**PRODUTIVIDADE E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO PELO
ARROZ (*Oryza sativa*, L.): EFEITOS DE DEFICIÊNCIA
HÍDRICA, CULTIVARES E VERMICULITA**

LUIS FERNANDO STONE

Orientador: PAULO LEONEL LIBARDI

**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.**

**P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1983**

-i-

À minha esposa

Sandra

e aos meus filhos

Daniel e Fernanda,

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

- Aos Professores, *Dr. Paulo Leonel Libardi* e *Dr. Klaus Reichardt*, a orientação recebida.
- Aos colegas, *Ariovaldo Miguel de Carvalho* e *Carlos Henrique Mattioli*, o apoio estatístico.
- Aos colegas, *Antonio Carlos Saraiva da Costa*
Antonio Renes Lins de Aquino
Elias de Freitas Junior
Francisco Assis de Oliveira
José Carlos de Araújo Silva
José Francisco da Silva Martins
Juscelino Antônio de Azevedo
Paula Pinheiro Padovese
Raimundo Leite Cruz
Segundo Urquiaga Caballero
Sérgio Oliveira Moraes
Tarcísio Ewerton Rodrigues,
a amizade.
- À *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)*, através do *Centro Nacional de Pesquisa - Arroz, Feijão (CNPAP)*, a oportunidade.
- Ao *Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)*, as facilidades.
- À *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)*, os ensinamentos.
- À *Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)*, ao apoio financeiro dentro do Projeto B/49/81/178/00/00, desenvolvido pelo CENA.

INDEX

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Deficiência hídrica	4
2.1.1. Efeitos gerais sobre as plantas	4
2.1.1.1. Efeitos na estrutura	5
2.1.1.2. Efeitos na divisão e expansão celular ...	5
2.1.1.3. Efeitos no protoplasma	7
2.1.1.4. Efeitos na transpiração	9
2.1.1.5. Efeitos na fotossíntese e respiração	10
2.1.1.6. Efeitos no metabolismo dos carboidratos ...	11
2.1.1.7. Efeitos no metabolismo do nitrogênio	12
2.1.1.8. Efeitos nos reguladores do crescimento ..	14
2.1.1.9. Efeitos na translocação	16
2.1.2. Efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes	17
2.1.3. Efeitos sobre a cultura do arroz	19
2.1.3.1. Período crítico	20
2.1.3.2. Efeitos na produção e em características da planta	21
2.1.3.3. Relação com o tipo de planta	23
2.2. Vermiculita	26
2.2.1. Definição, constituição e características	26
2.2.2. Propriedades químicas	28
2.2.2.1. Capacidade de troca catiônica (CTC)	28
2.2.2.2. Fixação de potássio e de amônio	30
2.2.2.3. Fixação de fosfato	31
2.2.3. Propriedades físicas	32
2.2.4. Como condicionador de solo	32
2.3. Nitrogênio	35
2.3.1. Absorção, teores e redistribuição na planta de arroz	36
2.3.2. Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pelo arroz	38
2.3.3. Efeitos da deficiência hídrica na dinâmica do <u>ni</u> trogênio	39

3. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1. Local	41
3.2. Solo	41
3.2.1. Classificação	41
3.2.2. Caracterização física	43
3.2.3. Caracterização química	43
3.3. Delineamento experimental	46
3.4. Vermiculita	48
3.5. Cultivares	48
3.6. Evapotranspiração máxima (ET _m)	50
3.7. Práticas culturais	54
3.7.1. Semeadura	54
3.7.2. Adubação	54
3.7.3. Adição de vermiculita	54
3.7.4. Irrigação	55
3.7.5. Colheita	55
3.8. Análise do material vegetal	56
3.8.1. Preparação das amostras	56
3.8.2. Análise do nitrogênio total	56
3.8.3. Determinação da razão isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)	56
3.9. Análise do solo	57
3.9.1. Amostragem do solo	57
3.9.2. Análise do nitrogênio total	58
3.9.3. Determinação da razão isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)	58
3.10. Balanço do nitrogênio no sistema solo-planta	58
3.11. Parâmetros avaliados	60
3.11.1. Produção e seus componentes	60
3.11.2. Altura e ciclo	60

	<u>Página</u>
3.11.3. Duração da área foliar (DAF)	60
3.11.4. Rendimento de matéria seca	61
3.11.5. Índice de colheita e relação raiz/colmo	61
3.11.6. Consumo e eficiência do uso da água	61
3.11.7. Parâmetros relacionados com o nitrogênio na planta	62
3.11.8. Parâmetros relacionados com o nitrogênio no solo ..	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1. Solo após a colheita	65
4.2. Componentes da produção	67
4.3. Altura e ciclo	77
4.4. Produção de grãos	82
4.5. Rendimento de matéria seca	89
4.6. Índice de colheita e relação raiz/colmo	95
4.7. Consumo e eficiência do uso da água	99
4.8. Nitrogênio na planta	102
4.8.1. Teor de nitrogênio na planta	102
4.8.2. Absorção de nitrogênio pela planta	115
4.8.3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante	131
4.8.4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante	137
4.8.5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado	143
4.9. Nitrogênio no solo	152
4.9.1. Teor e quantidade de nitrogênio total no solo	152
4.9.2. Porcentagem e quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante	154

4.10. Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sis tema solo-planta	160
5. CONCLUSÕES	164
5.1. Com relação à adição de vermiculita	164
5.2. Com relação às cultivares	165
5.3. Com relação à deficiência hídrica	165
6. LITERATURA CITADA	167
APÊNDICE	194

PRODUTIVIDADE E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO PELO ARROZ (*Oryza sativa*, L.):
EFEITOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA, CULTIVARES E VERMICULITA

Luis Fernando Stone

Paulo Leonel Libardi
Orientador

RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), localizado no município de Piracicaba, SP, com o objetivo de verificar como a produtividade do arroz e a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta são afetadas pelo tipo de planta, adição de vermiculita ao solo e deficiência hídrica.

Os experimentos foram conduzidos em vasos com 5 kg de solo. Utilizou-se amostra da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Escuro, localizado no município de Goiânia, GO. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, no primeiro experimento, e 2 x 3 no segundo, com quatro repetições em ambos. Os tratamentos do primeiro experimento 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 13 e IET 1444, e com quatro lâminas d'água, correspondentes a 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração máxima (ET_m), aplicadas diariamente do início da fase reprodutiva até a colheita. No segundo experimento, os tratamentos con-

sistiram da combinação dos mesmos dois tratamentos de vermiculita com três durações de veranico: 0, 4 e 8 dias. Os veranicos foram simulados pela supressão da irrigação, no início da emissão das panículas, durante o período considerado. A cultivar utilizada foi a IAC 47. Os tratamentos comuns a ambos os experimentos não foram repetidos neste experimento.

Foi utilizada nos experimentos a vermiculita Eucatex, tipo Superfina, com densidade global igual a $0,131 \text{ g.cm}^{-3}$ e com granulometria 100% em peneira de 2 mm. A ETm foi determinada pela multiplicação da evaporação da superfície livre de água, medida com o auxílio de um sistema de Mariotte, por um fator K, que variou ao longo do ciclo da cultura. Na adubação nitrogenada, foi utilizado o sulfato de amônio enriquecido com ^{15}N ($2,707 \pm 0,01\%$ de átomos de ^{15}N) para o estudo da dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta.

Foram avaliados a produção e seus componentes, a altura das plantas, a duração do ciclo, a duração da área foliar, o rendimento de matéria seca, o índice de colheita, a relação raiz/colmo, a eficiência de uso da água, o teor de nitrogênio total e a porcentagem do proveniente do fertilizante na planta, a quantidade de nitrogênio total e a proveniente do fertilizante absorvido pelas plantas, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, o teor e a quantidade de nitrogênio total no solo e a porcentagem e a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante no solo.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a adição de vermiculita ao solo causou efeitos favoráveis em algumas características químicas do solo: aumentou o pH, a CTC, os teores trocáveis de cálcio, magnésio e potássio, e diminuiu o teor de alumínio trocável, mas não afetou a eficiência do uso da água nem a produtividade do arroz. Ela aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea e alterou a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, reduzindo o teor de nitrogênio das plantas e, em condições de estresse hídrico imposto gradualmente por um longo período (1º experimento), reduzindo a quantidade de nitrogênio total e a proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas, assim como a sua eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, devido à fixação de

amônio, mas não alterou estes parâmetros em condições de estresse hídrico imposto abruptamente por curtos períodos (2º experimento). Ela não afetou a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos.

Em condições de deficiência hídrica, a cultivar IRAT 13 apresentou maior estabilidade de produção, maior eficiência do uso da água, maior índice de colheita e maior relação raiz/colmo do que as outras cultivares, indicando maior adaptação ao estresse hídrico. A cultivar de arroz irrigado, IET 1444, apresentou um menor rendimento de matéria seca das raízes e maior sensibilidade ao estresse hídrico do que as cultivares de sequeiro, IAC 47 e IRAT 13. Sem deficiência hídrica, as cultivares IET 1444 e IRAT 13 apresentaram uma maior produção de grãos do que a cultivar IAC 47. A cultivar IET 1444 apresentou um teor mais elevado de nitrogênio nas plantas e uma maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado por elas do que as outras cultivares e, sem deficiência hídrica, apresentou também uma maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos; entretanto, em condições de deficiência hídrica, sua eficiência foi reduzida mais abruptamente do que a das outras cultivares.

A deficiência hídrica reduziu o número de grãos cheios por panícula, o peso dos grãos, a produção de grãos, o rendimento total de matéria seca, a altura das plantas, o índice de colheita, a eficiência do uso da água e aumentou a porcentagem de grãos vazios e a duração do ciclo. Ela aumentou o rendimento de matéria seca das raízes no primeiro experimento, mas não o afetou no segundo. Ela aumentou a relação raiz/colmo das cultivares de sequeiro, mas não afetou a da cultivar de arroz irrigado. Ela alterou a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, reduzindo a quantidade de nitrogênio total e a proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas, assim como a sua eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, quando imposta gradualmente por um longo período, e as aumentando, quando imposta abruptamente por curtos períodos. Quando severa, ela aumentou o teor de nitrogênio das plantas, fosse imposta gradual ou abruptamente. Ela reduziu a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos. Ela aumentou a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante que permaneceu no solo, nas condições

do primeiro experimento, e a reduziu nas condições do segundo. Ela reduziu a porcentagem de recuperação do nitrogênio aplicado como fertilizante, nas condições do primeiro experimento, mas não a afetou, nas condições do segundo.

RICE (*Oryza sativa*, L.) YIELD AND NITROGEN UTILIZATION: EFFECTS OF WATER
STRESS, VARIETIES AND VERMICULITE

Luis Fernando Stone

Paulo Leonel Libardi
Adviser

SUMMARY

Two experiments were carried out under greenhouse conditions at "Centro de Energia Nuclear na Agricultura", in Piracicaba, SP, Brazil. The objectives of these experiments were to verify how the rice yield and the nitrogen dynamics in the soil-plant system are affected by the rice variety, incorporation of vermiculite into the soil and water stress.

The experiments were conducted in pots with 5 kg of soil. The samples utilized were taken from the surface layer (0-20 cm) of a Dark Red Latosol (Haplustox), from Goiânia county, GO, Brazil. The statistical design used was the completely randomized in factorial arrangement 2 x 3 x 4 for the first experiment, and 2 x 3 for the second one, with four replications in both. Treatments for the first experiment consisted of the combination of two vermiculite treatments (with and without its incorporation into the soil in a concentration of 10% in volume basis) with three rice varieties (IAC 47, IRAT 13 and IET 1444), and with four irrigation levels, corresponding to 55, 70, 85 and 100% of maximum evapotranspiration (ET_m), applied daily from the beginning of reproductive phase until the harvest. In the second experiment the treatments consisted of the combination of the same two vermiculite

treatments with three "veranico" durations (0, 4 and 8 days). The "veranicos" were simulated by suppressing irrigation in the beginning of panicle emission during the considered periods. The variety used was the IAC 47. The common treatments for both experiments were not repeated in this one.

The vermiculite utilized in the experiments was the "Eucatex Superfina" with a bulk density of 0.131 g.cm^{-3} , and with grain diameters 100% less than 2 mm. ETm was determined by multiplying free water surface evaporation measured by means a Mariotte system, by a K factor that varied during the cropping period. In the study of nitrogen dynamics in the soil-plant system, ammonium sulfate enriched with ^{15}N ($2.707 \pm 0.01 \text{ atom } \% ^{15}\text{N}$) was used.

The following parameters were evaluated: yield and its components, plant height, cycle interval, leaf area duration, dry matter yield, harvest index, root/shoot ratio, water use efficiency, concentration and amount of plant total nitrogen, percentage and amount of plant nitrogen derived from fertilizer, nitrogen fertilizer utilization efficiency, concentration and amount of total nitrogen in the soil, and percentage and amount of nitrogen in the soil derived from fertilizer.

Based on the results obtained, the conclusions were that the incorporation of vermiculite into the soil caused favourable effects in some chemical characteristics of the soil: it increased the pH, the CEC, the exchangeable cations (Ca, Mg and K) concentration and decreased the exchangeable aluminium concentration, but did not affect the water use efficiency nor the grain yield. It increased the top dry matter yield and affected the nitrogen dynamics of the soil-plant system. It reduced the plant nitrogen concentration. In condition of water stress gradually imposed for a long period (first experiment), the incorporation of vermiculite reduced the amount of plant total nitrogen, the plant nitrogen amount derived from fertilizer and the nitrogen fertilizer utilization efficiency, due to ammonium fixation, but did not affect these parameters under conditions of water stress sharply imposed during short periods (second experiment). It did not affect the grain fertilizer nitrogen utilization efficiency.

Under conditions of water stress, the variety IRAT 13 presented greater grain yield stability, greater water use efficiency, greater harvest index and greater root/shoot ratio than the other varieties, indicating that it possess better adaptation to water stress. The variety IET 1444 (for lowland rice) presented lower root dry matter yield and higher sensibility to water stress than the upland varieties, IAC 47 and IRAT 13. Without water stress, varieties IET 1444 and IRAT 13 showed higher grain yield than the variety IAC 47. The variety IET 1444 presented higher nitrogen concentration and higher fertilizer nitrogen utilization efficiency than the other varieties and, without water stress, it also presented higher grain fertilizer nitrogen utilization efficiency however under conditions of water stress its efficiency was reduced more sharply than the other varieties.

The water stress decreased the number of filled grains per panicle, the weight of grains, the grain yield, the total dry matter yield, the plant height, the harvest index, the water use efficiency and increased the percentage of unfilled grains and the cycle interval. It increased the root dry matter yield in the first experiment but did not affect it in the second one. It increased the root/shoot ratio of the upland varieties but did not affect that of lowland rice. It affected the nitrogen dynamics in the soil-plant system, reducing the amounts of total nitrogen and nitrogen derived from fertilizer absorbed by the plants and also its nitrogen fertilizer utilization efficiency, when gradually imposed for a long period; when sharply imposed for short periods it increased these parameters. When it was severe, it increased the plant nitrogen concentration when gradually or sharply imposed. It reduced the grain nitrogen fertilizer utilization efficiency and the proportion of the absorbed nitrogen that remained in the grains. It increased the amount of the nitrogen derived from fertilizer that remained in the soil under the conditions of the first experiment and reduced it under the conditions of the second one. It decreased the percent recovery of fertilizer nitrogen under the conditions of the first experiment but did not affect it under the conditions of the second one.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de um terço da população mundial depende do arroz para o fornecimento de mais da metade das suas calorias e aproximadamente metade da sua proteína. O seu cultivo ocupa uma área de 141 milhões de hectares. Estima-se que 48% desta área depende da precipitação pluviométrica para o seu suprimento de água.

Com uma produção variando de 7 a 9 milhões de toneladas de arroz em casca, o Brasil é o maior produtor do hemisfério ocidental. O arroz é uma cultura altamente difundida em todo o país, ocupando o terceiro lugar em área plantada e valor da produção. A produção brasileira origina-se basicamente de lavouras de sequeiro, aproximadamente 65%, que são extremamente dependentes da precipitação pluviométrica. Tal característica deixa o país bastante vulnerável a qualquer variação climática mais grave e, explica, em grande parte, as oscilações verificadas na produção nacional devido às constantes frustrações de safras oriundas das lavouras de sequeiro.

Grande parte das lavouras de arroz de sequeiro estão localizadas na região dos Cerrados. Nesta região predominam os Latossolos, destacando-se o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho-Escuro, que abrangem 52% dos solos desta região. Estes solos caracterizam-se por serem profundos, porosos, altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural e alta porcentagem de saturação de alumínio. Estudos indicam que 70% ou mais da água disponível nestes solos é removida entre tensões de

0,1 a 1 bar, independentemente da textura do solo. Isto significa que estes solos, embora possuindo até 83% de argila, comportam-se como arenosos.

Mais importante do que as características dos solos, no que se refere à estabilidade da produção de arroz, é o regime de chuvas da região. Este é o fator principal que condiciona a variação dos rendimen-
tos e que inibe os produtores a usarem a tecnologia disponível. Durante a estação chuvosa, quando é feito o cultivo do arroz, a distribuição das chuvas é irregular, sendo comum a ocorrência de estiagens de duas a três semanas, denominadas regionalmente de veranicos. A baixa capacidade de retenção de água dos solos, aliada à alta demanda evapotranspirativa durante estes períodos, faz com que estes veranicos causem sérios decréscimos no rendimento do arroz.

Um outro aspecto a ser considerado é que a deficiência hídrica afeta a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, embora ainda existam controvérsias sobre seus efeitos na concentração e na quantidade total de nitrogênio absorvida pela planta de arroz. Alguns pesquisadores observaram que a concentração aumenta com o estresse hídrico, enquanto que outros observaram que ela diminuiu. Com relação à absorção, o consenso geral é que ela diminui com o estresse hídrico, embora certos pesquisadores tenham verificado que ela não foi alterada em condições de deficiência hídrica.

Também a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta de arroz, a qual já é baixa, pode ser afetada negativamente pela deficiência hídrica. Este é um problema grave, já que o nitrogênio é muito importante para o crescimento e desenvolvimento da planta de arroz e, inclusive, devido a seus efeitos favoráveis no desenvolvimento do sistema radicular, pode minimizar os efeitos de déficits hídricos moderados. Além disso, o alto custo dos fertilizantes nitrogenados e a crescente preocupação pelo equilíbrio ecológico, fazem com que se examine mais criteriosamente a eficiência de utilização do nitrogênio pelas plantas.

Uma das alternativas para a solução destes problemas é a seleção de cultivares adaptadas às condições de sequeiro. Devem ser procuradas cultivares que tenham as menores demandas de água possíveis, que

tenham capacidade de tolerar a seca e que utilizem mais eficientemente o fertilizante nitrogenado.

A adição de vermiculita expandida ao solo, no sentido de melhorar suas propriedades físico-químicas, pode ser uma outra alternativa. Esta é uma tecnologia conhecida e já aplicada em agricultura intensiva, principalmente na condução de mudas em horticultura, floricultura e silvicultura. O Brasil é o único país do mundo que possui grandes reservas de vermiculita inseridas em áreas de solos pobres, de baixa capacidade de retenção de água e de íons, de tal forma que o custo desta tecnologia, provavelmente, poderá se tornar viável economicamente. A vermiculita apresenta altas capacidades de troca de cátions (CTC) e de retenção de água, portanto, a adição de vermiculita ao solo deve afetar suas propriedades físico-químicas. Espera-se um aumento na CTC e, consequentemente, uma melhoria do solo do ponto de vista de adsorção de nutrientes e disponibilidade para as plantas e um aumento na disponibilidade de água, minimizando os efeitos dos veranicos. Entretanto, a vermiculita tem a capacidade de fixar amônio, o que pode alterar a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta. Se o nitrogênio fixado tornar-se não disponível às plantas, a eficiência de utilização do nitrogênio vai ser reduzida ainda mais. Por outro lado, se ele for liberado de forma lenta, o nitrogênio poderia ser melhor utilizado pela planta de arroz, pois as perdas por lixiviação e volatilização seriam reduzidas.

Em experimentos conduzidos no Centro Nacional de Pesquisa Arroz, Feijão (CNPAP) foi estudada a relação entre os efeitos do déficit hídrico na produtividade e algumas características da planta, em um grande número de cultivares de arroz. Foi possível separá-las em três grupos, de acordo com o tipo de planta e estabilidade da produção em presença de déficit hídrico. Neste trabalho, utilizando-se cultivares representativas de cada um destes grupos, pretende-se verificar como a produtividade do arroz e a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta são afetadas pelo tipo de planta, adição de vermiculita ao solo e deficiência hídrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Deficiência Hídrica

A deficiência hídrica nas plantas é caracterizada por uma redução do seu conteúdo hídrico, do seu potencial osmótico e do seu potencial hídrico total, acompanhada pela perda de turgescência, pelo fechamento dos estômatos e pela redução do crescimento. Quando muito grave, ela causa uma redução drástica da fotossíntese e a perturbação de muitos outros processos fisiológicos, a cessação do crescimento e, finalmente, a morte por dessecação (KRAMER, 1974).

Os fluxos de água na planta são determinados e controlados por diferenças de potencial hídrico dentro do sistema solo-planta-atmosfera, bem como por mudanças na permeabilidade à água (LIVNE e VAADIA, 1972). A deficiência hídrica ocorre sempre que há uma perda excessiva de água ou uma absorção inadequada, ou ambas. Os déficits hídricos passageiros, que geralmente ocorrem por volta do meio-dia, são devidos a uma transpiração excessiva. Por outro lado, a absorção reduzida, provocada por uma baixa disponibilidade de água no solo, é a causa dos prolongados e graves períodos de deficiência hídrica que causam severas reduções no crescimento das plantas (KRAMER, 1974).

2.1.1. Efeitos gerais sobre as plantas

Embora a influência de déficits hídricos em processos tais

como transpiração, fotossíntese e crescimento venha sendo investigada há muitos anos e esteja bem documentada, a sequência específica dos eventos metabólicos associados com a imposição de déficits hídricos não tem sido estudada na mesma extensão e somente pode ser entendida em termos gerais. Isso é devido, em grande parte, ao fato que o crescimento da planta é o produto final de vários processos separados, entre eles, divisão celular, expansão celular e fotossíntese e, embora intimamente integrados, cada um tem, numa extensão considerável, seu próprio controle (SLATYER, 1967).

A deficiência hídrica afeta, praticamente, todos os aspectos do crescimento da planta, modificando a anatomia, a morfologia, a fisiologia e a bioquímica. Ela pode ter múltiplos efeitos sobre o crescimento. Por exemplo, a fotossíntese reduz-se com o fechamento dos estômatos, o qual reduz o abastecimento de bióxido de carbono; porém, a deficiência hídrica reduz também a capacidade do protoplasma para efetuar a fotossíntese, e uma translocação reduzida pode obstaculizá-la por acumulação do produto final. A redução da fotossíntese, uma translocação reduzida de carboidratos e reguladores do crescimento e o transtorno do metabolismo nitrogenado; a tudo isso se agrega os efeitos de uma menor turgescência para reduzir o crescimento. Por sua vez, um crescimento reduzido significa uma redução da superfície fotossintetizadora, a qual reduz mais ainda a quantidade de carboidratos disponíveis para o crescimento, em comparação com plantas que não sofreram deficiência hídrica (KRAMER, 1974).

2.1.1.1. Efeitos na estrutura

As plantas submetidas à deficiência hídrica apresentam modificações características em sua estrutura, especialmente em suas folhas. A superfície da folha, o tamanho das células e o volume intercelular podem reduzir-se. A cutinização, a pilosidade, a densidade das nervuras, a frequência dos estômatos e a espessura das folhas podem aumentar. Quase todas as classes de plantas mostram pelo menos algumas dessas modificações quando são submetidas à deficiência hídrica (KRAMER, 1974).

2.1.1.2. Efeitos na divisão e expansão celular

A redução na síntese do ácido desoxirribonucléico (DNA) de-

vido à ocorrência de deficiência hídrica tem sido verificada por vários pesquisadores (BRUNORI, 1967; GATES e BONNER, 1959; KESSLER, 1961; ZHOLKEVICH e KORETSKAYA, 1959), em diversas espécies vegetais. Como o número de células está relacionado linearmente ao conteúdo de DNA (NIEMAN e POULSON, 1962), isto sugere que a redução no conteúdo de DNA está associada a um decréscimo proporcional na taxa de divisão celular. Entretanto, GARDNER e NIEMAN (1964) observaram que o conteúdo de DNA de folhas de rabanete sofreu uma grande redução quando o potencial hídrico das folhas diminuiu de 0 para -2 bar, mas quando o potencial diminuiu de -2 para -16 bar, a redução foi pequena e, a partir daí, praticamente não houve mais redução. De fato, a divisão celular parece, em geral, ser menos influenciada por déficits hídricos do que a expansão celular (CLEMENTS, 1964; GATES, 1964; KRAMER, 1974; SLATYER, 1967). Considerando que a célula meristemática deva atingir um tamanho mínimo após ocorrer a divisão celular, isto é, que deva ocorrer algum alongamento entre uma divisão e outra, HSIAO (1973) levantou a hipótese de que o efeito do estresse hídrico sobre a divisão celular pode ser indireto, através da supressão da expansão celular.

O estresse hídrico, ao reduzir a turgescência da planta, reduz a expansão celular, o que, por sua vez, reduz o alongamento do colmo e da folha (KRAMER, 1974). CUTLER *et alii* (1980) observaram que déficits hídricos suaves reduziram a taxa de alongamento foliar de várias cultivares de arroz de sequeiro. Em certas condições de déficit hídrico, apesar de reduções do potencial hídrico, a turgescência da folha não mudou, devido ao ajustamento osmótico. Mas, apesar da manutenção da turgescência, a taxa de expansão foliar foi marcadamente reduzida, indicando que outros fatores que influenciam no crescimento, além da turgescência, foram alterados.

Uma pressão de turgescência reduzida afeta o aumento de dimensão e o metabolismo das paredes celulares, possivelmente mediante diminuição da síntese de celulose (ORDIN, 1960). PLAUT e ORDIN (1964) verificaram um grande decréscimo na incorporação de glucose em constituintes da parede celular devido à deficiência hídrica. WHITMORE e ZAHNER (1967) afirmam que a aptidão que o tecido jovem do xilema tem para incorporar glucose, reduz-se muitíssimo ao diminuir o potencial hídrico. HSIAO (1973)

considera, entretanto, que o crescimento é mais sensível ao estresse hídrico do que a síntese da parede celular e que a redução da expansão celular é devida à falta de turgescência e não ao atraso na síntese da parede. A redução na síntese da parede é um resultado indireto do crescimento reduzido.

Embora o crescimento total da planta seja reduzido durante um período de estresse hídrico, o crescimento radicular é geralmente favorecido em relação ao crescimento do colmo, como indicado por aumentos frequentemente relatados na relação raiz/colmo (BEGG e TURNER, 1976; DAVIDSON, 1969; HOFFMAN *et alii*, 1971; LARCHER, 1975). Em alguns casos, o estresse hídrico aumentou o crescimento das raízes, não somente em relação ao crescimento do colmo, mas em valor absoluto (BENNETT e DOSS, 1960; CLEMENTS, 1964; DOSS *et alii*, 1960; HSIAO e ACEVEDO, 1974). A explicação oferecida por HSIAO e ACEVEDO (1974), que observou esse aumento em milho, é que o estresse hídrico foi insuficiente para afetar marcadamente a assimilação de CO_2 , embora o crescimento do colmo tenha sido notadamente reduzido. HSIAO (1973) afirma que o crescimento celular é geralmente mais sensível ao estresse hídrico do que a abertura estomática e a assimilação de CO_2 . O aumento em assimilados, como um resultado do crescimento reduzido do colmo, permitiu um ajustamento osmótico e um crescimento extra da raiz. Este crescimento preferencial da raiz induzido pelo estresse hídrico pode, possivelmente, constituir um mecanismo adaptativo (HSIAO e ACEVEDO, 1974; TURNER, 1979).

2.1.1.3. Efeitos no protoplasma

É provável que a maior parte dos efeitos da deficiência hídrica, com exceção dos que são causados diretamente pela perda de turgescência, possa ser atribuída à desidratação do protoplasma (KRAMER, 1974). A desidratação causa várias mudanças no citoplasma, que podem ter profundos efeitos na estrutura de proteínas ou de outros grandes polímeros, tais como o DNA ou o ácido ribonucléico (RNA), que dependem da água para sua estrutura terciária ou quaternária (TODD, 1972). As mudanças de configuração das moléculas de proteína, provocadas pela desidratação, afetam a permeabilidade e a viscosidade do protoplasma e a atividade enzimática

- . (KLOTZ, 1958; TANFORD, 1963). ILJIN (1957) considera, entretanto, que a desidratação causa apenas danos mecânicos ao protoplasma, por dilaceração e destruição durante a extração de água e encolhimento.

TODD (1972) relata algumas mudanças que podem ocorrer no citoplasma, devido à desidratação: perda de água entre moléculas de proteíninas ou de outros polímeros, como DNA ou RNA, permitindo o aumento de ligações hidrófilas ou hidrófobas; maiores possibilidades de ligações destas moléculas com cátions ou ânions, à medida que suas concentrações crescem com a desidratação, ou com outras moléculas tais como açúcares, e mudanças na estrutura devido a mudanças de pH, que ocorrem como resultado da desidratação.

LEVITT (1962) sugeriu que o dano provocado no protoplasma pela deficiência hídrica pode ser devido à formação de ligações dissulfeto (SS) inter ou intramolecular. Estas ligações podem provocar uma rigidez nas membranas celulares que não é reversível com a reidratação da célula (TODD, 1972). GAFF (1966) observou que a deficiência hídrica diminuiu consideravelmente o grupo sulfidrilo (SH) na proteína solúvel de folhas de couve. Houve uma conversão considerável, cerca de 60%, do grupo SH em SS, no ponto em que ocorreu a morte por dessecação. Este pesquisador atribuiu a morte à degradação de membranas de lipoproteínas, causada por mudanças de conformação de moléculas estruturais de proteína.

De acordo com STOCKER (1960), a desidratação se produz em duas etapas: uma fase de reação em que as plantas são submetidas pela primeira vez à deficiência hídrica, e uma fase de restituição e endurecimento, que ocorre se a deficiência hídrica dura vários dias. A fase de reação caracteriza-se por uma redução na viscosidade do protoplasma, uma maior permeabilidade à água, à uréia e à glicerina, e um incremento na proteólise e na respiração. Se a deficiência hídrica é mantida, existe uma etapa de restituição que implica em aumento na viscosidade acima do valor original, redução da permeabilidade à água e à uréia, e redução de processos fisiológicos tais como a respiração.

2.1.1.4. Efeitos na transpiração

A redução na transpiração devido à ocorrência de deficiência hídrica tem sido relatada por vários pesquisadores (BEGG e TURNER, 1976; CRAFTS, 1968; HSIAO, 1973; HSIAO e ACEVEDO, 1974; KRAMER, 1974; SLAVIK, 1958; SUTCLIFFE, 1980). Em arroz, esta redução foi observada por SINGH e SASAHARA (1981) e TOMAR e GHILDYAL (1973), entre outros.

O fechamento estomático é, geralmente, o mecanismo dominante na restrição da taxa de transpiração em mesófitas, durante o desenvolvimento de estresse hídrico (CRAFTS, 1968; HSIAO, 1973). Entretanto, é sabido que o estômato não responde a mudanças no potencial hídrico total da folha até que um nível crítico deste parâmetro seja alcançado (BEGG e TURNER, 1976; HSIAO, 1973).

De acordo com HSIAO e ACEVEDO (1974), o fechamento estomático induzido por estresse hídrico não é causado apenas pela simples perda de turgescência da folha, como frequentemente é sugerido. Parece estar envolvida uma perda de solutos das células-guarda induzida por estresse, principalmente K^+ , que então resulta em uma redução seletiva na turgescência das células-guarda. Para METIVIER (1979) e SUTCLIFFE (1980), o ácido abscísico está envolvido na regulação da abertura estomática. O seu acúmulo nas folhas de plantas estressadas provocaria o fechamento dos estômatos. HSIAO (1973), entretanto, questiona se a acumulação do ácido abscísico provocada pelo estresse hídrico é rápida o suficiente para ser a reguladora da resposta estomática.

Se um estresse hídrico moderado ou severo permanece por vários dias, podem ser necessários até cinco dias após o alívio do estresse para que os estômatos abram completamente (HSIAO, 1973). Fischer (apud HSIAO, 1973) estudou os possíveis mecanismos responsáveis por este efeito e não encontrou uma resposta conclusiva. Já SUTCLIFFE (1980) atribui este efeito ao fato de que o nível de ácido abscísico é mantido elevado por certo tempo depois de restabelecida a turgescência.

Quando uma folha murcha rapidamente pode haver como resposta uma abertura, antes dos estômatos se fecharem. Isto pode ser devi-

do à perda inicial de água mais rápida, pelas células subsidiárias e células epidérmicas vizinhas, do que pelas células-guarda, fazendo com que estas aumentem de volume temporariamente devido à uma diminuição no potencial de pressão. Acredita-se que a maior perda de turgescência nas células adjacentes do que nas células-guarda também seja responsável pela abertura permanente dos estômatos, que ocorre algumas vezes quando o murchamento é extremo (SUTCLIFFE, 1980).

2.1.1.5. Efeitos na fotossíntese e respiração

O decréscimo do potencial hídrico da folha reduz a fotossíntese. Isto deve-se ao resultado de três efeitos: fechamento hidroativo dos estômatos, diminuindo o suprimento de CO_2 ; estresse hídrico na ultra-estrutura citoplasmática, afetando a atividade enzimática; e desidratação da cutícula, paredes epidérmicas e membranas celulares, reduzindo sua avidéz por CO_2 e a permeabilidade a este gás (Slavik apud CRAFTS, 1968).

HARTT (1967) considera que a translocação de produtos fotossintéticos pode ser limitada por estresse hídrico e, assim, a fotossíntese pode ser limitada pela saturação de assimilados, embora outros fatores não sejam limitantes. KOZLOWSKI (1964) afirma que a redução na fotossíntese com o estresse hídrico é, em grande parte, devida ao aumento na resistência à difusão de CO_2 . A resistência difusiva foliar de plantas de arroz aumentou com o incremento do estresse hídrico (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1976). SINGH e SASAHARA (1981) sugeriram que a eficiência fotossintética reduzida de folhas de arroz em condições de déficit hídrico é uma consequência do incremento na resistência à difusão de CO_2 sob tais condições. Esses pesquisadores verificaram que houve uma redução na concentração de clorofila por unidade de área foliar e que a taxa fotossintética apresentou uma correlação significativa e positiva com o conteúdo de clorofila da folha. Portanto, a redução na fotossíntese sob déficit hídrico foi parcialmente atribuída à instabilidade da clorofila em adição à resistência à difusão de CO_2 aumentada. A redução do conteúdo de clorofila em folhas de plantas de arroz submetidas à deficiência hídrica foi observada por vários autores (DWIVEDI *et alii*, 1979; PARICHA e PERUMAL, 1974; PARK *et alii*, 1978).

Desde que a maioria, se não todas, das inúmeras reações químicas que caracterizam o processo respiratório são enzimáticas, e desde que a função assim como a estrutura dos enzimas são afetadas pelo estresse hídrico, é de se esperar que a respiração seja afetada pela deficiência hídrica (CRAFTS, 1968).

Os efeitos da deficiência hídrica sobre a respiração são variáveis. Em alguns casos, verificaram-se aumentos da taxa respiratória com o incremento do estresse hídrico (WOODHAMS e KOZLOWSKI, 1954; YAROSH, 1959), em outros ocorreu diminuição (PETINOV e MALYSHEVA, 1960; RAGAI e LOOMIS, 1954). HSIAO (1973) considera que as contradições observadas são devidas, provavelmente, a diferenças na severidade e na duração do estresse hídrico e relata que dados mais recentes demonstram que a respiração noturna é geralmente reduzida mais ou menos proporcionalmente ao estresse embora de maneira não muito marcante. Cita ainda que alguns resultados também mostraram uma redução similar na respiração diurna.

BRIX (1962) observou que o déficit hídrico provocou uma redução inicial na respiração, seguida de um aumento transitório e, finalmente, de uma diminuição ao aumentar a gravidade da deficiência hídrica. Ele propôs que a redução na concentração de substratos respiratórios, resultante da fotossíntese reduzida, poderia ser responsável pelo decréscimo inicial na respiração. O aumento subsequente pode resultar do incremento em açúcares produzido pela hidrólise de amido. A redução final poderia representar o murchamento permanente e, possivelmente, indução de senescência.

2.1.1.6. Efeitos no metabolismo dos carboidratos

A deficiência hídrica produz mudanças importantes nas classes e na quantidade de carboidratos presentes na planta. Desde várias décadas, sabe-se que as folhas de plantas submetidas a estresse hídrico geralmente mostram uma redução do seu conteúdo de amido, a qual, às vezes, é acompanhada de um incremento no conteúdo de açúcar (KRAMER, 1974).

O conteúdo de açúcar não aumenta em todas as espécies. WADLEIGH e AYERS (1945) observaram uma diminuição no conteúdo de amido, po-

rêm, nenhum incremento no conteúdo de açúcar em feijoeiro submetido a grave deficiência hídrica. WOODHAMS e KOZLOWSKI (1954) observaram que, ao aumentar a deficiência hídrica, reduziram-se o conteúdo de amido, de açúcar e o total de carboidratos no feijoeiro e no tomateiro. Por outro lado, RAMAKRISHNAYYA e BHATTACHARJEE (1973) verificaram que cultivares de arroz tolerantes à seca, continham uma maior porcentagem de açúcar nas folhas, colmos e panículas do que uma cultivar susceptível à seca, quando submetidas à déficit hídrico.

