1973).

Em cada época foram calculados: 1) Porcentagem (%NT) e quantidade (QNT - mg/vaso) de N total na planta e 2) Porcentagem (%NPPfix) e quantidade de N na planta proveniente da fixação (QNPPFix - mg/vaso).

O NPPFix foi calculado pela equação (McAULIFFE et al. 1958):

$$NPPFix = \frac{{}^{15}\text{N}_{exc. Sesbania}}{{}^{15}\text{N}_{exc. planta controle}} 100$$

Como planta controle, foi utilizado o capim colônia (*Panicum maximum* cv IZ-1).

3.2 Experimento 2 - *Sesbania rostrata* como fonte de N para a cultura do arroz irrigado.

Esse experimento foi realizado entre 16 de Agosto e 30 de Dezembro de 1991.

Previamente cultivou-se *S. rostrata* marcado com ^{15}N conforme já descrito no início desse capítulo.

As plantas de *S. rostrata* marcadas apresentavam as seguintes análises: 3,95% de N total e 0,7417% de ^{15}N . A marcação com ^{15}N ocorreu de forma homogênea pois os enriquecimentos, tanto nas frações solúveis em álcool 80% como nas insolúveis foram idênticas a do N total e a do ^{15}N .

O solo utilizado foi o mesmo do Experimento 1, já descrito, em vasos com capacidade de 3,0kg.

O experimento constou de 15 tratamentos (três doses de Nitrogênio mineral combinadas com cinco doses de adubo verde - material vegetal de *S. rostrata*) dispostos em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições.

As doses de N mineral, na forma de Sulfato de amônio marcado com ^{15}N (2,74% de átomos de ^{15}N em excesso), foram de 0, 60 e 120 mg de N.vaso $^{-1}$ equivalentes a 0, 52 e 104kg de N.ha $^{-1}$, e as de adubo verde foram de 0, 10, 20, 30 e 40 g de material vegetal por vaso correspondentes a 0, 8,67, 17,34, 26,01 e 34,68 t/ha de material vegetal moído de *S. rostrata*.

Todas as doses de N mineral, assim como as de material vegetal foram integralmente aplicadas na preparação dos vasos.

Na semeadura, foram colocadas oito sementes por vaso da variedade de arroz BR-IRGA-409 (PEDROSO, 1989), realizando-se, após a emergência, um desbaste que resultou em duas plantas.vaso $^{-1}$.

Após as plantas atingirem cerca de 10cm de altura, procedeu-se o alagamento do "solo", mantendo-se o nível da água a aproximadamente 2cm da superfície até o final do experimento.

Na colheita, após maturação do grãos, que ocorreu 135 dias após a semeadura, procedeu-se o corte das plantas rente ao solo, separando-as em palha (colmos + folhas) e panículas com grãos, sendo a seguir secas em estufas a 65 graus com circulação de ar. Após a secagem todo o material foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 40 meshes para as determinações de N total e ^{15}N segundo os métodos já citados.

Foram estimados: produção de matéria seca (colmos+folhas e grãos em g); N na planta (% e massa total em mg), N na planta proveniente do fertilizante (NPPF em %), N na planta proveniente da Sesbania (NPPSesb em % e quantidade em mg); N na planta proveniente do solo (NPPS em % e total em mg) e % de aproveitamento do N na planta pelo arroz (%ApNSesb), sendo,

$$\%NPPF = \frac{\%^{15}N \text{ exc. (amostra)}}{\%^{15}N \text{ exc. (fert)}} 100$$

$$QNPPF = \frac{\%NPPF.Nt}{100}$$

onde Nt = N total na planta em mg.

$$\%NPPSesb = \frac{\%^{15}N \text{ exc. (amostra)}}{\%^{15}N \text{ exc. (Sesb.)}} 100$$

$$QNPPSesb = \frac{\%NPPSesb.Nt}{100}$$

$$\%NPPS = 100 - \%NPPF \text{ ou } 100 - \%NPPSesb$$

dependendo do tratamento.

$$\%NPP(\text{Solo+Sesb}) = 100 - \%NPPF$$

nos tratamentos de N-mineral com ^{15}N + Sesbania (sem ^{15}N).

$$\%ApN \text{ Sesb} = \frac{QNPPSesb}{X} 100$$

onde X é a quantidade de N, aplicado na forma de N-Sesbania que variou entre 395 e 1580mg.

3.3 Experimento 3. épocas de incorporação de *S. rostrata* ao solo em relação a nutrição nitrogenada do arroz irrigado

Esse experimento foi realizado entre 30 de Abril de 1991 e 04 de Março de 1992.

Para a preparação dos vasos foi utilizado o mesmo tipo de solo já empregado na fase de multiplicação de *S. rostrata* já descrito no início deste capítulo e cuja análise química e textural mostrada na Tabela 1.

Três quilos de terra seca ao ar, peneirada e 20g de material seco e moído de *S. rostrata*, marcada com ^{15}N foram acondicionados em sacos plástico e colocados em vasos de barro com capacidade para 5kg de terra.

O experimento constou de 5 épocas de incorporação de *S. rostrata* ao solo, a saber 180, 120, 60, 30 e 0 dias após o que foram transplantadas 8 plântulas de arroz (CV BR-IRGA-409) com cinco dias de pré-germinação em areia. Após uma semana foi feito o desbaste deixando-se duas plantas por vaso.

Durante os períodos de incubação os vasos foram mantidos com teor de água de aproximadamente de 70% da

capacidade de campo e a água perdida por evaporação era controlada pela pesagem diária dos vasos. Durante o ciclo de crescimento do arroz os vasos foram mantidos saturados com uma lâmina de água de aproximadamente 2cm.

O plantio do arroz (tempo 0) ocorreu em 30 de Outubro de 1991 e a colheita em 4 de março de 1992. O procedimento de colheita foi o mesmo adotado no Experimento 2.

Os parâmetros avaliados foram: produção de matéria seca, % e quantidade de N total e % e quantidade de N na planta proveniente da *S. rostrata*, todos na parte aérea das plantas subdivididas em colmos+folhas e grãos.

Amostras de solo+Sesbania foram retiradas após a incubação e antes do plantio do arroz para análise do nitrogênio e sua composição isotópica tanto no N total (digestão sulfúrica, BREMNER, 1965) como na fração de N facilmente mineralizável, a qual foi extraída com H_2O_2/MnO_2 (OLIVEIRA, 1987), considerando-se a mesma como N disponível. Após a colheita repetiram-se essas análises do solo de cada tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1 - Marcha de absorção de N por *S. rostrata*.

4.1.1 Matéria Seca

A Tabela 3 apresenta os dados de acúmulo de matéria seca na parte aérea da planta obtidos em diferentes dias após a semeadura. A Figura 2 ilustra estes dados, indicando que o modelo utilizado, polinômio exponencial, é coerente com o fenômeno ($R^2 = 0,98$). Os parâmetros das curvas mostradas na Figura 2 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 - Acúmulo de matéria seca (g.vaso^{-1}) ao longo do ciclo de plantas *S. rostrata*

Dias após a semeadura	Médias
20	0,90 $\pm$ 0,22
35	2,29 $\pm$ 0,20
50	2,85 $\pm$ 1,15
65	8,24 $\pm$ 3,66
79	19,40 $\pm$ 13,70
96	24,65 $\pm$ 7,56
122	45,68 $\pm$ 5,22
150	50,13 $\pm$ 15,04

Figura 2 - Relação entre matéria seca acumulada e taxa de acumulação de matéria seca (TC) e dias após a semeadura em plantas de *S. rostrata*

Tabela 4 - Parâmetros das equações representativas da variação da massa da matéria seca (MS), quantidade de N na planta (QNT) e quantidade de N total na planta proveniente da fixação (QNPPFix) ao longo do ciclo de *S. rostrata*.

Variável Y	Y = EXP(a + bX + cX ²)			
	a	b	c	r ²
MS	-1,5507	0,0725	-0,0002	0,98
QNT	-4,5600	0,0658	-0,0002	0,94
NPPFix	1,7988	0,0371	-0,0001	0,96

A Figura 2 sugere que o acúmulo máximo de matéria seca seria observado algum tempo após o final do experimento, mostrando que a *S. rostrata* tem hábito de

com base na primeira equação da Tabela 4, variou entre $0,08\text{g.vaso}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, no início do desenvolvimento, até o valor máximo de $0,68\text{g.vaso}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, que ocorreu em torno dos 122 dias após a semeadura. Tais valores correspondem a taxa de crescimento da ordem de $22,71\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e de $197,3\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. A taxa de crescimento de *S. rostrata* relatada por KALIDURAI & KANNAIYAN (1991) foi da ordem de $116,6\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

Considerando as equações da Tabela 4, a produção de MS obtida aos 96 dias após a semeadura é da ordem de $24,97\text{g.vaso}^{-1}$, com 4,16% de N conforme a Tabela 2 do Apêndice. Isso equivale a $1,04\text{g de N.vaso}^{-1}$. Apenas para fins de comparação, extrapolando-se esse resultado para hectare, obtém-se $300\text{kg de N.ha}^{-1}$. Esse dado representa um acúmulo de $3,12\text{kg de N.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ o que é comparável aos dados compilados por LADHA et al. (1988) que apresentam taxas de acúmulo de N, observadas em várias leguminosas utilizadas como adubo verde, variando entre 0,4 e $10,8\text{kg.N.ha}^{-1}$ por dia. Dentre as várias leguminosas, a *S. rostrata* aparece com taxa de acúmulo de N entre 1,75 e $3,65\text{kg de N.ha}^{-1}$ por dia.

