

DEFICIÊNCIA HÍDRICA, VERMICULITA E CULTIVARES

III. EFEITO SOBRE O BALANÇO DE NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA NA CULTURA DO ARROZ¹

LUIS FERNANDO STONE², PAULO LEONEL LIBARDI³ e KLAUS REICHARDT⁴

RESUMO - Estudou-se, em experimento em vasos, o efeito de quatro lâminas d'água, de dois tratamentos de vermiculita (sem e com adição de 10% em volume ao solo) e de três cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) (IAC 47, IRAT 13 e IET 1444) sobre o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta. As diferentes lâminas d'água corresponderam a 55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração máxima. A deficiência hídrica reduziu a absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante. A adição de vermiculita ao solo também reduziu a absorção, provavelmente por causa da fixação de amônio. Entre as cultivares estudadas, a IET 1444 foi a que absorveu mais nitrogênio. Do total do nitrogênio aplicado como fertilizante, 10% a 20% permaneceram no solo. A extração pelas plantas variou de 67% a 90%, e de 58% a 86%, na ausência e na presença de vermiculita, respectivamente. Com o uso do fertilizante nitrogenado marcado foi possível contabilizar de 78% a 100% do total do nitrogênio fornecido ao sistema solo-planta em estudo. A incorporação de vermiculita ao solo reduziu a quantidade de nitrogênio marcado recuperado, em virtude, provavelmente, da não-extração do nitrogênio fixado por ela quando da determinação do nitrogênio total do solo. A deficiência hídrica também reduziu esta quantidade, por favorecer as perdas por volatilização.

Termos para indexação: cultivares de arroz, lâminas d'água, evapotranspiração, ¹⁵N.

WATER STRESS, Vermiculite AND CULTIVARS.

III. EFFECT ON NITROGEN BALANCE IN THE SOIL-PLANT SYSTEM IN RICE

ABSTRACT - The effect of four irrigation levels, two vermiculite treatments and three rice cultivars (*Oryza sativa* L.) (IAC 47, IRAT 13 and IET 1444) on the nitrogen balance in the soil-plant system was studied in a greenhouse experiment. The treatments included the irrigation levels corresponding to 55%, 70%, 85% and 100% of maximum evapotranspiration with and without vermiculite incorporation in the soil at 10% concentration on volume basis. Water stress decreased rice plant uptake of nitrogen derived from the fertilizer. The incorporation of vermiculite into the soil also decreased the uptake, probably due the ammonium fixation. The cv. IET 1444 absorbed more nitrogen than the other cultivars tested. About 10% to 20% of the nitrogen supplied as fertilizer remained in the soil. While the plant uptake corresponded to 67% to 90% in the absence of vermiculite, it was reduced to 58% to 86% in its presence. The use of labelled nitrogen fertilizer permitted to estimate the recovery of 78 to 100% of the total nitrogen supplied to the soil-plant system. The incorporation of vermiculite in the soil decreased the amount of labelled nitrogen recovered, because the nitrogen fixed by vermiculite could not have been totally extracted in the determination of the soil total nitrogen. Water stress also decreased that amount by favoring the volatilization losses.

Index terms: rice cultivars, irrigation levels, evapotranspiration, ¹⁵N.

INTRODUÇÃO

Como em qualquer balanço de massa, o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta de uma cultu-

ra é a contabilização das entradas e saídas do nutriente, num dado volume de solo, num determinado intervalo de tempo.

A quantidade de nitrogênio que entra (N_e) no sistema pode dar-se pela aplicação de fertilizantes e/ou resíduos vegetais e animais (N_f), por fixação biológica (N_{fb}) e por chuvas (N_{ch}). A quantidade de nitrogênio que sai (N_s) pode ser por lixiviação (N_l), escoamento superficial (N_{es}), desnitrificação (N_d), volatilização (N_v) e, finalmente, pela extração da colheita (N_c). Portanto, a variação da quantidade de nitrogênio (ΔN) no perfil do solo, durante um período considerado, pode ser expresso como:

¹ Aceito para publicação em 6 de dezembro de 1984. Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração, Solos e Nutrição de Plantas.

² Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74000 Goiânia, GO.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Assist., Dr., ESALQ/USP, CENA e Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Tit., ESALQ/USP.

$$\Delta N = \underbrace{N_f + N_{fb} + N_{ch}}_{N_e} - \underbrace{(N_l + N_{es} + N_d + N_v + N_c)}_{N_s} \dots\dots\dots (1)$$

Existem vários fatores que podem afetar os componentes do balanço de nitrogênio na cultura do arroz. Entre eles, figuram a deficiência hídrica — que pode reduzir a extração pela cultura (Shiga 1975) e favorecer as perdas por volatilização (Terman 1979) —, e o tipo de planta. As cultivares de arroz de folhas eretas são mais eficientes na utilização do fertilizante nitrogenado que as de folhas decumbentes (Tsunoda 1965). A adição de vermiculita expandida ao solo é uma prática que vem sendo estudada com o objetivo de melhorar a capacidade de retenção de água e de troca catiônica dos solos de Cerrado, que pode, também, afetar estes componentes. A vermiculita tem a capacidade de fixar amônio (Allison et al. 1953, Nömmik 1965) e, assim, reduzir a utilização do fertilizante nitrogenado pelo arroz. Contudo, se o amônio fixado for liberado de forma lenta, as perdas por lixiviação e volatilização poderiam ser minimizadas, e o nitrogênio seria melhor utilizado pelo arroz.

Neste trabalho, utilizando cultivares com diferentes tipos de plantas, pretendeu-se verificar como o balanço do nitrogênio fornecido como fertilizante ao sistema solo-planta é afetado pela deficiência hídrica e pela adição de vermiculita.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, em vasos com o fundo fechado, capacidade de 8 litros, com 5 kg de solo, e três plantas de arroz. Foi usado o Latossolo Vermelho-Escuro coletado no município de Goiânia, GO, à profundidade de 0 cm - 20 cm. A análise química apresentou o seguinte resultado: pH 5,7; PO₄³⁻ 0,07 meq/100 ml; Ca²⁺ 3,21 meq/100 ml; Mg²⁺ 0,76 meq/100 ml; K⁺ 0,25 meq/100 ml; e Al³⁺ 0,12 meq/100 ml.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de dois tratamentos de vermiculita, sem e com adição de 10% em volume ao solo, com três cultivares de arroz de diferentes tipos de planta (IAC 47, IRAT 14 e IET 1444) e com quatro lâminas d'água, correspondentes a 55%, 70%, 85% e 100%

da evapotranspiração máxima (ETm), determinada de acordo com Stone et al. (1984).

As lâminas d'água foram aplicadas diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita. A primeira irrigação foi feita para elevar a umidade inicial do solo até o valor correspondente a -0,1 atm. A quantidade de água adicionada durante a fase vegetativa correspondeu à perda pela ETm. Em dias de demanda evaporativa muito alta, foram feitas duas irrigações por dia, para evitar que, no tratamento em que a lâmina d'água correspondia a 100% da ETm, o potencial matricial da água do solo descesse abaixo de -0,3 atm.

A vermiculita utilizada foi a EUCATEX, tipo Superfina, com densidade igual a 0,131 g.cm⁻³ e com granulometria 100% em peneira de 2 mm. A análise química da vermiculita apresentou o seguinte resultado: Ca²⁺ 20,8 meq/100 g; Mg²⁺ 56,7 meq/100 g; K⁺ 0,54 meq/100 g; Na⁺ 0,06 meq/100 g; Al³⁺ + H⁺ 1,25 meq/100 g; Mn 2,5 ppm; e CTC 79,4 meq/100 g.

Cada vaso recebeu 500 mg de N, 750 mg de P, 750 mg de K e 25 mg de Zn, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples, sulfato de potássio e sulfato de zinco, respectivamente. O sulfato de amônio estava enriquecido com 2,707 ± 0,01% de átomos de ¹⁵N.

Após a colheita, as plantas foram secadas a 60°C e analisadas quanto ao teor de N total e à composição isotópica de N. O nitrogênio total foi determinado pelo método do semimicro-Kjeldahl, e a composição isotópica, pelo espectrômetro de massa Atlas-Variant, modelo CH-4, seguindo-se o método de Dumas, modificado (Prosch 1969), para produção do N₂.

O nitrogênio total do solo foi determinado em 2 g de terra fina secada ao ar, pelo método do semimicro-Kjeldahl, de acordo com a técnica descrita por Bremner (1965). A análise da composição isotópica do nitrogênio do solo foi feita no destilado final obtido na determinação do nitrogênio total. O procedimento seguido nas amostras para a produção de N₂ foi de acordo com o método de Rittenberg, como descrito por Trivelin et al. (1973); a seguir, o processo foi semelhante ao utilizado para a análise das plantas.

A quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF), em mg/vaso, foi calculada pela seguinte equação:

$$QNPPF = \frac{NPPF \times QNTP}{100} \dots\dots\dots (2)$$

sendo

$$NPPF = \left(\frac{At\% \text{ } ^{15}NP - \%AN}{At\% \text{ } ^{15}NF - \%AN} \right) \times 100 \text{ (Trivelin et al. 1973)} \dots\dots\dots (3)$$

onde:

NPPF = percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

QNTF = quantidade de nitrogênio total absorvida pela planta, em mg/vaso;

At% ^{15}N P = percentagem de átomos de ^{15}N presente na planta;

At% ^{15}N F = percentagem de átomos de ^{15}N presente no fertilizante, no caso 2,707%;

% AN = abundância natural de ^{15}N , em percentagem.

Foi considerado 0,366% como valor da abundância natural, como citado por Hauck & Bremner (1976).

A quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante (QNSPF), em mg/vaso, foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{QNSPF} = \frac{\text{NSPF} \times \text{QNTS}}{100} \dots \dots \dots (4)$$

sendo

$$\text{NSPF} = \left(\frac{\text{At\% } ^{15}\text{N}\text{S} - \% \text{AN}}{\text{At\% } ^{15}\text{N}\text{F} - \% \text{AN}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

onde:

NSPF = percentagem de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante;

QNTS = quantidade de nitrogênio total contido no solo, em mg/vaso;

At% ^{15}N S = percentagem de átomos de ^{15}N presente no solo.

Os demais elementos das equações já foram descritos anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, vários componentes da equação geral do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta (equação 1) podem deixar de ser considerados. Não ocorreram adição de nitrogênio por chuvas, perdas por lixiviação e nem escoamento superficial. Além disto, em condições de sequeiro, a fixação biológica e a desnitrificação são quantitativamente desprezíveis. Yoshida & Ancajas (1973) verificaram que a fixação biológica de nitrogênio na lavoura de arroz é muito baixa e, em condições de inundação. Terman (1979) considera que a desnitrificação é significativa apenas em condições redu-

zidas, causadas por má drenagem e, especialmente, em solos inundados.

Desta maneira, a equação (1) reduz-se para:

$$\Delta \text{N} = \text{N}_f - \text{N}_c - \text{N}_v \dots \dots \dots (6)$$

Neste experimento pretendeu-se estudar apenas o balanço do nitrogênio aplicado como fertilizante. Neste caso, ΔN representa a quantidade de nitrogênio que ficou no solo; a equação (6) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\text{N}_f = \Delta \text{N} + \text{N}_c + \text{N}_v \dots \dots \dots (7)$$

Na Tabela 1 é apresentado o balanço de nitrogênio aplicado como fertilizante, para os diversos tratamentos do experimento.

A adição de vermiculita ao solo causou redução na absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante. Isto, provavelmente, ocorreu por causa da fixação, por este mineral, do nitrogênio que se encontrava na forma de amônio, reduzindo a sua disponibilidade para a cultura. Vários pesquisadores (Allison et al. 1953, Nõmmik 1965) têm verificado que a vermiculita fixa amônio. Nõmmik (1965) observou que a fixação deste cátion é maior quando ele é aplicado simultaneamente com fertilizante potássico (caso do presente experimento).

Assim, era de esperar que a quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante, fosse maior no tratamento com vermiculita, o que não ocorreu. O que pode ter acontecido é que, na determinação do nitrogênio total, o tempo de digestão não tenha sido suficiente para a liberação do amônio fixado pela vermiculita. Bremner (1965) considera que apenas o amônio nativo, fixado às argilas, não é recuperado pelos métodos Kjeldahl tradicionais, sendo necessário um pré-tratamento para a sua determinação. O amônio fixado, quando são adicionados compostos de amônio ao solo, é determinado por estes métodos, mas é necessário um longo período de digestão para a sua liberação. Freitas Junior (1982) também observou que o amônio fixado pela vermiculita não foi extraído durante a determinação do nitrogênio mineral presente no solo, quando foi utilizado

TABELA 1. Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante, nos diversos tratamentos do experimento.