As mudanças nas proporções dos açúcares e polissacarídeos, possivelmente, se relacionam com mudanças na atividade enzimática (KRAMER, 1974).

2.1.1.7. Efeitos no metabolismo do nitrogênio

Muitas reações metabólicas que ocorrem nas células têm lugar em um meio líquido. Mesmo aquelas reações que ocorrem nas superfícies são dependentes de uma fase líquida para que as moléculas possam se mover de um lugar para outro. Esta dependência de um meio líquido é óbvia, e como a água é o líquido usado pelas células, a maioria das reações metabólicas cessam na ausência de água (TODD, 1972).

Os efeitos do déficit hídrico na síntese de RNA parecem ser variáveis de acordo com a espécie vegetal. SHAH e LOOMIS (1965) observaram redução da síntese de RNA em beterraba açucareira, ZHOLKEVICH E KORETSKAYA (1959) em abóbora, GATES e BONNER (1959) verificaram que a síntese de RNA prosseguia em tomateiros submetidos a estresse hídrico e WEST (1962) observou aumento no conteúdo de RNA de colmos de milho.

GENKEL *et alii* (1967) verificaram que a seca causou o desaparecimento de polissomas em folhas de milho e feijão e o aparecimento de ribossomas livres. Desde que a atividade da ribonuclease aumenta em plantas submetidas à estresse hídrico (DOVE, 1967; KESSLER, 1961), o colapso de polissomas pode ser facilmente explicado.

A hidrólise de proteínas em plantas submetidas à deficiência hídrica tem sido verificada por vários pesquisadores (BARNETT e NAY-

LOR, 1966; CHEN *et alii*, 1964; GATES, 1964; KESSLER, 1961). Os níveis de nitrogênio solúvel atingem valores mais altos, durante estresse hídrico, do que poderia ser esperado pela degradação de ácidos nucleicos. O nitrogênio não especificado provém da proteína degradada ou de aminoácidos recentemente sintetizados que não puderam ser incorporados na proteína (NAYLOR, 1972). A síntese de aminoácidos livres em plantas submetidas a estresse hídrico foi verificada por BARNETT e NAYLOR (1966) e por GATES e BONNER (1959), que observaram também que a incorporação dos aminoácidos em proteínas não ocorre tão prontamente em plantas estressadas, como ocorre nas não estressadas. GATES e BONNER (1959) postularam que a falha das plantas sob estresse hídrico em acumular RNA é devida à acelerada destruição do RNA existente. IVANOV (1959), entretanto, observou um decréscimo na síntese de aminoácidos com o incremento do déficit hídrico. SHAH e LOOMIS (1965) verificaram que, à medida que o estresse hídrico aumentou, a quantidade total de aminoácidos decresceu, presumivelmente porque sua síntese foi bloqueada.

CHEN *et alii* (1964) observaram um incremento de proteína em plantas submetidas a déficit hídrico, embora possa haver sido um aumento de peptídeos e não de proteínas. Por outro lado, TODD (1972) e ZHOLKEVICH e KORETSKAYA (1959) verificaram que a deficiência hídrica reduz a síntese de proteína. BARNETT e NAYLOR (1966) verificaram uma diminuição geral de proteína solúvel e diminuição de arginina fixada à proteína, em condições de déficit hídrico. A quantidade de prolina aumentou muitíssimo e resultou funcionar como um composto de armazenamento em plantas submetidas a estresse hídrico. Kudrev (apud KRAMER, 1974), relatou grandes aumentos do conteúdo de prolina e um aumento menor de ácido glutâmico livre com o estresse hídrico. A acumulação de prolina em cultivares de arroz submetidas à deficiência hídrica foi verificada por vários pesquisadores (BAL, 1975; MADRUGA e RENA, 1977a e 1977b; MALI e MEHTA, 1977; YOSHIDA *et alii*, 1974).

A deficiência hídrica também provoca a acumulação de amidas (CHEN *et alii*, 1964; Mother apud NAYLOR, 1972). Esta acumulação pode ser o resultado da incorporação de amônia livre liberada pela desaminação de aminoácidos que surgem através da proteólise durante estresse hídrico

(Mothes apud NAYLOR, 1972). Os conteúdos de duas amidas, asparagina e glutamina, e de quinze aminoácidos aumentaram em plantas de arroz submetidas a estresse hídrico (PARICHA *et alii*, 1977).

Os efeitos da deficiência hídrica sobre os enzimas são variáveis com o tipo de enzima e com a espécie vegetal considerada. As mudanças nos níveis de vários enzimas, como consequência da desidratação, foram listadas por TODD (1972). A partir desta relação, ele concluiu que os níveis dos enzimas envolvidos em hidrólise ou degradação, geralmente permanecem os mesmos ou aumentam, mas não diminuem até ocorrer uma severa dessecação, e os níveis de enzimas envolvidos em síntese diminuem em alguns casos e aumentam em outros. Por exemplo, o nível da amilase diminuiu em trigo e aumentou em girassol e fumo; o da protease aumentou em fumo e trigo; o da ribonuclease aumentou em tomateiro, feijoeiro, milho, trigo e maçã; o da reductase de nitrato diminuiu em milho e cevada e o da reductase de nitrito diminuiu em cevada. Em arroz, MALI e MEHTA (1977) observaram um decréscimo, com o aumento do estresse hídrico, na atividade da peroxidase em sementes, sendo o decréscimo maior em uma cultivar susceptível à seca do que em uma tolerante. A atividade da ribonuclease diminuiu nas raízes da cultivar tolerante e aumentou nas raízes da susceptível. Por outro lado, a atividade da protease aumentou nos colmos da cultivar tolerante e pouco mudou nos da cultivar susceptível. LODH *et alii* (1977) observaram um incremento, em condições de déficit hídrico, na atividade da catalase em folhas e raízes de uma cultivar de arroz susceptível à seca, enquanto que em uma tolerante a atividade permaneceu aproximadamente constante. A atividade da peroxidase aumentou em ambas as cultivares.

2.1.1.8. Efeitos nos reguladores do crescimento

O estresse hídrico exerce um grande efeito na distribuição hormonal, particularmente no conteúdo de citocininas e ácido abscísico. Como uma consequência do déficit hídrico, a atividade da citocinina é reduzida, enquanto que a do ácido abscísico aumenta. Existem poucos dados do envolvimento do ácido indolil-3-acético (AIA) e giberelinas em déficits hídricos (LIVNE e VAADIA, 1972).

ITAI e VAADIA (1965) e ITAI *et alii* (1968) encontraram uma reduzida atividade da citocinina no exudado do xilema de raízes submetidas à estresse hídrico. ITAI e VAADIA (1965) sugeriram que as mudanças metabólicas e a aceleração da senescência em caules de plantas estressadas, podem ser devidas a um reduzido suprimento de citocininas por parte das raízes. O envolvimento de citocininas na regulação da senescência do caule foi bem estabelecido por KENDE (1971). O nível de citocinina no caule é, aparentemente, regulado não só pela taxa de suprimento pelas raízes, mas também por transformações químicas na folha (ITAI e VAADIA, 1971).

Tem sido sugerido que o ácido abscísico está envolvido na regulação de respostas fisiológicas das plantas sob estresse hídrico (MIZRAHI *et alii*, 1970; WRIGHT, 1969; WRIGHT e HIRON, 1969). WRIGHT (1969) observou que os níveis do ácido abscísico aumentaram em folhas murchas. O aumento estava relacionado com o grau de murchamento. WALTON *et alii* (1977) encontraram aumento no conteúdo de ácido abscísico com o estresse hídrico e postularam que é a taxa de síntese deste ácido na folha e não o seu conteúdo que determina a magnitude da abertura estomática. MIZRAHI *et alii* (1970) concluíram que o aumento no conteúdo de ácido abscísico em folhas não é necessariamente dependente da redução da turgescência foliar. O ácido abscísico pode estar envolvido em um aspecto mais geral do balanço de água na planta, especificamente, na regulação da resposta adaptativa das plantas ao estresse osmótico.

LARSON (1964) observou que o estresse hídrico inibiu a formação de auxina na extremidade de galhos de árvores. TALE e IMBER (1971) relatam um aumento na turgescência da planta com a elevação no nível do AIA. DARBYSHIRE (1971) verificou um incremento na atividade da oxidase do AIA com estresse hídrico.

Há indícios bastante fortes de que as citocininas e o ácido abscísico podem controlar a permeabilidade da membrana dos estômatos. A falta de água tende a diminuir os níveis endógenos de citocinina. Em plantas de deserto, parece que as raízes reduzem o suprimento desses hormônios para as folhas murchas, ao mesmo tempo em que o nível do ácido abscísico aumenta e os estômatos se fecham. O fato de que as citocininas endógenas diminuem em plantas murchas representa, provavelmente, um mecanismo

mo de proteção própria, pois elas promovem a abertura estomática. As plantas também produzem mais ácido abscísico, que contrabalança o efeito das citocininas e fecham os estômatos, inibindo a perda de água (METIVIER, 1979).

A possibilidade de que o déficit hídrico reduza o abastecimento de substâncias reguladoras do crescimento que a raiz fornece ao caule, proporciona uma explicação plausível de certos efeitos gerais da deficiência hídrica. Talvez a síntese reduzida de reguladores de crescimento, como citocininas e giberelinas, nas raízes, seja um fator importante na redução do crescimento observada em plantas submetidas a déficits hídricos. Também poderia ser um fator do rápido envelhecimento das folhas de plantas estressadas (KRAMER, 1974).

2.1.1.9. Efeitos na translocação

Parece haver uma redução considerável na translocação de compostos orgânicos em plantas submetidas à deficiência hídrica. Também há mudanças no plano de translocação (KRAMER, 1974).

Vários pesquisadores relatam uma redução na translocação de fotossintatos para fora das folhas, em condições de estresse hídrico (PLAUT e REINHOLD, 1965; ROBERTS, 1964; WIEBE e WIHRHEIM, 1962). HARTT (1967) verificou que a deficiência hídrica reduzia mais a translocação para fora das folhas do que a formação de fotossintato. BREVEDAN e HODGES (1973) observaram que curtos períodos de estresse hídrico reduziram a translocação de carbono marcado para as espigas e grãos de milho. Parece possível que a redução na translocação de fotossintato para fora das folhas possa ser um fator da redução da fotossíntese observada em plantas submetidas à estresse hídrico (HARTT, 1967; KRAMER, 1974).

Segundo WARDLAW (1968), a translocação reduzida, em condições de estresse hídrico, é principalmente o resultado de uma redução na fotossíntese da fonte (folhas, principalmente) e/ou no crescimento do dreno (folhas em expansão, grãos, etc) do que de qualquer efeito sobre o sistema condutor.

2.1.2. Efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes

Embora a absorção de nutrientes e a absorção de água sejam processos independentes na raiz, a necessidade de água disponível na planta e no solo, para o crescimento e para o transporte de nutrientes, torna os intimamente relacionados. Esta estreita relação torna difícil definir claramente os efeitos da seca na nutrição das plantas (VIETS Jr., 1972).

A disponibilidade de nutrientes, para a maioria das não hidrófitas, é maior quando a tensão de água no solo está próxima da capacidade de campo. Nesta situação, ocorrem um espaço poroso suficiente para a difusão de oxigênio, uma maior quantidade de nutrientes na forma solúvel, uma maior área da seção transversal para difusão de íons e fluxo de massa, e condições favoráveis para a extensão das raízes (VIETS Jr., 1972). PONNAMPERUMA (1975) relata que as taxas de difusão e fluxo de massa decrescem à medida que diminui a umidade do solo, reduzindo o suprimento de nutrientes para as raízes. A deficiência hídrica reduz não só a disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade de absorção pelas plantas, como também sua eficiente utilização metabólica dentro da planta (HERNANDEZ, 1969).

As raízes não podem absorver íons que não colidam com suas superfícies. A água, movendo-se no solo em direção às raízes, carrega nutrientes para dentro da rizosfera, numa forma disponível para a absorção. Sem este transporte, as raízes da maioria das plantas teriam de ser muito mais extensas e mais finamente divididas para obterem os nutrientes por elas requeridos. Portanto, o suprimento de nutrientes para as plantas está diretamente relacionado ao movimento de água em direção às raízes e, quando tal movimento cessa devido à baixa umidade do solo, as raízes ficam limitadas àqueles nutrientes dentro da faixa de difusão. Este suprimento, entretanto, deve se tornar limitante em um curto espaço de tempo (CRAFTS, 1968).

Íons tais como o nitrato, que são inteiramente solúveis, podem ser completamente extraídos de um solo por fluxo de massa (VIETS Jr., 1972). BARBER *et alii* (1963) estabeleceram que o fluxo de massa é responsável pela maioria do transporte de cálcio, magnésio e nitrogênio, mas é

inadequado considerá-lo responsável pela maioria do transporte de fósforo e potássio. MALAVOLTA (1980) relata que a difusão foi o principal processo no fornecimento de fósforo e potássio para as raízes de uma cultura de milho. A redução no transporte de nutrientes por fluxo de massa pelo aumento no déficit hídrico depende do efeito do aumento da tensão hídrica na taxa de absorção de água. A taxa de difusão, por sua vez, é grandemente afetada pelo aumento da tensão hídrica, porque a secagem do solo reduz a espessura dos filmes de água e a área da seção transversal efetiva para difusão, e aumenta a tortuosidade (VIETS Jr., 1972).

A concentração dos nutrientes que ocorrem inteiramente ou na sua maior parte na solução do solo, como NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} (em solos sem gesso), teoricamente deveria dobrar quando a umidade volumétrica do solo fosse reduzida pela metade. A maioria dos outros íons, tais como K^+ , Ca^{2+} e fosfatos, estão adsorvidos à fase sólida de minerais e matéria orgânica e a concentração da solução pode não mudar muito durante a secagem do solo dentro da faixa de conteúdo de água de significância para as plantas (VIETS Jr., 1972). NAYLOR (1972) relata que a solução do solo torna-se concentrada se a diminuição na umidade do solo ocorrer rapidamente. Segundo VIETS Jr. (1972), ainda não se sabe se a mudança na concentração per si de vários íons na solução do solo, ao reduzir-se a umidade, é realmente de muita significância para a absorção de nutrientes.

O conteúdo de água do solo em relação à quantidade de nutriente na solução pode ter maior importância para íons, tais como nitrato e, possivelmente, sulfato, cuja fonte, quando não se aplicam fertilizantes, é a decomposição microbiana da matéria orgânica. Vários pesquisadores (MILLER e JOHNSON, 1964; REICHMAN *et alii*, 1966; ROBINSON, 1957) têm mostrado que a amonificação da matéria orgânica e a nitrificação decrescem proporcionalmente ao decréscimo no conteúdo de água do solo na faixa da capacidade de campo até o ponto de murcha.

A disponibilidade de nutrientes pode ser medida pela absorção total do elemento ou pela composição percentual da planta. Se o estresse hídrico diminui o crescimento e o conteúdo total de nutrientes também diminui, então a disponibilidade de nutrientes diminui. Por outro lado, um aumento na composição percentual da planta com o aumento do estresse

se implica que a taxa de absorção de nutrientes é maior que a de crescimento. Isto significa que o estresse hídrico está inibindo mais o crescimento do que a absorção de nutrientes. Um decréscimo na composição percentual significa que a assimilação líquida e o crescimento não estão sendo afetados tanto quanto a disponibilidade de nutrientes. Esta situação pode ocorrer quando a maioria dos nutrientes estão na superfície do solo, que se torna seco, enquanto as plantas estão retirando água de maiores profundidades. Portanto, os dados de concentração e absorção total são necessários para se fazer interpretações completas (VIETS Jr., 1972).

RICHARDS e WADLEIGH (1952) concluíram que a maioria das evidências experimentais mostram que, para um dado nível de fertilidade, o decréscimo no conteúdo de água do solo está associado com um incremento na concentração de nitrogênio na planta, um decréscimo na concentração de potássio e efeitos variáveis nas concentrações de fósforo, cálcio e magnésio. De fato, vários autores (CHEN *et alii*, 1964; KOZLOWSKI, 1964; NAYLOR, 1972) relatam aumentos no conteúdo de nitrogênio das plantas com o incremento do déficit hídrico. Também são relatados aumentos na porcentagem de nitrogênio de grãos pequenos, tais como trigo e cevada (CAMPBELL *et alii*, 1969; STONE, 1976; STORRIER, 1965; Turner apud BEGG e TURNER, 1976) e arroz (SHIGA, 1975). VIETS Jr. (1972) afirma que a acumulação de nitrato em algumas espécies, sob condições de seca, a qual é geralmente acompanhada de altas temperaturas do ar, é devida à interferência com o sistema da enzima reductase. Diversos pesquisadores (GREENWAY *et alii*, 1969; GREENWAY e KLEPPER, 1969; KLEPPER e GREENWAY, 1968; STORRIER, 1965; TISDALE e NELSON, 1975; Turner apud BEGG e TURNER, 1976), entretanto, têm relatado redução na absorção de nitrogênio e fósforo, induzida por déficit hídrico.

2.1.3. Efeitos sobre a cultura do arroz

A produção do arroz é maior em solos inundados do que em solos sob condições de sequeiro (CHEANEY, 1973; CRUZ *et alii*, 1975; DEL GIUDICE *et alii*, 1974; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974). Isto sugere que a água é um fator importante para o crescimento e produção do arroz em condi

ções de sequeiro, especialmente durante a fase reprodutiva, que tem sido citada por vários pesquisadores como a mais crítica com relação à deficiência hídrica (DAKER, 1973; HERNANDEZ, 1969; MATSUSHIMA, 1968; O'TOOLE e CHANG, 1979; STONE *et alii*, 1979a).

2.1.3.1. Período Crítico

A maioria das culturas possui períodos críticos, durante os quais a deficiência de água causa sérias reduções na produção.

A deficiência hídrica durante a fase vegetativa da cultura do arroz, expressa principalmente por um decréscimo no número de perfilhos por unidade de área, parece ser a menos prejudicial para o rendimento final. A fase reprodutiva, cerca dos últimos 55 a 60 dias, é caracterizada por quatro estágios, quando os processos de desenvolvimento são mais sensíveis ao déficit hídrico. São eles: iniciação da panícula, desenvolvimento meiótico de gametas, antese-fertilização e enchimento dos grãos. Em termos do desenvolvimento individual do perfilho, um déficit hídrico nesses estágios causa uma perda irreparável no potencial de rendimento. Déficits hídricos durante a fase reprodutiva causam efeitos característicos sobre os componentes da produção, dependendo do estágio afetado. Estresse hídrico na iniciação da panícula reduz o número de primórdios que se desenvolvem; isto implica em baixo número de espiguetas por panícula. Se o estresse ocorre no estágio meiótico ou na antese, o resultado é o aumento na esterilidade das flores, implicando em mais alta porcentagem de grãos vazios; se ocorre durante o estágio de enchimento dos grãos (aproximadamente 21 dias após a antese), o resultado é um peso mais baixo de grãos individuais, implicando em menor peso de 1000 grãos (O'TOOLE e CHANG, 1979).

Segundo HERNANDEZ (1969), o arroz é mais sensível à seca no período compreendido entre cinco a dez dias antes do emborrachamento e a floração. Para MATSUSHIMA (1968) este período vai de onze a três dias antes da floração e, segundo este autor, três dias de seca neste período são suficientes para reduzir a produção devido a altas porcentagens de esterilidade. DAKER (1973) considera este período mais extenso, quando afir

ma que a deficiência hídrica no período de quinze a vinte dias antes, até vinte a vinte e cinco dias após a floração, resultará em um desenvolvimento incompleto das características da planta que determinam a produção.

JANA e GHILDYAL (1971) relatam que a deficiência hídrica durante a fase vegetativa do arroz afeta negativamente a produção de perfilhos férteis, enquanto que durante a fase reprodutiva interfere com a polinização, fertilização e enchimento de grãos, resultando em queda na produção.

2.1.3.2. Efeitos na produção e em características da planta

As características mais notáveis da planta de arroz sob estresse hídrico são a altura reduzida, floração atrasada e esterilidade extremamente alta (YOSHIDA, 1975).

De acordo com TSUTSUI (1972), a produção do arroz começa a decrescer quando a umidade do solo é igual a 70-80% da umidade de saturação. Quando a umidade torna-se menor do que 50% da capacidade de campo, a produção cai para 50 a 33% da obtida em condições de saturação do solo. As folhas iniciam a murchar quando a umidade é inferior a 30% da capacidade de campo; e se enrolam, iniciando a morrer, quando a umidade permanece em 20% da capacidade de campo ou menos.

Ao reduzir-se o conteúdo de água no solo, diminuem o número de perfilhos (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974; PATRICK Jr. e FONTENOT, 1976), o número de panículas (DEL GIUDICE *et alii*, 1974; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974; PANDE e MITTRA, 1970), o número de grãos por panícula (CRUZ *et alii*, 1975; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974; PANDE e MITTRA, 1970); o número de grãos cheios por panícula (DEL GIUDICE *et alii*, 1974) e o peso dos grãos (CRUZ *et alii*, 1975; DEL GIUDICE *et alii*, 1974; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971), e aumenta a porcentagem de grãos vazios (CHAUDHRY e McLEAN, 1963; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971; PANDE e SINGH, 1970), refletindo em redução na produção do arroz.

CHEANEY (1973) relata que em experimento conduzido no Japão, onde foi comparado arroz crescendo em solo inundado com arroz crescendo em solos com 75, 50 e 25% da água disponível, foi observado que quanto menor era a umidade do solo maior era o decréscimo na produção. As produções, em termos percentuais, foram, respectivamente, 100, 70, 68 e 58%. Relata ainda que em experimento conduzido no International Rice Research Institute, onde a umidade do solo foi mantida próxima da saturação durante a fase vegetativa da cultura e, durante a fase reprodutiva, foi reduzida para umidades equivalentes a 0,07, 0,22 e 0,33 bar, as produções, em termos percentuais, foram iguais a 100, 81 e 53%, respectivamente.

DEL GIUDICE *et alii* (1974) concluiu que o número de grãos por panícula, dentre os componentes da produção estudados, foi o principal responsável pela variação da produção de grãos, em consequência de alterações na disponibilidade de água para a cultura do arroz.

Têm sido observadas reduções no rendimento de matéria seca de plantas de arroz com o decréscimo do conteúdo de água do solo (ENYI, 1968; HALM, 1967; PATRICK Jr. e FONTENOT, 1976). SHIGA (1975) relata que o peso da matéria seca e a altura de plantas de arroz submetidas a diferentes tensões hídricas, decresceram com o aumento das tensões. A duração do ciclo, entretanto, aumentou com o incremento das tensões. SENEWI - RATNE e MIKKELSEN (1961) também observaram um aumento na duração do ciclo do arroz devido à deficiência hídrica.

CHANG *et alii* (1972) relata que o sistema radicular de duas cultivares de arroz foi consideravelmente mais denso e mais profundo após um período de seca do que quando não sofreram estresse hídrico. Concorrendo com isto, BANBA e OHKUBO (1981) observaram que a matéria seca das raízes aumentou em plantas submetidas à deficiência hídrica, devido à proliferação. A relação raiz/parte aérea também aumentou com o estresse hídrico. PARICHA e SAHOO (1975) verificaram um aumento na relação raiz/colmo em plantas de arroz submetidas a estresse hídrico moderado. Com estresse hídrico severo, a relação foi inconsistente.

O índice de colheita do arroz, ou seja, a relação grão/pa-

lha, diminui quando decresce a disponibilidade de água (CHANG e VERGARA, 1975; ENYI, 1968; YOSHIDA, 1975).

2.1.3.3. Relação com o tipo de planta

Embora o tipo de planta semi-anã, de folhas eretas e alto perfilhamento, tenha incrementado consideravelmente a produtividade do arroz tropical irrigado por submersão, os pesquisadores diferem em opinião com respeito ao tipo ideal de planta para o arroz de sequeiro (CHANG e DATTA, 1975).

A maioria das cultivares adaptadas ao cultivo de sequeiro são medianamente altas ou altas, com folhas relativamente longas e decumbentes, baixo a médio perfilhamento e panículas longas (CHANG e VERGARA, 1975).

O comprimento e o ângulo das folhas de arroz afetam significativamente a perda de água e a temperatura da folha; a largura, entretanto, só afeta a taxa de transpiração a baixas velocidades do vento (YOSHIDA, 1975). Segundo este pesquisador, o ângulo da folha influencia a temperatura foliar e, assim, a taxa de transpiração. Pela lei do cosseno, folhas que estão em ângulo reto com os raios do sol são mais quentes do que aquelas que são paralelas à radiação. Como a radiação solar é mais intensa quando o sol está alto, folhas decumbentes são mais quentes do que folhas eretas e têm mais altas taxas de transpiração. Assim, folhas eretas tendem a minimizar a perda de água por transpiração, quando o índice de área foliar é relativamente pequeno. ALLURI e VERGARA (1976) também observaram, em plantas de arroz submetidas a déficit hídrico, que a taxa de perda de água foi menor naquelas com folhas eretas do que nas com folhas decumbentes. Eles atribuíram esta diferença à falha das folhas decumbentes em se enrolarem completamente durante o estresse hídrico.

CHANG *et alii* (1972) concluíram que apesar de suas folhas mais compridas e mais decumbentes, os valores de transmissão de luz de cultivares de sequeiro tropicais, medidos ao nível do solo 60 dias após a semeadura, são iguais ou ligeiramente mais baixos do que aqueles das culti-

vares semi-anãs. A diferença aumenta, entretanto, à medida que a planta aproxima-se da floração. Sem estresse hídrico, as semi-anãs, as quais possuem um maior número de perfilhos e de folhas fotossinteticamente ativas, produzem uma melhor cobertura do solo. Por outro lado, considerando-se que sob estresse hídrico, os estômatos abrem de manhã e fecham durante o resto do dia e que de manhã o sol está baixo, as cultivares de folhas e retas podem ser menos eficientes para a fotossíntese, enquanto que as com folhas decumbentes podem permitir uma penetração mais profunda da luz do sol (YOSHIDA, 1975). Além disto, sob estresse hídrico, as cultivares tradicionais de sequeiro apresentam maior resistência estomática ao escape de vapor d'água e são menos injuriadas por altas temperaturas (53°C) do que várias cultivares semi-anãs (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1973). De fato, SINGH e SASAHARA (1981) observaram que quando não ocorreu déficit hídrico, uma cultivar de arroz irrigado manteve uma taxa mais alta de fotossíntese do que outras cultivares de sequeiro. Isto foi atribuído à sua relativamente baixa resistência à difusão de gás e maior conteúdo de clorofila por unidade de área. Entretanto, sob estresse hídrico, uma cultivar de sequeiro desenvolveu uma maior resistência à difusão de gás, o que pode ser vantajoso do ponto de vista de economia de água.

ENYI (1968), comparando o desenvolvimento de duas cultivares, uma de sequeiro e outra de arroz irrigado, em diferentes tensões de água no solo, verificou que a produção da cultivar de sequeiro foi menos reduzida do que a da cultivar de arroz irrigado, com o incremento da tensão. A porcentagem de perfilhos mortos na cultivar de sequeiro não foi afetada significativamente pelas tensões de água no solo, mas na cultivar de arroz irrigado, ela aumentou com o aumento da tensão. De fato, quando ocorre seca severa, as cultivares semi-anãs de arroz irrigado sofrem muito mais do que as cultivares tradicionais de sequeiro. O tamanho da folha é grandemente reduzido, a floração é atrasada, a altura da planta é mais reduzida, as panículas têm seu comprimento reduzido, ocorre alta esterilidade e grãos pobremente preenchidos. Um estresse hídrico severo geralmente reduz proporcionalmente menos o crescimento das cultivares altas e intermediárias do que o das semi-anãs (CHANG *et alii*, 1972; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1973).

O desenvolvimento das raízes tem sido reconhecido, há muito tempo, como um fator importante na determinação da adaptabilidade de uma dada espécie de planta a condições adversas de umidade no solo (LUNDGARDH, 1949). Hasegawa (apud YOSHIDA, 1975) demonstrou que algumas cultivares de arroz de sequeiro possuem raízes mais longas e melhor desenvolvidas do que várias cultivares de arroz irrigado. Concordando com isto, NICOU *et alii* (1970) observaram que as raízes de cultivares de arroz de sequeiro são mais pesadas do que as de cultivares de arroz irrigado. JONES *et alii* (1979), comparando o desenvolvimento do sistema radicular de três cultivares de arroz de sequeiro (IAC 47, IAC 25 e Pratao Precoce) com o de duas cultivares semi-anãs de arroz irrigado (CICA 4 e IR 665-4-5-5), também observaram que o desenvolvimento radicular das cultivares de sequeiro foi consistentemente maior do que o das cultivares de arroz irrigado. KRUPP *et alii* (1972) verificaram que, sob estresse hídrico, uma cultivar de arroz de sequeiro apresentou um desenvolvimento radicular mais extensivo do que uma cultivar de arroz irrigado. CHANG *et alii* (1972) também observaram que as raízes de cultivares de arroz de sequeiro ficaram muito mais espessas e densas do que as de cultivares de arroz irrigado, após um estresse hídrico severo. Estes autores, entretanto, afirmam que a diferença foi pequena quando o estresse hídrico foi suave.

Raízes mais profundas são desejáveis para o arroz de sequeiro, porque o armazenamento de água no solo aumenta com a profundidade do perfil do solo. Sob condições de déficit hídrico, uma cultivar com raízes mais profundas pode alcançar e usar a água do solo a uma maior profundidade (YOSHIDA, 1975).

A relação raiz/colmo é maior para cultivares de arroz de sequeiro do que para as cultivares de arroz irrigado (Hasegawa apud YOSHIDA, 1975). LEVITT (1972) cita que uma alta relação de desenvolvimento das raízes para crescimento do colmo é essencial para resistência à seca. Essa alta relação foi encontrada nas cultivares tradicionais de arroz de sequeiro resistentes à seca (CHANG *et alii*, 1972).

CHANG e VERGARA (1975) verificaram que a relação grão/palha, sob cultivo de sequeiro, foi geralmente maior para as cultivares de

arroz de sequeiro do que para as cultivares de arroz irrigado, provavelmente por causa da maior fertilidade de panícula e grãos mais pesados das cultivares de sequeiro.

2.2. Vermiculita

O uso da vermiculita na agricultura é relativamente recente no Brasil. Nos Estados Unidos, entretanto, ela vem sendo usada desde 1943, quando foram realizados os primeiros experimentos com este mineral. O primeiro uso da vermiculita na agricultura foi como meio para germinação de sementes (CASTOLL, 1963). Atualmente, ela é usada de forma mais ampla: como condicionador de solo, como veículo inerte para defensivos agrícolas, fertilizantes e suplementos para nutrição animal, como absorvente higiênico para dejetos animais e como anti-empedrente para fertilizantes (EUCATEX, 1981). Das 281000 toneladas de vermiculita expandida utilizadas nos Estados Unidos em 1980, 32% foram utilizadas na agricultura, sendo 7% em horticultura, 9% como condicionador de solo e 16% como veículo inerte para fertilizantes (MEISINGER, 1980a).

A produção mundial de vermiculita em 1980 foi cerca de 583000 toneladas. Nesse ano, o Brasil produziu aproximadamente 8500 toneladas. Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos (57,8%) e a África do Sul (35,1%), seguidos do Japão (3,2%) e do Brasil (1,5%) (MEISINGER, 1980a). As reservas brasileiras desse mineral estão estimadas em 15 milhões de toneladas (MEISINGER, 1980b).

2.2.1. Definição, constituição e características

O nome vermiculita, do latim "vermiculari", criar vermes, foi usado pela primeira vez por Webb em 1824 para um certo material de Millbury, Massachusetts (GRIM, 1968). A vermiculita é um mineral silicatado laminado, de grade 2:1, que apresenta um espaçamento de $14 \text{ \AA}$ entre as lâminas quando saturado com magnésio e feita a dissolução com etileno

glicol (WALKER, 1958) e que colapsa para 10 Å quando saturado com potássio e aquecido (BARSHAD, 1949).

As vermiculitas têm sido classificadas junto com as micas e têm sido frequentemente listadas como produtos de alteração, principalmente da biotita e da flogopita. Elas apresentam uma considerável variação na sua composição química. Uma fórmula geral para a vermiculita natural é

com x variando de 1 a 1,4 e y sendo aproximadamente igual a 8 (GRIM, 1968).

A vermiculita ocorre na fração argila de muitos solos e também em grandes flocos, que são explorados comercialmente (WILD e KEAY, 1964). O mineral de argila vermiculita pode ser dioctaédrico ou trioctaédrico; o último ocorre principalmente em solos jovens e as vermiculitas dioctaédricas ocorrem em alguns solos micáceos que não contêm carbonato de cálcio livre (BROWN *et alii*, 1978). A vermiculita macroscópica é, invariavelmente, trioctaédrica (BROWN *et alii*, 1978; GRUNER, 1934), contendo muita água molecular que é, na maioria das vezes, expelida por aquecimento a 300 °C, causando a esfoliação característica (BROWN *et alii*, 1978).

A propriedade de esfoliação, que faz com que o volume da vermiculita aumente mais de doze vezes, depende da conversão da água de hidratação em vapor que, por sua vez, força a separação das lâminas em ângulos retos aos planos de clivagem (MEISINGER, 1980b). Essa vermiculita esfoliada ou expandida é a utilizada na agricultura.

A vermiculita macroscópica possui uma carga líquida negativa, que aparece devido à substituição isomórfica, principalmente Al^{3+} substituindo Si^{4+} , e que é balanceada por cátions trocáveis situados entre as lâminas (BROWN *et alii*, 1978; GRIM, 1968). A substituição de Si^{4+} por Al^{3+} ocorre nos sítios tetraédricos e a carga líquida negativa é parcialmente balanceada por um excesso de carga positiva nos sítios octaédricos, onde o Al^{3+} e o Fe^{3+} substituem cátions divalentes. A carga líquida negativa das lâminas de vermiculita, como uma consequência, é menor do que

2 por $O_{20}(OH)_4$, e varia entre 1,2 e 1,9 (BROWN *et alii*, 1978). Para GRIM (1968), esta carga varia de 1 a 1,4 por célula unitária. Em todas as vermiculitas macroscópicas conhecidas, o magnésio é o cátion dominante na folha octaédrica e, em muitas, ocupa mais do que 2/3 dos sítios octaédricos (BROWN *et alii*, 1978). Segundo NORRISH (1972), a carga líquida das vermiculitas está correlacionada negativamente com o seu conteúdo de Fe^{3+} . Quando a mica é alterada para vermiculita sob condições naturais e o K^+ interlaminar é substituído por Mg^{2+} , o Fe^{2+} originalmente presente na mica é oxidado a Fe^{3+} e esse é o principal mecanismo redutor da carga líquida negativa.

Uma característica interessante das vermiculitas é a sua grade expansiva. A expansão, segundo GRUNER (1934) e GRIM (1968), está restrita a cerca de 4,98 Å, ou seja, a espessura de duas moléculas de água. De acordo com BARSHAD (1949) e WALKER (1949, 1951), a separação das lâminas depende da natureza dos cátions trocáveis. BARSHAD (1950) mostrou que, quando Ca^{2+} e Mg^{2+} são os cátions trocáveis, há uma dupla camada de água; quando Ba^{2+} , Li^+ e Na^+ são os cátions trocáveis, há uma única camada de água e quando NH_4^+ , K^+ , Rb^+ e Cs^+ são os cátions trocáveis, o mineral não tem água interlaminar. Entretanto, WILD e KEAY (1964) afirmam que o número de moléculas de água por cátion é quase constante na vermiculita e que a distância entre as lâminas aumenta com o diâmetro do cátion. Para BROWN *et alii* (1978), a separação basal das lâminas depende, além do cátion interlaminar presente, da umidade relativa da atmosfera ambiente. A separação aumenta com o aumento da umidade relativa.

2.2.2. Propriedades químicas

Dentre as propriedades químicas da vermiculita, as mais interessantes do ponto de vista agrícola são a sua alta capacidade de troca catiônica e a sua capacidade de fixar potássio, amônio e fosfato.

2.2.2.1. Capacidade de troca catiônica (CTC)

A vermiculita possui uma CTC de 120 a 160 meq/100 g, que

aparece principalmente da substituição de Si^{4+} por Al^{3+} na folha tetraédrica (KEAY e WILD, 1961). De fato, ALEXIADES e JACKSON (1965) encontraram que a CTC total da vermiculita estudada por eles foi igual a 159 meq/100 g, sendo 154 meq/100 g de carga interlaminar e 5 meq/100 g de carga superficial. BAWEJA e McLEAN (1975), estudando a vermiculita Libby, verificaram que a CTC dependente do pH foi igual a 8,6 meq/100 g ou 6,9% da CTC total. A CTC permanente foi igual a 115,6 meq/100 g.