4.1.2 Nitrogênio na planta

A percentagem média de N total na parte aérea da

crescimento indeterminado pois na data da última avaliação de matéria seca todas as plantas estavam em pleno florescimento. Essa observação contradiz o relato de BECKER et al. (1990), segundo o qual, com o florescimento, o crescimento da planta é restringido.

Em virtude de as pesquisas com esta espécie serem relativamente recentes (cerca de 10 anos), as densidades de plantas ainda não são bem definidas, variando entre 200 (MELIN et al., 1987) a 500 mil (ROGER & LADHA, 1991) e um milhão de plantas.ha⁻¹ (BECKER et al., 1990). No presente caso pode-se assumir uma densidade de cerca de um milhão de plantas.ha⁻¹. Assim sendo, a produção de matéria seca variou entre aproximadamente 0,21t.ha⁻¹, aos 20 dias, e 13,3t.ha⁻¹, aos 150. Na mesma densidade de plantas, em condições de campo, em um experimento de época de semeadura, BECKER et al. (1990), nas Filipinas, obtiveram produções de matéria seca, com a mesma espécie, seis semanas após a semeadura, que variaram entre o mínimo de 3t.ha⁻¹, em dezembro, e 15t.ha⁻¹, em julho. No mesmo experimento, a espécie *Aeschynomene afraaspera* produziu cerca de 6t.ha⁻¹ indiferentemente da época de semeadura. Os autores concluíram que a maior variação na produção de matéria seca por *S. rostrata* em comparação com a da *A. afraaspera* foi devido à maior sensibilidade daquela espécie ao fotoperíodo.

A taxa de crescimento da *S. rostrata*, estimada

planta, observada ao longo do ciclo (Tabela 5) foi da ordem de 3,84%, variando entre 2,32 e 5,26%. Tais valores são coerentes com os relatados na literatura. Os valores médios encontrados por JOSHUA *et al.* (1989), por exemplo, foram de 4,8% nas folhas, 1,5% no caule e 0,92% nas raízes. Vacchani & Murty (1964), citados por KALIDURAI & KANNAIYAN (1991), também relatam valores de 4,8% para o N total na parte aérea de *S. rostrata*.

Tabela 5 - Percentagem de N total ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*.

Dias após a semeadura	Médias
20	5,26 ± 0,26
35	3,57 ± 2,07
50	3,43 ± 0,97
65	2,32 ± 0,62
79	4,62 ± 0,34
96	4,16 ± 0,50
122	3,99 ± 1,00
150	3,38 ± 1,25

Com base nos valores percentuais de N mostrados na Tabela 5, foram calculados os valores totais de N, em g.vaso⁻¹ (Tabela 6), cujos resultados são mostrados na Figura 3. Observe-se que o acúmulo de N na parte aérea apresentou a mesma forma do acúmulo de matéria seca atingindo valores superiores a 1g de N/vaso a partir de 96 dias da semeadura.

Tabela 6 - Quantidade de N (g.vaso^{-1}) total ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*.

Dias após a semeadura	Médias
20	0,05 $\pm$ 0,01
35	0,08 $\pm$ 0,05
50	0,10 $\pm$ 0,04
65	0,19 $\pm$ 0,13
79	0,90 $\pm$ 0,64
96	1,03 $\pm$ 0,44
122	1,81 $\pm$ 0,28
150	1,75 $\pm$ 0,77

4.1.2.1 Fixação de Nitrogênio

Os valores percentuais e totais de N fixado pela planta são mostrados na Tabela 7 e a atividade da nitrogenase, medida através da atividade da redução do acetileno (ARA), nos nódulos caulinares e radiculares, são mostrados na Tabela 8. As médias dos valores totais de N fixado estão representadas na Figura 3. A atividade da Nitrogenase é ilustrada na Figura 4.

A análise da Figura 3 mostra que a contribuição da fixação biológica para o N total, equivalente a cerca de 40% no início de desenvolvimento das plantas, diminuiu até os 35-50 dias após a semeadura para então aumentar até a colheita final, certamente como resultado da inoculação realizada aos 36 dias. No final do ciclo a contribuição da fixação biológica para o N total atingiu o máximo de 84%. Com respeito ao N total fixado, o mesmo também aumentou com

Tabela 7 - Percentagem (%NPPFix) e quantidade de N na planta proveniente da fixação (QNPPFix - mg.vaso⁻¹) ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*.

Dias após a semeadura	%NPPFix	QNPPFix
20	36,87 ± 16,72	17,39 ± 9,11
35	26,14 ± 13,04	22,28 ± 23,84
50	25,59 ± 17,23	24,31 ± 13,42
65	34,41 ± 17,89	66,30 ± 56,90
79	82,52 ± 7,03	741,10 ± 515,98
96	68,97 ± 10,21	715,91 ± 367,10
122	82,54 ± 6,14	1496,66 ± 245,70
150	84,09 ± 3,88	1469,81 ± 620,42

Tabela 8 - Atividade da nitrogenase (umolesC₂H₄g⁻¹) medida pela técnica da redução do acetileno em nódulos caulinares e radiculares ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*.

Dias após a semeadura	Caulinares	Radiculares
20	0,10 ± 0,16	21,09 ± 16,13
35	42,85 ± 18,97	92,45 ± 88,44
50	0,46 ± 0,99	0,02 ± 0,03
65	74,64 ± 77,81	1,93 ± 3,55
79	88,64 ± 85,28	2,64 ± 5,63
96	130,20 ± 215,33	0,94 ± 1,62
122	78,45 ± 124,33	1,52 ± 3,13
150	52,99 ± 28,32	0,96 ± 3,28

o desenvolvimento das plantas, variando entre 0,02 e quase 2,0 g/vaso ao longo do experimento.

Tais resultados são comparáveis aos relatados por outros autores. PAREEK *et al.* (1990) quantificaram a contribuição para o N total através da fixação biológica

Figura 3 - Relação entre a quantidade de N na planta (QNT), N proveniente da fixação biológica (QNFix), percentagem de N fixado (%NFix) (Y) e dias após a semeadura (X) em plantas de *S. rostrata*.

Figura 4 - Relação entre a atividade da nitrogenase em $\mu\text{moles de C}_2\text{H}_4\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Y) e dias após a semeadura em plantas de *S. rostrata*. As linhas contínuas foram obtidas por suavização manual para demonstrar a tendência do fenômeno.

por plantas de *S. rostrata* e *S. cannabina* em condições de campo aos 65 dias de cultivo durante as estações seca e úmida. Aos 25 dias após a semeadura a percentagem de N fixado por ambas espécies foi da ordem de 50% durante a estação seca e de 75% na estação úmida. A contribuição da fixação biológica também aumentou com a idade da planta e variou de 70 a 95% aos 45-55 dias. NDOYE & DREYFUS (1988) observaram, em condições de casa de vegetação, que *S. rostrata* fixou de 0,68 a 0,78g de N_2 /planta em condições de solo alagado e de 0,59 a 0,62g em solos drenados.

Analisando-se a Figura 4, observa-se que até aproximadamente 50 dias após a semeadura a atividade fixadora dos nódulos radiculares foi mais importante do que dos caulinares, assumindo daí em diante um papel praticamente desprezível. Verifica-se também que a atividade de fixação dos nódulos radiculares começou a diminuir a partir da segunda inoculação do caule o que ocorreu aos 36 dias após a semeadura.

Tais resultados são bastante próximos dos relatados por LADHA et al. (1989) para os quais a atividade fixadora dos nódulos radiculares só teve alguma importância nas fases iniciais (40-55 dias após a emergência) de desenvolvimento de *S. rostrata*. Já RINAUDO et al. (1988), no Senegal, relataram ARA desprezível nos nódulos radiculares e atividade consideravelmente mais alta nos nódulos caulinares em plantas de *S. rostrata* com idade

entre 30 e 50 dias.

Os dados da Figura 4 também demonstram a estreita relação entre ARA e %NFix, (Figura 3), pelo menos até 96-122 dias após a semeadura. A partir dessa fase, a diminuição da ARA foi devido, certamente, a constatada degeneração dos nódulos que se apresentavam escurecidos e de tamanho reduzido.

4.1.3 Número e massa de nódulos

Os dados correspondentes ao número e à massa de nódulos observados em *S. rostrata* nas diversas épocas de coleta estão apresentados nas Tabelas 9 e 10. Para efeito de discussão, eles foram resumidos nas Figuras 5 e 6. As equações que representam as curvas das Figuras 5 e 6 são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 9 - Número de nódulos radiculares e caulinares ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*

Dias após a semeadura	Radiculares	Caulinares
20	72,33 ± 109,77	23,00 ± 28,59
35	170,67 ± 7,12	234,67 ± 39,79
50	22,00 ± 18,58	45,00 ± 86,74
65	48,00 ± 43,90	258,67 ± 213,77
79	96,67 ± 5,10	400,67 ± 155,76
96	252,00 ± 158,28	575,00 ± 20,57
122	67,00 ± 132,97	784,67 ± 77,89
150	72,00 ± 159,36	435,00 ± 552,71

Tabela 10 - Massa de nódulos (g.vaso^{-1}) radiculares e caulinares ao longo do ciclo de plantas de *S. rostrata*

Dias após a semeadura	Radiculares	Caulinares
20	0,81 $\pm$ 0,30	0,05 $\pm$ 0,07
35	2,41 $\pm$ 0,74	1,46 $\pm$ 0,78
50	0,03 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,15
65	0,43 $\pm$ 0,67	2,42 $\pm$ 1,51
79	1,65 $\pm$ 1,24	3,37 $\pm$ 1,35
96	2,22 $\pm$ 2,70	5,10 $\pm$ 3,21
122	1,16 $\pm$ 1,67	6,83 $\pm$ 1,94
150	0,42 $\pm$ 0,95	5,16 $\pm$ 1,76

Tabela 11 - Parâmetros das equações representativas da variação do número e da massa de nódulos radiculares e caulinares de *S. rostrata* com as fases de desenvolvimento das plantas.