Lâminas d'água (% da ETm) ³	QNPPF ¹ (mg/vaso)			QNSPF ² (mg/vaso)			Total (mg/vaso)						
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	
55	S/verm. ⁴	352,4	336,9	373,2	100,5	88,6	78,1	86,1	452,9	425,5	451,3		
	C/verm.	289,5	303,5	331,8	102,5	92,4	58,6	84,5	392,0	395,9	420,4		
	Média	321,0 cB	320,2 cB	367,4 bA	336,2 c	101,5	90,5	68,4	422,4	410,7	435,8	423,0 c	
70	S/verm.	353,2	356,6	384,6	88,4	93,1	61,0	80,8	441,6	449,7	445,6		
	C/verm.	299,8	330,5	367,2	90,4	91,0	69,3	83,6	390,2	421,5	436,5		
	Média	326,5 cB	343,5 bcB	375,9 bA	348,6 c	89,4	92,0	65,2	415,9	435,6	441,1	430,9 c	
85	S/verm.	377,6	395,1	405,0	91,3	76,5	60,1	75,9	468,9	471,6	465,1		
	C/verm.	349,6	362,9	382,8	80,4	82,8	62,8	75,0	430,0	445,7	445,6		
	Média	363,6 b	379,0 b	393,9 ab	378,8 b	85,8	79,6	61,4	449,4	458,6	455,4	454,5 b	
100	S/verm.	399,5	451,6	448,3	72,0	58,5	44,4	58,3	471,5	510,1	492,7		
	C/verm.	431,7	410,9	394,0	69,8	76,5	48,5	64,6	501,5	487,4	442,5		
	Média	415,6 a	431,3 a	421,1 a	422,7 a	70,9	67,5	46,4	486,5	498,8	467,6	484,3 a	
Média	S/verm.	370,7 aB	385,0 aAB	402,8 aA	386,2 a	79,2	60,9	76,0	458,8	464,2	463,7	462,2 a	
	C/verm.	342,6 bB	352,0 bB	376,4 bA	357,0 b	85,8	85,7	59,8	428,4	437,6	436,2	434,1 b	
	Média	356,7 B	368,5 B	389,6 A	371,9	82,4 A	82,4 A	60,4 B	443,6	450,9	450,0		
CV (%)												7,3	
													26,3
													6,5

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical, e maiúsculas para comparação na horizontal.

¹ QNPPF = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

² QNSPF = quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante;

³ ETm = evapotranspiração máxima, mm;

⁴ C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

o método semimicro-Kjeldahl com tempo de digestão normal.

A absorção do nitrogênio foi maior no tratamento sem estresse hídrico, para todas as cultivares, embora para a IET 1444 ela não tenha diferido significativamente da verificada no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm. O fluxo de massa é responsável pela maioria do transporte de nitrogênio para as raízes (Barber et al. 1963, Malavolta 1980). Como a taxa de fluxo de massa decresce à medida que diminui a umidade do solo (Ponnamperuma 1975), o estresse hídrico reduz o suprimento de nitrogênio para as raízes, diminuindo a absorção. De fato, verifica-se que a quantidade do nitrogênio proveniente do fertilizante, que ficou no solo, foi menor no tratamento sem estresse hídrico, embora não tenha diferido significativamente do valor observado no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm.

Comparando as cultivares com relação à absorção de nitrogênio, observa-se que elas diferiram significativamente, dentro dos tratamentos de lâminas d'água, apenas nas duas lâminas menores, em que a quantidade absorvida pela cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, que não diferiram significativamente entre si. Considerando a média dos tratamentos, observa-se que a cultivar IET 1444 absorveu mais nitrogênio do que as demais. Com isto, foi menor a quantidade de nitrogênio, proveniente do fertilizante, que ficou no solo nos tratamentos com esta cultivar. Esta diferença entre as cultivares pode estar relacionada com o tipo da planta. A cultivar IET 1444, ao contrário das outras, apresenta folhas pequenas e eretas. Tsunoda (1965) verificou que as cultivares de arroz com este tipo de planta absorvem nitrogênio por mais tempo (até o fim do ciclo) do que as com folhas longas e decumbentes.

A quantidade de nitrogênio recuperada nos tratamentos com vermiculita foi menor do que a recuperada nos sem vermiculita. Como discutido anteriormente, parece que o amônio fixado por este mineral não foi contabilizado na determinação do nitrogênio total do solo. Na maioria dos casos, mesmo nos tratamentos sem vermiculita, não foi recuperado todo o nitrogênio (500 mg) aplicado

como fertilizante. As quantidades não contabilizadas são devidas a possíveis erros nas determinações do nitrogênio proveniente do fertilizante, na planta e no solo, os quais devem ter sido mínimos, e a perdas por volatilização. Observa-se que estas perdas foram maiores nos tratamentos com as menores lâminas d'água, onde o solo estava secando. Terman (1979) afirma que a secagem do solo favorece as perdas por volatilização. Nos tratamentos sem estresse hídrico, foi pequena a quantidade de nitrogênio não contabilizada.