KEAY e WILD (1961) observaram que um estudo completo da troca de cátions na vermiculita é dificultado pelo pequeno número de cátions que trocam de uma maneira simples. Entre os íons monovalentes, o K, o Rb, o Cs e o NH_4 ficam fixados, no sentido de que as trocas envolvendo-os não se completam ou não são estritamente reversíveis. Os íons Li e Ag provocam a embebição da vermiculita ao ponto de desintegração em solução aquosa e, sob certas condições, o Na comporta-se semelhantemente. Os íons trivalentes, como Al^{3+} e Fe^{3+} , persistem somente em soluções de baixo pH, nas quais não somente a taxa de liberação do íon saturante é afetada pela rápida troca com íons H_3O^+ , como também estes penetram a folha octaédrica causando, eventualmente, a destruição da vermiculita. Esses autores verificaram em um experimento com sete amostras de vermiculita, que a ordem da taxa de troca contra Na foi $\text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ca} > \text{Mg}$ e $\text{NH}_4 > \text{NMeH}_3 > \text{NMe}_2\text{H}_2 > \text{NMe}_3\text{H} > \text{NH}_3\text{C}_6\text{H}_5$. Para o segundo grupo de íons, a ordem da taxa de troca é o reverso do tamanho do íon e da energia de ativação. Para os alcalinos terrosos e outros íons metálicos, a ordem está relacionada à entropia de hidratação. A explicação mais plausível da ordem da taxa de troca na vermiculita ($\text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ca} > \text{Mg}$) é que os íons mais lentos difundem-se em uma forma mais hidratada do que os íons mais rápidos, embora a hidratação total do sistema permaneça a mesma.

PETERSON *et alii* (1965) verificaram que quando a porcentagem de saturação do Mg da solução do solo excedeu a 40, os íons Mg foram marcadamente preferidos pela vermiculita em relação aos íons Ca. Esta situação inverteu-se a baixas porcentagens de íons Mg na solução, isto é, alta relação Ca/Mg, onde os íons Ca foram preferidos aos íons Mg por um fator ao redor de 1,5.

2.2.2.2. Fixação de potássio e de amônio

A presença de vermiculita nos solos é importante porque ela fixa temporariamente o potássio, retardando a sua lixiviação e provendo um suprimento de potássio disponível. Entretanto, o potássio aplicado como fertilizante pode apresentar uma lenta disponibilidade em solos com alto teor de vermiculita, devido à fixação desse nutriente (ALEXIADES e JACKSON, 1965; LEE *et alii*, 1978). DENNIS e ELLIS Jr. (1962) observaram que, para um dado nível de potássio trocável, ocorreu mais fixação de potássio quando o cálcio era o íon complementar. LIETZKE *et alii* (1975) relatam que um solo com vermiculita de alta carga fixou cerca de 94% do potássio aplicado como fertilizante.

A fixação de potássio pela vermiculita é reduzida na presença de íons amônio. O efeito do íon amônio sobre as reações do potássio é devido, presumivelmente, à similaridade dos dois íons com relação a seu tamanho e reatividade química. Ambos os íons têm um diâmetro iônico ótimo para fixação dentro da grade da vermiculita (MORTLAND, 1961).

As vermiculitas naturais são capazes de fixar uma grande quantidade de amônio, que não é liberada pela lavagem com KCl N (ALLISON *et alii*, 1953). Estes pesquisadores verificaram, em amostras de vermiculita natural, que este amônio era disponível às bactérias nitrificadoras aproximadamente como o era nos sais de amônio; em uma outra amostra, entretanto, a disponibilidade foi somente de 11 a 16%. Verificaram, ainda, que a CTC não é um fator importante na determinação da taxa de liberação do amônio para a bactéria e que o tratamento com calor, que causa a esfoliação do mineral, reduz ou destrói seu poder de fixar íons amônio. De fato, BARSHAD (1954) também verificou que a redução no tamanho da partícula de vermiculita, seja por moagem ou por esfoliação, reduz a sua capacidade de fixar amônio. Isto é causado pela conversão de superfícies internas de uma partícula em superfícies externas e por um aumento nas arestas e fraturas, através das quais os cátions podem entrar ou deixar o interior das partículas. Assim, quanto menor a partícula e mais numerosas as portas de entrada para o seu interior, menor será a zona contraída das células unitárias e mais facilmente as reações de troca serão completadas, diminuindo a fixação.

SCHWERTMANN (1966), estudando duas vermiculitas macroscópicas e quatro solos contendo vermiculita, também verificou a fixação de amônio por este mineral. Ele observou que uma das vermiculitas liberou, por nitrificação, considerável quantidade do amônio fixado, durante um período de incubação de três semanas. Em suas pesquisas, RICH (1961) observou que o preenchimento parcial dos espaços interlaminares da vermiculita com grupos hidroxil-Al influenciaram a fixação de amônio pelo solo. Estes grupos reduziram a colapsibilidade da estrutura da vermiculita e reduziram a fixação no que diz respeito aos horizontes superficiais, mas permitiram uma penetração mais profunda do amônio no solo, promovendo assim a fixação pelos horizontes mais profundos que continham vermiculita com uma maior capacidade de fixação. MATSUI e TOTANI (1963) também observaram que a fixação de amônio é comumente bloqueada pelo alumínio interlaminar, mas verificaram que um tratamento adequado para removê-lo aumenta a fixação de amônio de 10 a 30 vezes.

2.2.2.3. Fixação de fosfato

MITRA e PRAKASH (1955a) observaram que a vermiculita estudada por eles possuía uma alta habilidade para fixar fosfato e atribuíram isto ao seu alto conteúdo de cálcio trocável. Em um outro trabalho, MITRA e PRAKASH (1955b) verificaram que a fixação pela vermiculita do fósforo adicionado como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ variou de 32 a 47%. O mais alto pH do líquido sobrenadante, nos testes de adsorção, em relação ao da solução original, sugeriu a liberação de íons OH^- no meio, provenientes dos íons OH^- adsorvidos na grade cristalina do mineral. Isto e a precipitação pelo ferro e/ou alumínio presentes no sistema, parece serem os responsáveis pela fixação do fósforo. RAMULU (1967) observou, entretanto, que o ferro preso entre as lâminas da vermiculita não é disponível para a fixação do fósforo.

HALL e BAKER (1971), estudando a fixação de fósforo pelo mineral de argila vermiculita, verificaram que este mineral fixou menos fósforo à medida que aumentou o pH. Foi detectada a presença de polímeros estáveis de alumínio dentro dos espaços interlaminares. Em solos con-

tendo argilas que reajam como a vermiculita deste experimento, adições de calcário antes da adição de fósforo reduzirão a reatividade do alumínio a través da formação de polímeros interlaminares estáveis de alumínio, que reduzem efetivamente a superfície específica do alumínio reativo e os sí tios de adsorção de fósforo.

2.2.3. Propriedades físicas

A vermiculita expandida possui uma superfície específica de 4 a 10 m² por grama, um volume estimado de poros de 1,5 cm³ por grama e um tamanho de poro de 0,30 a 0,75 micra. Estes grandes volume e tamanho de poros dão à vermiculita expandida uma considerável capacidade absorvente (CASTOLL, 1963). Segundo RUNKLES *et alii* (1958), a vermiculita expandida retém grandes quantidades de água e ainda permanece porosa para o livre movimento de gases. Devido à sua maciez, dureza 1,5 na escala Mohs, e aos seus poros, ela é também altamente compressível (CASTOLL, 1963). Quando ela está presente no solo pode ocasionar grandes mudanças no volume, plas ticidade e porosidade do solo, devido à sua propriedade em sofrer expan são volumétrica a altos conteúdos de água (FARMER, 1978).

2.2.4. Como condicionador de solo

A utilização da vermiculita expandida como um condicionador de solo visa melhorar as propriedades químicas do solo, pelo aumento da sua CTC e pelo fornecimento de nutrientes, e as propriedades físicas, principalmente aumentando a sua capacidade de retenção de água.

KORABLEVA (1965), em experimento em vasos, realizado na Rússia, observou que a aplicação de altas doses de vermiculita aumentou o pH e o conteúdo de magnésio e potássio trocáveis e diminuiu a acidez e o alumínio trocáveis de um solo podzólico ácido. Observou ainda que a vermiculita restaurou completamente a fertilidade de um solo podzólico barro arenoso fortemente ácido, cuja fertilidade original tinha sido perdida de vido à prolongada aplicação de fertilizantes fisiologicamente ácidos. A

liberação gradual do magnésio trocável da vermiculita na solução do solo fez com que a ação da vermiculita fosse de longa duração. O efeito residual da vermiculita um ano após a sua aplicação foi maior do que o seu efeito no ano da aplicação. O aumento do pH e do conteúdo de magnésio e potássio, pela adição de vermiculita ao solo, também foi observado por DUNHAM (1967) em um solo cultivado com crisântemo. Além disto, houve um aumento no teor de cálcio e uma diminuição no de fósforo. Por outro lado, a análise das plantas indicou que a vermiculita provocou um aumento no teor de potássio e diminuiu os de magnésio e manganês. Não foram verificadas diferenças nos teores de cobre, boro e ferro. SANTOS *et alii* (1982) também relatam aumentos no pH e nos teores de magnésio, potássio e cálcio de solos cultivados com arroz, feijoeiro, milho, cenoura e alface, aos quais foi adicionado vermiculita. Estes autores, porém, discordando de DUNHAM (1967), citam que houve um aumento no teor de fósforo destes solos. FREITAS Jr. (1982), em experimento realizado com feijoeiro, observou um aumento no teor de magnésio trocável do solo e uma tendência em diminuir a absorção de manganês pelas plantas, devido à adição de vermiculita ao solo. Em desacordo com o observado por DUNHAM (1967), a vermiculita aumentou a absorção de cobre e ferro.

O aumento no teor de certos nutrientes no solo, pela adição de vermiculita, pode ser devido ao seu fornecimento pela vermiculita e/ou maior retenção dos mesmos (AQUINO *et alii*, 1981). Com respeito à última consideração, BUNT (1974) verificou que a adição de vermiculita a um substrato composto de areia e turfa evitou a perda por lixiviação de nitrogênio, fósforo e potássio.

Com relação aos efeitos físicos da adição de vermiculita ao solo, SALATI *et alii* (1980) verificaram que os efeitos da adição de vermiculita sobre a retenção de água pelo solo dependem da origem da vermiculita e da sua granulometria, sendo porém, em todos os casos, o aumento da retenção, linear à concentração (em porcentagem do peso) de vermiculita no solo. Verificaram ainda que a taxa de evapotranspiração do milho não foi afetada pela adição de vermiculita, mas como a retenção de água foi ampliada, os intervalos de irrigação puderam ser aumentados significativamente. A diminuição na frequência de irrigação pela adição de vermi-

culita ao solo também foi verificada por FREITAS Jr. (1982) em experimento com feijoeiro. DUNHAM (1967) também observou um aumento na capacidade de retenção de água pelo solo com a adição de vermiculita. Foi observada ainda uma redução na densidade global. SMALLEY *et alii* (1962), estudando os efeitos da adição de vermiculita a um solo arenoso, nas dosagens de 10 e 20% à base de volume, no crescimento e qualidade da grama Tifgreen, observaram que houve pouca vantagem no uso de mais de 10% de vermiculita. A vermiculita aumentou o espaço poroso total, mas diminuiu a porcentagem de macroporos. Causou também considerável redução na permeabilidade. Estas reduções, entretanto, foram benéficas para o rendimento e qualidade da grama, indicando que em solos com alta porcentagem de macroporos, tais como areias e areias barrentas, a mistura de materiais como a vermiculita, que reduzem os macroporos e a permeabilidade, é benéfica.

Aumentos na produtividade de várias culturas, tais como arroz, feijoeiro, milho, cenoura e alface, pela adição de vermiculita ao solo, foram relatados por AQUINO *et alii* (1981) e SANTOS *et alii* (1982). Porém, estes últimos autores ressaltam que os efeitos favoráveis da utilização da vermiculita somente se verificaram em condições ótimas de umidade do solo e com aplicação de elevadas dosagens. Parece que os efeitos favoráveis da vermiculita são devidos mais à melhoria nas condições químicas do solo do que nas físicas, pois estes mesmos autores relatam que, em condições de campo, a vermiculita não alterou significativamente a retenção de água pelo solo. Entretanto, AQUINO *et alii* (1981) sugerem que com a utilização de vermiculita é possível reduzir os níveis de adubação química de manutenção em cultivos sucessivos, e de correção dos solos, graças à retenção de nutrientes provocada pelo produto e relatam que há indicações de que a vermiculita pode ter influência positiva na retenção de água durante curtos períodos de deficiência hídrica (até 3 dias). Assim, os resultados finais de produção seriam devidos ao somatório dos efeitos da vermiculita sobre a nutrição e sobre a retenção de água durante curtos veranicos.

2.3. Nitrogênio

O nitrogênio é comumente o quarto elemento mais abundante nas plantas, depois do carbono, oxigênio e hidrogênio (EPSTEIN, 1975). Ele e o potássio são os macronutrientes absorvidos em maior quantidade pela planta de arroz (MALAVOLTA, 1981; MEDEIROS, 1980; SIMS e PLACE, 1968).

Embora seja o elemento mais abundante na atmosfera, 78% em volume ou cerca de 90000 t/ha de superfície, é frequentemente o que mais limita a produção de culturas de clima temperado e tropical, pelo fato de na forma gasosa, não ser disponível para as plantas, com exceção de algumas leguminosas associadas a certos microorganismos (EPSTEIN, 1975; SANCHEZ, 1976). A fixação do nitrogênio pelo arroz, embora muito baixa, foi verificada por YOSHIDA e ANCAJAS (1973).

MALAVOLTA (1981) considera o nitrogênio o elemento mais capaz de aumentar a produção do arroz, sendo o fósforo e o potássio considerados como nutrientes que estabilizam a produção em altos níveis. FAGERIA e WILCOX (1977) consideram que o nitrogênio e o fósforo são os dois nutrientes mais importantes para o crescimento do arroz no Cerrado. Para YOSHIDA (1975), o estresse hídrico é o fator primário limitante do crescimento e da produção de arroz sob condições de sequeiro. Se for mantido um nível adequado de umidade no solo, então o nitrogênio tende a ser o maior fator limitante do rendimento.

O nitrogênio promove um melhor desenvolvimento geral da planta de arroz. Aumenta a produção de palha e, assim como o fósforo, o número de panículas por planta. Uma grande parte do nitrogênio absorvido desempenha papel importante na formação dos órgãos reprodutivos e dos grãos (BRANDÃO, 1974). MALAVOLTA (1981) afirma que o nitrogênio estimula o crescimento do sistema radicular do arroz, tem um efeito muito forte no perfilhamento, aumenta o número de espiguetas por panículas, bem como a porcentagem de proteína nos grãos. Contudo, a resposta do arroz ao nitrogênio varia grandemente com o tipo de planta, clima, manejo de água e propriedades do solo (FAGERIA e WILCOX, 1977).

2.3.1. Absorção, teores e redistribuição na planta de arroz

O nitrogênio é absorvido mais ativamente pela planta de arroz, do início da fase vegetativa até a floração. O elemento aplicado e acumulado neste período poderá ser utilizado em parte para o crescimento posterior, se o fornecimento não for mantido (MALAVOLTA, 1981). ISHIZUKA (1965) também afirma que o nitrogênio é absorvido rapidamente nos estágios iniciais do crescimento e decresce para uma baixa taxa após a floração do arroz. Aproximadamente 70% do nitrogênio total presente na planta de arroz, por ocasião da colheita, é absorvido até o emborrachamento (REYES *et alii*, 1962). No estágio da formação dos grãos, a planta já absorveu mais de 75% do nitrogênio de que necessita (MALAVOLTA, 1981).

Diversos trabalhos têm relacionado a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta de arroz com a produção de grãos. Ajustando os dados destes trabalhos para uma produção de 1 t/ha, para fins de comparação, tem-se que no Vietnã foram retirados do solo 15 a 28 kg de nitrogênio (INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE, 1955); nas Filipinas, a quantidade retirada foi igual a 32,5 kg (REYES *et alii*, 1962); em Taiwan, CHIU *et alii* (1963) observaram que as quantidades absorvidas por dois cultivos sucessivos foram iguais a 18,7 kg para o primeiro cultivo e 24,4 kg para o segundo; SIMS e PLACE (1968), nos Estados Unidos, encontraram a quantidade de 36,8 kg.

No Brasil, GARGANTINI e BLANCO (1965) verificaram que a cultivar Dourado-agulha absorveu 26,7 kg; FURLANI *et alii* (1977) encontraram a quantidade de 25,8 kg como um valor médio para as três cultivares de arroz estudadas por eles; já MEDEIROS (1980), trabalhando com solução nutritiva, encontrou valores bem mais altos, 90,3 kg para a cultivar IAC 47 e 155,6 kg para a cultivar IAC 435; SILVA *et alii* (1981), também trabalhando com solução nutritiva, encontraram os valores de 42,5 kg para a cultivar IAC 47 e 63,2 para a IAC 25. Para extrapolar seus dados da solução nutritiva para o campo, estes autores consideraram uma população de 250000 plantas/ha.

Uma vez absorvido, o nitrogênio transloca-se por todas as partes da planta. Por ocasião da maturação, a sua concentração é geral-

mente maior no grão (FURLANI *et alii*, 1977; GARGANTINI e BLANCO, 1965), entretanto, MEDEIROS (1980) verificou maior concentração na folha.

CHIU *et alii* (1963) observaram teores de nitrogênio no grão de arroz, por ocasião da maturação, iguais a 1,16% e 1,28%, em dois cultivos sucessivos. Os teores na palha foram iguais a 0,75% e 0,91%. GARGANTINI e BLANCO (1965) encontraram os teores de 0,79% nas raízes, 0,47% na parte aérea e 1,29% nos grãos. Analisando a composição química inorgânica de três cultivares de arroz, FURLANI *et alii* (1977) verificaram que a concentração média de nitrogênio variou de 0,72 a 0,82% nas folhas, de 0,62 a 0,69% nos colmos, de 1,3 a 1,6% nos grãos descascados e de 0,67 a 0,78% na casca. MEDEIROS (1980) encontrou, para a cultivar IAC 47, os seguintes teores: 1,30% nas raízes, 1,65% nos colmos e panículas, 2,26% nas folhas e 1,75% nos grãos com casca. Para a mesma cultivar, SILVA *et alii* (1981) encontraram os teores de 1,27% nas raízes, 1,24% nos colmos, 1,89% nas folhas, 1,30% nos râquis e 1,90% nos grãos.

Vários pesquisadores têm relacionado os componentes da produção com o conteúdo de nitrogênio na planta de arroz. Citados por MATSUSHIMA (1965), Kamura (1957) observou que o número de perfilhos, de espiguetas nas panículas e o peso de 1000 grãos são diretamente relacionados com o conteúdo de nitrogênio nas folhas; Takahashi *et alii* (1958), entretanto, consideraram mais importante para o perfilhamento o conteúdo de nitrogênio nos colmos do que nas folhas; Oshima (1962) também verificou que a emergência dos perfilhos estava mais associada ao conteúdo de nitrogênio no colmo do que em qualquer outra parte da planta; Kiuchi e Ishizaka (1960) observaram que o conteúdo de nitrogênio na planta influiu no número de espiguetas da panícula e no peso dos grãos.

Depois da formação da panícula, grande parte do nitrogênio e de outros elementos e carboidratos são transportados para o grão que se desenvolve, o qual, no fim do ciclo, contém cerca de 66% do nitrogênio total da parte aérea (MALAVOLTA, 1981). Para ANGLADETTE (1969), por ocasião da colheita, 73 a 75% do nitrogênio total da planta de arroz estão nos grãos. Já REYES *et alii* (1962) e REDDY e PATRICK Jr. (1978) observaram que este valor foi igual a 60% nos seus experimentos. MOORE Jr. *et alii* (1981) verificaram que, na colheita, 23% do nitrogênio total absorvi

do pelo arroz estava nas folhas, 28% nas partes mortas (sem coloração verde) e 49% nos colmos e panículas.

CHIU *et alii* (1963) observaram, em dois cultivos sucessivos de arroz, que a exportação do nitrogênio da palha para o grão foi igual a 63% no primeiro cultivo e 50% no segundo. A exportação foi calculada como a razão entre a quantidade de nitrogênio nos grãos e a quantidade total absorvida, expressa em porcentagem. Fazendo este cálculo para os dados de GARGANTINI e BLANCO (1965) e FURLANI *et alii* (1977), e para os dados da cultivar IAC 47 de MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981), observa-se que as exportações de nitrogênio para os grãos foram, respectivamente, 16%, 55%, 20% e 45,6%.

2.3.2. Eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pelo arroz

As cultivares de arroz, comumente utilizam apenas 30 a 40% do fertilizante nitrogenado aplicado (MITSUI, 1956). A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pela cultura de arroz, na Coréia, está estimada na faixa de 30 a 35% (PARK e SHIN, 1973). BROADBENT e TUSNEEM (1971) relatam uma absorção de 56 a 65% do fertilizante nitrogenado aplicado na cultura do arroz. Para PATRICK Jr. e REDDY (1976), este valor variou de 49 a 62% e foi igual a 55% para MOORE Jr. *et alii* (1981). CRASWELL e VLEK (1979a) observaram perdas de 30 a 50% quando o nitrogênio foi aplicado como uréia e de 6 a 14% quando foi aplicado como sulfato de amônio. VLEK *et alii* (1979) relatam que a eficiência do fertilizante nitrogenado numa cultura de arroz variou de 31 a 64%. O aumento na eficiência, entretanto, não levou necessariamente a mais altos rendimentos de grão. Segundo REDDY e PATRICK Jr. (1976), no início do ciclo, a planta de arroz utiliza mais o nitrogênio do fertilizante e no fim do ciclo absorve mais o nitrogênio do solo.

A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado é afetada pelo tipo de planta. TSUNODA (1965) concluiu que as cultivares de folhas eretas utilizam mais eficientemente o fertilizante nitrogenado do que as de folhas decumbentes.

As perdas de nitrogênio através da volatilização, denitrificação, lixiviação e deflúvio superficial parecem ser a causa principal da baixa eficiência de utilização do adubo nitrogenado pelo arroz (CRASWELL e VLEK, 1979b; PARK e SHIN, 1973), embora mais de 25% do fertilizante nitrogenado pode se tornar indisponível às plantas por imobilização biológica no solo (CRASWELL e VLEK, 1979b). Esta também é a opinião de SHIGA (1975), que atribui à nitrificação ativa e à imobilização do fertilizante nitrogenado, o uso ineficiente do nitrogênio pelo arroz, em condições de sequeiro. O arroz pode também perder nitrogênio pelas folhas. SILVA e STUTTE (1981) verificaram que o arroz perdeu de 14 a 15 kg/ha de nitrogênio pelas folhas, durante um período de 100 dias. O nitrogênio é perdido na forma volátil, junto com os vapores da água de transpiração.

O uso ineficiente do fertilizante nitrogenado resulta em perda econômica para o agricultor e num potencial para poluição da água subterrânea.

2.3.3. Efeitos da deficiência hídrica na dinâmica do nitrogênio

De acordo com YOSHIDA (1975), a concentração de todos os nutrientes essenciais na planta de arroz é mais baixa sob condições de sequeiro do que em cultivo irrigado. De fato, DE DATTA *et alii* (1975) e ENYI (1968) observaram que a concentração de nitrogênio na planta de arroz, por ocasião da colheita, diminuiu com o decréscimo da umidade do solo. Já SINGH e SASAHARA (1981) verificaram que a acumulação de nitrogênio por unidade de área foliar não foi afetada em plantas de arroz submetidas à estresse hídrico. Por outro lado, HALM (1967) observou que o teor de nitrogênio aumentou à medida que diminuiu o conteúdo de água do solo, embora a diferença não tenha sido significativa. RAMAKRISHNAYYA e BHATTACHARJEE (1973) também verificaram, em ensaio com vasos, que a seca aumentou o conteúdo de nitrogênio das plantas de arroz, especialmente nos estágios iniciais do estresse. Sob uma seca de longa duração, o conteúdo de nitrogênio diminuiu em plantas susceptíveis à seca.

HALM (1967) relata que a quantidade total de nitrogênio absorvida pela planta de arroz diminuiu à medida que o conteúdo de água do

- solo foi reduzido, embora não tenha havido diferença significativa entre os tratamentos. REHATTA *et alii* (1979) também observou que a seca diminuiu a absorção de nitrogênio pelo arroz.

Em um experimento conduzido no International Rice Research Institute, SHIGA (1975) relata que plantas de arroz cultivadas em solo inundado absorveram 51,7% do fertilizante nitrogenado aplicado; 41,9% foram para as panículas e 9,8% permaneceram na palha. Em condições de sequeiro, as plantas absorveram somente 26%, ficando metade nas panículas e metade na palha. Houve também uma menor perda do fertilizante no solo inundado. Por ocasião da colheita, foram recuperados, das plantas e do solo, 72% do nitrogênio aplicado. Em condições de sequeiro, foram recuperados apenas 62%. A quantidade de fertilizante imobilizado no solo foi igual a 20%, em condições inundadas, e 36%, em sequeiro. A razão nitrogênio do fertilizante para nitrogênio do solo, nas plantas de arroz, foi mais alta em condições de sequeiro do que em condições inundadas. Este autor afirma que, num outro experimento, foi observado que a concentração de nitrogênio na palha e nos grãos de arroz, por ocasião da colheita, aumentou com o incremento da tensão de água no solo. Entretanto, não houve diferença no total de nitrogênio absorvido pelas plantas de arroz nas diferentes tensões consideradas. Com o aumento da tensão, aumentou a quantidade de nitrogênio na palha e diminuiu a dos grãos. Este decréscimo do conteúdo de nitrogênio no grão foi atribuído a um problema fisiológico de transformação de nitrogênio na planta de arroz. A tensão de água no solo afetou o movimento do nitrogênio das folhas para as panículas durante o estágio reprodutivo, mas não a absorção de nitrogênio do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

A presente pesquisa foi conduzida em vasos, em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado no município de Piracicaba, SP.

A variação das temperaturas máximas e mínimas, fora e dentro da casa de vegetação, durante o período de condução dos experimentos, pode ser vista na Figura 1. As temperaturas fora da casa de vegetação foram as observadas no Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", cujas coordenadas geográficas são $22^{\circ}42'30''$ de latitude sul e $47^{\circ}38'00''$ de longitude oeste. A altitude é de 580m acima do nível do mar. Observa-se que tanto as temperaturas máximas como as mínimas foram sempre mais elevadas dentro da casa-de-vegetação do que fora.

3.2. Solo

3.2.1. Classificação

Foi utilizado no experimento amostras da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro, do município de Goiânia, GO. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm.

FIGURA 1 - Variação das temperaturas máximas e mínimas e fora (Posto Agrometeorológico) e dentro da casa de vegetação, durante o período de condução dos experimentos.

Pelo sistema americano de classificação (USDA, 1975), esse solo está dentro da ordem dos Oxisols, sendo, mais precisamente, um Ha-plustox. É, pois, um solo profundamente intemperizado, com um horizonte de sub-superfície óxico, caracterizando-se pela presença de óxidos hidratados de ferro e alumínio e por ser a caulinita o mineral de argila predominante na fração argila isenta de óxidos de ferro livres (VIEIRA, 1975).

O Latossolo Vermelho-Escuro representa cerca de 11% da área do Cerrado brasileiro, abrangendo 17,9 milhões de hectares (EMBRAPA, 1976).

3.2.2. Caracterização física

A composição granulométrica do solo foi determinada pelo método da pipeta, descrito por KILMER e ALEXANDER (1949). A distribuição por tamanho de partículas e a classificação textural foram feitas de acordo com o sistema do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte (BUCKMAN e BRADY, 1974). A densidade global do solo nos vasos foi determinada pela divisão do peso do solo (5 kg) pelo volume por ele ocupado. O volume foi calculado marcando-se a altura do solo no vaso e medindo-se o volume de água gasto para atingi-la. Foram feitas dez repetições. Esses resultados são apresentados na Tabela 1.

Na Figura 2 pode ser vista a curva de retenção de água do solo, feita de forma clássica, como sugere RICHARDS (1965).

3.2.3. Caracterização química

Foram determinadas algumas características químicas do solo, antes da semeadura, para se determinar necessidades nutricionais ou corretivas para o estabelecimento da cultura.

A reação do solo (pH) foi determinada potenciométricamente em suspensão (1:2,5) de solo com água; o carbono orgânico, pelo método de Walkley e Black, como descrito por JACKSON (1976); a matéria orgânica, pela multiplicação do teor de carbono orgânico pelo fator 1,724, como su-

TABELA 1 - Resultados das análises de algumas características físicas do solo utilizado nos experimentos.

Prof. (cm)	Análise Granulométrica (%)			Classe Textural	Densidade Global (g . cm ⁻³)
	Areia	Silte	Argila		
0 - 20	46	22	32	barro argilo-arenoso	1,176

FIGURA 2 - Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Escuro (LE), sem e com adição de vermiculita (10% em volume).

gerido por EMBRAPA (1979); o nitrogênio total, pelo método semi-micro-Kjeldahl, descrito por BREMNER (1965a); o fósforo solúvel, pelo método fotolorimétrico após extração com H_2SO_4 0,05N; o potássio e o sódio trocáveis por fotometria de chama, após extração com H_2SO_4 0,05N, no caso do potássio, e com HCl 0,05N, no caso do sódio; o cálcio e o magnésio trocáveis, por espectrometria de absorção atômica, após extração com KCl 1N; o alumínio trocável por titulação com uma solução de NaOH 0,02N, após extração com KCl 1N, e o hidrogênio titulável, por titulação com NaOH 0,02N, após extração com acetato de cálcio 1N ajustado a pH 7,0. A capacidade de troca catiônica (CTC) ao pH 7,0 resultou da soma dos cátions trocáveis analisados com o hidrogênio titulável. Detalhes da metodologia das análises são descritos em EMBRAPA (1979).

Os resultados destas análises são apresentados na Tabela 2. Interpretando estes resultados, de acordo com CATANI e JACINTHO (1974), observa-se que o solo apresenta reação medianamente ácida, teores altos de hidrogênio titulável e carbono orgânico, teores médios de potássio, cálcio e magnésio trocáveis e teores baixos de fósforo solúvel e alumínio trocável.

3.3. Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos no delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial $2 \times 3 \times 4$, no primeiro experimento, e 2×3 no segundo, com quatro repetições em ambos. Os tratamentos do primeiro experimento 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 13 e IET 1444, e com quatro lâminas d'água, correspondentes a 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração máxima (ET_m), aplicadas diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita.

No segundo experimento, os tratamentos consistiram da combinação dos mesmos dois tratamentos de vermiculita com três durações de veranico: 0, 4 e 8 dias. Os veranicos foram simulados pela supressão da

irrigação, no início da emissão das panículas, durante o período considerado. A cultivar utilizada foi a IAC 47. Os tratamentos comuns a ambos os experimentos não foram repetidos neste experimento. Assim, considerou-se como tratamentos sem veranico os tratamentos com a cultivar IAC 47 irrigados com a lâmina d'água correspondente a 100% da ET_m, do primeiro experimento.

A unidade experimental foi constituída de um vaso plástico com o fundo fechado, capacidade de 8 litros, com 5 kg de solo e com três plantas de arroz.

3.4. Vermiculita

Foi utilizada nos experimentos a vermiculita EUCATEX, tipo Superfina, com densidade global igual a $0,131 \text{ g.cm}^{-3}$ e com granulometria 100% em peneira de 2 mm. A curva de retenção de água do solo mais 10% em volume de vermiculita pode ser vista na Figura 2.

A análise química da vermiculita é apresentada na Tabela 3. Os resultados mostram que a vermiculita apresenta altos teores de cálcio, magnésio e potássio, alta CTC e alta porcentagem de saturação de bases.

3.5. Cultivares

A cultivar IAC 47 foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, a partir do cruzamento artificial entre a cultivar IAC 1246 e a linhagem 587391, cuja finalidade foi incorporar maior resistência à mancha estreita (*Cercospora oryzae*). É de ciclo médio (130-135 dias), porte médio (115-120 cm), baixo perfilhamento e grão do tipo longo. É uma cultivar típica de arroz de sequeiro (BANZATTO *et alii*, 1978).

A cultivar IRAT 13 é um mutante da cultivar 63-83, selecionada na Costa do Marfim, no Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (IRAT), após tratamento mutagênico na França em 1971. Possui ciclo e porte médios, médio perfilhamento e grão do

TABELA 3 - Resultados das análises¹ de algumas características químicas da vermiculita EUCATEX Superfina utilizada nos experimentos.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC	V (%)	Mn (ppm)
meq/100 g							
20,8	56,7	0,54	0,06	1,25	79,4	98,4	2,5

(1) As análises foram feitas no laboratório da Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA/USP.

tipo longo. É uma cultivar tradicional de arroz de sequeiro. REYNIERS e JACQUOT (1978), comparando esta cultivar com outras 39 em Bonaké, Costa do Marfim, observaram que ela foi mais resistente à seca.

A cultivar IET 1444 foi desenvolvida na Índia, a partir do cruzamento das cultivares TN1 e CO 29. Possui um ciclo médio, um porte baixo (63-69 cm), um alto perfilhamento e grão do tipo curto. É uma cultivar típica de arroz irrigado por submersão.

As informações sobre as últimas duas cultivares foram fornecidas pelo responsável pelo Banco Ativo de Germoplasma do CNPAF.

3.6. Evapotranspiração máxima (ET_m)

As lâminas d'água aplicadas no primeiro experimento foram baseadas na evapotranspiração máxima. A ET_m é definida pela FAO como a perda d'água por uma cultura qualquer em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento (VILLA NOVA *et alii*, 1980). Considerou-se, na presente pesquisa, o valor de -0,3 atm como o limite inferior do potencial matricial do solo, para que as plantas não sofressem restrição de água. Portanto, na lâmina d'água correspondente à ET_m, o potencial matricial variou de -0,1 atm (capacidade de campo), conforme recomenda WOLF (1975) para Oxisols, a -0,3 atm. O limite de -0,3 atm é um bom valor, já que STONE *et alii* (1980), neste mesmo tipo de solo e com a cultura de arroz, verificaram que quando a tensão de água no solo atingiu 0,75 atm, as plantas ainda não haviam sofrido estresse hídrico e, segundo LOPES (1977), neste tipo de solo as plantas apresentam sintomas de deficiência hídrica a tensões maiores que 1 atm.

Na presente pesquisa, a ET_m, em mm.dia⁻¹, foi determinada pela fórmula:

$$ET_m = E \times K \dots\dots\dots (1)$$

onde E é a evaporação da superfície livre de água, em mm.dia⁻¹, e K é um

fator que varia ao longo do ciclo da cultura.

A determinação de E foi feita através do sistema de Mariotte esquematizado na Figura 3. Este sistema consistiu basicamente de um vaso plástico, igual aos usados nos experimentos, com uma altura de água equivalente a do solo nos vasos, conectado por um tubo de borracha flexível a um tubo de vidro graduado cheio de água, fechado na sua extremidade superior por uma presilha e com uma abertura na extremidade inferior situada no mesmo nível da água no vaso. Quando a água do vaso evapora, entra uma bolha de ar no tubo de vidro, pela abertura situada na extremidade inferior, forçando a água do tubo a entrar no vaso. Desta maneira, o nível da água permanece constante no vaso e desce no tubo de vidro. Pela diferença entre o nível inicial da água no tubo e o nível final após certo tempo, tem-se o volume de água evaporado no período considerado. Dividindo-se este volume pela área da superfície livre de água no vaso, que era igual a $283,5 \text{ cm}^2$, obtêm-se a evaporação em mm.

Os valores de K foram determinados ao longo do experimento para converter o valor de E para ETm. No início do experimento, o volume de água repostado diariamente correspondia ao gasto por E, verificando-se por amostragem gravimétrica da umidade do solo de vasos extra-experimento que este volume levava novamente o potencial matricial da água do solo a $-0,1 \text{ atm}$. O valor de K era, portanto, igual a 1. Esta amostragem foi feita semanalmente, ajustando-se o valor de K, quando necessário, para que, após cada irrigação com o volume de água correspondente a $E \times K$, ou seja, ETm, o solo volta-se para o potencial matricial de $-0,1 \text{ atm}$. Desta maneira, os valores de K foram iguais a 1, até 34 dias após a semeadura (DAS), 2 de 35 a 50 DAS, 3 de 51 a 62 DAS, 4 de 63 a 126 DAS e 3 de 127 DAS até a colheita.

Na Figura 4 podem ser vistas as quantidades de água perdidas pela evaporação da superfície livre de água e pela evapotranspiração máxima, durante o período de condução dos experimentos.

- a - suporte metálico
- b - presilha
- c - tubo de vidro graduado
- d - tubo de borracha flexível
- e - vaso plástico
- f - abertura para a atmosfera
- g - nível da água

FIGURA 3 - Esquema do sistema de Mariotte utilizado para medir a evaporação da superfície livre de água.

FIGURA 4 - Evaporação da superfície livre de água (E) e evapotranspiração máxima (ETm) acumuladas durante o período de condução do experimento.

3.7. Práticas culturais

3.7.1. Semeadura

A semeadura foi feita no dia 09/10/1981, colocando-se dez sementes por vaso. Uma semana após a germinação, procedeu-se ao desbaste, deixando-se três plantas por vaso. As sementes foram provenientes do Banco Ativo de Germoplasma do CNPAF, onde as cultivares IAC 47, IRAT 13 e IET 1444 estão registradas sob os números CNA 2095, CNA 3375 e CNA 1391, respectivamente.

3.7.2. Adubação

Pelos resultados da análise química do solo (Tabela 2), observou-se que o solo era deficiente em fósforo e apresentava um teor médio de potássio, mas como a vermiculita fixa este elemento (ALEXIADES e JACKSON, 1965; LEE *et alii*, 1978; LIETZKE *et alii*, 1975), poderia também haver problema de deficiência de potássio para a cultura. Por outro lado, em se tratando da cultura de arroz, é recomendada a aplicação de nitrogênio e zinco (COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DE SOLOS, 1977). Portanto, a adubação dos vasos foi feita com 100 ppm de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, 150 ppm de fósforo, na forma de superfosfato simples, 150 ppm de potássio, na forma de sulfato de potássio e 5 ppm de zinco, na forma de sulfato de zinco. O adubo nitrogenado aplicado estava enriquecido com ^{15}N ($2,707 \pm 0,01\%$ de átomos de ^{15}N).