Variável Y	Y = EXP(a + bX + cX ²)			
	a	b	c	r ²
Nº de nódulos radic.	6,8296	-0,1236	0,0017	0,25
Nº de nódulos caul.	2,1412	0,0709	-0,0003	0,73
Massa de nódulos rad.	3,2106	-0,2080	0,0030	0,24
Massa de nódulos caul.	-4,2403	0,1028	-0,0004	0,81

O número e a massa de nódulos radiculares predominou em relação aos mesmos parâmetros dos nódulos caulinares no início do desenvolvimento das plantas, fato que se confirmou até aproximadamente 35 dias após a semeadura. A partir daí, ocorreu um acentuado incremento tanto no número quanto na massa dos nódulos caulinares até ao redor dos 122 dias após a semeadura, enquanto os mesmos parâmetros para nódulos radiculares

Figura 5 - Relação entre o número de nódulos (Y) radiculares e caulinares e dias após a semeadura (X) em plantas de *S. rostrata*.

Figura 6 - Relação entre a massa de nódulos (Y) radiculares e caulinares e dias após a semeadura (X) em plantas de *S. rostrata*.

permaneceram praticamente constantes, com ressalva para a massa desses nódulos que sofreu um ligeiro incremento por volta dos 96-122 dias.

O predomínio da nodulação caulinar (número e massa de nódulos) sobre a radicular, bem como o seu incremento a partir dos 35 dias do ciclo resultou, certamente, da inoculação com *A. caulinodans* realizada aos 21 e 36 dias da semeadura. Este fato confirma as observações de RAMANI et al. (1990), segundo as quais as plantas de *S. rostrata* com nodulação caulinar mostraram forte redução do número de nódulos radiculares. Segundo os mesmos autores, o número de nódulos caulinares aos 55 dias após a semeadura foi da ordem de 1200. Para KALIDURAI & KANNAIYAN (1991) também o número de nódulos caulinares foi significativamente superior ao de radiculares.

4.2 Experimento 2 - *S. rostrata* como fonte de N para a cultura do arroz irrigado.

4.2.1 Produção de matéria seca

O material de *S. rostrata* incorporado ao solo onde foram cultivadas as plantas de arroz continha, em média, 3,95% de N total. Esse valor médio é resultante da análise individual das plantas de todos os vasos utilizados

na fase de multiplicação de **S. rostrata**.

Os dados relativos a produção de matéria seca nos colmos+folhas e nos grãos de plantas de arroz estão indicados na Tabela 13 do Apêndice. Na Tabela 12 são apresentados os resultados da comparação entre médias desses parâmetros nos diversos tratamentos utilizados.

A Figura 7 ilustra estes resultados e demonstra, de um lado, que ocorreu uma tendência, quase sempre linear, de aumento da massa da matéria seca em colmos+folhas e nos grãos da planta de arroz com o aumento da dose de Sesbania no solo, tanto na ausência quanto na presença de N-mineral. Observe-se que na ausência de N-mineral essa tendência é mais acentuada no caso de colmos+folhas do que no de grãos. De outro lado, constata-se, também, o aumento da massa de MS nos órgãos analisados com o aumento da dose de N-mineral na presença e na ausência de **S. rostrata**. Nesse caso as tendências de aumento de MS em colmos+folhas e grãos são, no geral, bem semelhantes. Com efeito, a adição de N-mineral aumentou significativamente a produção de matéria seca, em média 57% (colmos+folhas) e 55,1% (grãos). Já quando se mudou a dose de N-mineral de 60 para 120mg.vaso⁻¹, o incremento na produção de MS foi de apenas 10,6% (grãos) e de 8,5% (colmos+folhas), mas, assim mesmo, significativo ao nível de 5%.

Tabela 12 - Matéria seca (g.vaso^{-1}) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

(A)

<i>S. rostrata</i>	No	N1	N2	Média
So	8,10 ^{bb}	18,25 ^{ba}	19,37 ^{ca}	15,24 ^c
S1	10,96 ^{bb}	23,36 ^{aa}	20,97 ^{bca}	18,10 ^b
S2	11,99 ^{bc}	20,27 ^{abb}	24,82 ^{aba}	19,03 ^{ab}
S3	17,33 ^{ab}	18,95 ^{abab}	21,47 ^{bca}	19,25 ^{ab}
S4	17,22 ^{ac}	20,56 ^{abb}	25,57 ^{aa}	21,12 ^a
Média	13,12 ^c	20,68 ^b	22,44 ^a	

(B)

<i>S. rostrata</i> g/vaso	No	N1 g.vaso ⁻¹	N2	Média
So	4,82 ^{ba}	8,78 ^{ba}	11,90 ^{bcb}	8,50 ^b
S1	8,28 ^{aba}	10,07 ^{aba}	10,05 ^{ca}	9,47 ^b
S2	8,12 ^{aba}	13,63 ^{ab}	17,40 ^{ac}	13,05 ^a
S3	9,50 ^{ab}	12,95 ^{abab}	15,45 ^{aba}	12,63 ^a
S4	7,85 ^{abb}	13,59 ^{abab}	10,61 ^{ca}	10,69 ^{ab}
Média	7,61 ^{Bb}	11,80 ^a	13,08 ^a	

Obs. Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas referem-se às colunas e maiúsculas às linhas.

Os dados da Tabela 12 associados a Figura 7 mostram que a adição de *Sesbania* ao solo na dose de 30g.vaso^{-1} , na ausência de N-mineral, resultou no aumento da produção de MS, de 114% (colmos+folhas) e 97% (grãos). A produção de grãos, nesse caso, foi equivalente àquela obtida com 60mg.vaso^{-1} ($8,78\text{g.vaso}^{-1}$) de N-mineral sem *Sesbania*.

Figura 7 - Produção de matéria seca em colmos+folhas e graos ($Y=g.vaso^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

Se esses dados forem transformados para hectares, tem-se que $2,887\text{t.ha}^{-1}$ ($3 \times 10\text{g.vaso}^{-1}$) de matéria seca de *S. rostrata* incorporada ao solo corresponde, com base nos dados desse experimento, a pelo menos 52kg.ha^{-1} (60mg.vaso^{-1}) de N-mineral. Outra observação que se pode fazer é que o acréscimo de produção acima relatado (97%) corresponde a 1351kg.ha^{-1} . Assumindo a relação de PATNAIK & RAD (1979), segundo a qual para produzir 100kg de grãos de arroz são necessários 2kg de N, esse acréscimo equivale a 27kg.ha^{-1} de N. Pode-se então inferir que a incorporação de *S. rostrata*, em uma quantidade equivalente a $2,887\text{t.ha}^{-1}$ de matéria seca, pode representar uma economia de cerca de 52% de Nitrogênio na forma mineral.

Resultados semelhantes foram observados por ALAZARD *et al.* (1988), CAMARA & DIARA (1988) e VERNIER (1988). Para os primeiros autores a adição de *S. rostrata* ao solo sem a presença de N resultou no aumento de 100% na produção de grãos de arroz. Segundo CAMARA & DIARA (1988), com 30kg.ha^{-1} de N mais *Sesbania*, a produção de grãos no arroz foi igual aquela obtida com a aplicação de 120kg.ha^{-1} . Para VERNIER (1988), a incorporação de *Sesbania* ao solo também duplicou a produção de grãos e teve o mesmo efeito do que uma dose de N-mineral equivalente a $60\text{--}90\text{kg.ha}^{-1}$. Também JOSHUA *et al.* (1990) obtiveram produção de grãos de arroz em uma cultura subsequente a *S. rostrata* equivalente àquela obtida com 60kg.ha^{-1} de uréia. As observações de

RINAUDO et al. (1983) dão conta de que a quantidade de N transferida ao solo pela incorporação de *S. rostrata* resultou em uma produção de grãos de arroz equivalente a que seria produzida com a adição de 90kg de N.ha⁻¹.

4.2.2 Nitrogênio na planta

Os dados referentes ao nitrogênio presente nos colmos+folhas e nos grãos de plantas de arroz, em termos totais (QNT) e proveniente do fertilizante (QNPPF) nos diversos tratamentos de *S. rostrata* e N-mineral e provenientes da Sesbania (QNPPSesb) e do solo (QNPPS), nos tratamentos onde é possível separá-los, estão apresentados no Apêndice. As médias de QNT e QNPPF bem como a partição da QNT em QNPPSesb e QNPPS, estão indicadas, respectivamente, nas Tabelas 13, 14 e Figura 10.

É importante destacar que nos tratamentos de combinações de fontes de nitrogênio (mineral e orgânico), em que apenas o fertilizante mineral foi marcado com ¹⁵N, não foi possível a partição do N na planta entre aquele proveniente do solo e da Sesbania.

A QNT na planta, tanto na presença quanto na ausência de N-mineral, aumentou linearmente (Figura 8) com o aumento da dose de Sesbania, nos colmos+folhas, em todas

Tabela 13 - Quantidade de N (QNT) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de *S. rostrata*.