Na Fig. 1, são apresentados os valores da Tabela 1, na forma de percentagem do nitrogênio aplicado. Observa-se que, com o uso do fertilizante nitrogenado marcado, foi possível contabilizar de 78% a 100% do total de nitrogênio fornecido ao sistema solo-planta em estudo. A extração pela cultura correspondeu à percentagem de 67% a 90% deste total, na ausência de vermiculita, e de 58% a 86% na sua presença. Já a percentagem do nitrogênio aplicado, que ficou no solo após a colheita do arroz, variou de 10% a 20% e foi semelhante para os tratamentos sem e com vermiculita.

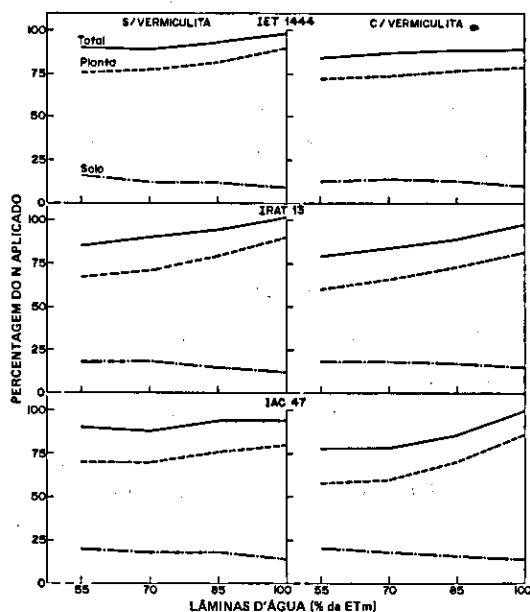


FIG. 1. Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante em função de diferentes lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

Ressalte-se que esta semelhança é devida à não-contabilização do nitrogênio fixado pela vermiculita, quando da determinação do nitrogênio total do solo.

CONCLUSÕES

O balanço do nitrogênio aplicado como fertilizante foi afetado pela deficiência hídrica, pela adição de vermiculita ao solo e pelo tipo de planta.

1. Na presença de deficiência hídrica, foi menor a absorção de nitrogênio pelas plantas e, consequentemente, maior a quantidade que ficou no solo. A quantidade de nitrogênio recuperada diminuiu com o decréscimo da lâmina d'água aplicada.

2. A absorção de nitrogênio pelas plantas também foi menor quando se incorporou vermiculita ao solo. A quantidade de nitrogênio aplicado, que ficou no solo, entretanto, foi semelhante nos tratamentos sem e com vermiculita. Por isso, a quantidade de nitrogênio recuperada foi menor nos tratamentos com vermiculita.

3. A cultivar IET 1444, com folhas pequenas e eretas, absorveu mais nitrogênio do que as outras cultivares que possuem folhas compridas e decumbentes, reduzindo a quantidade do nitrogênio aplicado, que ficou no solo, nos tratamentos com esta cultivar. A quantidade de nitrogênio recuperada não foi afetada pelas cultivares.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, F.E.; ROLLER, E.M. & DOETSCH, J.L. Ammonium fixation and availability in vermiculite. *Soil Sci.*, Baltimore, 75:173-80, 1953.
- BARBER, S.A.; WALKER, J.M. & VASEY, E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. *J. Agric. Food Chem.*, Easton, 11:204-7, 1963.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: *METHODS of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1149-78.
- FREITAS JUNIOR, E. de. Efeitos da vermiculita na disponibilidade de água e de nutrientes em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca Comum. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 67p. Tese Doutorado.
- HAUCK, R.D. & BREMNER, J.M. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Adv. Agron.*, New York, 28:219-66, 1976.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- NÖMMIK, H. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in soil. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., eds. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. cap. 5, p.198-258.
- PONNAMPERUMA, F.N. Growth-limiting factors of aerobic soils. In: *INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE*, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, 1975. p.40-3.
- PROKSCH, G. Routine analysis of ^{15}N in plant material by mass-spectrometry. *Plant Soil*, The Hague, 31(2): 380-4, 1969.
- SHIGA, H. Mineral microbial transformations in upland rice soil. In: *INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE*, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, 1975. p.217-37.
- STONE, L.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. I. Efeito na produtividade do arroz (*Oryza sativa* L.). *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(6):695-707, jun. 1984.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Adv. Agron.*, New York, 31:189-223, 1979.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (CENA. Boletim técnico, 2).
- TSUNODA, S. Leaf characters and nitrogen response. In: *SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT*, Los Baños, Filipinas, 1964. Proceedings... Baltimore, J. Hopkins, 1965. p.401-18.
- YOSHIDA, T. & ANCAJAS, R.R. The fixation of atmospheric nitrogen in the rice rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 5:153-5, 1973.