O superfosfato simples foi moído e peneirado em malha de 2 mm. O material assim obtido foi espalhado sobre o solo e misturado a ele manualmente. Os demais adubos foram dissolvidos em 2240 ml de água e colocou-se 20 ml da solução em cada vaso.

3.7.3. Adição de vermiculita

O volume ocupado pelo solo nos vasos foi igual a 4252 cm^3 . Portanto, 10% em volume corresponderam a $425,2 \text{ cm}^3$ de vermiculita. Esse volume foi transformado em peso pela multiplicação pela densidade global da vermiculita, resultando em 55,7 g por vaso. Essa quantidade foi espa-

lhada sobre o solo e misturada a ele manualmente.

3.7.4. Irrigação

A primeira irrigação foi feita para elevar a umidade inicial do solo (4,21% à base de peso) até o valor correspondente a -0,1 atm. Como esse valor é maior no solo com 10% de vermiculita (29,97%) do que no solo sem vermiculita (27,76%), o que pode ser visto na Figura 2, foi adicionada mais água aos solos com vermiculita. As quantidades adicionadas foram 45,4 e 41,5 mm, nos vasos com e sem vermiculita, respectivamente. Após esta primeira irrigação, os vasos foram irrigados diariamente com água destilada. No primeiro experimento, a quantidade de água adicionada durante a fase vegetativa correspondeu à perda pela ETm. Do início da fase reprodutiva até a colheita, as lâminas d'água corresponderam a porcentagens de ETm, de acordo com os tratamentos. No segundo experimento, antes dos tratamentos de veranico, a quantidade de água aplicada correspondeu à perda pela ETm. Após os tratamentos de veranico, aplicou-se uma quantidade de água suficiente para deixar o solo na capacidade de campo e depois continuou-se aplicando a quantidade de água perdida pela ETm.

Em dias de demanda evaporativa muito alta, foram feitas 2 irrigações por dia, para evitar que no tratamento onde a lâmina d'água correspondia a 100% de ETm, o potencial matricial da água do solo descesse abaixo de -0,3 atm. Isto era controlado pela curva de retenção de água no solo e pelo valor de ETm. Pela curva sabia-se a quantidade de água que deveria ser perdida para que o potencial matricial descesse de -0,1 para -0,3 atm, aproximadamente 14 mm. Pela ETm sabia-se a quantidade de água perdida; quando esse valor atingia 14 mm, procedia-se a irrigação.

3.7.5. Colheita

A colheita foi realizada quando 2/3 das panículas do vaso estavam maduras (EMBRAPA, 1977). Devido às diferentes lâminas d'água aplicadas no primeiro experimento, às diferentes durações de veranicos no segundo experimento, que interferiram no ciclo das cultivares e, também

devido à diferença entre cultivares com relação à duração do ciclo, a colheita processou-se por etapas, sendo os últimos vasos colhidos no dia 20 de março de 1982.

3.8. Análise do material vegetal

3.8.1. Preparação das amostras

Após a colheita, todas as plantas de cada vaso foram separadas em raízes, colmos, folhas, ráquis, grãos vazios e grãos cheios. As raízes foram separadas do solo por peneiramento deste em peneira de malha de 2 mm e depois lavadas em água corrente. Os grãos cheios e vazios foram contados e depois todo o material foi colocado em sacos de papel e secado em estufa a 60°C até peso constante (48 horas). Após, foram pesados e moídos em moinho Wiley, até passarem por peneira 60 (malha de diâmetro igual a 0,25 mm).

Nas amostras assim tratadas, foram feitas as análises de nitrogênio total e da composição isotópica do nitrogênio.

3.8.2. Análise do nitrogênio total.

As análises foram feitas pelo método semi-micro-Kjeldahl, com digestão de 100 mg do material com solução digestora de ácido sulfúrico e posterior destilação e titulação com soda (NaOH). O resultado da análise foi expresso em porcentagem de nitrogênio total.

3.8.3. Determinação da razão isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

A análise da composição isotópica do nitrogênio contido nas amostras foi efetuada no laboratório de espectrometria de massa do CENA/USP, tendo sido utilizado o espectrômetro de massa Atlas-Variant, modelo CH-4. Para isso, as amostras foram processadas de acordo com o método de Dumas modificado (PROKSCH, 1969), para produzir o N_2 .

Os resultados da composição isotópica do N_2 foram obtidos em um diagrama de picos, correspondentes às correntes de íons de número de massa 28, 29 e 30:

$$\begin{array}{l} I_{28} \text{ } (^{14}N^{14}N) \\ I_{29} \text{ } (^{15}N^{14}N) \\ I_{30} \text{ } (^{15}N^{15}N) \end{array}$$

Com as intensidades (I) dos picos (I = altura do pico em mm x sensibilidade em volts), foram calculadas as concentrações percentuais de átomos de ^{15}N , de acordo com a seguinte equação:

$$At \% ^{15}N = \frac{I_{29} + 2I_{30}}{2 (I_{28} + I_{29} + I_{30})} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

A equação (2) expressa a concentração percentual de átomos de ^{15}N em relação ao total de átomos de nitrogênio contidos na amostra.

Cálculos sobre a composição isotópica de amostras de nitrogênio podem ser vistos em detalhe em BREMNER (1965b) e TRIVELIN *et alii* (1973).

3.9. Análise do solo

3.9.1. Amostragem do solo

Após a colheita, o solo foi peneirado em malha de 2 mm para a separação das raízes. O solo que passou na peneira foi bem misturado, pegando-se uma amostra por vaso para análise do nitrogênio total e da composição isotópica do nitrogênio. Além disto, pegou-se uma amostra de solo de cada tratamento, juntando-se as quatro repetições, para análise dos demais elementos, conforme metodologia descrita no item 3.2.3.

3.9.2. Análise do nitrogênio total

O nitrogênio total foi determinado em dois gramas de terra fina seca ao ar, pelo método semi-micro-Kjeldahl, de acordo com a técnica descrita por BREMNER (1965a). O resultado da análise foi expresso em porcentagem de nitrogênio total.

3.9.3. Determinação da razão isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

As análises da composição isotópica do nitrogênio do solo foram feitas no destilado final obtido na determinação do nitrogênio total.

O procedimento seguido nas amostras para a produção de N_2 , foi de acordo com o método de Rittenberg, como descrito por TRIVELIN *et alii* (1973); a seguir, o processo foi similar ao utilizado para a análise das plantas. Deste maneira, a porcentagem de átomos de ^{15}N no nitrogênio do solo foi calculada, também, pela equação (2).

3.10. Balanço do nitrogênio no sistema solo-planta

Como em qualquer balanço de massa, o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta de uma cultura 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 ser por aplicação de fertilizantes e/ou adubos verdes (N_f), fixação biológica (N_{fb}) e por chuvas (N_{ch}). A quantidade de nitrogênio que sai (N_s) pode ser por lixiviação (N_l), por escoamento superficial (N_{es}), por denitrificação (N_d), por volatilização (N_v) e, finalmente, por extração pela colheita (N_c). Portanto, a variação da armazenagem de nitrogênio (ΔN) no perfil do solo, durante um período considerado, pode ser expresso como:

$$\Delta N = \underbrace{N_f + N_{fb} + N_{ch}}_{N_e} - \underbrace{N_l - N_{es} - N_d - N_v - N_c}_{N_s} \dots\dots\dots (3)$$

Na presente pesquisa, entretanto, vários componentes do balanço podem deixar de ser considerados. Estes componentes são: fixação biológica do nitrogênio, adição de nitrogênio pela chuvas, perdas por lixiviação, por escoamento superficial, por denitrificação e por volatilização.

A fixação biológica não foi considerada por ser quantitativamente desprezível. YOSHIDA e ANCAJAS (1973) verificaram que a fixação biológica de nitrogênio pelo arroz é muito baixa e, em condições de sequeiro, mais baixa do que em condições de inundação.

Não houve adição de nitrogênio pela água das chuvas, porque a presente pesquisa foi conduzida em casa de vegetação e os vasos foram irrigados com água destilada. As perdas por lixiviação e escoamento superficial não ocorreram, pois, como já mencionado, a pesquisa foi conduzida em vasos e estes tinham o fundo fechado. A perda por denitrificação também pode ser desprezada porque, de acordo com Terman (1979), elas são significantes apenas em condições reduzidas causadas por uma má drenagem e, especialmente, em solos inundados. Como este mesmo autor afirma que as perdas por volatilização, quando o fertilizante nitrogenado usado é o sulfato de amônio, são menores em solos ácidos e que são reduzidas ou eliminadas se o adubo for colocado no solo dissolvido em água (caso da presente pesquisa), pode-se também desprezar estas perdas.

Desta maneira, a equação geral do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta (equação 3), reduz-se para:

$$\Delta N = N_f - N_c \dots\dots\dots (4)$$

Na realidade, a equação (4) corresponde ao balanço de nitrogênio aplicado como fertilizante, estando implícito o nitrogênio inicial do solo. Quando o fertilizante aplicado é marcado, pode-se fazer balanços independentes das fontes de nitrogênio.

3.11. Parâmetros avaliados

3.11.1. Produção e seus componentes

- número de panículas por vaso, contadas por ocasião da colheita;
- porcentagem de grãos vazios, obtida pela divisão do número de grãos vazios por vaso pelo número total de grãos por vaso, sendo o resultado expresso em porcentagem;
- número de grãos cheios por panícula, obtido pela contagem de todos os grãos cheios em cada vaso e divisão pelo número de panículas por vaso;
- peso de 100 grãos (g), obtido pela divisão do peso dos grãos cheios em cada vaso pelo número de grãos cheios por vaso, sendo o resultado multiplicado por 100;
- produção de grãos (g/vaso), obtida pela pesagem dos grãos cheios secos em estufa a 60°C, até peso constante, e após feita a correção para 13% de umidade.

3.11.2. Altura e ciclo

- altura (cm), medida por ocasião da colheita, do nível do solo até a extremidade da panícula do colmo mais alto, de acordo com EMBRAPA (1977);
- ciclo (dias), número de dias entre a semeadura e a colheita.

3.11.3. Duração da área foliar (DAF)

A DAF, expressa em $m^2 \cdot m^{-2} \cdot dia$, foi obtida pela integração da curva do índice de área foliar (IAF) em função do tempo, e foi determinada apenas no primeiro experimento. A integração foi feita da emergência até a floração da cultura.

O IAF, expresso em $m^2 \cdot m^{-2}$, foi determinado a cada quinze dias, pela equação:

$$IAF = AF \times NP / AS \dots\dots\dots (5)$$

onde AF é a área foliar de um perfilho, em m²; NP é o número de perfilhos por vaso e AS é a área da superfície do solo no vaso, igual a 283,5 x 10⁻⁴ m². A área foliar de um perfilho, que é a soma da área de todas as folhas do perfilho, foi obtida pela média da área foliar de três perfilhos. A área de cada folha foi medida pelo método maior largura x comprimento da folha x 0,75 (EMBRAPA, 1977).

3.11.4. Rendimento de matéria seca

- raiz (g/vaso);
- parte aérea (g/vaso), compreendendo colmo, folhas, ráquis e grãos vazios;
- parte aérea total (g/vaso), compreendendo colmos, folhas, ráquis, grãos vazios e grãos cheios;
- total (g/vaso), compreendendo a parte aérea total mais raízes.

3.11.5. Índice de colheita e relação raiz/colmo

- Determinados apenas no primeiro experimento:
- índice de colheita, obtido pela razão entre a produção de grãos e o rendimento de matéria seca da parte aérea (DONALD, 1962);
 - relação raiz/colmo, obtida pela razão entre o rendimento de matéria seca das raízes e o dos colmos.

3.11.6. Consumo e eficiência do uso da água

- Determinados apenas no primeiro experimento:
- consumo de água (mm), obtido pelo somatório das quantidades de água aplicadas diariamente nas diferentes lâminas d'água;
 - eficiência do uso da água (mg/mm), obtida por divisão da

produção de grãos pelo consumo de água.

3.11.7. Parâmetros relacionados com o nitrogênio na planta

- teor de nitrogênio total (%) nas diversas partes da planta, fornecido pela análise química;
- teor de nitrogênio total (%) na planta inteira, obtido pela divisão da quantidade total de nitrogênio extraída pela planta pelo rendimento total de matéria seca, sendo o resultado expresso em porcentagem;
- quantidade de nitrogênio total absorvida pelas diversas partes da planta (QNT), em mg/vaso, calculada pela seguinte equação:

$$QNT = \frac{NTP \times RMS}{100} \dots\dots\dots (6)$$

onde: NTP = teor de nitrogênio total na parte da planta considerada;

RMS = rendimento de matéria seca, em mg/vaso, da parte da planta considerada;

- porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (NPPF), nas diversas partes da planta, calculada pela seguinte equação (TRIVELIN *et alii*, 1973; VOSE, 1980):

$$NPPF = \left(\frac{At \% ^{15}NP - \% AN}{At \% ^{15}NF - \% AN} \right) \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

onde: At % ¹⁵N_P = porcentagem de átomos de ¹⁵N presente na parte da planta considerada;

At % ¹⁵N_F = porcentagem de átomos de ¹⁵N presente no fertilizante, no caso 2,707%;

% AN = abundância natural de ¹⁵N, em porcentagem.

Foi considerado como valor da abundância natural o valor de 0,366%, como citado por HAUCK e BRENNER (1976) e Hoe-

ring (apud PROKSCH, 1972).

- porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante na planta inteira, obtido pela divisão da quantidade total de nitrogênio proveniente do fertilizante na planta pela quantidade total de nitrogênio extraída pela planta, sendo o resultado expresso em porcentagem;
- quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta (QNPPF), em mg/vaso, calculada pela seguinte equação:

$$QNPPF = \frac{NPPF \times QNTP}{100} \dots\dots\dots (8)$$

onde os elementos desta equação já foram descritos anteriormente.

- eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, pelos grãos e pela planta inteira (EUFN), calculada pela seguinte equação:

$$EUFN = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

onde: QNA = quantidade de nitrogênio aplicada à cultura, no caso 500 mg/vaso.

3.11.8. Parâmetros relacionados com o nitrogênio no solo

- teor de nitrogênio total (%) no solo, fornecido pela análise química;
- quantidade de nitrogênio total contido no solo (QNTS), em mg/vaso, calculada pela seguinte equação:

$$QNTS = \frac{NTS \times M_{\text{solo}}}{100} \dots\dots\dots (10)$$

onde: NTS = teor de nitrogênio total no solo;

M_{solo} = massa de solo contida no vaso, no caso, 5×10^6 mg, para os tratamentos sem vermiculita, e $5,0557 \times 10^6$ mg para os tratamentos com adição de vermiculita.

- porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF), calculada pela seguinte equação:

$$\text{NSPF} = \left(\frac{\text{At } \%^{15}\text{NS} - \% \text{AN}}{\text{At } \%^{15}\text{NF} - \% \text{AN}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (11)$$

onde: $\text{At } \%^{15}\text{NS}$ = porcentagem de átomos de ^{15}N presente no solo.

Os demais elementos desta equação já foram descritos anteriormente.

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

$$\text{QNSPF} = \frac{\text{NSPF} \times \text{QNTS}}{100} \quad \dots\dots\dots (12)$$

onde os elementos desta equação já foram descritos anteriormente.

Todos estes parâmetros foram submetidos à análise da variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Solo após a colheita

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises de algumas características químicas do solo, nos tratamentos sem e com adição de vermiculita, após a colheita do primeiro experimento. Observa-se que a adição de vermiculita aumentou significativamente o pH, os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e a CTC do solo e diminuiu os teores de alumínio e fosfato trocáveis. Segundo AQUINO *et alii* (1981), o aumento no teor de certos nutrientes no solo pela adição de vermiculita pode ser devido ao seu fornecimento pela vermiculita e/ou maior retenção dos mesmos, como verificou BUNT (1974). Como os vasos tinham o fundo fechado, o aumento nos teores de cálcio, magnésio e potássio foi devido ao fornecimento pela vermiculita que, como pode ser observado na Tabela 3, apresenta altos teores destes elementos. A elevação no pH foi devida, provavelmente, ao aumento nos teores de cálcio e magnésio e a diminuição no teor de alumínio, o qual deve ter sido neutralizado, em parte, por aqueles dois elementos. A diminuição no teor de fosfato solúvel pode ter sido causada pela sua fixação pela vermiculita, como observaram HALL e BAKER (1971) e MITRA e PRAKASH (1955a, 1955b) e/ou pela maior absorção pelas plantas, já que a adição de vermiculita promoveu um aumento no rendimento total de matéria seca, o que será discutido posteriormente.

Os aumentos verificados no pH e nos teores trocáveis de cálcio

TABELA 4 - Resultados das análises¹ de algumas características químicas do solo, nos tratamentos sem e com adição de vermiculita, após a colheita do primeiro experimento.

Tratamentos	pH 1:2,5	C Org (%)	PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC
s/verm.	5,1b	1,55	0,17a	4,58b	0,57b	0,12b	0,10a	5,23	10,60b
c/verm. ²	5,4a	1,52	0,16b	4,73a	1,91a	0,17a	0,08b	5,00	11,89a
Teste F	224,99** ³	0,33ns ⁴	6,66* ⁵	12,92**	595,09**	24,68**	38,36**	4,95ns	236,22**

(1) As análises foram feitas no laboratório de solos do CES/ESALQ/USP; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns = não significativo; (5) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

cio, magnésio e potássio, concordam com o observado por DUNHAM (1967) e SANTOS *et alii* (1982). KORABLEVA (1965) também observou aumentos no pH e nos teores trocáveis de magnésio e potássio, além de diminuição no teor de alumínio trocável, pela adição de vermiculita ao solo. A redução no teor de fosfato trocável está de acordo com o observado por DUNHAM (1967).

Na Tabela 5 podem ser vistos os resultados das análises de algumas características químicas do solo, após a colheita do segundo experimento. Observa-se que, como no primeiro experimento, o pH e o teor de magnésio trocável aumentaram e o teor de alumínio trocável diminuiu significativamente com a adição de vermiculita. Houve uma tendência da vermiculita em aumentar os teores trocáveis de cálcio e potássio e a CTC e em diminuir o teor de fosfato solúvel, apesar de não ter havido diferença significativa entre os tratamentos. Estes resultados estão de acordo com o observado no primeiro experimento.

Apesar de vários autores (ALEXIADES e JACKSON, 1965; LEE *et alii*, 1978; LIETZKE *et alii*, 1975) relatarem que há fixação de potássio pela vermiculita, aparentemente esta não ocorreu em nenhum dos experimentos. Como a adubação nitrogenada foi feita com sulfato de amônio, pode ter ocorrido que o íon amônio tenha reduzido a fixação de potássio, como verificado por MORTLAND (1961). NÖMMIK (1965) relata que o mineral de argila vermiculita apresenta uma fixação preferencial de amônio em relação ao potássio.

4.2. Componentes da produção

Na Tabela 6 são apresentadas as médias dos componentes da produção obtidas no primeiro experimento. Pode ser observado que a adição de vermiculita ao solo não afetou significativamente nenhum componente. Uma possível explicação para isto é que a maior quantidade de água colocada inicialmente nos tratamentos com vermiculita, devido a maior capacidade de retenção, foi muito pequena em relação a demanda das plantas (Figura 4). Além disto, como possivelmente a vermiculita não afeta a taxa de

TABELA 5 - Resultados das análises¹ de algumas características químicas do solo, nos tratamentos sem e com adição de vermiculita, após a colheita do segundo experimento.

Tratamentos	pH 1:2,5	C Org (%)	meq/100 ml solo					H ⁺	CTC
			PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺		
s/verm.	5,2b	1,32	0,14	4,14	0,63b	0,08	0,10a	4,80	9,75
c/verm. ²	5,4a	1,46	0,13	4,72	2,03a	0,10	0,09b	5,12	12,06
Teste F	24,99* ³	1,08ns ⁴	0,24ns	11,95ns	59,53*	12,00ns	24,99*	0,57ns	16,73ns

(1) As análises foram feitas no laboratório de solos do CES/ESALQ/USP; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) * = significância ao nível de 5% de probabilidade; (4) ns = não significativo.

TABELA 6 - Médias dos componentes da produção de três cultivares de arroz irrigados com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)	Panículas/Vaso ² (Nº)			Grãos Vazios ³ (%)			Grãos Cheios / Panícula ² (Nº)			Peso de 100 Grãos (g)		
	Média			Média			Média			Média		
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	s/verm.	2,95	3,21	4,33	65,40	87,91	2,69	2,12	0,77	2,23	2,65	1,50
	c/verm.	2,69	2,86	4,43	50,03	87,71	3,25	2,14	0,82	2,44	2,54	1,47
	Média	2,82	3,04	4,38	3,41b	62,71ab	68,80ab	2,97ca	2,13ca	0,80db	2,33ca	2,59ba
70	s/verm.	3,53	3,71	4,89	37,31	32,52	67,72	5,95	6,05	3,30	3,06	3,77
	c/verm.	3,43	3,81	4,74	46,21	30,34	62,85	4,93	5,90	3,90	2,91	3,68
	Média	3,48	3,76	4,82	4,02a	41,76b	31,43b	5,44a	5,98a	3,60c	2,98b	3,72a
85	s/verm.	3,50	3,63	4,77	35,14	20,84	36,86	6,98	7,49	7,04	3,28	4,05
	c/verm.	3,39	3,84	4,69	32,39	24,16	34,64	6,92	6,89	7,13	3,39	3,94
	Média	3,44	3,73	4,73	3,97a	33,76ba	22,50b	6,95a	7,19a	7,08b	3,34ab	4,00a
100	s/verm.	3,63	3,80	4,71	33,48	24,93	14,12	7,54	7,55	8,66	3,49	4,06
	c/verm.	3,46	3,80	4,63	28,46	21,43	16,48	8,17	7,65	8,72	3,51	4,05
	Média	3,55	3,80	4,67	4,01a	30,97ba	23,18ba	7,86ab	7,60ab	8,69a	3,50ab	4,05a
Média		3,32c	3,58b	4,65a	42,30b	36,48c	51,04a	5,80a	5,72a	5,04b	3,04b	3,59a

Teste F		154,99** ⁵	21,22**	7,03**	313,15**
Cultivares (CU)					
Doses Verm. (DO)		1,34ns ⁶	0,22ns	0,01ns	0,05ns
Lâminas (LA)		20,29**	144,53**	278,51**	81,20**
CU x DO		0,48ns	0,02ns	0,33ns	0,46ns
CU x LA		0,95ns	12,19**	8,03**	4,07**
DO x LA		0,34ns	0,10ns	0,47ns	0,12ns
CU x DO x LA		0,57ns	0,74ns	0,72ns	0,33ns
DMS (Tukey 5%)					
Cultivares		0,19	5,39	0,53	0,16
Lâminas		0,24	6,85	0,68	0,21
CU dentro de LA		-	10,79	1,07	0,33
LA dentro de CU		-	11,86	1,17	0,36

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) valores transformados para $\sqrt{x+0,5}$; (3) valores transformados para $\arcseno \sqrt{x/100}$; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (6) ns = não significativo.

evapotranspiração, como verificaram SALATI *et alii* (1980) para a cultura do milho, e como os vasos não tinham abertura no fundo, não se podendo, portanto, observar diferenças com relação a percolação, os vasos com e sem vermiculita tiveram, praticamente, a mesma quantidade de água a sua disposição. Deve ser observado ainda que o efeito da vermiculita na retenção de água do solo é mais pronunciado para altos potenciais (-0,1 a -0,001 atm), isto é, próximo à saturação, do que para baixos potenciais (SALATI *et alii*, 1980). Como neste experimento, no tratamento mais úmido o solo foi mantido em torno da capacidade de campo (-0,1 a -0,3 atm), e nos demais tratamentos foi mantido, do início da fase reprodutiva até a colheita, com umidade reduzida (potenciais menores do que -0,3 atm), os efeitos da vermiculita na retenção de água não foram significativos. Por outro lado, os seus efeitos favoráveis sobre algumas características químicas do solo, os quais já foram discutidos anteriormente, não se refletiram nos componentes da produção, possivelmente porque os níveis dos nutrientes estavam adequados e a sua elevação, provocada pela adição de vermiculita, não teve efeito significativo.

As cultivares diferiram significativamente com relação ao número de panículas por vaso. A cultivar IET 1444 apresentou o maior número de panículas por vaso e a IAC 47 o menor. As cultivares desenvolvidas para o cultivo irrigado, como a IET 1444, possuem um maior número de perfilhos do que as cultivares de sequeiro, como a IAC 47 e a IRAT 13 (CHANG *et alii*, 1972; YOSHIDA, 1975). Como o número de perfilhos e o número de panículas são positiva e altamente correlacionados (CHANG e DE DATTA, 1975), explica-se o maior número de panículas por vaso apresentado pela cultivar de arroz irrigado. Entre os componentes da produção, o número de panículas por vaso foi o menos afetado pelo déficit hídrico, pois somente a lâmina d'água correspondente a 55% da ET_m reduziu este número significativamente. Isto foi devido ao fato de que o déficit hídrico foi iniciado na fase reprodutiva e, segundo ISHIZUKA (1972), o número de panículas é determinado próximo da época do máximo perfilhamento, antes portanto do começo do déficit hídrico. Reduções no número de panículas com a ocorrência de estresse hídrico, tem sido verificado por vários pesquisadores (DEL GIUDICE *et alii*, 1974; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE,

1971; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974; PANDE e MITTRA, 1970).

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação a porcentagem de grãos vazios. Para as cultivares de sequeiro, IAC 47 e IRAT 13, somente houve um aumento significativo na porcentagem de grãos vazios no tratamento de lâmina d'água correspondente a 55% da ETm, enquanto que, para a cultivar de arroz irrigado, a porcentagem aumentou a medida que diminuiu a quantidade de água aplicada. Diversos pesquisadores (CHANG *et alii*, 1972, 1974; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1973) observaram que as cultivares semi-anãs de arroz irrigado sofrem muito mais com o estresse hídrico do que as cultivares tradicionais de sequeiro. O aumento da porcentagem de grãos vazios resulta do aumento da esterelidade de flores provocado por estresse hídrico no estágio de meiose ou na antese (O'TOOLE e CHANG, 1979). O aumento da porcentagem de grãos vazios em arroz, como resultado da ocorrência de estresse hídrico, também foi observado por CHAUDHRY e McLEAN (1963), INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (1971) e PANDE e SINGH (1970).

Nos tratamentos com as duas menores lâminas d'água, 55 e 70% da ETm, as cultivares de sequeiro apresentaram menor porcentagem de grãos vazios do que a cultivar de arroz irrigado. Na lâmina correspondente a 85% da ETm, a cultivar IRAT 13 foi a que apresentou a menor porcentagem de grãos vazios. Portanto, em condições de déficit hídrico, a cultivar IRAT 13 foi a que se apresentou melhor com relação a porcentagem de grãos vazios. Sem deficiência hídrica (100% da ETm), entretanto, a cultivar IET 1444 apresentou a menor porcentagem de grãos vazios.

Houve também interação entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao número de grãos cheios por panícula. Só houve redução significativa neste número, nas cultivares de sequeiro, a partir da lâmina correspondente a 70% da ETm, enquanto que, para a cultivar de arroz irrigado, a redução ocorreu logo a partir da lâmina correspondente a 85% da ETm. Como discutido anteriormente, a cultivar de arroz irrigado é mais sensível ao déficit hídrico. A redução do número de grãos cheios por panícula, em condições de déficit hídrico, também foi verificada por DEL GIUDICE *et alii* (1974) e resulta da diminuição do número de grãos por pa

nícula e do aumento na esterelidade de grãos. O aumento na esterelidade de grãos já foi discutido. A diminuição no número de grãos é devida à redução no número de primórdios que se desenvolvem, pela ocorrência de estresse hídrico na iniciação da panícula (O'TOOLE e CHANG, 1979). A redução no número de grãos por panícula tem sido verificada por vários pesquisadores (CRUZ *et alii*, 1975; OBERMUELLER e MIKKELSEN, 1974; PANDE e MITTRA, 1970), em decorrência de déficits hídricos.

As cultivares de sequeiro apresentaram um maior número de grãos cheios por panícula do que a cultivar de arroz irrigado, quando irrigadas com as duas menores lâminas. Entretanto, sem estresse hídrico, a cultivar IET 1444 apresentou maior número de grãos cheios por panícula do que a IRAT 13, e não diferiu da IAC 47.

Também com relação ao peso de 100 grãos houve interação entre cultivares e lâminas d'água. As cultivares IRAT 13 e IET 1444 só mostraram redução significativa no peso de 100 grãos no tratamento correspondente a menor lâmina d'água. A cultivar IAC 47 foi mais sensível ao déficit hídrico, com relação a este componente da produção. A redução no peso dos grãos devido ao estresse hídrico ocorre, provavelmente, devida à redução da fotossíntese com o déficit hídrico (HARTT, 1967; KOSLOWSKI, 1964; SINGH e SASAHARA, 1981), que se traduz na menor produção de fotossintatos, e à redução na translocação de compostos orgânicos (KRAMER, 1974; WARDLAW, 1968). Diversos pesquisadores (PLAUD e REINHOLD, 1965; ROBERTS, 1964; WIEBE e WIHRHEIN, 1962) observaram que o estresse hídrico reduz a translocação de fotossintatos para fora das folhas. A redução no crescimento do dreno (grãos, no caso) e/ou na fotossíntese da fonte são as principais causas da translocação reduzida (WARDLAW, 1968). A redução do peso dos grãos, como consequência do estresse hídrico também foi observada por CRUZ *et alii* (1975), DEL GIUDICE *et alii* (1974) e INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (1971).

A cultivar IRAT 13, com exceção do tratamento correspondente a lâmina de 55% da ETm, onde não diferiu da cultivar IAC 47, apresentou o maior peso de 100 grãos e a cultivar IET 1444 o menor.

Para uma melhor visualização, os componentes da produção foram colocados em gráficos (Figuras 5 e 6) em função das lâminas d'água. Pode ser observado que houve uma correlação significativa entre os componentes e as lâminas d'água, para todas as cultivares. O número de panículas por vaso foi o componente menos afetado pelo déficit hídrico (curvas quase paralelas ao eixo das abscissas). A porcentagem de grãos vazios e o número de grãos cheios por panícula foram os mais afetados. Observa-se que a cultivar de arroz irrigado, IET 1444, é mais sensível ao déficit hídrico, com relação a estes dois componentes, do que as cultivares de sequeiro. A porcentagem de grãos vazios aumentou e o número de grãos cheios por panícula diminuiu mais abruptamente (alto coeficiente angular) nesta cultivar, com o decréscimo da lâmina d'água, do que nas outras duas cultivares.

Na Tabela 7 são apresentadas as médias dos componentes da produção da cultivar IAC 47, obtidas no segundo experimento. Pode ser observado que não houve efeito significativo da adição de vermiculita em relação aos componentes da produção, pelos motivos já discutidos anteriormente. Entretanto, os períodos de veranico afetaram significativamente os componentes, com exceção do número de panículas por vaso. Como os períodos de veranico foram aplicados no início da emissão das panículas, quando elas já estavam formadas, era de se esperar que o número de panículas não fosse afetado. A menor porcentagem de grãos vazios observada no tratamento que não sofreu veranico, em relação aos outros tratamentos, concorda com HERNANDEZ (1969) que afirma que a falta d'água na floração incrementa o número de grãos vazios. STEINMETZ *et alii* (1979) também verificaram aumento na porcentagem de grãos vazios com a ocorrência de veranicos. O número de grãos cheios por panícula e o peso de 100 grãos diminuíram a medida que aumentou o período de veranico, apesar de que para o peso de 100 grãos, a diferença significativa ocorreu apenas em relação ao período mais longo. De fato, o peso dos grãos é mais afetado pelo estresse hídrico, de acordo com O'TOOLE e CHANG (1979), no estágio de enchimento dos grãos (aproximadamente 21 dias após a antese) e por isso só o período mais longo de veranico o afetou significativamente.

Na Figura 7 podem ser vistos os componentes da produção da

FIGURA 5 - Número de panículas por vaso e porcentagem de grãos vazios de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a porcentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

FIGURA 6 - Número de grãos cheios por panícula e peso de 100 grãos de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a porcentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

TABELA 7 - Médias dos componentes da produção da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Panículas / Vaso ¹ (Nº)			Grãos Vazios ² (%)			Grãos Cheios/Panícula ¹ (Nº)			Peso de 100 Grãos (g)		
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média
0	3,63	3,46	3,55	33,48	28,46	30,97b	7,54	8,17	7,86a	3,49	3,51	3,50a
4	3,39	3,46	3,43	50,12	58,19	54,16a	6,04	4,77	5,40b	2,97	3,20	3,09a
8	3,67	3,63	3,65	72,33	62,88	67,60a	2,70	3,83	3,27c	1,49	1,75	1,62b
Média	3,56	3,52		51,98	49,84		5,43	5,59		2,65	2,82	
Teste F												
Veranicos (VE)		3,28ns ⁴			20,22** ⁵			16,44**			58,59**	
Doses Verm. (D0)		0,43ns			0,20ns			0,06ns			1,30ns	
VE x D0		0,93ns			1,22ns			1,26ns			0,25ns	
DMS (Tukey 5%)												
Veranicos		-			14,88			2,04			0,47	

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.
 (1) valores transformados para $\sqrt{x+0,5}$; (2) valores transformados para $\arcseno \sqrt{x/100}$; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ns = não significativo; (5) ** significância ao nível de 1% de probabilidade.

cultivar IAC 47, em função da duração do período de veranico. O número de panículas por vaso não foi apresentado por não mostrar uma correlação significativa com a duração do veranico. Todos os demais componentes mostraram uma correlação significativa. Observa-se que o peso de 100 grãos apresentou uma correlação quadrática e, os outros componentes da produção, uma correlação linear com a duração do período de veranico, mostrando que a porcentagem de grãos vazios aumentou e o número de grãos cheios por panícula diminuiu proporcionalmente ao aumento na duração do veranico, enquanto que o peso dos grãos foi pouco afetado por curtos períodos de veranico (até 4 dias) mas diminuiu sensivelmente para períodos maiores.

A partir destes resultados pode-se afirmar que o déficit hídrico afeta negativamente os componentes da produção, seja ele imposto gradualmente por um longo período (primeiro experimento) ou abruptamente por um curto período (segundo experimento).

4.3. Altura e ciclo

As médias da altura de planta e da duração do ciclo, obtidas nos diferentes tratamentos do primeiro experimento, podem ser observadas na Tabela 8.

Não houve efeito significativo da adição de vermiculita sobre a altura de planta nem sobre a duração do ciclo. Foi verificada uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação a altura de planta. As cultivares IRAT 13 e IET 1444 apresentaram um comportamento semelhante, tendo suas alturas diminuídas significativamente a medida que a lâmina d'água foi reduzida para valores menores do que 85% da ETm. Já a cultivar IAC 47 foi mais sensível ao estresse hídrico, com relação a altura de planta, pois esta diminuiu significativamente com a redução da lâmina d'água a valores menores do que o correspondente a ETm. A redução da altura de plantas de arroz, devido a ocorrência de déficit hídrico, também é relatada por DE DATTA *et alii* (1975), SHIGA (1975) e YOSHIDA (1975). Esta redução pode ser explicada pela diminuição da turges

FIGURA 7 - Porcentagem de grãos vazios, número de grãos cheios por panícula e peso de 100 grãos da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

TABELA 8 - Médias da altura da planta e do ciclo de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água ¹⁾ (% da ETm ¹⁾)		Altura (cm)				Ciclo (dia)			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	74,5	61,1	59,5		160,5	158,5	141,0	
	c/verm. ²⁾	75,0	59,4	60,4		161,5	162,0	141,0	
	Média	74,8dA	60,2cB	59,9cB	65,0d	161,0	160,3	141,0	154,1a
70	s/verm.	99,0	75,0	71,8		152,0	147,8	139,0	
	c/verm.	94,5	76,6	71,5		153,0	153,8	138,2	
	Média	96,8cA	75,8bB	71,6bB	81,4c	152,5	150,8	138,6	147,3b
85	s/verm.	116,5	92,0	85,5		147,3	139,5	126,0	
	c/verm.	112,0	89,5	86,5		142,3	139,0	126,0	
	Média	114,2bA	90,8aB	86,0aB	97,0b	144,8	139,3	126,0	136,7c
100	s/verm.	128,3	100,0	93,3		141,3	140,0	126,0	
	c/verm.	129,9	99,5	89,0		138,7	138,0	126,0	
	Média	129,1aA	99,8aB	91,1aC	106,6a	140,0	139,0	126,0	135,0c
Média		103,7A	81,6B	77,2C		149,6A	147,3A	132,9B	

Teste F

Cultivares (CU)	135,82** ³	134,86**
Doses Verm. (DO)	0,55ns ⁴	0,00ns
Lâminas (LA)	168,50**	101,18**
CU x DO	0,05ns	1,02ns
CU x LA	3,92**	1,76ns
DO x LA	0,07ns	1,25ns
CU x DO x LA	0,38ns	0,51ns

DMS (Tukey 5%)

Cultivares	4,13	2,64
Lâminas	5,25	3,35
CU dentro de LA	8,27	-
LA dentro de CU	9,09	-

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns = não significativo.

cência das células, a qual provoca uma redução da expansão celular, o que, por sua vez, reduz o alongamento do colmo e da folha (HSIAO, 1973; KRAMER, 1974; SLATYER, 1967). Além disto, segundo KRAMER (1974) o déficit hídrico reduz o abastecimento de substâncias reguladoras do crescimento que as raízes fornecem ao caule, o que, aliado a síntese reduzida destas substâncias durante estresse hídrico, talvez seja um fator importante na redução do crescimento observada em plantas submetidas a déficits hídricos.