(A)

<i>S. rostrata</i> g.vaso ⁻¹	No	N1	N2	Média
	mg.vaso ⁻¹			
0	37,58 ^{aa}	68,47 ^{ab}	71,99 ^{ab}	59,34 ^a
10	45,03 ^{aa}	89,05 ^{ab}	86,26 ^{abB}	73,45 ^b
20	49,82 ^{aba}	78,17 ^{ab}	103,76 ^{abc}	77,25 ^b
30	70,68 ^{ba}	75,34 ^{aa}	80,15 ^{bca}	75,39 ^b
40	68,08 ^{ba}	84,16 ^{aa}	104,31 ^{bb}	85,52 ^b
Média	54,24 ^a	79,04 ^b	89,30 ^c	74,19

(B)

<i>S. rostrata</i> g.vaso ⁻¹	No	N1	N2	Média
	mg.vaso ⁻¹			
0	44,13 ^{aa}	84,40 ^{ab}	107,29 ^{ac}	78,61 ^a
10	85,47 ^{aba}	94,18 ^{aa}	99,82 ^{aa}	93,16 ^{ab}
20	70,92 ^{aba}	128,98 ^{bb}	183,35 ^{cc}	127,75 ^c
30	85,51 ^{aba}	118,56 ^{abcaB}	152,39 ^{bcb}	118,82 ^c
40	73,70 ^{aba}	136,78 ^{bb}	114,77 ^{abb}	108,41 ^{bc}
Média	71,95 ^a	112,58 ^b	131,52 ^c	105,35

Obs. Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas referem-se às colunas e maiúsculas às linhas.

as doses de N. Esse aumento também foi linear no caso dos grãos, com exceção para a dose N2, onde o acréscimo obedeceu a um modelo aproximadamente quadrático.

Vale contudo destacar que o aumento da QNT com a dose de *Sesbania* somente foi significativo, tanto nos colmos+folhas quanto nos grãos, nas doses mais elevadas de

Figura 8 - Quantidade de nitrogênio (QNT) em colmos+folhas e grãos ($Y = \text{mg.vaso}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

Sesbania. Em outras palavras, a adição de 10 ou 20g.vaso⁻¹ teve pouco efeito sobre a concentração do nitrogênio total na planta. Na presença de 60mg.vaso⁻¹ de N-mineral o efeito de *S. rostrata* foi desprezível para colmos+folhas, significativo para grãos na dose mínima de 20g.vaso⁻¹ e aumentou significativamente a QNT nos colmos+folhas e grãos, quando foi adicionada ao solo na dose de 20g.vaso⁻¹ na presença de 120mg.vaso⁻¹ de N-mineral.

Já o efeito do N-mineral sobre a QNT foi significativo na ausência e em praticamente todas as doses de Sesbania.

Em média, o efeito da adição de *S. rostrata* sobre a QNT foi significativo para colmos+folhas na dose de 10g.vaso⁻¹ e para grãos na dose de 30g.vaso⁻¹. Em termos médios, o efeito de N-mineral sobre a QNT foi significativo, tanto na presença, quanto na ausência de *S. rostrata*, seja nos colmos+folhas seja nos grãos.

A quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF - Tabela 14 e Figura 9), praticamente não variou com as doses de Sesbania no caso dos colmos+folhas. No caso dos grãos, na dose N2, a sua variação com a dose de Sesbania foi aproximadamente quadrática.

Tabela 14 - Quantidade de Nitrogênio proveniente do Fertilizante (QNPPF) em colmos+folhas (A) e grãos (B) de plantas de arroz cultivado em diferentes doses de N-mineral e material vegetal de *S. rostrata*.

(A)

<i>S. rostrata</i> g.vaso ⁻¹	No	N1	N2	Média
	mg.vaso ⁻¹			
0	0,00 ^A	18,42 ^{abB}	23,81 ^{abc}	14,08 ^{ab}
10	0,00 ^A	21,88 ^{bB}	29,88 ^{bc}	17,25 ^b
20	0,00 ^A	18,89 ^{abB}	29,01 ^{bc}	15,97 ^{ab}
30	0,00 ^A	20,76 ^{bB}	20,18 ^{aB}	13,65 ^a
40	0,00 ^A	13,07 ^{aB}	26,40 ^{bc}	13,16 ^a
Média	0,00 ^A	18,61 ^B	25,86 ^C	14,82

(B)

<i>S. rostrata</i> g.vaso ⁻¹	No	N1	N2	Média
	mg.vaso ⁻¹			
0	0,00 ^A	23,40 ^{aB}	36,07 ^{abc}	19,52 ^a
10	0,00 ^A	25,49 ^{aB}	34,53 ^{aB}	20,01 ^a
20	0,00 ^A	31,13 ^{aB}	49,74 ^{cc}	26,96 ^a
30	0,00 ^A	25,48 ^{aB}	43,51 ^{bcc}	22,99 ^{ab}
40	0,00 ^A	27,38 ^{aB}	30,75 ^{aB}	19,38 ^b
Média	0,00 ^A	26,58 ^B	38,92 ^C	21,83

Obs. Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas referem-se às colunas e maiúsculas às linhas.

Figura 9 - Quantidade de Nitrogênio proveniente do fertilizante (QNPF) em colmos+folhas e grãos ($Y = \text{mg. vaso}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

A partição do N total na planta entre aquele proveniente da Sesbania (QNPPSesb) e o do solo (QNPPS) no nível 0 de N-mineral é mostrada na Figura 10.

Observe-se que em praticamente todas as doses de Sesbania, tanto nos colmos+folhas quanto nos grãos, a maior proporção do nitrogênio na planta foi proveniente do solo. Tal fato certamente estar relacionado com a baixa % de aproveitamento do nitrogênio (QNPPSesb nos colmos+folhas+grãos/Quantidade de N aplicada) da Sesbania como indicado na Tabela 15. Tais valores não estão de acordo com os citados por SINGH *et al.* (1991) para diversos tipos de adubo verde aplicados ao arroz irrigado sob diferentes condições de solo e clima.

Tabela 15 - Quantidade de N na planta de arroz proveniente da Sesbania e percentagem de aproveitamento do nitrogênio no nível 0 de N-mineral.

S. rostrata (g.vaso ⁻¹)	QNPPSesb (mg)	% Aproveitamento
0	0	0
10	22,96	5,81
20	41,68	5,28
30	53,16	4,49
40	55,31	3,50

Figura 10 - Partição do Nitrogênio total (QNT) da planta entre a quantidade de nitrogênio proveniente da Sesbania (QNPPSesb) e o do solo (QNPPS), em plantas de arroz, na ausência de N-mineral.

4.3 Experimento 3. épocas de incorporação de *S.*

rostrata ao solo em relação a nutrição nitrogenada do arroz irrigado.

Esse experimento foi planejado para avaliar o efeito do tempo de incubação de *S. rostrata* no solo sobre a disponibilidade de N para a cultura do arroz irrigado. Dos cinco períodos de incubação previstos (180, 90, 60, 30 e 0 dias) os dois últimos foram perdidos. Tal fato impediu que se fizesse uma análise da variância do experimento. Assim os dados apresentados são as média dos parâmetros avaliados nos tres primeiros períodos de incubação (180, 90 e 60 dias).

Os dados relativos a produção de matéria seca nos colmos+folhas e nos grãos em plantas de arroz BR-IRGA-409 são indicados na Tabela 16. A produção de matéria seca tanto nos colmos+folhas como nos grãos aumentou ligeiramente a medida em que diminuiu o período de incubação de *S. rostrata*.

As percentagens de N total (Tabela 17) não mostraram diferenças acentuadas em relação aos diferentes períodos de incubação. Os valores observados tanto para colmos+folhas quanto para grãos estão de acordo com aqueles relatados por STONE (1983), entre outros.

Tabela 16 - Produção de matéria seca em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata*

Períodos de Incorporação (meses)	Matéria Seca (g.vaso ⁻¹)	
	Colmos+folhas	Grãos
6	16,29 ± 3,51	16,96 ± 4,13
4	15,89 ± 5,69	13,47 ± 6,13
2	20,40 ± 13,50	17,03 ± 9,52

Em relação a quantidade de N total (Tabela 18) houve um aumento com a diminuição do tempo de incubação de seis para dois meses como reflexo do aumento observado na matéria seca. As plantas desse tratamento (2 meses) apresentavam desenvolvimento mais exuberante, maior perfilhamento e cor verde mais escura, sugerindo a adequada nutrição em nitrogênio.

A percentagem (%NPPSesb. - Tabela 19) e a quantidade (QNPPSesb. - Tabela 20) de N na planta proveniente da *Sesbania*, foi aparentemente maior, tanto nos colmos+folhas quanto nos grãos, nos menores períodos de incubação sugerindo que a mineralização de *S. rostrata* no solo ocorre rapidamente. O mesmo foi observado por BHARDWAJ & DEV (1985), com *Sesbania cannabina* e por AZAM et al. (1985), com *Sesbania aculeata*. Mas a contribuição da *Sesbania* para o N total na planta foi pequena em comparação com a contribuição do solo (Tabela 21).