As alturas das cultivares IRAT 13 e IET 1444 não diferiram significativamente em todas as lâminas d'água, menos na correspondente a ETm, onde a cultivar IRAT 13 foi mais alta. Entretanto, sempre apresentaram menor altura do que a cultivar IAC 47.

As lâminas d'água provocaram efeitos semelhantes nas três cultivares estudadas, com relação à duração de seus ciclos. Eles aumentaram a medida que a lâmina d'água foi reduzida a valores menores do que 85% da ETm. SENEWIRATNE e MIKKELSEN (1961), SHIGA (1975) e YOSHIDA (1975) também observaram aumento na duração do ciclo do arroz devido à deficiência hídrica. De acordo com SENEWIRATNE e MIKKELSEN (1961), o déficit hídrico provoca um atraso no alongamento dos entrenós devido à uma menor taxa de alongamento do colmo. Isto retarda a emissão das panículas, que as vezes nem saem, para fora da bainha das folhas e o resultado final é a floração atrasada, como também observaram MAJUMBER e PRAMANIK (1979), aumentando a duração do ciclo.

As durações do ciclo das cultivares IAC 47 e IRAT 13 não diferiram significativamente e foram maiores do que a da cultivar IET 1444. Resultados de vários experimentos sugerem que cultivares tardias tem mais tempo para se recuperar dos efeitos do estresse hídrico do que cultivares precoces (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1976).

Na Tabela 9 podem ser vistas as médias da altura de planta e duração do ciclo da cultivar IAC 47, obtidas no segundo experimento. Não houve efeito significativo da adição de vermiculita na altura das plantas. Esta diminuiu com o aumento dos períodos de veranico, embora tenha se verificado diferença significativa apenas entre o período mais

TABELA 9 - Médias da altura da planta e do ciclo da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Altura (cm)		Ciclo (dia)	
	s/verm.	c/verm. ¹	s/verm.	Média
0	128,2	129,9	141,2	138,8b
4	127,5	116,1	142,2B	149,5aA
8	113,9	114,0	145,5	148,0a
Média	123,2	120,0	143,0	145,4

Teste F			
Veranicos (VE)	7,31** ²		9,14**
Doses Verm. (D0)	0,98ns ³		2,97ns
VE x D0	1,61ns		4,03* ⁴

DMS (Tukey 5%)			
Veranicos	10,1		4,38
VE dentro de D0	-		6,20

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) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (2) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (3) ns = não significativo; (4) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

longo e o tratamento sem veranico.

Houve uma interação significativa entre doses de vermiculita e períodos de veranico, com relação à duração do ciclo. Esta foi menor, nos tratamentos com vermiculita, quando não houve veranico. Nos tratamentos sem vermiculita não houve efeito significativo dos períodos de veranico sobre a duração do ciclo. A adição de vermiculita aumentou a duração do ciclo no tratamento com veranico de 4 dias. Nos outros tratamentos não houve efeito significativo.

4.4. Produção de grãos

Na Tabela 10 são apresentadas as médias da produção de grãos obtidas no primeiro experimento. Também podem ser vistas as produções relativas de cada cultivar estudada, nos diferentes tratamentos de lâmina d'água.

Não houve efeito significativo da adição de vermiculita na produção de grãos, o que era de se esperar, já que ela não afetou os componentes da produção. SANTOS *et alii* (1982) relatam que efeitos favoráveis da utilização de vermiculita na produção de culturas somente foram verificados em condições ótimas de umidade do solo e com aplicações de dosagens elevadas.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água. A produção de todas as cultivares decresceu a medida que as lâminas d'água diminuíram. A redução na produção do arroz devido à deficiência hídrica tem sido relatada por muitos pesquisadores (CHEANEY, 1973; CRUZ *et alii*, 1975; DAKER, 1973; DEL GIUDICE *et alii*, 1974; HERNANDEZ, 1969; INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971; JANA e GHILDYAL, 1971; OBERMUELLET e MIKKELSEN, 1974; O'TOOLE e CHANG, 1979; STONE *et alii*, 1979a; TSUTSUI, 1972; YOSHIDA, 1975). As causas da redução na produção de grãos são os efeitos adversos do estresse hídrico sobre os componentes da produção, como já foi discutido.

TABELA 10 - Produções médias de grãos e produções relativas de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm ¹)		Produção de Grãos ² (g/vaso)				Produção Relativa ³ (%)		
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	s/verm.	1,68	1,46	0,03				
	c/verm. ⁴	1,70	1,31	0,06				
	Média	1,69d	1,38d	0,04d	1,04d	6,57	4,26	0,11
70	s/verm.	12,96	18,52	4,92				
	c/verm.	8,38	17,90	6,61				
	Média	10,67c8	18,21cA	5,76cC	11,55c	41,45	56,22	16,34
85	s/verm.	18,64	28,38	22,94				
	c/verm.	17,76	26,36	23,44				
	Média	18,20bC	27,37bA	23,19b8	22,92b	70,71	84,50	65,77
100	s/verm.	24,82	32,04	36,34				
	c/verm.	26,65	32,74	34,17				
	Média	25,74aB	32,39aA	35,26aA	31,13a	100	100	100
Média		14,078	19,843	16,068				

Teste F

Cultivares (CU)	24,63** ⁵
Doses Verm. (DO)	0,47ns ⁶
Lâminas (LA)	372,40**
CU x DO	0,15ns
CU x LA	12,14**
DO x LA	0,20ns
CU x DO x LA	0,90

DMS (Tukey 5%)

Cultivares	2,00
Lâminas	2,54
CU dentro de LA	4,00
LA dentro de CU	4,40

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) Ajustada para 13% de umidade; (3) Em cada cultivar, a maior produção foi considerada igual a 100%; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (6) ns = não significativo.

A cultivar IRAT 13 apresentou produções superiores as das outras cultivares, nos tratamentos de lâminas d'água correspondentes a 70 e 85% da ETm. No tratamento de lâmina d'água correspondente a 50% da ETm, não houve diferença significativa entre as cultivares e, no correspondente a ETm, as produções das cultivares IRAT 13 e IET 1444 não diferiram significativamente e foram superiores a da cultivar IAC 47. A cultivar de arroz irrigado, IET 1444, apresentou, portanto, uma produção igual ou superior a das cultivares de sequeiro, quando não ocorreu deficiência hídrica mas, sob estresse hídrico, ela produziu menos do que as cultivares de sequeiro. Isto pode ser explicado pelo fato de que ela foi desenvolvida para condições de irrigação por submersão.

Observando a produção relativa das cultivares na Tabela 10 e a Figura 8 onde a produção de grãos e a produção relativa das três cultivares são apresentadas em função das lâminas d'água, verifica-se que a cultivar IRAT 13 é a que mantém maior estabilidade de produção e a IET 1444 a menor, quando submetidas a déficits hídricos. Verifica-se ainda, pelas curvas de regressão, que uma redução de apenas 20% na quantidade de água aplicada diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita, na cultivar IET 1444 (uma lâmina d'água correspondente a 80% da ETm) em relação a aplicada na lâmina d'água correspondente a ETm, reduz a sua produção em 50%. Para as cultivares IAC 47 e IRAT 13, a redução em 50% da produção ocorre para lâminas d'água correspondentes a 76 e 68,5% de ETm, respectivamente.

Há muito tempo sabe-se que a variação na duração da área foliar (DAF) está entre as principais causas da diferença no rendimento das culturas (WATSON, 1952). Mais recentemente, STONE *et alii* (1979b) observaram uma correlação significativa entre a DAF, medida da emergência até a floração, e a produção de grãos, para três cultivares de arroz. Na Figura 9 pode ser observada a correlação entre DAF e produção de grãos das três cultivares estudadas no primeiro experimento, nas diferentes lâminas d'água. A correlação só foi significativa para a maior e a menor lâmina d'água, mesmo assim pode ser observada uma tendência da produção diminuir com o aumento da DAF, nas menores lâminas (55 e 70% da ETm) e de aumentar,

FIGURA 8 - Produção de grãos e produção relativa de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a porcentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

FIGURA 9 - Produção de grãos de três cultivares de arroz, em função da duração da sua área foliar (DAF), medida da emergência até a floração.

até certo ponto, e depois cair, nas maiores (85 e 100% da ETm). A diminuição verificada na menor lâmina d'água deve-se ao fato de que o aumento na área foliar causa aumento no uso da água (BRUNINI *et alii*, 1981; FAGADE e DE DATTA, 1971; STONE *et alii*, 1979b) e, em condições de suprimento limitado de água, isto resulta em queda na produção. Observa-se assim que a cultivar IET 1444, que desenvolveu uma maior DAF, em relação às outras cultivares, foi a que menos produziu em condições de déficit hídrico mais acentuado (lâminas d'água correspondentes a 50 e 70% da ETm). Por outro lado, quando a umidade do solo não é limitante, a medida que a área foliar cresce, aumenta o número e a superfície de folhas fotossinteticamente ativas, resultando em um aumento na produção, até chegar a um ponto crítico em que começa a haver sombreamento mútuo, e a produção começa a decrescer. Isto ocorreu na lâmina d'água correspondente a ETm, onde a produção aumentou com o incremento da DAF até certo ponto, a partir do qual, provavelmente, ocorreu sombreamento mútuo. Na lâmina d'água correspondente a 85% da ETm houve uma tendência da produção apresentar, em relação a DAF, um comportamento semelhante ao observado na lâmina correspondente a ETm, apenas com a queda na produção iniciando a um menor valor de DAF. Como neste tratamento as condições de umidade do solo não foram ótimas como no tratamento de lâmina d'água correspondente a ETm, possivelmente, a partir deste valor considerado, a DAF tornou-se excessiva para as condições de umidade do solo.

As médias da produção de grãos da cultivar IAC 47, obtidas no segundo experimento, podem ser vistas na Tabela 11. Nesta tabela também é apresentada as produções relativas desta cultivar, considerando como 100% a produção obtida sem veranico. Observa-se que não houve efeito significativo da adição de vermiculita e que a produção decresceu a medida que aumentaram os períodos de veranico. A redução na produção deve-se ao fato que os períodos de deficiência hídrica afetaram negativamente os componentes da produção, como já discutido. STEINMETZ *et alii* (1979) também verificaram queda na produção do arroz devido a ocorrência de veranicos.

O período de veranico de 4 dias reduziu a produção em cerca de 60% enquanto que o de 8 dias a reduziu em cerca de 87%. Convém salien

TABELA 11 - Produções médias de grãos e produções relativas da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Produção de Grãos ¹ (g/vaso)			Produção Relativa ² (%)
	s/verm.	c/verm. ³	Média	
0	24,82	26,65	25,74a	100
4	12,16	8,47	10,32b	40,1
8	1,64	5,20	3,42c	13,3
Média	12,88	13,44		
Teste F				
Veranicos (VE)		67,65** ⁴		
Doses Verm. (DO)		0,12ns ⁵		
VE x DO		1,85ns		
DMS (Tukey 5%)				
Veranicos		5,01		

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

(1) Ajustada para 13% de umidade; (2) a maior produção foi considerada igual a 100; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo;

(4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) ns = não significativo.

tar que períodos de 4 e 8 dias de veranico, em casa de vegetação, equivalem a períodos bem maiores em condições de campo. As temperaturas mais elevadas em casa de vegetação (Figura 1) e a maior duração da área foliar desenvolvida pela cultivar IAC 47 (entre 475 e 510 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}$) em comparação com a desenvolvida em condições de campo, entre 69 e 110 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}$, segundo STONE *et alii* (1979b), fizeram com que o consumo de água fosse muito elevado, acentuando a deficiência hídrica. De fato, STEINMETZ *et alii* (1979) observaram reduções na produção desta mesma cultivar, em condições de campo, semelhantes às obtidas neste experimento, 62 e 86%, para maiores períodos de veranicos, 10 e 15 dias, respectivamente.

Na Figura 10 observa-se que houve uma correlação linear, negativa e altamente significativa, entre produção de grãos e duração do veranico. Nas condições em que o experimento foi conduzido verifica-se, por extrapolação, que cerca de 9 dias de veranico durante a emissão das panículas seriam suficientes para reduzir a produção a zero.

4.5. Rendimento de matéria seca

Na Tabela 12 podem ser vistas as médias dos rendimentos de matéria seca obtidas nos diversos tratamentos do primeiro experimento.

A adição de vermiculita não afetou significativamente o rendimento de matéria seca das raízes. Houve, entretanto, uma interação entre cultivares e lâminas d'água. Apesar do experimento ter sido conduzido em vasos, houve diferenças entre cultivares e entre lâminas d'água em relação ao sistema radicular das plantas. Isto ocorreu porque a profundidade do solo no vaso era igual a 0,20 m e a maioria das raízes do arroz são confinadas a superfície do solo. A distribuição de raízes é negligível além de 0,20 m abaixo da superfície do solo (GERMEK *et alii*, 1950; KRUPP *et alii*, 1972). O peso seco das raízes das cultivares IAC 47 e IRAT 13 foi maior com a lâmina d'água correspondente a 55% da ETm, do que com as demais lâminas. Já para a cultivar IET 1444, o peso seco das raízes obtido com a lâmina d'água correspondente a 70% da ETm não diferiu sig

FIGURA 10 - Produção de grãos da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

TABELA 12 - Rendimentos médios de matéria seca de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'Água (% da Etm ¹)	Matéria Seca (g/vaso)															
	Raízes				Parte Aérea ²				Parte Aérea Total ³				Total ⁴			
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	19,64	20,25	9,35	43,56	39,69	52,05		45,06	40,98	52,08		64,69	61,24	61,43	
	c/verm. ⁵	19,39	20,47	10,07	44,72	40,34	53,78		46,23	41,50	53,83		65,62	61,97	63,90	
	Média	19,51a	20,36a	9,71a	44,14c	40,01c	52,91a	45,69b	45,64d	41,24d	52,95c	46,61d	65,15d	61,60d	62,66c	63,14d
70	s/verm.	14,73	14,44	10,52	45,87	40,28	55,56		57,34	56,67	59,92		72,07	71,10	70,43	
	c/verm.	17,24	15,32	9,76	52,62	42,06	55,80		60,04	57,90	61,65		77,27	73,22	71,40	
	Média	15,98a	14,88a	10,14a	49,25b	41,16c	55,68a	48,70a	58,69c	57,28c	60,78b	58,92c	74,67c	72,16c	70,92b	72,56c
85	s/verm.	15,16	14,00	7,63	52,06	41,34	45,59		68,55	66,40	65,89		83,72	80,46	73,52	
	c/verm.	14,98	14,37	7,45	52,48	43,54	49,22		68,19	66,87	69,97		83,17	81,24	77,42	
	Média	15,07a	14,18a	7,54b	52,27a	42,44c	47,40b	47,37a	68,37b	66,66b	67,93a	67,65b	83,44a	80,85a	75,47a	79,92b
100	s/verm.	15,06	14,06	7,78	51,66	43,74	39,72		73,62	72,09	71,88		88,68	86,15	79,66	
	c/verm.	14,55	13,93	6,04	57,05	43,51	39,37		80,64	72,48	69,61		95,19	86,41	75,65	
	Média	14,80a	14,00a	6,91c	54,35a	43,62b	39,54c	45,84b	77,13a	72,28a	70,74a	73,38a	91,93a	86,28a	77,65a	85,29a
Média	s/verm.	16,15	15,69	8,82	48,29	41,26	48,23	45,93b	61,14	59,05	62,44	60,88b	77,29	74,74	71,26	72,76b
	c/verm.	16,54	16,02	8,33	51,72	42,36	49,54	47,87a	63,77	59,69	63,76	62,41a	80,31	75,71	72,09	76,04a
	Média	16,34a	15,86a	8,57b	50,00a	41,81b	48,89a	46,90a	62,46a	59,37b	63,10a	61,64b	78,80a	75,22b	71,68c	
Teste F																
Cultivares (CU)		182,69** ⁶				65,68**				13,82**				37,61**		
Doses Verm. (DO)		0,04ns ⁷				9,46**				6,09**				5,75**		
Lâminas (LA)		31,95**				5,02**				353,19**				204,79**		
CU x DO		0,69ns				1,37ns				0,89ns				1,11ns		
CU x LA		3,82**				27,74**				9,84**				6,04**		
DO x LA		0,85ns				0,34ns				0,07ns				0,35ns		
CU x DO x LA		0,55ns				1,29ns				1,82ns				2,03ns		
DMS (Tukey 5%)																
Cultivares		1,09				1,86				1,82				1,97		
Lâminas		1,39				2,36				2,31				2,50		
CU dentro de LA		2,18				3,72				3,64				3,94		
LA dentro de CU		2,40				4,09				4,01				4,33		

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) Etm = evapotranspiração máxima, mm; (2) parte aérea = colmos + folhas + raquis + grãos vazios; (3) parte aérea total = parte aérea + grãos cheios; (4) total = parte aérea total + raiz; (5) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (6) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (7) ns = não significativo; (8) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

nificativamente do obtido com a lâmina de 55% da ETm, mas foi superior ao obtido com as outras duas lâminas. O aumento do peso seco das raízes com a ocorrência de estresse hídrico foi também observado por BENNETT e DOSS (1960), CLEMENTS (1964), DOSS *et alii* (1960), HSIAO e ACEVEDO (1974) e, especificamente em arroz, por BANBA e OHKUBO (1981) e CHANG *et alii* (1972). Segundo TURNER (1979), um aumento no peso seco das raízes pode indicar uma maior densidade de raízes ou uma maior profundidade; ambas são importantes adaptações morfológicas à déficits hídricos, no fato de que elas são capazes de uma maior extração de água do solo. Também são capazes de uma maior absorção de minerais (MENGEL e BARBER, 1974; PEARSON, 1974). Uma possível explicação do aumento da matéria seca das raízes devido ao estresse hídrico, é a oferecida por HSIAO e ACEVEDO (1974). Segundo estes autores, a assimilação de CO₂ não é tão reduzida pelo estresse hídrico como o crescimento do colmo. O aumento em assimilados, como um resultado do crescimento reduzido do colmo, permite um ajustamento osmótico e um crescimento extra das raízes.

Os rendimentos de matéria seca das raízes das cultivares de sequeiro foram significativamente maiores do que o da cultivar de arroz irrigado, em todas as lâminas d'água. Hasegawa (apud YOSHIDA, 1975), JONES *et alii* (1979) e NICOU *et alii* (1970) também verificaram um maior peso das raízes de cultivares de sequeiro em relação ao de cultivares de arroz irrigado. Isto é uma adaptação morfológica, as cultivares desenvolvidas para o cultivo irrigado não necessitam desenvolver suas raízes para explorar maior volume de solo em busca de água.

A adição de vermiculita aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea. Isto pode ter sido devido ao grande incremento no teor de magnésio trocável do solo provocado pela adição de vermiculita. KURUP e RAMANKUTTY (1969) observaram que a aplicação de altas doses de silicato de magnésio aumentou o rendimento da palha mas não afetou a produção de grãos do arroz. FAGERIA (1976) também observou que o aumento na concentração do magnésio aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva. BEDI e SEKHOM (1977) verificaram, em milho, que a aplicação de magnésio ao solo aumen

tou o rendimento de matéria seca.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao rendimento de matéria seca da parte aérea. As cultivares responderam de modo bem diferentes ao estresse hídrico. O rendimento de matéria seca da parte aérea da cultivar IRAT 13 não foi afetado significativamente pelas lâminas d'água, indicando uma boa adaptação às condições adversas de água no solo. Já o da cultivar IAC 47 foi afetado negativamente pela diminuição das lâminas d'água, sendo verificado o menor rendimento com a menor lâmina d'água. DE DATTA *et alii* (1975), ENYI (1968), HALM (1967), PATRICK JR. e FONTENOT (1976) e SHIGA (1975) também verificaram uma redução no rendimento de matéria seca do arroz com a ocorrência de estresse hídrico. Esta redução foi devida, principalmente, a menor altura das plantas. A cultivar IAC 47 foi a mais sensível ao estresse hídrico com relação à altura de planta. A redução na fotossíntese com o estresse hídrico também contribui para a redução do rendimento de matéria seca da parte aérea. A cultivar IET 1444, ao contrário da IAC 47, apresentou um maior rendimento de matéria seca da parte aérea nas duas menores lâminas d'água. Isto deve-se a que esta cultivar com o aumento na duração do ciclo devido ao estresse hídrico, emitiu perfilhos tardios que foram totalmente improdutivos mas contribuíram para o aumento do rendimento de matéria seca. DE DATTA e BEACHELL (1972) afirmam que o perfilhamento tardio deve ser evitado, pois as plantas que perfilham tarde e produzem panículas pequenas ou nenhuma, esgotam a água do solo.

Nas duas maiores lâminas d'água a cultivar IAC 47 apresentou o maior rendimento de matéria seca da parte aérea, devido a sua maior altura e folhas mais compridas e, nas duas menores lâminas d'água, o maior rendimento foi o da cultivar IET 1444, devido ao perfilhamento tardio.

O rendimento total de matéria seca da parte aérea também aumentou com a adição de vermiculita ao solo. SANTOS *et alii* (1982) também relatam um aumento no rendimento total de matéria seca da parte aérea de plantas de milho, pela adição de vermiculita. Como o rendimento total de matéria seca da parte aérea compreende a soma dos pesos secos de colmos, folhas, ráquis, grãos vazios e grãos cheios e como a adição de vermiculi

ta não teve efeito significativo sobre a produção de grãos, deduz-se que o aumento deveu-se somente ao aumento do peso da palha (colmos, folhas, raquis e grãos vazios).

Houve também uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao rendimento total de matéria seca da parte aérea. Todas as cultivares tiveram seu rendimento reduzido a medida que diminuíram as lâminas d'água, embora, para a cultivar IET 1444, não tenha havido diferença significativa entre os rendimentos obtidos com as lâminas d'água correspondentes a 85 e 100% da ETm. Para as cultivares IRAT 13 e IET 1444, esta redução foi devida ao decréscimo na produção de grãos pois o estresse hídrico não afetou o peso da palha da cultivar IRAT 13 e aumentou o da cultivar IET 1444. Já para a cultivar IAC 47, a redução foi devida ao decréscimo em ambos, peso da palha e produção de grãos. KRAMER (1974) e SLATYER (1967) também relatam decréscimos na produção total de matéria seca da parte aérea com a ocorrência de deficiência hídrica.

As cultivares diferiram significativamente, com relação aos seus rendimentos totais de matéria seca da parte aérea, somente na menore na maior lâmina d'água. Na menor, as cultivares IET 1444 e IRAT 13, apresentaram, respectivamente, o maior e o menor rendimento, devido a diferenças no peso da palha, pois não houve diferença significativa na produção de grãos. Na maior, a cultivar IAC 47 apresentou um maior rendimento do que c das outras cultivares, as quais não diferiram significativamente entre si. Isto foi devido ao maior peso da palha desta cultivar, pois ela teve uma produção de grãos mais baixa do que as das outras duas.

A adição de vermiculita também aumentou significativamente o rendimento total de matéria seca. O incremento no peso seco da palha foi o responsável por este aumento, pois a vermiculita não teve efeito sig nificativo na produção de grãos nem no peso das raízes. Houve também interação significativa entre cultivares e lâminas d'água. A resposta das cultivares ao decréscimo da lâmina d'água, em relação ao rendimento total de matéria seca, foi semelhante a observada em relação ao rendimento total de matéria seca da parte aérea. Entretanto, nas diferentes lâminas d'água, as cultivares tiveram um comportamento distinto do observado em re

lação ao rendimento total de matéria seca da parte aérea. Houve diferença significativa entre cultivares apenas nos tratamentos de lâminas d'água correspondentes a 85 e 100% da ETm, onde o rendimento total de matéria seca da cultivar IET 1444 foi menor do que os das outras cultivares, devido às suas raízes terem menor peso.

Os rendimentos médios de matéria seca obtidos no segundo experimento são apresentados na Tabela 13. A adição de vermiculita não afetou significativamente o rendimento de matéria seca das raízes, mas aumentou os demais rendimentos de matéria seca. Os aumentos no rendimento total de matéria seca da parte aérea e no rendimento total de matéria seca, foram devidos principalmente, ao incremento no peso da palha. Este incremento provavelmente teve como causa a elevação do teor de magnésio trocável do solo, como discutido anteriormente.

Os períodos de veranico não afetaram o peso das raízes, possivelmente porque na ocasião em que ocorreram as raízes já estavam completamente desenvolvidas.

Houve uma interação significativa entre períodos de veranicos e doses de vermiculita, com relação ao rendimento de matéria seca da parte aérea. Este só foi afetado significativamente pelos períodos de veranico nos tratamentos com adição de vermiculita, onde o menor rendimento foi verificado no tratamento com 8 dias de veranico. Neste tratamento não houve diferença significativa nos rendimentos obtidos com e sem adição de vermiculita ao solo, nos outros tratamentos os rendimentos foram maiores com a adição de vermiculita.

O rendimento total de matéria seca da parte aérea e o rendimento total de matéria seca diminuíram a medida que aumentaram os períodos de veranico devido, principalmente, a redução na produção de grãos.

4.6. Índice de colheita e relação raiz/colmo

Na Tabela 14 podem ser observadas as médias do índice de co

TABELA 13 - Rendimentos médios de matéria seca da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Matéria Seca (g/vaso)										
	Raízes			Parte Aérea ¹			Parte Aérea Total ²			Total ³	
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média		
0	15,06	14,55	14,80	51,66B	57,05aA	54,35	73,62	80,64	77,13a	95,19	91,93a
4	14,63	18,45	16,54	47,64B	56,55aA	52,10	58,41	64,05	61,23b	72,72	77,61b
8	15,34	14,99	15,16	51,15	49,68b	50,41	52,60	54,28	53,44c	67,94	68,60c
Média	15,01	16,00		50,15B	54,43A		61,54B	66,32A		76,45B	82,32A
Teste F											
Veranicos (VE)		1,48ns ⁵			2,96ns			92,54** ⁶		66,33**	
Doses Verm. (D0)		1,28ns			10,41**			10,87**		12,39**	
VE x D0		2,65ns			5,28* ⁷			1,22ns		2,17ns	
DMS (Tukey 5%)											
Veranicos		-			-			4,53		5,21	
VE dentro de D0		-			5,86			-		-	

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) parte aérea = colmos + folhas + raízes + grãos vazios; (2) parte aérea total = parte aérea + grãos cheios (peso seco); (3) total = parte aérea total + raiz; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ns = não significativo; (6) ** = significância ac nível de 1% de probabilidade; (7) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

lheita e da relação raiz/colmo, obtidos nos diversos tratamentos do primeiro experimento. Não houve efeito significativo da adição de vermiculita sobre estas duas relações.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao índice de colheita. Em todas as cultivares o índice diminuiu a medida que diminuíram as lâminas d'água. Na cultivar IRAT 13, entretanto, não houve diferença significativa entre as duas maiores lâminas d'água e, na IET 1444, entre as duas menores. CHANG e VERGARA (1975), ENYI (1968) e YOSHIDA (1975) também observaram que o déficit hídrico reduziu o índice de colheita de cultivares de arroz. Isto ocorre porque o estresse hídrico reduz proporcionalmente mais a produção de grãos do que o rendimento de matéria seca da palha. Pesquisadores do International Rice Research Institute também observaram isto e consideram o índice de colheita um bom índice de estresse hídrico (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1976).

Não houve diferença significativa entre as cultivares, com relação ao índice de colheita, no tratamento de lâmina d'água correspondente a 55% da ETm. Já nos tratamentos de lâminas d'água correspondentes a 70 e 85% da ETm, a cultivar IRAT 13 apresentou o maior índice de colheita, indicando maior adaptação ao estresse hídrico. CHANG e VERGARA (1975) verificaram que o índice de colheita, sob condições de sequeiro, foi geralmente maior para as cultivares de arroz de sequeiro do que para as de arroz irrigado, provavelmente por causa da maior fertilidade de panícula e grãos mais pesados das cultivares de sequeiro. No tratamento de lâmina d'água correspondente a 100% da ETm, ou seja, sem estresse hídrico, a cultivar IET 1444 apresentou o maior índice de colheita.

Também houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com respeito a relação raiz/colmo. As lâminas d'água não afetaram significativamente esta relação na cultivar de arroz irrigado. Nas cultivares de sequeiro, esta relação foi maior no tratamento com a menor lâmina d'água. O aumento da relação raiz/colmo devido ao estresse hídrico foi também observado por BEGG e TURNER (1976), DAVIDSON (1969), HOFFMAN *et alii* (1971) e LARCHER (1975) e, especificamente em arroz por

TABELA 14 - Médias do índice de colheita e da relação raiz/colmo de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água ¹ (% da ETm ¹)		Índice de Colheita ² (g/g)				Relação Raiz / Colmo ³ (g/g)			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	0,04	0,03	0,001		0,77	0,93	0,27	
	c/verm. ⁴	0,04	0,03	0,001		0,75	0,93	0,28	
	Média	0,04d	0,03c	0,001c	0,02d	0,76aB	0,93aA	0,28C	0,66a
70	s/verm.	0,28	0,47	0,09		0,53	0,64	0,28	
	c/verm.	0,16	0,43	0,12		0,53	0,64	0,26	
	Média	0,22cB	0,45bA	0,11cC	0,26c	0,53bB	0,64bA	0,27C	0,48b
85	s/verm.	0,36	0,69	0,51		0,47	0,58	0,26	
	c/verm.	0,34	0,61	0,50		0,45	0,56	0,24	
	Média	0,35bC	0,65aA	0,50bB	0,50b	0,46bcB	0,57bA	0,25C	0,42c
100	s/verm.	0,49	0,73	0,92		0,47	0,55	0,31	
	c/verm.	0,47	0,75	0,87		0,39	0,55	0,25	
	Média	0,48aC	0,74aB	0,90aA	0,70a	0,43cB	0,55bA	0,28C	0,42c
Média		0,27C	0,47A	0,38B		0,54B	0,67A	0,27C	

Teste F

Cultivares (CU)	39,94** ⁵	295,76**
Doses Verm. (DO)	1,94ns ⁶	2,15ns
Lâminas (LA)	268,02**	63,60**
CU x DO	0,30ns	0,24ns
CU x LA	20,36**	15,04**
DO x LA	0,32ns	0,54ns
CU x DO x LA	0,66ns	0,17ns

DMS (Tukey 5%)

Cultivares	0,05	0,04
Lâminas	0,07	0,05
CU dentro de LA	0,11	0,08
LA dentro de CU	0,12	0,09

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) Índice de colheita = produção de grãos (g/vaso) dividida pelo rendimento de matéria seca da parte aérea (g/vaso); (3) Relação raiz/colmo = peso seco das raízes (g/vaso) dividido pelo peso seco dos colmos (g/vaso); (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (6) ns = não significativo.

BANBA e OHKUBO (1981) e PARICHA e SAHOO (1975). De acordo com TURNER (1979), isto geralmente acontece devido à um maior decréscimo no crescimento da parte aérea em relação ao crescimento das raízes, mas também tem sido observado um aumento absoluto no crescimento radicular em condições de estresse hídrico. No caso deste experimento, o aumento na relação raiz/colmo foi devido à ambos os fatores; decréscimo no peso seco dos colmos e aumento no das raízes. No caso da cultivar IET 1444, o perfilhamento tardio que ocorreu nos tratamentos com as duas menores lâminas d'água aumentou o peso seco dos colmos, contrabalançando o aumento verificado no peso seco das raízes nestes mesmos tratamentos. Desta maneira explica-se porque as lâminas d'água não afetaram significativamente a relação raiz/colmo desta cultivar.

A relação raiz/colmo das cultivares de sequeiro foi maior do que a da cultivar de arroz irrigado, em todos os tratamentos de lâminas d'água, sendo esta relação maior na cultivar IRAT 13 do que na IAC 47. Hasegawa (apud YOSHIDA, 1975) também observou que a relação raiz/colmo foi maior para as cultivares de sequeiro do que para as irrigadas. Segundo LEVITT (1972), uma alta razão de desenvolvimento das raízes para crescimento do colmo é essencial para resistência à seca em condições de campo. Neste sentido, a cultivar IRAT 13 foi a que se apresentou melhor.

4.7. Consumo e eficiência do uso da água

Na Tabela 15 são apresentadas as médias do consumo de água e da eficiência do uso da água, obtidas no primeiro experimento. Pode ser observado que a adição de vermiculita não os afetou significativamente.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao consumo de água. Era esperado que o consumo de água diminuísse, para todas as cultivares, a medida que diminuíssem as lâminas d'água aplicadas. Entretanto, isto ocorreu apenas para as cultivares IAC 47 e IRAT 13, sendo que para esta última, não houve diferença significativa no consumo de água entre os tratamentos de lâminas d'água cor

TABELA 15 - Médias do consumo de água e da eficiência do uso da água de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da Etm ¹)		Consumo de Água (mm)				Eficiência do Uso da Água ² (mg/mm)			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	1490,9	1481,7	1374,5		1,14	0,99	0,02	
	c/verm. ³	1498,7	1500,6	1374,5		1,14	0,87	0,04	
	Média	1494,8dA	1491,2cA	1374,5dB	1453,5c	1,14d	0,93c	0,03d	0,70d
70	s/verm.	1615,1	1587,3	1521,2		8,07	11,83	3,25	
	c/verm.	1625,0	1633,0	1516,3		5,24	11,03	4,37	
	Média	1620,0cA	1610,2bA	1518,8bB	1583,0b	6,66cB	11,43bA	3,81cC	7,30c
85	s/verm.	1731,2	1660,8	1468,9		10,82	17,12	15,62	
	c/verm.	1695,2	1642,8	1468,9		10,49	16,05	15,96	
	Média	1713,2bA	1651,8bB	1468,9cC	1611,3b	10,66bB	16,58aA	15,79bA	14,34b
100	s/verm.	1816,1	1751,8	1586,9		13,71	18,30	22,90	
	c/verm.	1763,3	1725,3	1586,9		15,11	18,98	21,53	
	Média	1789,7aA	1738,5aB	1586,9aC	1705,0a	14,41aC	18,64aB	22,22aA	18,42a
Média		1654,4A	1622,9B	1487,3C		8,22C	11,90A	10,46B	

Teste F

Cultivares (CU)	176,55** ⁴	21,64**
Doses Verm. (DO)	0,36ns ⁵	0,28ns
Lâminas (LA)	181,05**	288,40**
CU x DO	0,77ns	0,09ns
CU x LA	6,56**	14,15**
DO x LA	1,81ns	0,25ns
CU x DO x LA	0,57ns	0,81ns

DMS (Tukey 5%)

Cultivares	22,67	1,35
Lâminas	28,79	1,72
CU dentro de LA	45,35	2,71
LA dentro de CU	49,87	2,98

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) Etm = evapotranspiração máxima, mm; (2) Eficiência do uso da água = produção de grãos (mg/vaso) dividida pelo consumo de água, mm; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) ns = não significativo.

respondentes a 70 e 85% da ETm. Para a cultivar IET 1444, o maior e o menor consumo de água ocorreram nos tratamentos com a maior e a menor lâmina d'água, respectivamente. Mas houve uma inversão em relação as lâminas d'água correspondentes a 70 e 85% da ETm, onde o consumo foi maior com a lâmina menor (70% da ETm). Isto se explica pelo fato dos tratamentos com menores lâminas d'água terem provocado um aumento na duração do ciclo e, apesar destes tratamentos terem recebido diariamente menores quantidades de água, as receberam durante um período maior, o que fez com que, em alguns casos, o consumo total de água fosse igual (caso da cultivar IRAT 13) ou superior (caso da cultivar IET 1444) ao obtido com uma lâmina d'água maior.

As diferenças no consumo de água observadas entre as cultivares foram devidas as diferenças em duração do ciclo, pois todas as cultivares receberam diariamente, em cada tratamento de lâmina d'água, a mesma quantidade de água. A cultivar IET 1444, que tem o ciclo mais curto, apresentou o menor consumo de água.

Observa-se que o consumo de água foi bastante elevado pois, segundo BROWN (1969), 1000 mm de precipitação, com 200 mm mensais durante a estação de crescimento, são adequados para o cultivo de arroz de sequeiro na América Latina. Este alto consumo de água foi devido a grande área foliar desenvolvida pelas cultivares e a elevada temperatura da casa de vegetação, como já discutido.

Também houve, com relação a eficiência do uso da água, uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água. Ela diminuiu, para todas as cultivares, a medida que diminuíram as lâminas d'água, sendo que para a cultivar IRAT 13 não houve diferença significativa entre as lâminas correspondentes a 85 e 100% da ETm. A redução na eficiência do uso da água significa que o decréscimo na quantidade de água aplicada, ao diminuírem as lâminas d'água, foi proporcionalmente menor do que o decréscimo na produção de grãos.

Não houve diferença significativa entre as cultivares, com relação a eficiência do uso da água, no tratamento de lâmina d'água cor

respondente a 55% da ETm. Entretanto, a cultivar IRAT 13 apresentou a maior eficiência do uso da água no tratamento de lâmina d'água correspondente a 70% da ETm e a cultivar IET 1444 no da correspondente a 100% da ETm. Já no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm, estas cultivares não diferiram entre si e apresentaram uma maior eficiência do uso da água do que a cultivar IAC 47.

Observa-se na Figura 11 que houve uma correlação significativa entre eficiência do uso da água e lâminas d'água, para todas as cultivares. Apesar da cultivar IRAT 13 ter apresentado uma menor eficiência do uso da água do que a cultivar IET 1444, quando não ocorreu estresse hídrico, ela manteve uma maior eficiência do uso da água do que as outras cultivares, ao diminuírem as lâminas d'água, mostrando maior adaptação ao estresse hídrico.