Tabela 17 - % de N total em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata*

Períodos de Incorporação (meses)	% de N	
	Colmos+folhas	Grãos
6	0,46 ± 0,05	1,05 ± 0,04
4	0,54 ± 0,11	1,12 ± 0,18
2	0,50 ± 0,13	1,17 ± 0,24

Tabela 18 - Quantidade de N total (QNT) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata*

Períodos de Incorporação (meses)	QNT (mg.vaso ⁻¹)	
	Colmos+folhas	Grãos
6	75,31 ± 18,30	177,01 ± 39,94
4	84,99 ± 28,33	149,79 ± 53,53
2	100,47 ± 53,68	197,27 ± 109,39

Tabela 19 - % de N na Planta Proveniente da *S. rostrata* (%NPPSesb.) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata*

Períodos de Incorporação (meses)	%NPPSesb.	
	Colmos+folhas	Grãos
6	8,79 ± 2,25	8,72 ± 1,63
4	11,52 ± 1,74	11,52 ± 2,64
2	11,92 ± 8,57	12,05 ± 7,64

Tabela 20 - Quantidade de N na Planta Proveniente da *S. rostrata* (QNPPSesb.) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata* e % de aproveitamento desse material.

Períodos de Incorporação (meses)	QNPPSesb. (mg.vaso ⁻¹)		% de Aproveitamento	
	Colmos+folhas	Grãos		
6	6,62 ± 1,04	15,44 ± 3,54		2,8
4	9,79 ± 2,42	17,26 ± 4,20		3,4
2	11,98 ± 1,08	23,78 ± 9,55		4,5

Tabela 21 - Quantidade de N na Planta Proveniente do Solo (QNPPSolo) em plantas de arroz cultivadas em solos com diferentes tempos de incubação de *S. rostrata*

Períodos de Incorporação (meses)	QNPPSolo (mg.vaso ⁻¹)	
	Colmos+folhas	Grãos
6	68,69 ± 18,15	108,32 ± 31,99
4	75,20 ± 26,12	74,60 ± 41,79
2	88,50 ± 53,31	108,77 ± 103,29

Observando-se os dados da Tabela 22, verifica-se pequena alteração no valor de N total em relação aos períodos antes do plantio e depois da colheita. Segundo BOULDIN (1988), a estrutura dos materiais orgânicos é composta por duas frações distintas: uma que se decompõe rapidamente, durante o ciclo do primeiro cultivo subsequente, suprindo-o com nitrogênio; a segunda fração

Tabela 22 - Teor de N (total e disponível) e sua composição isotópica (^{15}N) nas amostras de solo incubadas antes do plantio e depois da colheita. Média de duas repetições.

antes do plantio

Tempo de incubação (meses)	N total		N disponível	
	%N	% ^{15}N	ppm N	% ^{15}N
6	0,20	0,405	320	0,413
4	0,19	0,404	320	0,418
2	0,19	-	310	0,429

depois da colheita

Tempo de incubação (meses)	N total		N disponível	
	%N	% ^{15}N	ppm N	% ^{15}N
6	0,17	0,397	300	0,386
4	0,17	0,395	300	0,384
2	0,16	0,391	270	0,375

decompõe-se vagarosamente durante um longo período de tempo, com acentuado efeito residual sobre o N do solo e sobre a matéria orgânica. Assim sendo após seis meses de incubação supõe-se que o N da Sesbania que ainda permaneceu no solo encontre-se em forma pouco disponível e cuja decomposição ocorra vagarosamente.

FRANKENBERG & ABDELMAGID (1985) incubaram resíduos frescos de Alfafa, Trevo, Caupi e Soja dentro de colunas com solo dentro de um período superior a 20 semanas e observaram que a quantidade de N liberada esteve significativamente correlacionada com o conteúdo de N total no material ($R = 0,93^{**}$). Os mesmos autores concluíram que o tempo de incubação exigido para liberar metade do N das

leguminosas incorporadas ao solo ($t_{1/2}$) variou de 2,1 a 5,4 semanas.

NAGARAJAH (1988) sugere que as informações sobre a mineralização de adubos verdes sob condições de solo alagado são ainda limitadas, além do que, oriundas de experimentos em vasos e, muitas vezes na ausência de plantas de arroz, avaliando-se, nesse caso o $N-NH_4$ total.

MEELU et al. (1992) monitoraram a mineralização de adubo verde com *Sesbania aculeata* e observaram que, após a incorporação desse material, o $N-NH_4$ no solo aumentou constantemente, alcançando um pico entre 3-4 semanas para, então, diminuir gradualmente a valor mínimo, cerca de três semanas mais tarde. Para esses autores a incorporação do adubo verde mostrou um efeito similar ao que seria obtido com a aplicação de adubação nitrogenada na base e sugeriram que uma adubação de cobertura com N orgânico aos 40-50 dias após o transplântio do arroz seria benéfica.

Para NAGARAJAH (1988) a avaliação do $N-NH_4$ total pode não refletir completamente as condições de campo apesar de experimentos conduzidos no IRRI mostrarem um padrão de liberação do N dos adubos verdes muito semelhantes a aqueles obtidos com pesquisas "in vitro" e em casa de vegetação. Acredita-se, todavia que tal comportamento não seja universal sendo, por isso, extremamente necessária a condução de experimentos de campo com diferentes condições de solo e de clima.

5.0 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais e, considerando-se os objetivos propostos, pode-se concluir que:

- a) *Sesbania rostrata* fornece grande quantidade de exibir de matéria seca com alto teor de nitrogênio em curto espaço de tempo;
- b) a inoculação de *S. rostrata* com a bactéria *Azorhizobium caulinodans* promove profusa nodulação, expressa tanto pela massa quanto pelo número de nódulos;
- c) os nódulos radiculares são sítios ativos da fixação biológica do nitrogênio no início do ciclo de desenvolvimento de *S. rostrata*, transferindo essa habilidade aos nódulos caulinares à medida que esses se desenvolvem;
- d) a adição de material vegetal de *S. rostrata* aumenta tanto a produção de colmos+folhas quanto a de grãos de arroz;
- e) a produção de grãos obtida com a incorporação ao solo de $2,9\text{t.ha}^{-1}$ de matéria seca de *S. rostrata* é equivalente àquela com 52kg.ha^{-1} de N-mineral, representando uma economia de 52% de N na forma de fertilizante mineral.
- f) o aproveitamento do N proveniente da *Sesbania* incubada pelo arroz, porém, é baixo, tendo sido, no máximo, de 5,81%, valor este obtido na menor dose.

g) na ausência de N-fertilizante a maior parte do N na planta é proveniente do solo; com fertilização nitrogenada, a maior contribuição do N total é proveniente dos tratamentos com *Sesbania*.

h) o tempo de incubação, ao contrário do que se esperava, afetou negativamente o aproveitamento do N da *Sesbania* pelo arroz, reduzindo de 4,5% (2 meses) para 2,8% (6 meses). Provavelmente, a imobilização do N acentuou-se com o decorrer do tempo de incubação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBAYO, A.; WATANABE, I.; LADHA, J. K. Epiphytic occurrence of *Azorhizobium caulinodans* and other rhizobia on host and non host legumes. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, **55**:2407-9, 1989.
- ALAZARD, D. & BECKER, M. *Aeschynomene* as a green manure for rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, **101**:141-3. 1987.
- ALAZARD, D.; NDOYE, I.; DREYFUS, B. *Sesbania rostrata* and other stem-nodulated legumes. In: International Congress on N Nitrogen Fixation 7. Koln, 1988. Proceedings. Nitrogen fixation: hundred years after. Stuttgart, Gustav Fischer, 1988 p.765-9.
- ARUNIN, S.; DEISSATAPORN, C.; ANULUXTIPAN, Y.; NANA, D. Potential of *Sesbania* as a green manure in saline rice soils in Thailand. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Green manure in rice farming**. Manila, IRRI, 1988. p.83-95.
- AZAM, F.; MALIK, K. A.; SAJJAD, M. I. Transformations in soil and availability to plants of N applied as inorganic fertilizer and legume residue. **Plant and Soil**, Dordrecht, **86**:3-13, 1985.

- BECKER, M.; LADHA, J.K.; OTTOW, J.C.G. Growth and N fixation of two stem nodulating legumes and their effect as green manure on lowland rice. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 22:1109-19, 1990.
- BECKER, M.; LADHA, J. K.; WATANABE, I.; OTTOW, J. C. G. Seeding vs. vegetative propagations of the stem nodulating green manure *Sesbania rostrata*. **Biology and Fertility of Soils**, New York, 6:279-81, 1988.
- BECKER, M.; PAREEK, R. P.; LADHA, J. K.; OTTOW, J. C. G. Biofertilizer production of stem cut planted and seed *Sesbania rostrata*. **International Rice Research Newsletter**, Manila, 14:30-1, 1989.
- BECKER, M.; DIEKMANN, K. H.; LADHA, J. K.; DE DATTA, S. K.; OTTOW, J. C. G. Effect of NPK on growth and nitrogen fixation of *Sesbania rostrata* as a green manure for lowland rice. (*Oryza sativa* L.) **Plant and Soil**, Dordrecht, 132:149-58, 1991.
- BHARDWAJ, K. K. R.; DEV, S. P. Production and decomposition of *Sesbania cannabina* (Retz) Pers. in relation to its effects on the yield of wetland rice. **Tropical Agriculture**, Trinidad, 62:233-6, 1985.
- BHARDWAJ, S. P.; PRASAD, S. N.; SINGH, G. Economizing nitrogen by green manures in rice-wheat rotation. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, 51:86-90, 1987.

- BOULDING, D. R. Effect of green manure on soil organic matter content and nitrogen availability. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Green manure in rice farming**. Manila, 1988. p.151-53
- BREMNER, J. M. Total nitrogen In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties**. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p. 1149-78. (Agronomy, 9).
- BRILL, W. J. Biological nitrogen fixation. **Scientific American**, New York, 236:68-81. 1977.
- BROADBENT, F. E. Mineralization of organic nitrogen in paddy soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Nitrogen and rice**, Los Baños, IRRI, 1979. p.105-18.
- BURESH, R. J. & DE DATTA, S. K. Nitrogen dynamics and management in rice-legume cropping systems. **Advances in Agronomy**, New York, 45:1-59. 1991
- BURESH, R. J.; CASSELMAN, M. E.; PATRICK Jr.; W. H. Nitrogen fixation in flooded soil systems, a review. **Advances in Agronomy**, New York, 33:149-92, 1980.
- CAMARA, I. & DIARA, H. An agricultural evaluation of *Sesbania rostrata* as a source of nitrogen for irrigated rice in the Senegal river valley. In: DOMMERGUES, Y. R.; DREYFUS, B. L.; DIEM, H. G. **Stem-nodulating legumes and Actinorhizal plants: potential uses in tropical agriculture and forestry in developing countries**. The United Nations University, p.49-56. 1988.

- COLAÇO, W. Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera, sob condições de laboratório e de casa de vegetação, com ênfase à denitrificação. Piracicaba, 1988. 377p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- DARIO, G. J. A. Informações básicas para o cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) nos sistemas de sequeiro e irrigado no Estado de São Paulo. Piracicaba, Departamento de Agricultura-ESALQ/USP, 14p. 1992.
- DREYFUS, B.; DOMMERGUES, Y. Non-inhibition de la fixation d'azote atmosphérique par l'azote combiné chez une légumineuse à nodules caulinaires, *Sesbania rostrata*. C.R. Acad. Sc. Paris T 291:Série D - 767-770. 1980
- DREYFUS, B. L.; DOMMERGUES, Y. R. Stem nodules on the tropical legume *Sesbania rostrata*. In: GIBSON, A. H.; NEWTON, W. E. **Current perspectives in nitrogen fixation**. Amsterdam, Elsevier, 1981. p.471.
- DREYFUS, B. L.; ELMERICH, C.; DOMMERGUES, Y. R. Free living *Rhizobium* strain able to grow on N as the sole nitrogen source. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, 45:711-3, 1983.
- DREYFUS, B. L.; ALAZARD, D.; DOMMERGUES, Y. New and unusual microorganisms and niches stem nodulating rhizobia. In: KLUG, M.J.; REDDY, C.A., ed. **Current perspectives in microbial ecology**. Washington, ASM, p.161-9, 1984.

- DREYFUS, B.; RINAUDO, G.; DOMMERGUES, Y. Observations on the use of *Sesbania rostrata* as green manure in paddy fields. *MIRCEN Journal*, Oxford, **11**:111-21, 1985.
- DREYFUS, B.; GARCIA, J. L.; GILLIS, M. Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen. nov. sp. nov. a stem-nodulation nitrogen-fixing bacterium isolated from *Sesbania rostrata*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Washington, **38**:89-98, 1988.
- DUQUE, F. F.; DE POLLI, H.; SOUTO, S. M.; ALMEIDA, D. L. de. Utilização mais intensiva e diversificada de adubos verdes. *A Lavoura*, Rio de Janeiro, 20-3, jul.-Ago., 1986.
- D'UTRA, G. R. D. *Adubos verdes: sua produção e modo de emprego*. Campinas, IAC, 76p. 1919 (Relatório do Instituto Agrônomo de Campinas)
- EVANS, D. O.; ROTAR, F. P. Productivity of *Sesbania* species. *Tropical Agriculture*, Trinidad, **64**:193-200, 1987.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de N. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **17**:1709-12, 1982.
- FANCELI, A. L. *Adubação verde*. Piracicaba, Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, 13p. 1991.

- FIGURE, M. F. Fixação biológica de nitrogênio associada com cultivares de arroz inundado. Piracicaba, 1989. 103p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- FRANCO, A. A. & SOUTO, S. M. Contribuição da fixação biológica de N_2 na adubação verde. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p.199 - 217.
- FRANKENBERGER Jr., W.T. & ABDELMAGID, H.M. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, **87**:257-71, 1985
- FRIED, M.; MIDDELBOE, V. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*, The Hague, **47**:713-15, 1977.
- GALLARDO-LARA, F.; VITORINO, B.; AZCON, M.; OCAMPO, J. A. Utilizacion de diferentes residuos de leguminosas como abono verde. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, Madrid, **39**:923-34, 1980.
- HALEPYATI, A. S.; SHEELAVANTAR, M. N.; DIXTI, L. A. Breaking dormancy in *Sesbania rostrata*. *International Rice Research Newsletter*, Manila, 12:36, Oct. 1987.
- HARDY, R. W. F.; HOLSTEEN, R. D.; JACKSON, E. K. W.; BURNES, R. C. The acetylene-ethylene assay for N_2 : laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*, Washington, **43**:1185-1207. 1968.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **IRRI toward 2000 and beyond**. Los Baños, IRRI, 1989. 384p.

JOFFE, J. S. Green manuring viewed by a pedologist.

Advances in Agronomy, New York, 7:141-87, 1955.

JOSHUA, D. C.; RAMANI, S.; BHAGWAT, A. S.; SHAIK, M. S.

Plant growth, nodulation and nitrogen content of stem nodulating **Sesbania rostrata** Brem. National Seminar on Biotechnological Approaches for Upgradation of Agricultural & Horticultural Crops, Coimbatore, Sept. 12-14, 1990.

JOSHUA, D. C.; BHAGWAT, A. S.; GADGIL, J. D.; BHATIA, C. R.

Sesbania rostrata Brem a stem nodulating legume - its potential as green manure crop. International Symposium and Workshop on Biological Nitrogen Fixation Associated with Rice Production. Cuttack, Dec. 28-Jan. 01, 1989.

KALIDURAI, M; KANNAIYAN, S. **Sesbania** as a Biofertilizer for rice. **Bioresource Technology**, 36:141-45, 1991.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo, CERES, 1985, 492p.

LADHA, J. K.; WATANABE, I.; SAQNO, S. Nitrogen fixation by leguminous green manure and practices for its enhancement in tropical lowland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Green manure in rice farming**, Manila, 1988, p.167-83.

LADHA, J. K.; MIYAN, S.; GARCIA, M. *Sesbania rostrata* as a green manure for lowland rice growth, N_2 fixation: *Azorhizobium* sp. inoculation and effects on succeeding crop yields and nitrogen balance. *Biology and Fertility of Soils*, New York, 7:191-7, 1989.

LADHA, J. K.; PAREEK, R. P.; SO, R.; BECKER, M. Stem-nodules symbiosis and its unusual properties. In: GRESSHOFF, P. M.; ROTH, STACEY e NEWTON, W.E. Nitrogen fixation: achievements and objectives. New York, Chapman and Hall, 1990, p. 633-40.

LOHNIS, F. Nitrogen availability of green manures, *Soil Science*, Baltimore, 22:253-90, 1926a.

LOHNIS, F. Effect of growing legumes upon succeeding crops. *Soil Science*, Baltimore, 22:355-89, 1926b.

McAULIFFE, C.; CHAMBLEE, D.S.; URIBE-ARANGO, H.; WOODHOUSE, W.W. Influence of inorganic nitrogen fixation by legumes as revealed by ^{15}N . *Agronomy Journal*, Madison, 50:334-47, 1958.

MARUMOTO, T. Microbial nitrogen fixation and its availability to rice plants as revealed with the use of N in Japan. *JARQ* (Japan Agricultural Research Quarterly) Tsukuba, 20:108-14, 1986.

MEELU, O. P. & MORRIS, R. A. Green manure management in rice-based cropping system. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Green manure in rice farming*. Manila, 1988. p.209-221.

- MEELU, O. P.; MORRIS, R. A.; CENTENO, H. S. Tropical lowland rice response to preceding crops, organic manures and nitrogen fertilizer. *Tropical Agriculture*, Trinidad, **69**:96-100. 1992.
- MELIN, P. N.; GODEFREY, J.; RINAUDO, G. Comportment de *Sesbania rostrata* en Martinique. *Fruits*, Paris, **42**(4):219-24, 1987.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P. A. GODOY, I. J. de; WERNER, J. C.; CURI, S. L.; LOMBARDI NETO, F.; MEDINA, J. C.; CERVELINI, G. S.; BULISANI, E. A. *Adubação orgânica, adubação verde e rotação de cultura no Estado de São Paulo*. Campinas, Fundação Cargill, 1983, 138p.
- MURAOKA, T. Utilização de técnicas nucleares nos estudos da adubação verde. In: FUNDAÇÃO CARGILL. *Adubação verde no Brasil*. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.195-6.
- MUZZILI, O.; VIEIRA, M. J.; PARRA, M. S. Adubação verde: conceituação, história e importância. In: Fundação IAPAR, *Manual agropecuário para o Paraná*, 1980, Londrina, 1980. p. 77-93.
- NAGARAJAH, S. Transformations of green manures in lowland rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Green manure in rice farming*. Manila, 1988. p193-207.