4.8. Nitrogênio na planta

4.8.1. Teor de nitrogênio na planta

Na Tabela 16 podem ser observados os teores médios de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira, nos diferentes tratamentos do primeiro experimento.

A adição de vermiculita ao solo causou uma redução significativa no teor de nitrogênio das folhas, colmos, grãos cheios e rãquis, o que levou a uma redução no teor de nitrogênio da planta como um todo. Isto provavelmente ocorreu devido a fixação pela vermiculita daquele nitrogênio do solo que se encontrava na forma de amônio, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas. A fixação de amônio pela vermiculita foi observada por vários pesquisadores (ALLISON *et alii*, 1953; MATSUI e TANI, 1963; RICH, 1961; SCHWERTMANN, 1966). Convém salientar que a adubação nitrogenada foi feita com sulfato de amônio. Um outro aspecto a ser considerado é que a adição de vermiculita aumentou o rendimento total da matéria seca e, como o teor de nitrogênio na planta é obtido pela divisão da

FIGURA 11 - Eficiência do uso da água de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a porcentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

TABELA.16 - Teores médios de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm)	Teor de N (%)											
	Raízes			Folhas			Colmos			Grãos Cheios		
	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média
55												
s/verm.	1,14	1,10	1,29		1,37	1,34	1,37		0,63	0,66	0,88	
c/verm.	1,13	1,08	1,27		0,95	1,04	1,28		0,54	0,57	0,90	
Média	1,14	1,09	1,28	1,17	1,16aB	1,19aD	1,32aA	1,23a	0,58aB	0,62aB	0,89aA	0,70a
70												
s/verm.	1,20	1,06	1,14		1,03	0,98	1,28		0,49	0,43	0,82	
c/verm.	1,07	1,08	1,15		0,84	0,76	1,16		0,37	0,39	0,67	
Média	1,14	1,07	1,14	1,12	0,94bB	0,87cB	1,22abA	1,01b	0,43bB	0,41bB	0,75bA	0,53b
85												
s/verm.	1,21	1,08	1,18		1,04	0,86	1,25		0,39	0,40	0,54	
c/verm.	1,34	1,09	1,32		0,75	0,67	1,09		0,36	0,40	0,48	
Média	1,27	1,09	1,25	1,20	0,90bB	0,77cB	1,18abA	0,95b	0,37bB	0,40bB	0,51cA	0,43c
100												
s/verm.	1,11	1,15	1,19		1,06	1,16	1,11		0,43	0,53	0,53	
c/verm.	1,16	1,12	1,33		1,01	0,90	1,02		0,43	0,42	0,51	
Média	1,13	1,14	1,26	1,18	1,03ab	1,03ab	1,06b	1,04b	0,43b	0,47b	0,52c	0,47bc
124c												
s/verm.	1,16	1,10	1,20	1,15	1,12	1,09	1,25	1,15a	0,48	0,51	0,69	0,56a
c/verm.	1,18	1,09	1,27	1,18	0,89	0,84	1,14	0,96b	0,42	0,44	0,64	0,50b
Média	1,17aB	1,10B	1,23A		1,01B	0,96B	1,20A		0,45B	0,48B	0,67A	
1,31B												
1,29B												
1,26B												
1,20B												
1,32B												
1,45B												
1,44B												
1,44A												
Teste F												
Cultivares (CU)	9,72***3				28,00**				75,05**			30,27**
Doses Verm. (DO)	1,02ns				53,95**				14,92**			4,08*5
Lâminas (LA)	1,94ns				19,77**				56,45**			46,72**
CU x DO	0,79ns				2,27ns				0,02ns			0,59ns
CU x LA	1,40ns				3,02**				7,49**			2,82*
DO x LA	1,28ns				1,21ns				1,03ns			0,87ns
CU x DO x LA	0,62ns				1,06ns				1,49ns			0,63ns
DMS (Tukey 5%)												
Cultivares	0,07				0,08				0,05			0,05
Lâminas	-				0,10				0,06			0,06
CU dentro de LA	-				0,16				0,09			0,10
LA dentro de CU	-				0,17				0,10			0,11

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns = não significativo; (5) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

(continuação da Tabela 16)

Lâminas d' Água (% da Etm)		Teor de N (%)									
		Râquis					Grãos Vazios				
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13
		Total									
55	s/verm.	0,92	1,01	1,44		1,14	1,29	1,46		1,01	1,02
	c/verm.	0,92	1,02	1,39		0,95	1,12	1,34		0,84	0,90
	Média	0,92aB	1,02aB	1,41aA	1,12a	1,05aB	1,20aAB	1,40aA	1,22a	0,92	0,96
70	s/verm.	0,70	0,66	0,90		0,82	0,82	0,96		0,90	0,90
	c/verm.	0,66	0,48	0,88		0,78	0,78	1,00		0,74	0,82
	Média	0,68bB	0,57bB	0,89bA	0,71b	0,80b	0,80b	0,98b	0,86b	0,82	0,86
85	s/verm.	0,66	0,62	0,70		0,70	0,72	0,65		0,84	0,87
	c/verm.	0,56	0,50	0,66		0,75	0,70	0,66		0,79	0,80
	Média	0,61b	0,56b	0,68c	0,62b	0,73b	0,71b	0,65c	0,70c	0,82	0,83
100	s/verm.	0,78	0,73	0,76		0,70	1,04	0,67		0,88	1,00
	c/verm.	0,75	0,60	0,53		0,77	1,23	0,65		0,86	0,88
	Média	0,76ab	0,66b	0,64c	0,69b	0,74bB	1,12aA	0,66cB	0,84b	0,87	0,94
Média	s/verm.	0,76	0,75	0,95	0,82a	0,84	0,97	0,94	0,91	0,90	0,95
	c/verm.	0,72	0,65	0,86	0,74b	0,81	0,95	0,91	0,89	0,81	0,85
	Média	0,74B	0,70B	0,91A		0,83B	0,96A	0,92AB		0,86B	0,90B
Teste F											
Cultivares (CU)		22,38**									
Doses Verm. (DO)		8,55**									
Lâminas (LA)		72,30**									
CU x DO		0,55ns									
CU x LA		8,89**									
DO x LA		0,86ns									
CU x DO x LA		0,60ns									
DMS (Tukey 5%)											
Cultivares		0,08									
Lâminas		0,10									
CU dentro de LA		0,16									
LA dentro de CU		0,17									

30,99**

31,75**

15,02**

1,53ns

0,53ns

0,86ns

1,12ns

0,04

0,05

-

-

quantidade total de nitrogênio absorvida pelo rendimento total de matéria seca, um aumento no rendimento de matéria seca, se a quantidade absorvida permanecer constante, diminui o teor de nitrogênio. É o efeito de diluição.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação ao teor de nitrogênio, para todas as partes da planta, com exceção das raízes. Considerando a planta inteira, entretanto, esta interação não foi significativa. O teor de nitrogênio aumentou nos tratamentos com déficit hídrico (lâminas d'água correspondentes a 55, 70 e 85% da ETm), com exceção das raízes, em todas as partes da planta e na planta inteira, para todas as cultivares, a medida que aumentou o estresse hídrico, apesar de em alguns casos não ter havido diferença significativa entre uma lâmina d'água e outra. De acordo com VIETS Jr. (1972), isto é causado por uma maior redução na taxa de crescimento em relação a taxa de absorção, com o incremento do estresse hídrico. A deficiência hídrica inibiu mais o crescimento do que a absorção de nitrogênio. De fato, HSIAO (1973) considera que o crescimento é o processo mais sensível ao estresse hídrico. A redução no crescimento é evidenciada pela redução no peso de 100 grãos, na altura das plantas e no rendimento total de matéria seca da parte aérea. Por outro lado, o estresse hídrico aumentou o rendimento da matéria seca das raízes o que, como já discutido, significa maior densidade de raízes ou uma maior profundidade, implicando na exploração de um maior volume de solo. Isto pode ter minimizado os efeitos do estresse hídrico na absorção de nitrogênio. Um outro aspecto a ser considerado é que o estresse hídrico reduz a translocação de nitrogênio para os grãos, provocando um acúmulo de nitrogênio em outras partes da planta, principalmente nas folhas. De acordo com HILL (1980), em plantas que não formam grãos, devido à uma deficiência qualquer (água, nutrientes, frio, etc) a remobilização, mesmo de um nutriente móvel como o nitrogênio, deve ser baixa devida a ausência de um dreno. Ainda segundo este autor, as folhas maduras que senescem rapidamente devido à um estresse hídrico severo, atingem seu máximo conteúdo de nitrogênio na senescência completa, provavelmente devido a que a atividade do floema declina marcadamente.

O teor de nitrogênio nas raízes não aumentou com o incremento

to do estresse hídrico porque o seu crescimento não foi inibido, ao contrário, ele aumentou.

No tratamento sem estresse hídrico (lâmina d'água correspondente à 100% da ETm), o teor de nitrogênio da planta inteira só foi menor do que o teor observado no tratamento com estresse mais intenso (lâmina d'água correspondente à 55% da ETm). Isto é devido a que a disponibilidade dos nutrientes é maior quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo (CRAFTS, 1968; HERNANDEZ, 1969; PONNAMPERUMA, 1975; VIETS Jr., 1972). Portanto, com o incremento do estresse hídrico há uma diminuição na taxa de absorção de nitrogênio, embora também diminua a taxa de crescimento. Com um estresse hídrico suave a taxa de absorção é mais reduzida do que a de crescimento e o teor de nitrogênio diminui em relação ao observado sem déficit hídrico. Com o aumento na intensidade do estresse, a taxa de crescimento vai sendo mais afetada que a de absorção e o teor de nitrogênio aumenta. Isto pode ser melhor observado na Figura 12, onde é apresentada a média do teor de nitrogênio total das três culturas estudadas, considerando a planta inteira, em função das lâminas d'água. Verifica-se que houve uma correlação quadrática altamente significativa entre teor de nitrogênio e lâminas d'água. Pela curva de regressão observa-se que o teor mínimo de nitrogênio ocorreu para uma lâmina d'água correspondente à cerca de 80% da ETm. Isto significa que, nas condições em que foi conduzido este experimento, uma redução de até 20% na quantidade de água aplicada diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita, em relação a aplicada na lâmina d'água correspondente a ETm, reduz mais a taxa de absorção de nitrogênio do que a de crescimento e, a partir deste valor, ocorre o contrário.

A revisão de literatura feita por VIETS Jr. (1965), mostrou que, para várias culturas, a relação entre teor de nitrogênio (%) e produção de grãos ou rendimento de matéria seca é uma curva que frequentemente tem a forma de um U. Portanto, a forma da curva de regressão apresentada na Figura 12 concorda com o observado por VIETS Jr (1965), pois tanto a produção de grãos como o rendimento total de matéria seca aumentaram com o incremento da lâmina d'água. A correlação entre teor de nitrogênio e

FIGURA 12 - Teor médio de nitrogênio total na planta inteira de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a porcentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

rendimento total de matéria seca apresentada na Figura 13 permite uma melhor visualização do exposto.

O aumento no conteúdo de nitrogênio das plantas com o incremento no estresse hídrico concorda com o que tem sido relatado por diversos pesquisadores (CHEN *et alii*, 1964; HALM, 1967; KOZLOWSKI, 1964; NAYLOR, 1972; RICHARDS e WADLEIGH, 1952; SHIGA, 1975). Outros pesquisadores (CAMPBELL *et alii*, 1969; SHIGA, 1975; STONE, 1976; STORRIER, 1965) verificaram que o estresse hídrico aumenta o teor de nitrogênio de grãos pequenos, o que também foi observado neste experimento. Por outro lado, DE DATTA *et alii* (1975) e ENYI (1968) observaram que o conteúdo de nitrogênio de plantas de arroz diminuiu com o decréscimo da umidade do solo. Isto provavelmente ocorreu porque o estresse hídrico verificado foi suave, para um estresse mais severo o conteúdo deveria aumentar.

Com exceção dos grãos vazios, onde a cultivar IRAT 13 apresentou um maior teor de nitrogênio do que as outras cultivares, não houve diferença significativa entre as cultivares com relação ao teor de nitrogênio nas diversas partes da planta, no tratamento sem estresse hídrico. Entretanto, nos tratamentos com estresse hídrico, a cultivar IET 1444 apresentou um maior teor de nitrogênio nas folhas, colmos, grãos cheios, ráquis (apenas nos tratamentos de lâmina d'água correspondentes a 55 e 70% da ETm) e grãos vazios (apenas no tratamento com lâmina d'água correspondente a 55% da ETm) do que as outras duas cultivares, sendo que em uns poucos casos não diferiu significativamente de uma ou de outra. Isto pode ser devido ao fato de que, como discutido anteriormente, a produção de grãos desta cultivar é reduzida mais drasticamente com o incremento do estresse hídrico do que a das outras duas cultivares, o que faz com que a translocação de nitrogênio para os grãos seja mais reduzida, aumentando o teor de nitrogênio em outras partes da planta. Além disto, como o teor de nitrogênio das raízes, folhas, colmos e grãos cheios desta cultivar apresentou uma tendência em ser mais elevado do que o das outras cultivares, no tratamento sem estresse hídrico, pode ser que a cultivar IET 1444 seja mais eficiente na absorção de nitrogênio do que as outras cultivares. Por isto tudo, o teor de nitrogênio na planta inteira foi maior na cultivar IET 1444 do que nas outras cultivares, que não diferiram significati

FIGURA 13 - Teor médio de nitrogênio total na planta inteira de três cultivares de arroz, em função de seus rendimentos totais de matéria seca.

vamente entre si. TSUNODA (1965) concluiu que as cultivares de arroz de folhas eretas (caso da cultivar IET 1444) utilizam mais eficientemente o fertilizante nitrogenado do que as de folhas decumbentes.

Comparando-se os teores de nitrogênio nas diversas partes da planta observa-se que ele foi maior nos grãos cheios, o que concorda com o observado por FURLANI *et alii* (1977) e GARGANTINI e BLANCO (1965). Observando-se os teores de nitrogênio nos tratamentos sem estresse hídrico e sem adição de vermiculita, para efeito de comparação com a literatura, verifica-se que o teor nos grãos cheios variou de 1,26 a 1,28% concordando com o observado por CHIU *et alii* (1963) e GARGANTINI e BLANCO (1965). O teor nas folhas variou de 1,06 a 1,16%, situando-se entre os teores observados por FURLANI *et alii* (1977) e os observados por MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981); o teor nas raízes variou de 1,11 a 1,19%, situando-se entre o teor observado por GARGANTINI e BLANCO (1965) e os observados por MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981); os teores nos colmos e rãquis variaram de 0,43 a 0,53% e de 0,73 a 0,78%, respectivamente, situando-se abaixo dos valores observados por SILVA *et alii* (1981). Os dados de MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981) foram obtidos em cultivo em solução nutritiva, o que pode ser a causa dos teores mais elevados.

Os teores de nitrogênio total observados nas várias partes da planta e na planta inteira da cultivar IAC 47, no segundo experimento, podem ser vistos na Tabela 17.

Observa-se que a adição de vermiculita não afetou significativamente o teor de nitrogênio nas diversas partes da planta, mas considerando a planta inteira, ele foi mais elevado nos tratamentos sem vermiculita. Isto provavelmente ocorreu devido ao efeito de diluição, isto é, como o rendimento de matéria seca foi maior nos tratamentos com vermiculita e como a quantidade de nitrogênio absorvida foi igual para os tratamentos sem e com vermiculita, o que será discutido posteriormente, o teor de nitrogênio diminuiu nos tratamentos com vermiculita. Por outro lado, a diminuição também verificada no primeiro experimento não foi devida à diluição, ou somente à diluição, porque a quantidade de nitrogênio absorvida diminuiu nos tratamentos com vermiculita, como será visto mais adiante, in

TABELA 17 - Teores médios de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira, da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Teor de N (%)											
	Raízes			Folhas			Colmos			Grãos Cheios		
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média
0	1,11	1,16	1,13	1,06	1,01	1,03c	0,43	0,43	0,43c	1,26	1,23	1,25b
4	1,17	1,10	1,14	1,73	1,52	1,63b	0,65	0,55	0,60b	1,70	1,75	1,72a
8	1,20	1,18	1,19	2,13	1,82	1,98a	0,93	0,84	0,89a	1,78	1,96	1,87a
Média	1,16	1,15		1,64	1,45		0,67	0,61		1,58	1,65	
Teste F												
Veranicos (VE)		0,37ns ²			37,22** ³			35,12**			47,85**	
Doses Verm. (D0)		0,05ns			4,29ns			1,98ns			1,53ns	
VE x D0		0,26ns			0,74ns			0,49ns			1,28ns	
DMS (Tukey 5%)												
Veranicos		-			0,28			0,14			0,25	

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) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (2) ns = não significativo; (3) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

(continuação da Tabela 17)

Veranicos (dia)	Teor de N (%)									
	Rãquis		Grãos Vazios				Total			
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	
0	0,78	0,75	0,76b	0,70	0,77	0,74c	0,88	0,86	0,87c	
4	1,42	1,50	1,46a	1,54	1,47	1,51b	1,18	1,04	1,11b	
8	1,64	1,69	1,67a	1,82	1,92	1,86a	1,39	1,30	1,35a	
Média	1,28	1,31		1,36	1,39		1,15A	1,07B		
Teste F										
Veranicos (VE)		35,14**			84,01**				71,13**	
Doses Verm. (D0)		0,13ns			0,19ns				6,33* ⁴	
VE x D0		0,12ns			0,53ns				1,14ns	
DMS (Tukey 5%)										
Veranicos		0,29			0,23				0,10	

dicando fixação de nitrogênio.

A diferença entre os dois experimentos, com relação a fixação de nitrogênio, deve-se ao fato de que no primeiro experimento, nos tratamentos com estresse hídrico, do início da fase reprodutiva até a colheita o solo esteve submetido a um ciclo de secagem e molhamento. O solo se cava durante o dia mas a cada irrigação a umidade do solo aumentava um pouco. Segundo NÖMMIK (1965), secagem e molhamento alternados favoreceu a fixação de amônio mais do que a simples secagem. Já no segundo experimento, o solo esteve sempre úmido até a emissão das panículas e, depois dos veranicos, também permaneceu úmido. Ainda segundo NÖMMIK (1965), a fixação de amônio sob condições úmidas é baixa. Além disto, quando foram simulados os veranicos, a planta de arroz já deveria ter absorvido cerca de 70% do seu nitrogênio total (REYES *et alii*, 1962), diminuindo a concentração de nitrogênio no solo. Portanto, apesar da secagem do solo favorecer a fixação de amônio, a sua concentração no solo deveria ser baixa, o que diminui a fixação (NÖMMIK, 1965).

Pode se observar ainda na Tabela 17 que, com exceção das raízes, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos de veranicos, o teor de nitrogênio em todas as partes da planta e na planta inteira aumentou com o incremento do período de veranico, embora nos râquis e grãos cheios não tenha havido diferença significativa entre os períodos de 4 e 8 dias. Como discutido anteriormente, isto é devido à maior redução na taxa de crescimento em relação à de absorção. No caso específico deste experimento, o grande aumento no teor de nitrogênio nas diversas partes da planta foi causado, principalmente, pela redução na translocação do nitrogênio por uma drástica diminuição no tamanho do dreno (a produção de grãos foi grandemente reduzida pelo incremento dos períodos de veranicos). Além disto, como antes e após os períodos de veranico o solo esteve em condições ótimas de umidade, a absorção de nitrogênio deve ter sido muito pouco afetada. O teor de nitrogênio das raízes não foi afetado significativamente pelos períodos de veranico possivelmente porque as raízes já estavam completamente desenvolvidas quando eles foram impostos e o seu rendimento de matéria seca não foi afetado.

Observa-se na Figura 14 que o teor de nitrogênio na planta inteira da cultivar IAC 47 apresentou uma correlação linear e positiva, altamente significativa, com a duração do período de veranico. Comparando os dois experimentos verifica-se que um estresse hídrico severo aumenta o teor de nitrogênio da planta de arroz, seja ele imposto gradual ou abruptamente.

4.8.2. Absorção de nitrogênio pela planta

Na Tabela 18 podem ser vistas as quantidades médias de nitrogênio absorvidas pelas diversas partes da planta e pela planta inteira, nos diferentes tratamentos do primeiro experimento.

A adição de vermiculita ao solo reduziu significativamente a quantidade de nitrogênio absorvida pelos rãquis, folhas e pela planta como um todo. Esta redução foi causada, provavelmente, pela fixação pela vermiculita do nitrogênio que se encontrava na forma de amônio, como discutido anteriormente. Para se ter uma idéia da ordem de grandeza da fixação ocorrida considerou-se a diferença nas quantidades totais de nitrogênio absorvidas sem (706,4 mg) e com (660,9 mg) vermiculita como representativa da quantidade média de amônio fixado. Desta maneira tem-se que foram fixados 45,5 mg de amônio por 5 kg de solo, ou seja, $9,1 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{g}$ solo. Este valor pode ser considerado baixo pois SOWDEN *et alii* (1978), estudando a fixação de amônio por solos do Canadá, observaram que esta variou de 12 a $450 \mu\text{g N-NH}_4^+/\text{g}$ solo. Como a vermiculita utilizada foi a do tipo Superfina e como o solo apresenta uma reação medianamente ácida, era de se esperar que a fixação fosse baixa pois BARSHAD (1954) verificou que quanto menor o tamanho de partícula de vermiculita menor é a sua capacidade de fixar amônio e NÖMMIK (1965) relata que a fixação aumenta com a elevação do pH, sendo baixa a valores de pH menores do que 5,5. ALLISON *et alii* (1953) verificaram que o tratamento com calor, que causa a esfoliação da vermiculita reduz ou destrói sua capacidade de fixar íons amônio.

A quantidade de nitrogênio absorvida pela planta como um to

FIGURA 14 - Teor médio de nitrogênio na planta inteira da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

TABELA 18 - Médias da quantidade de nitrogênio total absorvida por diversas partes da planta e pela planta inteira, de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d' Água (% da ETm ¹)		Q N T P ²													
		Raízes						Folhas							
		mg / vaso			% do Total			mg / vaso			% do Total				
		IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444
55	s/verm.	220,0	221,8	121,1					233,2	225,7	207,0				
	c/verm. ³	218,0	221,4	128,0					161,1	179,6	206,6				
	Média	219,0aA	221,6aA	124,5aB	188,4a	36,7	37,6	18,4	197,1a	202,7a	206,8a	202,2a	33,0	34,4	30,6
70	s/verm.	173,4	153,0	119,5					175,8	159,9	192,2				
	c/verm.	184,6	164,5	112,6					157,2	127,8	173,0				
	Média	179,0bA	158,7bA	116,1abB	151,3b	29,4	25,5	16,9	166,5bAB	143,6bCB	182,6abA	164,3b	27,3	23,1	26,5
85	s/verm.	182,6	151,0	89,9					184,3	138,8	174,7				
	c/verm.	197,3	155,9	98,2					129,0	111,7	155,0				
	Média	189,9bA	153,4bB	94,0bcbC	145,8bc	27,9	22,8	13,4	155,6bA	125,3cbB	164,8bcbA	148,9b	23,0	18,6	23,4
100	s/verm.	165,0	161,0	91,6					182,8	192,7	142,2				
	c/verm.	168,2	155,4	80,3					178,7	149,5	134,5				
	Média	166,6bA	158,2bA	85,9cbB	136,9c	21,0	19,6	11,2	180,7abA	171,1bA	138,3cbB	163,4b	22,7	21,2	18,1
Média	s/verm.	185,2	171,7	105,5	154,1				194,0a	179,3a	179,0	184,1a			
	c/verm.	192,0	174,3	104,8	157,0				156,5bAB	142,2bB	167,3A	155,3b			
	Média	188,6A	173,0B	105,1C					175,2A	160,7B	173,1AB				
Teste F															
Cultivares (CU)		195,73** ⁴						3,65* ⁵							
Doses Verm. (DO)		0,61ns ⁶						36,86**							
Lâminas (LA)		38,22**						23,12**							
CU x DO		0,35ns						3,23*							
CU x LA		4,31**						5,37**							
DO x LA		0,64ns						1,05ns							
CU x DO x LA		0,32ns						1,63ns							
DMS (Tukey 5%)															
Cultivares		10,76						13,92							
Lâminas		13,66						17,68							
CU dentro de DO		-						19,69							
CU dentro de LA		21,52						27,85							
LA dentro de CU		23,67						30,63							

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) QNT P = quantidade de nitrogênio total absorvido pela planta; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) * = significância ao nível de 5% de probabilidade; (6) ns = não significativo.

(continuação da Tabela 18)

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)	Q N T P											
	Colmos						Grãos Cheios					
	mg / vaso			% do Total			mg / vaso			% do Total		
	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média
55	s/verm.	158,4	143,4	304,9					22,4	19,1	0,4	
	c/verm.	139,0	125,1	321,7					19,5	17,0	0,8	
	Média	148,78	134,2ab	313,3aA	198,8a	24,9	46,4		21,0d	18,0d	0,6d	13,2d
												3,5
												3,0
												0,1
70	s/verm.	133,7	97,6	304,1					153,8	219,8	66,4	
	c/verm.	119,4	93,2	249,0					98,9	207,8	89,4	
	Média	126,68	95,4bc	276,5bA	166,2b	20,8	40,2		126,3cd	213,8cA	77,9cC	139,4c
												20,7
												34,4
												11,3
85	s/verm.	127,5	96,9	156,8					199,1	303,0	268,4	
	c/verm.	120,9	103,0	155,1					199,2	268,6	271,0	
	Média	124,28	99,95b	156,0cA	132,2c	18,2	22,2		199,25b	285,8bA	269,8bA	251,6b
												29,2
												42,5
												38,3
100	s/verm.	137,8	134,2	131,1					275,2	355,9	414,2	
	c/verm.	161,1	105,2	124,1					290,1	333,2	384,9	
	Média	149,4A	119,7abB	127,6cAB	126,7c	18,8	16,7		282,7ac	344,5ab	399,6aA	342,3a
												35,6
												42,6
												52,3
Média	s/verm.	139,3	118,0	224,2	160,5				162,6	224,4	187,4	191,5
	c/verm.	135,1	106,6	212,4	151,4				151,9	206,6	186,5	181,7
	Média	137,28	112,3c	218,3A					157,3c	215,5A	187,0B	
Teste F												
Cultivares (CU)		165,08**							19,33**			
Doses Verm. (DO)		3,36ns							1,63ns			
Lâminas (LA)		45,03**							345,99**			
CU x DO		0,24ns							0,41ns			
CU x LA		35,81**							13,31**			
DO x LA		1,13ns							0,13ns			
CU x DO x LA		2,01ns							1,05ns			
DMS (Tukey 5%)												
Cultivares		14,64							22,47			
Lâminas		18,56							28,54			
CU dentro de DO		-							-			
CU dentro de LA		29,27							44,95			
LA dentro de CU		32,19							49,42			

(continuação da Tabela 18)

Lâminas d' Água (% da ETm ¹)		Q N T P			
		Total			
		mg/vaso			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	644,2	622,8	663,0	
	c/verm.	550,4	555,4	687,0	
	Média	597,3cB	589,1cB	675,0bA	620,4c
70	s/verm.	647,4	642,0	716,5	
	c/verm.	571,7	601,9	660,4	
	Média	609,5cB	621,9bcB	688,4bA	640,0c
85	s/verm.	705,8	697,6	708,8	
	c/verm.	656,3	647,2	698,6	
	Média	681,0b	672,4b	703,7ab	685,7b
100	s/verm.	776,8	859,3	793,2	
	c/verm.	812,0	756,2	733,6	
	Média	794,4a	807,8a	763,4a	788,5a
Média	s/verm.	693,5	705,4	720,4	706,4a
	c/verm.	647,6	640,2	694,9	660,9b
	Média	670,6B	672,8B	707,6A	

Teste F

Cult ivares (CU)	6,37**
Doses Verm. (DO)	22,98**
Lâminas (LA)	62,38**
CU x DO	1,46ns
CU x LA	3,81**
DO x LA	0,20ns
CU x DO x LA	2,48ns

DMS (Tukey 5%)

Cult ivares	27,92
Lâminas	35,45
CU dentro de DO	-
CU dentro de LA	55,84
LA dentro de CU	61,40

do ou por suas partes, está relacionada com o seu teor de nitrogênio e com o seu rendimento de matéria seca. O aumento em um destes parâmetros implica em aumento na quantidade de nitrogênio absorvida, desde que o outro não diminua. O estresse hídrico afeta estes parâmetros geralmente aumentando o teor de nitrogênio e reduzindo o rendimento de matéria seca, a não ser no caso das raízes e grãos vazios em que ele geralmente aumenta o rendimento de matéria seca. Desta maneira pode-se perceber que, em alguns casos, a quantidade de nitrogênio absorvida não é afetada pelo estresse hídrico, pois há uma compensação do aumento no teor de nitrogênio pela redução do rendimento de matéria seca.

Como não houve diferença significativa entre os tratamentos de lâminas d'água com relação ao teor de nitrogênio nas raízes, a quantidade de nitrogênio absorvida por elas está relacionada diretamente com o seu rendimento de matéria seca. Já que este foi maior com a menor lâmina d'água, a quantidade de nitrogênio absorvida também o foi, apesar de para a cultivar IET 1444 não diferir significativamente da quantidade absorvida no tratamento de lâmina d'água correspondente a 70% da ETm, porque o seu rendimento de matéria seca das raízes também não diferiu com estas duas lâminas d'água. Por outro lado, por ter menor rendimento de matéria seca das raízes do que as cultivares de sequeiro, a cultivar IET 1444 apresentou uma menor quantidade de nitrogênio absorvida pelas raízes do que elas, apesar de ter um maior teor de nitrogênio nas raízes.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelas folhas também foi maior no tratamento com a menor lâmina d'água, embora não tenha diferido significativamente das quantidades absorvidas nos tratamentos de lâminas d'água correspondentes a 100% da ETm, no caso da cultivar IAC 47, e a 70% da ETm, no caso da cultivar IET 1444. A quantidade de nitrogênio absorvida pelas folhas, ao contrário da absorvida pelas raízes, está relacionada principalmente com o teor de nitrogênio, o que pode ser visto comparando o teor com a quantidade absorvida. Nos tratamentos de lâminas d'água correspondentes a 70 e 85% da ETm, a quantidade de nitrogênio absorvida pelas folhas da cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, devido ao seu maior teor de nitrogênio na folha nestes tratamentos. No tratamento sem estresse hídrico, entretanto, o maior ren

dimento de matéria seca foliar das cultivares de sequeiro fez com que a quantidade de nitrogênio absorvida pelas folhas destas cultivares fosse maior do que a absorvida pelas folhas da cultivar IET 1444.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos de lâminas d'água com relação a quantidade de nitrogênio absorvida pelos colmos da cultivar IAC 47. Para as outras cultivares, entretanto, a quantidade absorvida foi maior com a menor lâmina d'água embora, para a cultivar IRAT 13, não tenha diferido significativamente da quantidade absorvida no tratamento sem estresse hídrico. Observa-se que, para a cultivar IAC 47, houve uma compensação entre o teor de nitrogênio e o rendimento de matéria seca. O teor aumentou com o decréscimo da lâmina d'água e o rendimento de matéria seca diminuiu, resultando que os tratamentos de lâminas d'água não afetaram significativamente a quantidade de nitrogênio absorvida pelos colmos. Já no caso da cultivar IET 1444, além do aumento no teor de nitrogênio como incremento do estresse hídrico, houve também um aumento no rendimento de matéria seca dos colmos devido ao perfilhamento tardio, resultando no incremento da quantidade de nitrogênio absorvida. Nos tratamentos com estresse hídrico, a quantidade de nitrogênio absorvida pelos colmos da cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, devido ao seu maior teor de nitrogênio. No tratamento sem estresse hídrico não houve diferença significativa entre as cultivares IAC 47 e IET 1444, sendo que a quantidade de nitrogênio absorvida pelos colmos da primeira cultivar foi significativamente maior do que a absorvida pelos colmos da cultivar IRAT 13, devido ao seu maior rendimento de matéria seca dos colmos.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos diminuiu, para todas as cultivares, a medida que diminuíram as lâminas d'água. Isto ocorreu, apesar do aumento no teor de nitrogênio, devido a redução na produção de grãos com o incremento do estresse hídrico. Não houve diferença significativa entre as cultivares na menor lâmina d'água mas nas lâminas correspondentes a 70 e 100% da ETm as cultivares IRAT 13 e IET 1444 apresentaram, respectivamente, a maior quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos, por causa das suas maiores produções nestes tratamentos. Na

lâmina d'água correspondente a 85% da ETm, a maior produção de grãos da cultivar IRAT 13 foi compensada pelo maior teor de nitrogênio da cultivar IET 1444 e não houve diferença significativa entre estas cultivares com relação a quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelos râquis das cultivares IAC 47 e IRAT 13 foi maior no tratamento sem estresse hídrico do que nos com estresse, que não diferiram significativamente entre si, sendo que para a cultivar IRAT 13 a quantidade absorvida no tratamento sem estresse não diferiu significativamente da absorvida no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm. O maior rendimento de matéria seca dos râquis no tratamento sem estresse, devido ao maior número e ao maior tamanho das panículas, foi o responsável pela maior quantidade de nitrogênio absorvido neste tratamento. No caso da cultivar IET 1444, houve uma compensação entre o teor de nitrogênio, que aumentou com o estresse, e rendimento de matéria seca do râquis, que diminuiu, fazendo com que não houvesse diferença significativa entre os tratamentos de lâminas d'água com relação a quantidade de nitrogênio absorvido pelos râquis. Esta quantidade foi maior para a cultivar IET 1444 do que para as outras cultivares, em todas as lâminas d'água, embora no tratamento sem estresse hídrico não tenha diferido significativamente da quantidade absorvida pela cultivar IAC 47. Isto ocorreu devido ao maior número de panículas da cultivar IET 1444, dando um maior rendimento de matéria seca dos râquis.

Não houve diferença significativa entre as lâminas d'água com relação a quantidade de nitrogênio absorvido pelos grãos vazios das cultivares IAC 47 e IRAT 13. Já a quantidade absorvida pelos grãos vazios da cultivar IET 1444 foi menor no tratamento sem estresse hídrico, devido a mais baixa porcentagem de grãos vazios neste tratamento, o que reduziu o rendimento de matéria seca dos mesmos. Nas duas menores lâminas d'água, a quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos vazios da cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, devido a sua maior porcentagem de grãos vazios nestes tratamentos. Por outro lado, devido a sua menor esterelidade de grãos no tratamento sem estresse hídrico, a quantidade absorvida por ela foi a menor neste tratamento.

Considerando a planta inteira observa-se que a quantidade de nitrogênio absorvida foi maior no tratamento sem estresse hídrico, em todas as cultivares, embora para a cultivar IET 1444 esta quantidade não tenha diferido significativamente da absorvida no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm. Verifica-se que a maior quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos, no tratamento sem estresse hídrico, foi a responsável por este resultado pois, de maneira geral, para as raízes, colmos, folhas e grãos vazios, a quantidade absorvida foi maior no tratamento com a menor lâmina d'água. Só houve diferença significativa entre as cultivares, com relação a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta inteira, nos tratamentos com as duas menores lâminas d'água, onde a quantidade absorvida pela cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, que não diferiram significativamente entre si. O maior teor de nitrogênio da cultivar IET 1444 foi o responsável por este resultado pois não houve diferença significativa nos rendimentos totais de matéria seca das cultivares nestes tratamentos.

A redução na absorção de nitrogênio em consequência do estresse hídrico também foi observada por vários pesquisadores (GREENWAY e KLEPPER, 1969; STORRIER, 1965; TISDALE e NELSON, 1975; Turner apud BEGG e TURNER, 1976) e, especificamente em arroz, por HALM (1967) e REHATTA *et alii* (1979). O fluxo de massa é o responsável pela maioria do transporte de nitrogênio para as raízes (BARBER *et alii*, 1963; MALAVOLTA, 1980). Desta maneira, o aumento no déficit hídrico reduz a absorção de nitrogênio por diminuir a taxa de absorção de água. Considerando que o estresse hídrico reduziu o rendimento total de matéria seca e a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta, pode-se afirmar, de acordo com VIETS Jr. (1972), que ele diminuiu a disponibilidade de nitrogênio para as plantas.

Comparando as quantidades de nitrogênio absorvidas nos tratamentos com a maior e a menor lâmina d'água, observa-se que houve uma redução na quantidade absorvida de 24,8% para a cultivar IAC 47, de 27,1% para a IRAT 13 e de 11,6% para a IET 1444.

A distribuição na planta do nitrogênio absorvido variou com o estresse hídrico. No tratamento sem estresse hídrico a maior proporção

do nitrogênio absorvido ficou nos grãos cheios. Esta proporção diminuiu a medida que o estresse hídrico aumentou e aumentou a das raízes, colmos, folhas e grãos vazios. No tratamento com a menor lâmina d'água, a maior proporção do nitrogênio absorvido pelas plantas das cultivares IAC 47 e IRAT 13 ficou nas raízes, seguido das folhas e colmos. Já no caso da cultivar IET 1444, devido ao seu menor rendimento de matéria seca das raízes, a maior proporção do nitrogênio absorvido ficou nos colmos, seguido das folhas e raízes. SHIGA (1975) também observou um aumento na quantidade de nitrogênio da palha e uma redução na dos grãos de arroz devido ao estresse hídrico.

Considerando o tratamento sem estresse hídrico, para comparação com a literatura, verifica-se que a quantidade de nitrogênio nos grãos da cultivar IET 1444 foi igual a 52,3% do total absorvido pela planta, o que concorda com o observado por CHIU *et alii* (1963) e FURLANI *et alii* (1977). Para a cultivar IAC 47 a proporção de nitrogênio nos grãos foi igual a 35,6%. Este valor está entre os observados para esta mesma cultivar por MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981), os quais foram respectivamente iguais a 20 e 45,6%. A proporção de nitrogênio nas folhas está de acordo com a observada por MOORE Jr. *et alii* (1981).

Para uma população de plantas igual a 250000 plantas por hectare, conforme consideraram MEDEIROS (1980) e SILVA *et alii* (1981), a quantidade de nitrogênio extraído do solo pelas três cultivares no tratamento sem estresse hídrico, seria igual a 30,9 kg/ha, para a cultivar IAC 47, 24,9 kg/ha para a IRAT 13 e 21,6 kg/ha para a IET 1444, para a produção de 1t de grãos. Estes valores estão de acordo com os observados em outras partes do mundo por CHIU *et alii* (1963), INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE (1955) e REYES *et alii* (1962) e no Brasil por FURLANI *et alii* (1977) e GARGANTINI e BLANCO (1965). Verifica-se que a cultivar IET 1444 extraiu menos nitrogênio do que as outras cultivares, para a mesma produção de grãos. Isto é uma indicação de que ela usa mais eficientemente o nitrogênio, como mencionado anteriormente.

Na Tabela 19 podem ser observadas as quantidades de nitrogênio absorvidas pelas diversas partes da planta e pela planta inteira da

cultivar IAC 47, nos diferentes tratamentos do segundo experimento.

A adição de vermiculita ao solo não teve efeito significativo na quantidade total de nitrogênio absorvida pelas plantas da cultivar IAC 47, pelos motivos já discutidos anteriormente.

Não houve efeito significativo dos períodos de veranico na quantidade de nitrogênio absorvida pelas raízes porque, como visto anteriormente, eles não afetaram significativamente o seu teor de nitrogênio e o seu rendimento de matéria seca.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelas demais partes da planta, com exceção dos grãos cheios, foi menor no tratamento sem veranico, embora para os colmos não tenha diferido significativamente da absorvida no tratamento com 4 dias de veranico. O menor teor de nitrogênio verificado no tratamento sem veranico foi o responsável pela menor quantidade de absorvida e, no caso dos grãos vazios, houve além disto o menor rendimento de matéria seca devido a menor porcentagem de grãos vazios neste tratamento. A quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos cheios, entretanto, foi maior no tratamento sem veranico, apesar do menor teor de nitrogênio, devido a maior produção de grãos verificada neste tratamento.

Considerando a planta inteira, observa-se que a quantidade de nitrogênio absorvida no tratamento sem veranico foi menor do que a absorvida no tratamento com 8 dias de veranico e não diferiu significativamente da absorvida no tratamento com 4 dias de veranico. Como o rendimento total de matéria seca diminuiu com o incremento do período de veranico, deduz-se que a menor quantidade absorvida pelas plantas no tratamento sem veranico foi devida a seu menor teor de nitrogênio.

Verifica-se, portanto, que os períodos de veranico afetaram favoravelmente a absorção de nitrogênio pelas plantas. Isto pode ter sido causado por um estímulo nos microrganismos do solo, acelerando a mineralização da matéria orgânica, devido a secagem do solo. HARMSSEN e KOLENBRANDER (1965), relatam que uma "esterilização parcial" de um solo por dessecação, aquecimento ou desinfecção, resulta numa aparente estimulação dos microrganismos do solo. A atividade dos mesmos frequentemente alcança ní

TABELA 19 - Médias da quantidade de nitrogênio total absorvido por diversas partes da planta e pela planta inteira da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Q N T P 1						
	Raízes			Folhas			
	mg/vaso			mg/vaso			
	s/verm.	c/verm. ²	Média	% Total	s/verm.	c/verm.	% Total
0	165,0	168,2	166,6	21,0	182,8	178,7	22,7
4	166,4	204,7	185,5	21,6	288,8	284,4	33,4
8	182,3	175,4	178,9	19,4	404,2	346,4	40,6
Média	171,2	182,8			291,9	269,8	
Teste F							
Veranicos (VE)		1,12ns ³				31,90** ⁴	
Doses Verm. (D0)		1,21ns				1,22ns	
VE x D0		1,70ns				0,80ns	
DMS (Tukey 5%)							
Veranicos		-				62,25	

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

(1) QNTP = quantidade de nitrogênio total absorvido pela planta; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) ns = não significativo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

(continuação da Tabela 19)

Veranicos (dia)	Q N T P							
	Colmos			Grãos Cheios				
	mg/vaso			mg/vaso				
	s/verm.	c/verm.	Média	% Total	s/verm.	c/verm.	Média	% Total
0	137,8	161,1	149,4b	18,8	275,2	290,1	282,7a	35,6
4	182,9	191,1	187,0b	21,8	178,4	127,6	153,0b	17,8
8	264,0	233,8	248,9a	26,9	26,0	90,0	58,0b	6,3
Média	194,9	195,4			159,9	169,2		
Teste F								
Veranicos (VE)		14,06**				33,02**		
Doses Verm. (D0)		0,00ns				0,16ns		
VE x D0		1,06ns				2,14ns		
DMS (Tukey 5%)								
Veranicos		48,35				105,57		

(continuação da Tabela 19)

Veranicos (dia)	Q N T P							
	Rãquis				Grãos Vazios			
	mg/vaso				mg/vaso			
	s/verm.		c/verm.		s/verm.		c/verm.	
	Média		% Total		Média		% Total	
0	8,5	8,0	8,2b	1,0	7,6	6,0	6,8c	0,9
4	14,2	14,3	14,3a	1,7	29,4	34,3	31,9b	3,7
8	15,7	16,0	15,8a	1,7	52,2	42,2	47,2a	5,1
Média	12,8	12,8			29,7	27,5		

Teste F

Veranicos (VE)	27,89**	44,30**
Doses Verm. (D0)	0,00ns	0,38ns
VE x D0	0,07ns	1,45ns

DMS (Tukey 5%)

Veranicos	2,74	11,07
-----------	------	-------

(continuação da Tabela 19)

Veranicos (dia)	Q N T P		
	Total		
	mg/vaso		
	s/verm.	c/verm.	Média
0	776,8	812,0	794,4b
4	860,2	856,5	858,3ab
8	944,4	903,9	924,1a
Média	860,5	857,4	

Teste F

Veranicos (VE)	7,83**
Doses Verm. (DO)	0,01ns
VE x DO	0,66ns

DMS (Tukey 5%)

Veranicos	83,67
-----------	-------

veis bem acima do nível observado antes da esterilização. Este maior "vigor" é atribuído a mudanças químicas e físicas nas substâncias orgânicas do solo causadas pela esterilização, tornando-as mais adequadas para a sua desintegração. Os muitos microrganismos mortos, que representam matéria orgânica facilmente disponível, também são considerados parcialmente responsáveis pelo pico na produção de nitrogênio inorgânico. BIRCH (1958) propôs a teoria de que a predominância de células muito jovens na população, ainda na fase logarítmica de crescimento, com sua alta atividade metabólica, seria a causa do maior "vigor" após a dessecação. Este mesmo autor observou ainda que a magnitude do estímulo na atividade dos microrganismos após a dessecação estava relacionado com a duração do período em que o solo permanecia seco.

Comparando os dois experimentos observa-se que o aumento lento mas contínuo do estresse hídrico verificado no primeiro experimento reduziu a absorção de nitrogênio pelas plantas, enquanto que, períodos de estresse hídrico seguidos da volta do solo as condições ótimas de umidade, como ocorreu no segundo experimento, favoreceram a absorção de nitrogênio. Em ambos os experimentos, entretanto, o incremento no estresse hídrico reduziu a proporção do nitrogênio absorvido que ficou nos grãos.

4.8.3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

As porcentagens médias do nitrogênio proveniente do fertilizante em diversas partes da planta e na planta inteira, nos diferentes tratamentos do primeiro experimento, são apresentadas na Tabela 20.

Observa-se que as porcentagens de nitrogênio proveniente do fertilizante foram similares em todas as partes da planta, apenas levemente mais baixas nas raízes. A alta mobilidade e dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta é a causa da pequena variação na composição isotópica do nitrogênio nas diferentes partes da planta. Esta alta mobilidade deve-se ao fato de que o conteúdo de proteína na planta é o resul

TABELA 20 - Médias da porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante, em diversas partes da planta e na planta inteira de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)		N P P F ² (%)												
		Raízes				Folhas				Colmos				Grãos Cheios
		IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	IAC47	IRAT13	IET1444	Média	
55	s/verm.	51,6	50,6	51,2		56,6	56,2	57,5		56,0	55,8	57,5		58,1
	c/verm. ³	50,4	52,1	47,4		53,0	56,3	54,4		55,0	56,1	53,6		54,3
	Média	51,0	51,4	49,3	50,5a	54,8	56,3	55,9	55,7	55,5	56,0	55,6	55,7a	56,2
70	s/verm.	50,2	50,3	47,5		56,4	56,8	55,4		55,2	56,1	54,3		55,9
	c/verm.	49,2	49,8	49,0		54,4	56,4	57,4		53,2	55,7	56,4		57,9
	Média	49,7	50,0	48,3	49,3a	55,4	56,6	56,4	56,1	54,2	55,9	55,4	55,2a	56,9
85	s/verm.	47,8	50,1	49,2		56,0	58,6	58,8		54,2	57,0	56,6		59,1
	c/verm.	48,4	49,9	45,7		55,8	58,6	57,2		54,6	56,4	54,8		56,8
	Média	48,1	50,0	47,5	48,5a	55,9	58,6	58,0	57,5	54,4	56,7	55,7	55,6a	58,0
100	s/verm.	44,4	44,9	45,7		55,9	56,0	58,6		52,0	51,8	55,7		58,6
	c/verm.	45,7	46,6	44,9		57,1	58,4	56,4		52,5	54,0	52,6		55,0
	Média	45,0	45,8	45,3	45,4b	56,5	57,2	57,5	57,0	52,3	52,9	54,2	53,1b	56,8
Média	s/verm.	48,5	49,0	48,4	48,6	56,2	56,9	57,6	56,9	54,3	55,2	56,0	55,2	57,1
	c/verm.	48,4	49,6	46,8	48,3	55,1	57,4	56,3	56,3	53,8	55,5	54,4	54,6	56,0
	Média	48,4AB	49,3A	47,6B		55,6B	57,2A	57,0AB		54,1B	55,4A	55,2AB	55,7B	57,0A
Teste F														
Cultivares (CU)			3,40 ⁴			3,69*				4,20*				5,05**
Doses Verm. (DO)			0,44ns ⁵			1,52ns				2,29ns				3,97*
Lâminas (LA)			16,73** ⁶			2,87*				9,37*				4,68*
CU x DO			1,59ns			1,34ns				2,17ns				2,18ns
CU x LA			0,40ns			0,27ns				0,84ns				1,50ns
DO x LA			0,74ns			1,29ns				0,72ns				2,25ns
CU x DO x LA			0,92ns			1,24ns				2,39ns				2,70ns
DMS (Tukey 5%)														
Cultivares			1,58			1,45				1,15				1,24
Lâminas			2,01			1,85				1,46				1,58

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) NPPF = nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, %; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10: em volume) ao solo; (4) * = significância ao nível de 5% de probabilidade; (5) ns = não significativo; (6) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

(continuação da Tabela 20)

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)	N P P F (%)									
	Râquis					Grãos Vazios				
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	Total
55	s/verm.	56,0	56,1	58,2		55,8	55,3	57,9		56,3
	c/verm.	55,2	56,4	54,2		54,8	56,3	54,6		52,7
	Média	55,6	56,2	56,2	56,0a	55,3	55,8	56,2	55,8a	54,5
70	s/verm.	54,9	55,8	55,5		55,2	56,6	55,2		53,7
	c/verm.	53,5	55,3	57,7		53,1	56,4	56,4		55,7
	Média	54,2	55,6	56,6	55,4a	54,2	56,5	55,8	55,5a	54,7
85	s/verm.	54,2	55,0	56,4		54,0	56,6	57,4		57,2
	c/verm.	54,4	55,0	55,8		53,8	55,8	55,3		54,9
	Média	54,3	55,0	56,1	55,1a	53,9	56,2	56,3	55,5a	56,0
100	s/verm.	51,2	49,4	56,4		51,4	51,9	53,6		56,6
	c/verm.	52,8	51,3	53,3		53,7	52,4	52,6		53,7
	Média	52,0	50,4	54,9	52,4b	52,6	52,1	53,1	52,6b	55,1
Média	s/verm.	54,0	54,1	56,6	54,9	54,1	55,1	56,0	55,1	54,7
	c/verm.	54,0	54,5	55,2	54,6	53,9	55,2	54,7	54,6	54,2
	Média	54,0B	54,3B	55,9A		54,0B	55,2AB	55,4A		54,8A
Teste F										
Cultivares (CU)		8,42**					3,43*			6,49**
Doses Verm. (DO)		0,68ns					1,03ns			2,31ns
Lâminas (LA)		15,03**					10,33**			2,25ns
CU x DO		1,70ns					0,86ns			1,53ns
CU x LA		2,14ns					0,80ns			0,82ns
DO x LA		0,91ns					0,72ns			0,87ns
CU x DO x LA		2,21ns					1,10ns			1,80ns
DMS (Tukey 5%)										
Cultivares		1,21					1,36			1,33
Lâminas		1,54					1,73			-

tado de sínteses e degradações contínuas e, os aminoácidos, produtos da degradação das proteínas, são rapidamente redistribuídos. Além disto, e existem outras formas de nitrogênio na planta que trocam continuamente com o nitrogênio no floema (HILL, 1980).

Em todas as partes da planta, com exceção das folhas, a porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foi maior nos tratamentos com estresse hídrico. Isto pode ter sido causado por uma menor disponibilidade do nitrogênio nativo do solo nestes tratamentos em relação ao tratamento sem estresse hídrico. TISDALE e NELSON (1975) afirmam que a liberação do nitrogênio da matéria orgânica é lenta em condições de seca. Vários pesquisadores (MILLER e JOHNSON, 1964; REICHMAN *et alii*, 1966; ROBINSON, 1957) relatam que a amonificação da matéria orgânica e a nitrificação decrescem proporcionalmente ao decréscimo no conteúdo de água do solo na faixa da capacidade de campo até o ponto de murcha. Considerando a planta inteira, entretanto, apesar desta porcentagem ser maior nos tratamentos com estresse hídrico, a diferença não foi significativa.

Houve efeito significativo de cultivares para todas as partes da planta e para a planta inteira. Considerando a planta inteira, a porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foi menor na cultivar IAC 47 do que nas outras cultivares, que não diferiram entre si. Poder-se-ia pensar que o maior rendimento de matéria seca radicular desta cultivar fosse o responsável por isto. Ela poderia estar explorando zonas do solo onde não houvesse o fertilizante nitrogenado. Entretanto, o rendimento de matéria seca radicular da cultivar IRAT 13 foi similar ao desta cultivar e, além disto, as contínuas irrigações contribuíram para uniformizar a distribuição do fertilizante dentro dos vasos. Como a diferença entre as cultivares foi muito pequena, pode-se considerar que o baixo coeficiente de variação, 4%, fez com que ela fosse significativa.

Na Tabela 21 podem ser observadas as porcentagens médias de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta e na planta inteira da cultivar IAC 47, nos diferentes tratamentos do segundo experimento.

Verifica-se que, como no primeiro experimento, as porcenta

TABELA 21 - Médias da porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante em diversas partes da planta e na planta inteira da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	N P P F ¹ (%)											
	Raízes		Folhas		Colmos		Grãos Cheios					
	s/verm.	c/verm.	2 Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média
0	44,4	45,7	45,0	55,9ab	57,1ab	56,5	52,0	52,5	52,3ab	52,6bB	55,4A	54,0
4	47,7	46,9	47,3	57,5aA	54,3bB	55,9	53,5	52,0	52,7a	55,1a	55,5	55,3
8	46,6	46,2	46,4	53,7bB	57,8aA	55,7	50,0	49,8	49,9b	56,8aA	53,6B	55,2
Média	46,2	46,3		55,7	56,4		51,8	51,4		54,8	54,8	
Teste F												
Veranicos (VE)		2,69ns ³		0,50ns		5,24* ⁴		2,49ns				
Doses Verm. (D0)		0,00ns		1,14ns		0,30ns		0,00ns				
VE x D0		0,70ns		10,46** ⁵		0,63ns		11,29**				
DMS (Tukey 5%)												
Veranicos	-	-	-	-	-	2,41	-	-	-	-	-	-
VE dentro de D0	-	-	-	2,89	-	-	-	-	-	-	2,33	-

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) NPPF = nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, %; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) ns = não significativo; (4) * = significância ao nível de 5% de probabilidade; (5) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade.

(continuação da Tabela 21)

Veranicos (dia)	N P P F (%)									
	Rãquis		Grãos Vazios				Total			
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	
0	51,2	52,8	52,0	51,4	53,7	52,6b	51,4b	53,2	52,3	
4	52,5	53,2	52,9	55,1	54,8	54,9a	54,1a	52,2	53,1	
8	51,8	52,3	52,0	53,0	55,0	54,0ab	51,3b	52,8	52,0	
Média	51,8	52,8		53,2	54,5		52,3		52,7	
Teste F										
Veranicos (VE)		0,65ns			4,39*				1,19ns	
Doses Verm. (D0)		1,91ns			4,35ns				0,56ns	
VE x D0		0,27ns			1,58ns				4,10*	
DMS (Tukey 5%)										
Veranicos		-			2,04				-	
VE dentro de D0		-			-				2,65	

gens foram similares em todas as partes da planta, sendo ligeiramente mais baixas nas raízes.

Esta porcentagem foi afetada pelos tratamentos de maneira bem diferente, conforme a parte da planta considerada. Nas raízes e rãquis não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a porcentagem; nos colmos e grãos vazios houve efeito significativo dos períodos de veranico, ela foi maior no tratamento com 4 dias de veranico, embora não diferindo significativamente da observada no tratamento sem veranico, no caso dos colmos, e no com 8 dias de veranico, no caso dos grãos vazios. Nas folhas e grãos cheios houve uma interação significativa entre períodos de veranico e doses de vermiculita. Também foi observada uma interação entre períodos de veranico e doses de vermiculita, com relação à planta inteira.

Fica muito difícil explicar as causas dos diferentes comportamentos das várias partes da planta em relação a porcentagem do nitrogênio proveniente do fertilizante. As porcentagens foram muito similares em todos os tratamentos. Os baixos coeficientes de variação observados fizeram com que pequenas diferenças fossem significativas. Neste caso talvez se deva desprezar a estatística e não se considerar os efeitos dos tratamentos.

4.8.4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

Na Tabela 22 são apresentadas as quantidades médias de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta e na planta inteira, nos diferentes tratamentos do primeiro experimento.

Como a porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foi bastante similar para todos os tratamentos, nas diversas partes da planta, os efeitos dos tratamentos sobre a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante foram muito semelhantes aos seus efeitos sobre a

TABELA 22 - Médias da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante em diversas partes da planta e na planta inteira de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Q N P P F ²															
Lâminas d'Água (% da Etm ¹)		Raízes							Folhas						
		mg / vaso				% do Total			mg / vaso				% do Total		
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	s/verm.	113,6	112,2	61,6					131,4	126,8	118,8				
	c/verm. ³	109,9	115,4	60,5					85,5	101,2	112,0				
	Média	111,8aA	113,8aA	61,1aB	95,5a	34,8	35,5	16,6	108,5a	114,0a	115,4a	112,6a	33,8	35,6	31,4
70	s/verm.	87,0	77,0	56,9					98,2	90,7	106,3				
	c/verm.	90,6	82,1	55,2					85,2	72,1	99,1				
	Média	88,8bA	79,5bA	56,0abB	74,8b	27,2	23,1	14,9	91,7abAB	81,4bcB	102,7abA	91,9b	28,1	23,7	27,3
85	s/verm.	87,3	75,5	44,1					103,7	81,2	102,6				
	c/verm.	95,1	77,8	45,1					71,9	65,5	88,6				
	Média	91,2bA	76,6bB	44,6bcC	70,8b	25,1	20,2	11,3	87,8bAB	73,4cB	95,6bcA	85,6b	24,1	19,4	24,3
100	s/verm.	73,1	72,2	41,8					102,0	108,2	83,3				
	c/verm.	77,0	72,4	35,9					102,0	87,2	76,1				
	Média	75,1cA	72,3bA	38,8cB	62,1c	18,1	16,8	9,2	102,0abA	97,7abA	79,7cB	93,2b	24,5	22,6	18,9
Média	s/verm.	90,2	84,2	51,1	75,2				108,8	101,8	102,8	104,5a			
	c/verm.	93,2	86,9	49,2	75,4				85,2	81,5	94,0	87,2b			
	Média	91,7A	85,6B	50,1C					97,5	91,6	98,4				
Teste F															
Cultivares (CU)		183,70** ⁴							2,58ns						
Doses Verm. (DO)		0,41ns ⁵							42,92**						
Lâminas (LA)		55,03**							19,67**						
CU x DO		0,67ns							2,64ns						
CU x LA		4,20**							5,45**						
DO x LA		0,31ns							2,03ns						
CU x DO x LA		0,24ns							1,61ns						
DMS (Tukey 5%)															
Cultivares		5,62							-						
Lâminas		7,13							9,82						
CU dentro de DO		-							-						
CU dentro de LA		11,23							15,47						
LA dentro de CU		12,35							17,01						

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) QNPPF = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) ns = não significativo; (6) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

(continuação da Tabela 22)

Lâminas d' Água (% da ETm ¹)	Q N P P F									
	Colmos					Grãos Cheios				
	mg / vaso		% do Total			mg / vaso		% do Total		
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13
										IET 1444
s/verm.	88,6	79,9	175,3			13,3	11,0	0,3		
c/verm.	76,1	70,3	172,4			10,9	9,7	0,4		
Média	82,38	75,1a8	173,8aA	110,4a	25,6	23,5	47,3	0,4d	7,6d	3,8
										0,1
s/verm.	73,7	54,6	164,9			88,3	127,7	37,5		
c/verm.	63,4	51,8	139,8			54,4	119,8	52,6		
Média	68,68	53,2bC	152,3bA	91,4b	21,0	15,5	40,5	45,1cB	21,8	36,0
										12,0
s/verm.	69,4	55,2	88,7			110,6	178,6	158,9		
c/verm.	65,7	58,4	84,2			111,5	156,9	154,4		
Média	67,68	56,8bB	86,5cA	70,3c	18,6	15,0	22,0	156,7bA	30,5	44,3
										39,8
s/verm.	71,4	69,8	73,0			144,6	193,5	242,3		
c/verm.	84,7	57,0	65,4			160,6	187,6	211,2		
Média	78,0	63,4ab	69,2d	70,2c	18,8	14,7	16,4	226,8aA	36,7	44,2
										53,8
s/verm.	75,8	64,9	125,5	88,7a		89,2	127,7	109,7	108,9	
c/verm.	72,5	59,4	115,4	82,4b		84,3	118,5	104,7	102,5	
Média	74,18	62,1c	120,5A			86,8C	123,1A	107,2B		
Teste F										
Cultivares (CU)	187,24**					21,63**				
Doses Verm. (00)	5,82*6					1,99ns				
Lâminas (LA)	55,23**					308,93**				
CU x 00	0,58ns					0,09ns				
CU x LA	38,75**					14,11**				
00 x LA	1,01ns					0,15ns				
CU x 00 x LA	1,29ns					1,73ns				
DMS (Tukey 5%)										
Cultivares	7,64					13,28				
Lâminas	9,70					16,86				
CU dentro de 00	-					-				
CU dentro de LA	15,28					26,56				
LA dentro de CU	16,80					29,21				

(continuação da Tabela 22)

Lâminas d' Água (% da ETm ¹)		QNPPF			
		Total			
		mg / vaso			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	352,4	336,9	373,2	
	c/verm.	289,5	303,5	361,8	
	Média	321,0cB	320,2cB	367,4bA	336,2c
70	s/verm.	353,2	356,6	384,6	
	c/verm.	299,8	330,5	367,2	
	Média	326,5cB	343,5bcB	375,9bA	348,6c
85	s/verm.	377,6	395,1	405,0	
	c/verm.	349,6	362,9	382,8	
	Média	363,6b	379,0b	393,9ab	378,8b
100	s/verm.	399,5	451,6	448,3	
	c/verm.	431,7	410,9	394,0	
	Média	415,6a	431,3a	421,1a	422,7a
Média	s/verm.	370,7aB	385,0aAB	402,8aA	386,2a
	c/verm.	342,6bB	352,0bB	376,4bA	357,0b
	Média	356,7B	368,5B	389,6A	

Teste F

Cultivares (CU)	12,22**
Doses Verm. (DO)	27,98**
Lâminas (LA)	48,71**
CU x DO	0,13ns
CU x LA	1,98ns
DO x LA	0,34ns
CU x DO x LA	2,89*

DMS (Tukey 5%)

Cultivares	16,19
Lâminas	20,56
CU dentro de DO	22,90
CU dentro de LA	32,38
LA dentro de CU	35,61

quantidade total de nitrogênio absorvida, nas diversas partes da planta e na planta inteira. Desta maneira, as diferenças entre tratamentos foram causadas pelos motivos já discutidos no item 4.8.2..

A redução na absorção pela planta do nitrogênio proveniente do fertilizante, devido a adição de vermiculita ao solo, está de acordo com o relatado por NÖMMIK (1965) em sua revisão sobre fixação de amônio. Este autor relata que diversas culturas (arroz, aveia, cevada, trigo) mostram uma redução na absorção do N-NH_4^+ fornecido como fertilizante devido a fixação de amônio pelo solo, especialmente quando grandes quantidades de fertilizante potássico são aplicadas simultaneamente. Em um experimento em vasos, com um solo altamente fixador de amônio, onde o sulfato de amônio foi adicionado na mesma solução com o sulfato de potássio (caso da presente pesquisa) houve uma grande redução na absorção de nitrogênio por uma cultura de aveia (59,5 a 66,4%, dependendo da quantidade de nitrogênio aplicada) em relação a quantidade absorvida quando o sulfato de potássio foi aplicado três semanas antes do sulfato de amônio.

Uma questão que surge é se este amônio residual é liberado para as culturas subsequentes e em que intensidade. NÖMMIK (1965) afirma que este aspecto ainda não está suficientemente claro, em certas condições cinco cultivos sucessivos não foram suficientes para recuperar todo o amônio fixado e, em outras, o amônio foi recuperado pela cultura seguinte.

Este autor concluiu que a fixação de amônio, entretanto, não pode ser considerada um fenômeno inteiramente desfavorável do ponto de vista agrônômico. A fixação pode ser um fator significativo na prevenção de perdas de nitrogênio por lixiviação e poderá, em certos casos, assegurar um suprimento mais contínuo de nitrogênio através da estação de crescimento.

A distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta, diferiu um pouco da observada com relação ao nitrogênio total, devido a porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante ter sido um pouco mais baixa nas raízes em relação as outras partes da planta. Assim, a proporção do nitrogênio proveniente do fertilizante

- te que ficou nas raízes diminuiu, e aumentou nas folhas e grãos cheios, em relação a proporção observada com o nitrogênio total.

As quantidades médias de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta e na planta inteira da cultivar IAC 47, nos diferentes tratamentos do segundo experimento podem ser vistas na Tabela 23.

Da mesma maneira que no primeiro experimento, os efeitos dos tratamentos sobre este parâmetro foram semelhantes aos seus efeitos sobre a quantidade total de nitrogênio absorvida, os quais já foram discutidos anteriormente, devido a similaridade das porcentagens de nitrogênio proveniente do fertilizante em todos os tratamentos, nas diversas partes da planta. Ainda como no primeiro experimento, e pelo mesmo motivo, diminuiu a proporção do nitrogênio proveniente do fertilizante que ficou nas raízes e aumentou a das folhas e grãos cheios, em relação a proporção observada com o nitrogênio total.

4.8.5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado

Na Tabela 24 são apresentadas as médias da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos e pela planta inteira, nos diferentes tratamentos do primeiro experimento.

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos diminuiu, para todas as cultivares, a medida que diminuíram as lâminas d'água, embora para a cultivar IRAT 13 não tenha havido diferença significativa entre as lâminas d'água correspondentes a 100 e 85% da ETm. Esta redução é causada pelo decréscimo na produção de grãos com o incremento do estresse hídrico, o que provoca uma diminuição na quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos.

No tratamento sem estresse hídrico a cultivar IET 1444 apresentou uma maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado

TABELA 23 - Médias da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante em diversas partes da planta e na planta inteira da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Q N P P F ¹									
Veranicos (dia)	Raízes				Folhas				
	mg/vaso				mg/vaso				
	s/verm.		c/verm. ²		s/verm.		c/verm.		% Total
	Média		Média		Média		Média		
0	73,1	77,0	75,1	18,1	102,0	102,0	102,0c	24,5	
4	79,2	95,4	87,3	19,2	166,2	154,3	160,2b	35,2	
8	84,7	81,0	82,8	17,2	217,0	200,7	208,8a	43,4	
Média	79,0	84,5			161,8	152,3			
Teste F									
Veranicos (VE)		2,41ns ³				27,31** ⁴			
Doses Verm. (D0)		1,39ns				0,63ns			
VE x D0		1,59ns				0,16ns			
DMS (Tukey 5%)									
Veranicos		-				36,94			

(continuação da Tabela 23)

Q N P P F							
Veranicos (dia)	Colmos			Grãos Cheios			% Total
	mg/vaso			mg/vaso			
	s/verm.	c/verm.	Média	s/verm.	c/verm.	Média	
0	71,4	84,7	78,0b	144,6	160,6	152,6a	36,7
4	97,9	98,5	98,2b	98,4	71,1	84,8b	18,6
8	132,4	116,0	124,2a	14,7	48,2	31,4c	6,5
Média	100,6	99,7		85,9	93,3		
Teste F							
Veranicos (VE)		12,21**				32,25**	
Doses Verm. (D0)		0,01ns				0,35ns	
VE x D0		1,25ns				2,13ns	
DMS (Tukey 5%)							
Veranicos		23,90				38,60	

(continuação da Tabela 23)

		Q N P P F							
Veranicos (dia)		Râquis				Grãos Vazios			
		mg/vaso		% Total		mg/vaso		% Total	
		s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.
		Média		Média		Média		Média	
0		4,4	4,2	4,3b	1,0	3,9	3,2	3,6c	0,9
4		7,5	7,6	7,5a	1,6	16,2	18,8	17,5b	3,8
8		8,2	8,4	8,3a	1,7	27,6	23,3	25,5a	5,3
Média		6,7	6,7			15,9	15,1		
Teste F									
Veranicos (VE)			29,51**				42,06**		
Doses Verm. (D0)			0,01ns				0,17ns		
VE x D0			0,04ns				0,99ns		
DMS (Tukey 5%)									
Veranicos			1,41				6,16		

(continuação da Tabela 23)

Veranicos (dia)	Q N P P F		
	Total		
	mg/vaso		
	s/verm.	c/verm.	Média
0	399,5	431,7	415,6b
4	465,4	445,7	455,6ab
8	484,6	477,5	481,1a
Média	449,8	451,6	
Teste F			
Veranicos (VE)		7,31**	
Doses Verm. (D0)		0,01ns	
VE x D0		1,23ns	
DMS (Tukey 5%)			
Veranicos		44,06	

TABELA 24 - Médias da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos e pela planta inteira, de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d' Água (% da ETm ¹)		E U F N ² (%)							
		Grãos Cheios				Total			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	2,7	2,2	0,1		70,5	67,4	74,6	
	c/verm. ³	2,2	1,9	0,1		57,9	60,7	72,4	
	Média	2,4d	2,0c	0,1d	1,5d	64,2cB	64,0cB	73,5bA	67,2c
70	s/verm.	17,7	25,5	7,5		70,7	71,3	76,9	
	c/verm.	10,9	24,0	10,5		60,0	66,1	73,4	
	Média	14,3cB	24,7bA	9,0cB	16,0c	65,3cB	68,7bcB	75,2bA	69,7c
85	s/verm.	22,1	35,8	31,8		75,6	79,0	81,0	
	c/verm.	22,3	31,4	30,9		69,9	72,6	76,6	
	Média	22,2bB	33,6aA	31,3bA	29,0b	72,7b	75,8b	78,8ab	75,8b
100	s/verm.	28,9	38,7	48,4		79,9	90,3	89,6	
	c/verm.	32,1	37,5	42,2		86,4	82,2	78,8	
	Média	30,5aC	38,1aB	45,3aA	38,0a	83,1a	86,2a	84,2a	84,5a
Média	s/verm.	17,8	25,5	22,0	21,8	74,2aB	77,0aA8	80,6aA	77,2a
	c/verm.	16,9	23,7	20,9	20,5	68,5bB	70,4bB	75,3bA	71,4b
Média		17,4C	24,6A	21,4B		71,3B	73,7B	77,9A	
Teste F									
Cultivares (CU)			21,53** ⁴				12,16**		
Doses Verm. (DO)			2,02ns ⁵				27,93**		
Lâminas (LA)			308,58**				48,61**		
CU x DO			0,09ns				0,13ns		
CU x LA			14,11**				1,97ns		
DO x LA			0,15ns				0,34ns		
CU x DO x LA			1,72ns				2,88* ⁶		
DMS (Tukey 5%)									
Cultivares			2,66				3,24		
Lâminas			3,37				4,11		
CU dentro de DO			-				4,58		
CU dentro de LA			5,31				6,48		
LA dentro de CU			5,84				7,13		

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) EUFN = eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) ns = não significativo; (6) * = significância ao nível de 5% de probabilidade.

pelos grãos do que as demais cultivares. Como mencionado anteriormente, TSUNODA (1965) considera que as cultivares de arroz de folhas eretas (caso desta cultivar) utilizam mais eficientemente o fertilizante nitrogenado do que as de folhas decumbentes. Entretanto, por ser mais sensível a seca do que as outras cultivares, com relação a produção de grãos, esta cultivar teve sua eficiência reduzida mais abruptamente do que as outras duas, com o decréscimo das lâminas d'água.

Com relação a planta inteira, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado foi reduzida pela adição de vermiculita ao solo, devido à fixação de amônio pela mesma, reduzindo a quantidade de nitrogênio absorvida. Entretanto, com relação aos grãos, a vermiculita não reduziu significativamente a eficiência.

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta inteira foi maior no tratamento sem estresse hídrico, sendo que para a cultivar IET 1444, ela não diferiu da verificada no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm. A redução da absorção de nitrogênio com a deficiência hídrica é a responsável pelo decréscimo na eficiência. SHIGA (1975) também relata redução na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado com o decréscimo da umidade do solo.

Nas duas menores lâminas d'água, a cultivar IET 1444 apresentou a maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, devido a sua maior absorção de nitrogênio nestes tratamentos e, ao contrário do que aconteceu em relação aos grãos, a sua eficiência foi reduzida menos abruptamente com a diminuição das lâminas d'água do que as outras cultivares. Isto ocorreu porque as menores lâminas d'água induziram o perfilhamento tardio desta cultivar e, desta maneira, o rendimento total de matéria seca não foi tão reduzido pelo estresse hídrico como o das outras cultivares, o que fez com que a absorção de nitrogênio também não o fosse.

Em comparação com a literatura, as eficiências de utilização do fertilizante nitrogenado observadas neste experimento podem ser consideradas altas, pois são relatadas eficiências que variam de 30 a 65% (BROADBENT e TUSNEEM, 1971; MITSUI, 1956; MOORE Jr. *et alii*, 1981; PATRICK

Jr. e REDDY, 1976; PARK e SHIN, 1973; VLEK *et alii*, 1979). Como o experimento foi conduzido em vasos com o fundo fechado, não havendo portanto perdas de nitrogênio por lixiviação e por deflúvio superficial e, como o fertilizante nitrogenado foi aplicado ao solo dissolvido em água, o que segundo Terman (1979) elimina ou reduz as perdas por volatilização, as possíveis perdas foram minimizadas, o que aumentou a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado. CRASWELL e VLEK (1979b) e PARK e SHIN (1973) consideram as perdas de nitrogênio através da volatilização, dinitrificação, lixiviação e deflúvio superficial com a causa principal da baixa eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo arroz. A imobilização do fertilizante no solo também contribui para o uso ineficiente do mesmo (CRASWELL e VLEK, 1979b; SHIGA, 1975).

Na Tabela 25 podem ser vistas as eficiências médias de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos e pela planta inteira da cultivar IAC 47, nos diferentes tratamentos do segundo experimento.

Observa-se que esta eficiência, no caso dos grãos, diminuiu significativamente com o incremento dos períodos de veranico. A causa disto foi a diminuição da quantidade de nitrogênio absorvida pelos grãos em consequência da drástica redução na produção de grãos com o aumento dos períodos de veranico. Já, para a planta inteira, a eficiência foi maior no tratamento com 8 dias de veranico, embora não tenha diferido significativamente da observada no tratamento com 4 dias de veranico. Isto pode ter ocorrido devido ao efeito da "esterilização parcial" pela secagem do solo, a qual, como discutido anteriormente, faz com que a atividade dos microrganismos seja incrementada após o solo retornar às condições ótimas de umidade. Assim, os muitos microrganismos mortos durante o período de secagem do solo são fácil e rapidamente decompostos e mineralizados, tornando disponível o nitrogênio (nativo do solo e do fertilizante) que haviam imobilizado. CRASWELL e VLEK (1979b) relatam que mais de 25% do fertilizante nitrogenado pode se tornar indisponível às plantas por imobilização biológica no solo. O aumento na disponibilidade faz com que aumente a quantidade de nitrogênio absorvida, aumentando a eficiência de utilização do mesmo.