- NDOYE, I. & DREYFUS, B. N_2 fixation by *Sesbania rostrata* and *Sesbania sesban* estimated using ^{15}N and total N difference methods. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 20:209-13. 1988.
- OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal. Piracicaba, 1987, 130p (Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP)
- PALM, D.; WEERAKOON, W. L.; SILVA, M. A. P.; ROSSWALL, T. Nitrogen mineralization of *Sesbania sesban* used as green manure for lowland rice in Sri Lanka. *Plant and Soil*, Dordrecht, 108:201-9. 1988
- PAREEK, R. P.; LADHA, J. K.; WATANABE, I. Estimating N_2 fixation by *Sesbania rostrata* and *S. cannabina* (syn. *S. aculeata*) in lowland rice soil by the ^{15}N dilution method. *Biology and Fertility of Soils*, New York, 10:77-88. 1990.
- PATNAIK, S. & RAD, M. V. Sources of nitrogen for rice production. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Nitrogen and rice. IRRI, Los Baños, 1979. p. 25-44.
- PATRICK, W. H., Jr. Nitrogen transformations in submerged soils. In: STEVENSON, F. J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison. American Society of Agronomy, Agronomy 22, 1982. p. 449-466.

- PEDROSO, B. A. Arroz irrigado; obtenção e manejo de cultivares. 3.ed. Porto Alegre, Sagra, 1989. 189 p.
- PEOPLES, M. B. & HERRIDGE, D. F. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture, **Advances in Agronomy**, New York, **44**:155-223. 1990.
- RAMANI, S.; SHAIK, M. S.; JOSHUA, D. C. Nodulation, biomass and nitrogen content in *Sesbania* species. **Plant and Soil**, Dordercht, **128**:221-3. 1990.
- RIBEIRO, P. G. F. Influência do estágio fenológico da *Crotalaria juncea* L. e da *Mucuna aterrima* (Piper e Tracy) Holland sobre a decomposição da fitomassa e seu efeito fertilizante. Piracicaba, 1991, 131p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- RINAUDO, G.; DREYFUS, B.; DOMMERGUES, Y. *Sesbania rostrata* green manure and the nitrogen content of rice crop an soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, **15**:111-13. 1983.
- RINAUDO, G.; ALAZARD, D.; MOUDIONGUI, A. Stem nodulating legumes as green manures for rice in West Africa. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Sustainable agriculture green manure in rice farming, Manila, IRRI, 1988 p.77-109.

- ROGER, P. A. & LADHA, J. K. Biological N_2 fixation in wetland rice fields: estimation and contribution to nitrogen balance. In: LADHA, J. K.; GEORGE, T.; BOHLOOL, B. Role of BNF in sustainable agriculture. Kluwer Academic Pub., 1991 (in press).
- ROGER, P. A. & WATANABE, I. Technologies for utilizing biological nitrogen fixation in wetland rice: potencialities, current usage and limiting factors. **Fertilizer Research**, Dordrecht, 9:39-77. 1986.
- SILVA, R. da. Potencial da mucuna preta como adubo verde para o arroz de sequeiro em latossolo amarelo da Amazônia. Piracicaba, 1991, 136p (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- SINGH, Y.; KHIND, C. S.; SINGH, B. Efficient management of leguminous green manures in wetland rice. **Advances in Agronomy**, New York, 45:131-189. 1991
- STONE, L. F. Produtividade e utilização do N pelo arroz (*Oryza sativa* L.): efeitos de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita. Piracicaba, 1983, 200p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E.; MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico BT-002).

- TRIVELIN, P. C. O. Medida da fixação simbiótica do nitrogênio, marcando-se a atmosfera do solo com $^{15}\text{N}_2$ a baixo enriquecimento isotópico. Piracicaba, 1982, 162p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- VASCONCELLOS, C. A. & PACHECO, E. B. Adubação e rotação de culturas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, **13**:37-40. 1987.
- VERNIER, PH. Use of *Sesbania rostrata* as green manure for rainfed rice in North Cameroon. In: DOMMERGUES, Y. R. ; DREYFUS, B. L.; DIEM, H. G. *Stem-nodulating legumes and actinorhizal plants: potential uses in tropical agriculture and forestry in developing countries*. The United Nations University. p. 30-36. 1988.
- VOSE, P. B.; RUSCHEL, A. P.; VICTORIA, R. L.; SAITO, S. M. T.; MATSUI, E. ^{15}N as a tool in biological nitrogen fixation research. In: ERAMAM, P. H. & HARRIS, S. C. *Biology nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Cali, CIAT, 1981. p.575-92.
- WATANABE, I. & ROGER, P. A. Nitrogen fixation in wetland rice field. In: SUBBA RAO, N. S. *Current development in biological nitrogen fixation*. Oxford, IBH Publishing, 1984. p.237-76.
- YOSHIDA, T. & ANCAJAS, R. R. Nitrogen-fixing activity in plant and flooded rice fields. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, **37**:42-46, 1973.

APÊNDICE

Tabela 1 - Matéria seca da parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	1,01	0,79	0,89	0,90
35	2,29	2,39	2,19	2,29
50	3,31	2,22	3,03	2,85
65	9,13	6,16	9,43	8,24
79	19,40	26,16	12,64	19,40
96	20,85	28,31	24,78	24,65
122	43,84	44,58	48,62	45,68
150	57,01	51,12	42,27	50,13

Tabela 2 - Percentagem de Nitrogênio total na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	5,36	5,12	5,31	5,26
35	4,73	2,81	3,18	3,57
50	3,58	3,81	2,89	3,43
65	2,42	1,98	2,57	2,32
79	4,80	4,60	4,47	4,62
96	3,93	4,42	4,13	4,16
122	4,46	4,02	3,48	3,99
150	2,68	3,83	3,63	3,38

Tabela 3 - Quantidade de Nitrogênio total na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	0,05	0,04	0,05	0,05
35	0,11	0,07	0,07	0,08
50	0,12	0,08	0,09	0,10
65	0,22	0,12	0,24	0,20
79	0,93	1,20	0,57	0,90
96	0,82	1,25	1,02	1,03
122	1,96	1,79	1,69	1,81
150	1,53	2,19	1,53	1,75

Tabela 4 - Percentagem de átomos em excesso de ^{15}N na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	3,125	3,028	3,734	3,296
35	2,463	2,863	2,697	2,674
50	2,877	2,856	2,402	2,712
65	2,384	2,011	1,949	2,115
79	0,680	0,835	0,79	0,768
96	1,087	0,956	0,892	0,978
122	0,787	0,681	0,808	0,759
150	0,693	0,683	0,626	0,667

Tabela 5 - Percentagem de átomos em excesso de ^{15}N na parte aérea de plantas de capim coloniço (*P. maximum* cv. IZ-1) em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	5,500	4,513		5,007
35	3,532	3,450		3,491
50	4,025	3,012		3,519
65	3,074	2,990		3,032
79	2,760	2,573		2,667
96	2,494	2,183		2,339
122	2,781	2,447		2,614
150	2,185	2,332		2,259

Tabela 6 - Percentagem de Nitrogênio proveniente do fertilizante (%NPPF) na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	28,64	27,63	34,96	30,41
35	21,76	25,92	24,19	23,96
50	26,06	25,84	21,13	24,35
65	20,94	17,07	16,43	18,15
79	3,26	4,87	4,40	4,17
96	7,48	6,12	5,46	6,35
122	4,37	3,27	4,58	4,07
150	3,39	3,29	2,70	3,12

Tabela 7 - Percentagem de Nitrogênio proveniente da fixação biológica (%NPPFix) na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	40,55	42,64	27,42	36,87
35	32,90	20,10	25,41	26,14
50	20,35	21,02	35,42	25,60
65	24,31	38,30	40,63	34,41
79	86,36	79,62	81,58	82,52
96	63,46	70,10	73,34	68,97
122	81,28	86,00	80,35	82,54
150	82,73	83,26	86,28	84,09

Tabela 8 - Quantidade de Nitrogênio proveniente da fixação biológica (%QPPFix) na parte aérea de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	21,95	17,25	12,96	17,39
35	35,64	13,50	17,70	22,28
50	24,12	17,78	31,02	24,30
65	53,71	46,72	98,46	66,30
79	804,20	958,16	460,93	741,10
96	519,97	877,15	750,62	715,91
122	1589,30	1541,20	1359,48	1496,66
150	1264,07	1821,54	1323,81	1469,81

Tabela 9 - Número de nódulos radiculares (A) e caulinares (B) por vaso em diferentes fases de desenvolvimento de plantas de *S. rostrata*.

(A)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	140	82	121	145,3
35	174	167	171	170,7
50	24	30	12	22,0
65	35	36	73	48,0
79	94	99	97	96,7
96	220	195	341	252,0
122	141	44	16	67,0
150	161	43	12	72,0

(B)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	36	25	8	23,0
35	246	212	246	234,7
50	15	26	94	45,0
65	358	148	270	258,7
79	320	409	473	400,7
96	564	584	577	575,0
122	761	764	829	784,7
150	168	713	424	435,0

Tabela 10 - Massa de nódulos radiculares (A) e caulinares (B) em g.vaso⁻¹ em diferentes fases de desenvolvimento de plantas de *S. rostrata*.

(A)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	0,846	0,937	0,644	0,809
35	1,993	2,635	2,610	2,413
50	0,032	0,037	0,018	0,029
65	0,269	0,205	0,810	0,428
79	1,730	1,000	2,215	1,648
96	2,010	1,010	3,650	2,223
122	1,555	0,715	0,212	0,827
150	0,935	0,290	0,025	0,417

(B)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	0,086	0,040	0,020	0,049
35	1,720	1,634	1,016	1,457
50	0,210	0,360	0,310	0,293
65	3,150	1,665	2,453	2,423
79	2,805	3,195	4,107	3,369
96	4,400	6,910	3,980	5,097
122	5,725	7,354	7,407	6,829
150	5,384	5,900	4,210	5,165

Tabela 11 - Atividade da redução do acetileno ($\mu\text{moles.h}^{-1}$) em nódulos radiculares (A) e caulinares (B) de plantas de *S. rostrata* em diversas fases de desenvolvimento.

(A)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	30,6	27,1	18,5	25,4
35	25,4	52,3	34,1	37,3
50	0,6	1,0	0,7	0,8
65	2,5	5,7	4,9	4,4
79	3,3	0,5	0,8	1,5
96	0,4	0,2	0,5	0,4
122	2,1	1,6	1,0	1,6
150	3,0	0,2	0,1	1,1

(B)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	1,8	3,5	0,7	2,0
35	27,6	30,0	31,6	29,7
50	0,5	0,7	3,3	1,5
65	34,5	19,8	29,5	27,9
79	24,9	18,6	33,3	25,6
96	17,0	36,6	15,9	23,1
122	19,6	15,7	1,0	12,1
150	10,3	6,4	15,6	10,8

Tabela 12- Atividade da Nitrogenase ($\mu\text{moles C}_2\text{H}_4\text{g}^{-1}$) medida pela técnica da redução do acetileno em nódulos caulinares (A) e radiculares (B) de plantas de *S. rostrata* em diferentes fases de desenvolvimento.

(A)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	0,15	0,14	0,01	0,10
35	47,44	49,02	32,08	42,84
50	0,11	0,26	1,02	0,46
65	108,61	33,00	72,32	71,31
79	69,80	59,29	136,84	88,64
96	74,70	252,68	63,21	130,20
122	112,20	115,50	7,65	78,45
150	55,34	37,99	65,63	52,99

(B)

Dia após a semeadura	R1	R2	R3	Média
20	25,92	25,44	11,90	21,08
35	50,63	137,69	89,03	92,45
50	0,02	0,04	0,01	0,02
65	0,68	1,18	3,93	1,93
79	5,77	0,46	1,69	2,64
96	0,78	0,24	1,81	0,95
122	3,23	1,11	0,22	1,52
150	2,83	0,05	0,00	0,96

Tabela 13 - Produção de matéria seca (g, vaso^{-1}) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e material vegetal de *S. rostrata*.

Colmos+folhas

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	8,34	8,20	8,01	7,84	8,10
NoS1	12,80	10,63	10,60	9,82	10,96
NoS2	12,33	10,21	13,37	12,04	11,99
NoS3	16,15	19,05	17,88	16,24	17,33
NoS4	17,44	16,88	16,64	17,91	17,22
N1So	15,65	21,27	19,28	16,79	18,25
N1S1	21,35	22,85	21,65	23,58	22,36
N1S2	23,65	19,63	18,18	19,62	20,27
N1S3	19,11	24,65	14,69	17,35	18,95
N1S4	20,22	18,09	19,90	24,02	20,56
N2So	21,47	18,25	17,32	20,44	19,37
N2S1	21,02	20,31	19,25	23,28	20,97
N2S2	27,24	23,96	23,31	24,79	24,83
N2S3	20,27	20,73	22,82	22,04	21,47
N2S4	26,59	23,80	24,48	27,42	25,57

(Grãos)

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	2,43	6,59	6,10	4,18	4,83
NoS1	10,11	7,40	7,68	7,94	8,28
NoS2	8,11	8,07	8,01	8,29	8,12
NoS3	9,29	9,12	8,39	11,19	9,50
NoS4	8,62	8,24	7,98	6,58	7,86
N1So	6,80	8,69	9,91	9,72	8,78
N1S1	11,56	10,66	10,14	7,92	10,07
N1S2	12,73	13,88	13,84	14,05	13,63
N1S3	13,57	13,18	13,73	11,33	12,95
N1S4	15,46	13,64	14,68	10,59	13,59
N2So	11,54	13,17	12,26	10,63	11,90
N2S1	13,37	7,42	11,62	7,81	10,06
N2S2	13,40	11,94	24,10	17,26	16,68
N2S3	13,15	18,32	14,92	15,40	15,45
N2S4	8,24	10,80	14,65		13,64

Tabela 14 - Quantidade de Nitrogênio total (mg.vaso⁻¹) em plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

Colmos + folhas

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	53,38	31,16	32,84	32,93	37,58
NoS1	44,80	45,71	43,46	46,15	45,03
NoS2	49,32	52,07	52,14	45,75	49,82
NoS3	61,37	74,30	80,46	66,58	70,68
NoS4	71,50	64,14	63,23	73,43	68,08
N1So	73,56	82,95	63,62	53,73	68,47
N1S1	74,73	93,69	88,77	99,04	89,05
N1S2	94,60	72,63	70,90	74,56	78,17
N1S3	64,97	98,60	63,17	74,61	75,34
N1S4	72,79	74,17	81,59	108,09	84,16
N2So	75,15	74,83	62,35	75,63	71,99
N2S1	67,26	83,27	82,78	111,74	86,26
N2S2	117,13	98,24	95,57	104,12	103,76
N2S3	75,00	72,56	98,13	74,94	80,15
N2S4	127,63	97,58	90,58	101,45	104,31

Grãos

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	23,09	56,02	58,56	38,87	44,13
NoS1	107,17	75,48	81,41	77,81	85,47
NoS2	79,48	52,46	69,69	82,07	70,92
NoS3	88,25	92,11	85,58	76,09	85,51
NoS4	80,17	74,16	80,60	59,88	73,70
N1So	69,36	81,69	97,12	89,42	84,40
N1S1	107,51	98,07	94,30	76,82	94,18
N1S2	140,03	124,92	125,94	125,05	128,98
N1S3	126,20	109,39	120,82	117,83	118,56
N1S4	146,87	137,76	143,86	118,61	136,78
N2So	107,32	117,21	107,89	96,73	107,29
N2S1	132,36	67,52	112,71	86,69	99,82
N2S2	181,04	130,15	253,05	169,15	183,35
N2S3	132,82	170,38	146,22	160,16	152,39
N2S4	89,82	125,28	158,22	85,75	114,77

Tabela 15 - Quantidade de Nitrogênio proveniente do fertilizante (QNPPF-mg.vaso⁻¹) em plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de **S. rostrata**.

Colmos + folhas

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N1So	19,79	22,32	17,12	14,46	18,42
N1S1	18,36	23,02	21,81	24,33	21,88
N1S2	22,86	17,55	17,14	18,02	18,89
N1S3	17,91	27,17	17,41	20,56	20,76
N1S4	11,31	11,52	12,67	16,79	13,07
N2So	24,86	24,75	20,63	25,02	23,81
N2S1	23,30	28,84	28,67	38,71	29,88
N2S2	32,75	27,47	26,72	29,11	29,01
N2S3	18,88	18,27	24,71	18,87	20,18
N2S4	32,30	24,69	22,92	25,67	26,40

Grãos

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NoS4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N1So	19,23	22,65	26,93	24,80	23,40
N1S1	29,10	26,54	25,52	20,79	25,49
N1S2	33,80	30,15	30,40	30,18	31,13
N1S3	27,12	23,51	25,96	25,32	25,48
N1S4	29,40	27,58	28,80	23,74	27,38
N2So	36,08	39,41	36,27	32,52	36,07
N2S1	45,79	23,36	38,99	29,99	34,53
N2S2	49,11	35,31	68,65	45,89	49,74
N2S3	37,92	48,64	41,75	45,73	43,51
N2S4	24,06	33,56	42,39	22,97	30,75

Tabela 16 - Quantidade de Nitrogênio proveniente da Sesbania e do solo (QNPPS-mg.vaso⁻¹) em plantas de arroz submetidas a diferentes doses de N-mineral e de material vegetal de *S. rostrata*.

Colmos + folhas

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	53,38	31,16	32,84	32,93	37,58
NoS1	44,80	45,71	43,46	46,15	45,03
NoS2	49,32	52,07	52,14	45,75	49,82
NoS3	61,37	74,30	80,46	66,58	70,68
NoS4	71,50	64,14	63,23	73,43	68,08
N1So	53,76	60,63	46,50	39,27	50,04
N1S1	56,37	70,67	66,96	74,70	67,17
N1S2	71,74	55,08	53,77	56,54	59,28
N1S3	47,07	71,43	45,76	54,04	54,57
N1S4	61,49	62,65	68,92	91,30	71,09
N2So	50,29	50,07	41,73	50,61	48,17
N2S1	43,97	54,43	54,10	73,04	56,38
N2S2	84,38	70,77	68,85	75,01	74,75
N2S3	56,11	54,29	73,42	56,07	59,97
N2S4	95,33	72,89	67,65	75,78	77,91

Grãos

Tratamentos	R1	R2	R3	R4	Media
NoSo	23,09	56,02	58,56	38,87	44,13
NoS1	107,17	75,48	81,41	77,81	85,47
NoS2	79,48	52,46	69,69	82,07	70,92
NoS3	88,25	92,11	85,58	76,09	85,51
NoS4	80,17	74,16	80,60	59,88	73,70
N1So	50,13	59,04	70,19	64,63	60,99
N1S1	78,41	71,53	68,78	56,03	68,69
N1S2	106,23	94,77	95,54	94,86	97,85
N1S3	99,08	85,89	94,86	92,51	93,09
N1S4	117,47	110,18	115,06	94,86	109,39
N2So	71,24	77,81	71,62	64,21	71,22
N2S1	86,57	44,16	73,72	56,70	65,29
N2S2	131,93	94,84	184,40	123,26	133,61
N2S3	94,90	121,73	104,47	114,43	108,88
N2S4	65,75	91,72	115,83	62,78	84,02