TABELA 25 - Médias da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos e pela planta inteira da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	E U F N ¹ (%)				
	Grãos Cheios		Total		
	s/verm.	c/verm. ²	Média	s/verm.	c/verm.
0	28,9	32,1	30,5a	79,9	86,4
4	19,7	14,2	17,0b	93,1	89,2
8	2,9	9,6	6,3c	97,0	95,5
Média	17,2	18,6		90,0	90,3
Teste F					
Veranicos (VE)		32,30** ³			7,31**
Doses Verm. (D0)		0,35ns ⁴			0,01ns
VE x D0		2,13ns			1,23ns
DMS (Tukey 5%)					
Veranicos		7,73			8,81

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

(1) EUFN = eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado; (2) c/verm. = adição de volume) ao solo; (3) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (4) ns = não

A adição de vermiculita ao solo não afetou a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos nem pela planta inteira, pois ela não afetou a absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante.

Apesar das diferenças entre os tratamentos, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado foi alta em todos eles. Como mencionado anteriormente, nas condições em que foi conduzido o experimento as perdas foram minimizadas, aumentando a eficiência do fertilizante.

4.9. Nitrogênio no solo

4.9.1. Teor e quantidade de nitrogênio total no solo

Na Tabela 26 são apresentadas as médias do teor e da quantidade de nitrogênio total no solo, após a colheita do primeiro experimento.

Pode ser observado que os tratamentos não afetaram significativamente estes dois parâmetros. Isto pode ter ocorrido em virtude de que a diferença entre as quantidades de nitrogênio extraídas nos diversos tratamentos foi muito pequena em relação à quantidade total de nitrogênio no solo.

Os teores de nitrogênio no solo podem ser considerados baixos, pois segundo MALAVOLTA (1967) são considerados baixos teores menores do que 0,08.

Analisando as médias da quantidade total de nitrogênio no solo, nos tratamentos de lâminas d'água, observa-se que a diferença entre os tratamentos com a menor e com a maior lâmina, com relação a quantidade de nitrogênio presente no solo, foi de 550 mg, enquanto que a diferença na quantidade de nitrogênio extraída pela cultura nestes mesmos tratamentos foi de 168,1 mg. Além disto, a quantidade de nitrogênio no solo foi maior

TABELA 26 - Médias do teor e da quantidade de nitrogênio total no solo, após a colheita do primeiro experimento.

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)		N T S ² (%)				Q N T S ³ (mg/vaso)			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm.	0,070	0,082	0,078		3515	4086	3899	
	c/verm. ⁴	0,075	0,075	0,069		3779	3784	3476	
	Média	0,072	0,078	0,073	0,074	3647	3935	3688	3757
70	s/verm.	0,076	0,078	0,068		3809	3902	3412	
	c/verm.	0,066	0,067	0,073		3360	3409	3687	
	Média	0,071	0,073	0,070	0,071	3584	3656	3550	3597
85	s/verm.	0,079	0,080	0,067		3936	4021	3336	
	c/verm.	0,066	0,075	0,069		3329	3813	3491	
	Média	0,072	0,078	0,068	0,073	3632	3917	3414	3654
100	s/verm.	0,069	0,062	0,058		3442	3075	2899	
	c/verm.	0,066	0,069	0,059		3345	3486	2997	
	Média	0,068	0,065	0,059	0,064	3394	3280	2948	3207
Média		0,071	0,074	0,068		3564	3697	3400	
Teste F									
Cultivares (CU)		0,92ns ⁵				0,92ns			
Doses Verm. (DO)		0,74ns				0,41ns			
Lâminas (LA)		1,80ns				1,79ns			
CU x DO		0,17ns				0,16ns			
CU x LA		0,19ns				0,19ns			
DO x LA		0,23ns				0,22ns			
CU x DO x LA		0,40ns				0,40ns			

(1) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) NTS = teor de nitrogênio total no solo; (3) QNTS = quantidade de nitrogênio total no solo; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ns = não significativo.

no tratamento de lâmina d'água correspondente a 85% da ETm, em relação ao de lâmina d'água correspondente a 70% da ETm, o que é contraditório já que a quantidade extraída pela cultura foi menor neste último tratamento. Estas mudanças contraditórias na variação de armazenagem de nitrogênio no solo podem ser devidas a erros que inevitavelmente ocorrem na estimação da quantidade de nitrogênio no solo. Estes podem ser erros de laboratório (mínimos, normalmente) e os erros de amostragem para as análises de nitrogênio e de determinação do peso exato do solo colocado nos vasos.

As médias do teor e da quantidade de nitrogênio no solo, após a colheita do segundo experimento, podem ser vistas na Tabela 27.

Como no primeiro experimento, e pelo mesmo motivo, os tratamentos não afetaram significativamente estes dois parâmetros.

Também neste experimento a variação na armazenagem de nitrogênio no solo não correspondeu a variação na quantidade extraída pela cultura. A diferença entre os tratamentos sem veranicos e com 8 dias de veranicos, com relação a quantidade de nitrogênio no solo, foi igual a 426 mg, para uma diferença na quantidade extraída de 129,7 mg. Como discutido anteriormente isto deve-se, provavelmente, a erros eventuais na determinação da quantidade de nitrogênio no solo.

4.9.2. Porcentagem e quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante

Na Tabela 28 são apresentadas as médias da porcentagem e da quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, após a colheita do primeiro experimento.

Observa-se que a adição de vermiculita ao solo não afetou significativamente a porcentagem nem a quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante. Como a adição de vermiculita diminuiu a quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, o que foi atribuído

TABELA 27 - Médias do teor e da quantidade de nitrogênio total no solo, após a colheita do segundo experimento.

Veranicos (dia)	N T S ¹ (%)		Q N T S ² (mg/vaso)		
	s/verm.	c/verm. ³	Média	s/verm.	c/verm.
0	0,069	0,066	0,068	3442	3345
4	0,054	0,067	0,060	2691	3405
8	0,054	0,064	0,059	2725	3212
Média	0,059	0,066		2953	3321
Teste F					
Veranicos (VE)		0,40ns ⁴			0,39ns
Doses Verm. (D0)		0,65ns			0,77ns
VE x D0		0,32ns			0,33ns

(1) NTS = teor de nitrogênio total no solo; (2) QNTS = quantidade de nitrogênio total no solo; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ns = não significativo.

TABELA 28 - Médias da porcentagem e da quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, após a colheita do primeiro experimento.

Lâminas d'Água (% da Etm ¹)		N S P F ²				Q N S P F ³						
		%				mg/vaso				% do N Aplicado		
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	s/verm.	2,84	2,17	2,02		100,5	88,6	78,1				
	c/verm. ⁴	2,82	2,43	1,69		102,5	92,4	58,6				
	Média	2,83	2,30	1,85	2,33a	101,5	90,5	68,4	86,8a	20,3	18,1	13,7
70	s/verm.	2,31	2,38	1,76		88,4	93,1	61,0				
	c/verm.	2,68	2,81	1,86		90,4	91,0	69,3				
	Média	2,49	2,60	1,81	2,30ab	89,4	92,0	65,2	82,2a	17,9	18,4	13,0
85	s/verm.	2,32	1,90	1,76		91,3	76,5	60,1				
	c/verm.	2,44	2,17	1,79		80,4	82,8	62,8				
	Média	2,38	2,03	1,78	2,06bc	85,8	79,6	61,4	75,6ab	17,2	15,9	12,3
100	s/verm.	2,12	1,94	1,54		72,0	58,5	44,4				
	c/verm.	2,12	2,19	1,61		69,8	76,5	48,5				
	Média	2,12	2,07	1,58	1,92c	70,9	67,5	46,4	61,6b	14,2	13,5	9,3
Média		2,4A	2,28	1,8C		86,9A	82,4A	60,48				
Teste F												
Cultivares (CU)		36,27** ⁵				15,95**						
Doses Verm. (DO)		3,47ns ⁶				0,06ns						
Lâminas (LA)		7,90**				7,09**						
CU x DO		1,94ns				0,45ns						
CU x LA		1,90ns				0,21ns						
DO x LA		0,94ns				0,33ns						
CU x DO x LA		0,22ns				0,48ns						
DMS (Tukey 5%)												
Cultivares		0,20				12,08						
Lâminas		0,26				15,33						

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) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) NSPF = porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (3) QNSPF = quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (5) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (6) ns = não significativo.

buido a fixação de amônio pela vermiculita, era de se esperar que a porcentagem e a quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante fossem maiores no tratamento com vermiculita. 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. BRENNER (1965a) considera que o amônio fixado, quando são adicionados compostos de amônio ao solo, também é determinado pelos métodos Kjeldahl tradicionais, entretanto é necessário um longo período de digestão para a sua liberação. Já para a determinação do amônio fixado às argilas nativo é necessário um pré-tratamento com HF para que ele seja corretamente determinado (STEWART e PORTER, 1963). FREITAS Jr. (1982) também observou que o amônio fixado pela vermiculita não foi extraído durante a determinação do nitrogênio mineral presente no solo.

Tanto a porcentagem como a quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante foram menores no tratamento sem estresse hídrico, embora não tenham diferido significativamente dos valores observados no tratamento de lâminas d'água correspondente a 85% da Etm. Isto ocorreu devido a maior absorção pelas plantas do nitrogênio proveniente do fertilizante no tratamento sem estresse hídrico, em relação aos outros tratamentos de lâmina d'água, reduzindo a quantidade de nitrogênio no solo. Da mesma maneira, a maior absorção de nitrogênio pela cultivar IET 1444, em relação as outras duas, explica a menor porcentagem e a menor quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante nos tratamentos com esta cultivar.

As diferenças entre as cultivares, com relação a quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, está de acordo com as diferenças observadas nas quantidades de nitrogênio proveniente do fertilizante extraídas por elas. Com relação aos tratamentos de lâminas d'água, entretanto, houve uma certa discrepância entre as quantidades no solo e as quantidades extraídas pela cultura. A diferença na quantidade média de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante entre os tratamentos com a menor e com a maior lâmina d'água foi igual a 25,2 mg eu quanto que a diferença na quantidade média de nitrogênio proveniente do fertilizante

extraída pelas plantas nestes mesmos tratamentos foi igual a 86,5 mg. Isto indica que houve uma certa perda de nitrogênio no tratamento com a menor lâmina d'água. Os possíveis erros na determinação da quantidade total de nitrogênio, mencionados anteriormente, não podem ser responsabilizados por esta diferença. Os erros situaram-se na faixa de 400 mg e como a porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante está ao redor de 2,00%, os erros na quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante devem estar ao redor de 8 mg apenas.

A porcentagem do nitrogênio aplicado como fertilizante que ficou no solo aumentou com a redução na lâmina d'água, devido a diminuição na absorção. Os valores observados estão de acordo com a literatura. CRASWELL e VLEK (1979b) afirmam que mais de 25% do fertilizante nitrogenado aplicado a cultura do arroz pode ficar imobilizado no solo e SHIGA (1975) relata que em um experimento conduzido no International Rice Research Institute, com arroz de sequeiro, 36% do fertilizante nitrogenado aplicado foi imobilizado no solo.

Na Tabela 29 são apresentadas as médias da porcentagem e da quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, após a colheita do segundo experimento.

Observa-se que a adição de vermiculita ao solo não afetou significativamente estes dois parâmetros, o que era de se esperar desde que ela não afetou a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas.

A porcentagem e a quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante apresentaram um comportamento semelhante. Seus valores foram menores no tratamento com 8 dias de veranico embora não tenham diferido significativamente dos valores observados no tratamento com 4 dias de veranico. Isto deve-se ao fato de que a absorção de nitrogênio pelas plantas foi favorecida pelo aumento nos períodos de veranicos, reduzindo assim a quantidade de nitrogênio no solo.

Ao contrário do primeiro experimento, as diferenças entre os tratamentos com relação à quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante estão mais de acordo com as di-

TABELA 29 - Médias da porcentagem e da quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, após a colheita do segundo experimento.

Veranicos (dia)	N S P F ¹		Q N S P F ²			% do N Aplicado
	s/verm.	c/verm. ³	mg/vaso		Média	
			s/verm.	c/verm.		
0	2,12	2,12	72,0	69,9	71,0a	14,2
4	1,40	1,43	33,1	48,9	41,0ab	8,2
8	0,87	1,01	20,4	29,0	24,7b	4,9
Média	1,46	1,52	41,8	49,3		

Teste F	
Veranicos (VE)	7,22** ⁴
Doses Verm. (00)	0,05ns ⁵
VE x D0	0,03ns
DMS (Tukey 5%)	
Veranicos	1,17
	38,40

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

(1) NSPF = porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (2) QNSPF = quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (4) ** = significância ao nível de 1% de probabilidade; (5) ns = não significativo.

ferências observadas nas quantidades extraídas pelas plantas, indicando que as condições em que foi conduzido este experimento fizeram com que as perdas fossem reduzidas ou eliminadas.

A porcentagem do nitrogênio aplicado que ficou no solo foi baixa nos tratamentos com 4 e 8 dias de veranico, indicando que a "esterilização parcial" por secagem do solo foi eficiente em liberar o nitrogênio imobilizado pelos microrganismos, como discutido anteriormente.

4.10. Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta.

Na Tabela 30 pode ser observado o balanço da quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizante no sistema solo-planta, no primeiro experimento.

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. Deve-se ter em consideração que a porcentagem de 78% foi observada em um tratamento com vermiculita e, como discutido anteriormente, parece que o amônio fixado por ela não foi contabilizado na determinação do nitrogênio total do solo. Desta maneira, a recuperação do nitrogênio aplicado como fertilizante foi menor nos tratamentos com vermiculita. Considerando os tratamentos sem vermiculita verifica-se que a menor porcentagem de recuperação do nitrogênio aplicado foi igual a 85,1%.

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. Apesar do solo ser ácido e o adubo nitrogenado ter sido aplicado dissolvido em água, o que segundo TERMAN (1979) elimina ou reduz as perdas por volatilização do sulfato de amônio aplicado, nos tratamentos com estresse hídrico o solo estava secando, o que segundo este mesmo autor favo-

TABELA 30 - Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta, no primeiro experimento.

Lâminas d'Água (% da ETm)	Q N P P F ² (mg / vaso)				Q N S P F ³ (mg/vaso)				Total (mg / vaso)				% do N Aplicado			
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IET 1444
55	s/verm.	352,4	336,9	373,2	100,5	88,6	78,1	452,9	425,5	451,3	90,6	85,1	90,3	83		
	c/verm. ⁴	289,5	303,5	361,8	102,5	92,4	58,6	392,0	395,9	420,4	78,4	79,2	84,1	86		
70	s/verm.	353,2	356,6	384,6	88,4	93,1	61,0	441,6	449,7	445,6	88,3	89,9	89,1	86		
	c/verm.	299,8	330,5	367,2	90,4	91,0	69,3	390,2	421,5	436,5	78,0	84,3	87,3	84		
85	s/verm.	377,6	395,1	405,0	91,3	76,5	60,1	468,9	471,6	465,1	93,8	94,3	93,0	82		
	c/verm.	349,6	362,9	382,8	80,4	82,8	62,8	430,0	445,7	445,6	86,0	89,1	89,1	86		
100	s/verm.	399,5	451,6	448,3	72,0	58,5	44,4	471,5	510,1	492,7	94,3	102,0	98,5	91		
	c/verm.	431,7	410,9	394,0	69,8	76,5	48,5	501,5	487,4	442,5	100,3	97,5	88,5	89		

(1) ETm = evapotranspiração máxima, mm; (2) QNPPF = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; (3) QNSPF = quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (4) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

rece a perda por volatilização assim como as elevadas temperaturas verificadas na casa de vegetação. Verifica-se que estas perdas não ocorreram ou foram muito baixas nos tratamentos com as maiores lâminas d'água.

Na Tabela 31 é apresentado o balanço da quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizante no sistema solo-planta, no segundo experimento.

Verifica-se que praticamente foi recuperado todo o nitrogênio aplicado. Terman (1979) afirma que as perdas de nitrogênio na forma de amônia, do sulfato de amônio aplicado ao solo, são grandemente reduzidas quando o solo apresenta um alto teor de umidade. Como antes e após os períodos de veranico a umidade do solo situou-se ao redor da capacidade de campo, as perdas por volatilização foram eliminadas. Durante os períodos de veranico o solo ficou muito seco, o que também elimina ou reduz as perdas pois as perdas de nitrogênio dependem de suficiente quantidade de água para dissolver os compostos nitrogenados (TERMAN, 1979).

TABELA 31 - Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo - planta, no segundo experimento.

Ver- nicos (dia)	QNPPF ¹ (mg/vaso)		QNSPF ² (mg / vaso)		TOTAL (mg/vaso)		% do N aplicado	
	s/verm.	c/verm. ³	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.
0	399,5	431,7	72,0	69,9	471,5	501,6	94,3	100,3
4	465,4	445,7	33,1	48,9	498,5	494,6	99,7	98,9
8	484,6	477,5	20,4	29,0	505,0	506,5	101,0	101,3

(1) QNPPF = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; (2) QNSPF = quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante; (3) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

5. CONCLUSÕES

Considerando-se as condições em que foram conduzidos os dois experimentos, e com base nos resultados obtidos, pode-se tirar as conclusões apresentadas a seguir.

5.1. Com relação à adição de vermiculita

a) Ela causou efeitos favoráveis em algumas características químicas do solo: aumentou o pH, a CTC, os teores trocáveis de cálcio, magnésio e potássio, e diminuiu o teor de alumínio trocável.

b) Ela não afetou a eficiência do uso da água nem a produtividade do arroz, mas aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea.

c) Ela alterou a dinâmica do nitrogênio no sistema solo - planta, reduzindo o teor de nitrogênio das plantas e, em condições de estresse hídrico imposto gradualmente por um longo período (primeiro experimento), reduzindo a quantidade de nitrogênio total e a proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas, assim como a sua eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, devido à fixação de amônio, mas não alterou estes parâmetros em condições de estresse hídrico imposto abruptamente por curtos períodos (segundo experimento).

d) Ela não afetou a eficiência de utilização do ferti-

lizante nitrogenado pelos grãos.

5.2. Com relação às cultivares

a) A cultivar de arroz irrigado IET 1444 foi mais sensível à deficiência hídrica do que as cultivares de arroz de sequeiro, IAC 47 e IRAT 13.

b) Em condições de deficiência hídrica, a cultivar IRAT 13 apresentou maior estabilidade de produção, maior eficiência do uso da água, maior índice de colheita e maior relação raiz/colmo do que as outras cultivares, indicando maior adaptação ao estresse hídrico.

c) As cultivares de sequeiro apresentaram maior rendimento de matéria seca das raízes do que a cultivar de arroz irrigado.

d) Sem deficiência hídrica, as cultivares IET 1444 e IRAT 13 apresentaram uma maior produção de grãos do que a cultivar IAC 47, devido ao maior número de panículas por vaso, menor porcentagem de grãos vazios e maior número de grãos cheios por panícula da primeira cultivar e ao maior peso dos grãos da segunda cultivar.

e) A cultivar IET 1444 apresentou um teor mais elevado de nitrogênio nas plantas e uma maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado por elas do que as outras cultivares.

f) Sem deficiência hídrica, a cultivar IET 1444 apresentou uma maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos, mas em condições de deficiência hídrica, sua eficiência foi reduzida mais abruptamente do que a das outras cultivares.

5.3. Com relação à deficiência hídrica

a) Ela reduziu o número de grãos cheios por panícula, o peso dos grãos, a produção de grãos, o rendimento total de matéria seca, a altura das plantas, o índice de colheita, a eficiência do uso da água, e

aumentou a porcentagem de grãos vazios e a duração do ciclo.

b) Devido à época em que foi imposta e à sua duração, ela aumentou o rendimento de matéria seca das raízes no primeiro experimento, mas não o afetou no segundo experimento.

c) Ela aumentou a relação raiz/colmo das cultivares de sequeiro, mas não afetou a da cultivar de arroz irrigado.

d) Ela alterou a dinâmica do nitrogênio no sistema solo - planta, reduzindo a quantidade de nitrogênio total e a proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas, assim como a sua eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, quando imposta gradualmente por um longo período, e as aumentando, quando imposta abruptamente por curtos períodos.

e) Quando severa, ela aumentou o teor de nitrogênio das plantas, fosse imposta gradual ou abruptamente.

f) Ela reduziu a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos e a proporção do nitrogênio absorvido que ficou nos grãos.

g) Ela aumentou a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante que permaneceu no solo, nas condições do primeiro experimento, e a reduziu, nas condições do segundo experimento.

h) Ela reduziu a porcentagem de recuperação do nitrogênio aplicado como fertilizante, devido a perdas por volatilização, nas condições do primeiro experimento, mas não a afetou, nas condições do segundo experimento.

6. LITERATURA CITADA

- ALEXIADES, C.A. e M.L. JACKSON, 1965. Quantitative determination of vermiculite in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29: 522-527.
- ALLISON, F.E.; E.M. ROLLER e J.H. DOETSCH, 1953. Ammonium fixation and availability in vermiculite. *Soil Sci.*, Baltimore, 75: 173-180.
- ALLURI, K. e B.S. VERGARA, 1976. Leaf angle and drought resistance in upland rice. *SABRAO J.*, 8: 41-46.
- ANGLADETTE, A., 1969. *El arroz*. Barcelona, Editorial Blume. 867 p.
- AQUINO, A.R.L. de; A.B. dos SANTOS; S. STEINMETZ; J.M. CHAGAS; P.M. da SILVEIRA; M.G.C. MAH; J.R.P. de CARVALHO e A.J. de COUTO, 1981. *Utilização da vermiculita no aumento da produtividade de solos dos Cerrados*. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF. 25 p. (Mimeografado).
- BAL, A.R., 1975. A note on the comparative study of free amino-acids content between wild salt tolerant rice and cultivated rice varieties. *Curr. Sci.*, Bangalore, 44: 191-195.
- BANBA, H. e T. OHKUBO, 1981. Relationship between root distribution of upland crops and their yield. III. Influence of soil moisture levels on root distribution and root dry matter of upland-cultured paddy rice,

crossbred paddy and upland rice, and upland rice. *Jap. J. Crop Sci.*, Tokyo, 50: 1-7.

BANZATTO, N.V.; L.E. AZZINI; J. SOAVE; D.M. de SOUZA; T.R. da ROCHA e J. ALOISI SOBRº, 1978. *IAC 47. Novo cultivar de arroz-de-sequeiro*. São Paulo, Instituto Agronômico de Campinas. 9 p.

BARBER, S.A.; J.M. WALKER e E.H. VASEY, 1963. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. *J. agric. Ed. Chem.*, Easton, 11: 204-207.

BARNETT, N.M. e A.W. NAYLOR, 1966. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 41: 1222-1230.

BARSHAD, I., 1949. The nature of lattice expansion and its relation to hydration in montmorillonite and vermiculite. *Am. Miner.*, Lancaster, 34: 675-684.

BARSHAD, I., 1950. The effect of interlayer cations on the expansion of the mica type of crystal lattice. *Am. Miner.*, Lancaster, 35: 225-238.

BARSHAD, I., 1954. Cation exchange in micaceous minerals. I. Replaceability of the interlayer cations of vermiculite with ammonium and potassium ions. *Soil Sci.*, Baltimore, 77: 463-472.

BAWEJA, A.S. e E.O. McLEAN, 1975. Bonding of calcium and potassium by vermiculite and kaolinite clays as affected by H-clay addition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 39: 48-50.

BEDI, A.S. e G.S. SEKHON, 1977. Effect of potassium and magnesium application to soils on the dry-matter yield and cation composition of maize. *J. agric. Sci.*, Cambridge, 88: 753-758.

BEGG, J.E. e N.C. TURNER, 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.*, New York,

28: 161-217.

BENNETT, O.L. e B.D. DOSS, 1960. Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forage species. *Agron. J.*, Madison, 52: 204-207.

BIRCH, H.F., 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Pl. Soil*, The Hague, 10: 9-31.

BRANDÃO, S.S., 1974. *Cultura do arroz*. Viçosa, U.F.V. 194 p.

BREMNER, J.M., 1965a. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. *et alii*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. Part 2. p. 1149-1178.

BREMNER, J.M., 1965b. Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15. Tracer investigation. In: BLACK, C.A. *et alii*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. Part 2. p. 1256-1286.

BREVEDAN, E.R. e H.F. HODGES, 1973. Effects of moisture deficits on ^{14}C translocation in corn (*Zea mays* L.). *Pl. Physiol.*, Lancaster, 52: 436-439.

BRIX, H., 1962. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plant and loblolly pine seedlings. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 15: 10-20.

BROADBENT, F.E. e M.E. TUSNEEM, 1971. Losses of nitrogen from flooded soils in tracer experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35: 922-926.

BROWN, F.B., 1969. Upland rice in Latin America. *Int. Rice Comm. Newsl.*, Bangkok, 18: 1-5.

BROWN, G.; A.C.D. NEWMAN; J.H. RAYNER e A.H. WEIR, 1978. The structures

- and chemistry of soil clay minerals. In: GREENLAND, D.J. e M.H.B. HAYES, eds. *The chemistry of soil constituents*. New York, John Wiley & Sons. p. 29-178.
- BRUNINI, O.; F. GROHMANN e J.M. dos SANTOS, 1981. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5: 1-6.
- BRUNORI, A., 1967. Relationship between DNA synthesis and water content during ripening of *Vicia faba* seed. *Caryologia*, Torino, 20: 333.
- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1974. *Natureza e propriedades dos solos*. 3a. ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos. 594 p.
- BUNT, A.C., 1974. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. *Meded. Landbouwwetenschappen*, Gent, 38: 1954-1965.
- CAMPBELL, C.A.; W.L. PELTON e K.F. NIELSEN, 1969. Influence of solar radiation and soil moisture on growth and yield of Chinook wheat. *Can. J. Pl. Sci.*, Ottawa, 49: 685-699.
- CASTOLL, L.A., 1963. Vermiculite as a chemical carrier in agriculture. *Can. Em. Impl.*, Winnipeg, June, p. 25-28.
- CATANI, R.A. e A.O. JACINTHO, 1974. *Avaliação da fertilidade do solo: métodos de análise*. Piracicaba, Livrocere. 61 p.
- CHANG, T.T. e B.S. VERGARA, 1975. Varietal diversity and morphoagronomic characteristics of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Major research in upland rice*. Los Baños, Philippines. p. 72-90.
- CHANG, T.T.; G.C. LORESTO e O. TAGUMPAY, 1972. Agronomic and growth characteristics of upland and lowland rice varieties. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Rice breeding*. Los Baños, Philippines. p. 645-661.

- CHANG, T.T. e S.K. DE DATTA, 1975. Agronomic traits needed in upland rice varieties. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Major research in upland rice*. Los Baños, Philippines. p. 93-116.
- CHAUDHRY, M.S. e E.O. McLEAN, 1963. Comparative effects of flooded and unflooded soil conditions and nitrogen application on growth and nutrient uptake by rice plant. *Agron. J.*, Madison, 55: 565-567.
- CHEANEY, R.L., 1973. O manejo d'água. *Lavoura arroz.*, Porto Alegre, 26: 36-48.
- CHEN, D.; B. KESSLER e S.P. MONSELISE, 1964. Studies on water regime and nitrogen metabolism of citrus seedlings grown under water stress. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 39: 379-386.
- CHIU, T.F.; L.T. LEE; B.L. TRAN e S.M. LIN, 1963. Studies on the nutrient absorption of rice plants in Taiwan (Part 4): Comparative study on rice nutrition in the first and second crops in some paddy fields. *Agric. Res. Taiwan*, Taipei, 12: 28-40.
- CLEMENTS, H.F., 1964. Interactions of factors affecting yield. *A. Rev. Pl. Physiol.*, Palo Alto, 15: 409-442.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DE SOLOS, 1977. *Recomendações de fertilizantes para Goiás: 4a. aproximação*. Goiânia, EMATER-GO. 54 p.
- CRAFTS, A.S., 1968. Water deficits and physiological process. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press. v. 2. p. 85-133.
- CRASWELL, E.T. e P.L.G. VLEK, 1979a. Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizers for rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 43: 1184-1188.
- CRASWELL, E.T. e P.L.G. VLEK, 1979b. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In: SYMPOSIUM ON NITROGEN AND RICE, Los Baños,

- Philippines, 1979. *Proceedings ... Los Baños*. International Rice Research Institute. p. 175-192.
- CRUZ, J.C.; S.S. BRANDÃO; R.M. DEL GIUDICE; P.A. FERREIRA e B.T. LOUREIRO, 1975. Efeito de diferentes tensões de umidade no solo, em duas fases de desenvolvimento da planta, com relação ao crescimento e produção do arroz (*Oryza sativa* L.). *Experientiae*, Viçosa, 19: 187-209.
- CUTLER, J.M.; K.W. SHAHAN e P.L. STEPONKUS, 1980. Influence of water deficits and osmotic adjustment on leaf elongation in rice. *Crop Sci.*, Madison, 20: 314-318.
- DAKER, A., 1973. Irrigação e drenagem. In: _____. *A água na agricultura*. 4a. ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos. v. 3. 453 p.
- DARBYSHIRE, B., 1971. Changes in indoleacetic acid oxidase activity associated with plant water potential. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 25: 80-84.
- DAVIDSON, R.L., 1969. Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratios in *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L. *Ann. Bot.*, London, 33: 571-577.
- DE DATTA, S.K.; F.G. FAYE e R.N. MALLICK, 1975. Relaciones suelo-agua en arroz de secano. In: BORNEMISZA, E. e A. ALVARADO, eds. *Manejo de suelos en la America Tropical*. Raleigh, N.C., University Consortium on Soils of the Tropics - Soil Science Department - North Carolina State University. p. 172-190.
- DE DATTA, S.K. e H.M. BEACHELL, 1972. Varietal response to some factors affecting production of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Rice breeding*. Los Baños, Philippines. p. 685-700.
- DEL GIUDICE, R.M.; S.S. BRANDÃO; J.D. GALVÃO e F.R. GOMES, 1974. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites d'água disponível. *Experientiae*, Viçosa, 18: 103-123.

- DENNIS, E.J. e R. ELLIS Jr., 1962. Potassium ion fixation, equilibria, and lattice changes in vermiculite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 26: 230-233.
- DONALD, C.M., 1962. In search of yield. *J. Aust. Inst. agric. Sci.*, Sydney, 28: 171-178.
- DOSS, B.D.; D.A. ASHLEY e O.L. BENNETT, 1960. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. *Agron. J.*, Madison, 52: 569-572.
- DOVE, L.D., 1967. Ribonuclease activity of stressed tomato leaflets. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 42: 1176-1178.
- DUNHAM, C.W., 1967. Nutrition of greenhouse crops in soils with added peat moss and vermiculite. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, St. Joseph, 90: 462-466.
- DWIVEDI, S.; M. KAR e D. MISHRA, 1979. Inorganic pyrophosphatase activity in water stressed excised rice leaves. *Irrig. Sci.*, New York, 1: 119-124.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1976. *Relatório Técnico Anual*. Brasília. 150 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa-Arroz, Feijão, 1977. *Manual de métodos de pesquisa em arroz. 1a. aproximação*. Goiânia. 106 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro. 282 p.
- ENYI, B.A.C., 1968. Comparative studies of upland and swamp rice varieties (*Oryza sativa* L.). I. Effect of soil moisture on growth and nutrient uptake. *J. agric. Sci.*, Cambridge, 71: 1-13.
- EPSTEIN, E., 1975. *Nutrição mineral das plantas. Princípios e perspectivas*.

- Trad. E. MALAVOLTA. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos e EDUSP. 341 p.
- EUCATEX, 1981. *Vermiculita: o minério da produtividade agrícola*. São Paulo. 8 p. (Mimeografado).
- FAGADE, S.O. e S.K. DE DATTA, 1971. Leaf area index, tillering capacity and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. *Agron. J.*, Madison, 63: 503-506.
- FAGERIA, N.K., 1976. Effect of P, Ca and Mg concentrations in solution culture on growth and uptake of these ions by rice. *Agron. J.*, Madison, 68: 726-732.
- FAGERIA, N.K. e G.E. WILCOX, 1977. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. *Lavoura arroz.*, Porto Alegre, 30: 24-28.
- FARMER, V.C., 1978. Water on particle surfaces. In: GREENLAND, D.J. e M.H.B. HAYES, eds. *The chemistry of soil constituents*. New York, John Wiley & Sons. p. 405-448.
- FREITAS Jr., E. de, 1982. Efeitos da vermiculita na disponibilidade de água e de nutrientes em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar "Carioca Comum". Piracicaba, ESALQ/USP. 67 p. (Tese de Doutorado).
- FURLANI, P.R.; O.C. BATAGLIA; A.M.C. FURLANI; L.E. AZZINI e N.C. SCHMIDT, 1977. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 36: 109-115.
- GAFF, D.F., 1966. The sulfhydryl-disulfide hypothesis in relation to desiccation injury of cabbage leaves. *Aust. J. biol. Sci.*, Melbourne, 19: 291-299.
- GARDNER, W.R. e R.H. NIEMAN, 1964. Lower limit of water availability to plants. *Science*, New York, 143: 1460-1462.

- GARGANTINI, H. e H.G. BLANCO, 1965. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. *Bragantia*, Campinas, 24: 515-528.
- GATES, C.T., 1964. The effect of water stress on plant growth. *J. Aust. Inst. agric. Sci.*, Sydney, 30: 3-22.
- GATES, C.T. e J. BONNER, 1959. The response of the young tomato plant to a brief period of water shortage. IV. Effects of water stress on the ribonucleic acid metabolism of tomato leaves. *Plant Physiol.*, Lancaster, 34: 49-55.
- GENKEL', P.A.; N.A. SATAROVA e E.K. TVORUS, 1967. Effect of drought on protein synthesis and the state of ribosomes in plants. *Fiziologiya Rast.*, Moskva, 14: 898-907.
- GERMEK, E.B.; R. INFORZATO e C.M. FRANCO, 1950. Estudo sobre o sistema radicular do arroz. *Bragantia*, Campinas, 10: 89-92.
- GREENWAY, H. e B. KLEPPER, 1969. Relation between anion transport and water flow in tomato plants. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 22: 208-219.
- GREENWAY, H.; P.G. HUGHES e B. KLEPPER, 1969. Effects of water deficit on phosphorus nutrition of tomato plants. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 22: 199-207.
- GRIM, R.E., 1968. *Clay mineralogy*. 2a. ed., New York, McGraw-Hill. 596 p.
- GRUNER, J.W., 1934. Vermiculite and hydrobiotite structures. *Am. Miner.*, Lancaster, 19: 557-575.
- HALL, J.K. e D.E. BAKER, 1971. Phosphorus fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35: 876-881.

- HALM, A.T., 1967. Effect of water regime on the growth and chemical composition of two rice varieties. *Trop. Agric.*, Trinidad, 44: 33-37.
- HARMSSEN, G.W. e G.J. KOLENBRANDER, 1965. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK, eds. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy. cap. 2. p. 43-92.
- HARTT, C.E., 1967. Effect of moisture supply upon translocation and storage of ^{14}C in sugarcane. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 42: 338-346.
- HAUCK, R.D. e J.M. BREMNER, 1976. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Adv. Agron.*, New York, 28: 219-266.
- HERNANDEZ, J.L., 1969. Influencia del agua en el arroz. *Arroz*, Lima, 3: 33-36.
- HILL, J., 1980. The remobilization of nutrients from leaves. *J. Pl. Nutr.*, New York, 2: 407-444.
- HOFFMAN, G.J.; S.L. RAWLINS; M.J. GARBER e E.M. CULLEN, 1971. Water relations and growth of cotton as influenced by salinity and relative humidity. *Agron. J.*, Madison, 63: 822-826.
- HSIAO, T.C., 1973. Plant responses to water stress. *A. Rev. Pl. Physiol.*, Palo Alto, 24: 519-570.
- HSIAO, T.C. e E. ACEVEDO, 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 14: 59-84.
- ILJIN, V.S., 1957. Drought resistance in plants and physiological processes. *A. Rev. Pl. Physiol.*, Palo Alto, 8: 257-274.
- INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE, 1955. *Le riz et sa fertilization*. Berne. p. 24-31.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1971. *Annual report for 1970*.
Los Baños, Philippines. p. 123-156.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1973. *Annual report for 1972*.
Los Baños, Philippines. 246 p.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1976. *Annual report for 1975*.
Los Baños, Philippines. p. 146.

ISHIZUKA, U., 1965. Nutrient uptake at different stages of growth. In:
SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, Los Baños,
Philippines, 1964. *Proceedings...* Baltimore, John Hopkins. p. 199-
217.

ISHIZUKA, Y., 1972. Physiology of the rice plant. *Adv. Agron.*, New York,
23: 241-315.

ITAI, C.; A.E. RICHMOND e Y. VAADIA, 1968. The role of root cytokinin
during water and salinity stress. *Israel J. Bot.*, Jerusalem, 17:
187-195.

ITAI, C. e Y. VAADIA, 1965. Kinetine-like activity in root exudate of
water stressed sunflower plants. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 18:
941-944.

ITAI, C. e Y. VAADIA, 1971. Cytokinin activity in water-stressed shoots.
Pl. Physiol., Lancaster, 47: 87-90.

IVANOV, V.P., 1959. Effect of foliar nutrition and soil moisture on the
growth and development of maize. *Fiziologiya Rast.*, Moskva, 6: 368-
371.

JACKSON, M.L., 1976. *Análisis químico de suelos*. 3a. ed., Barcelona,
Omega. 662 p.

JANA, R.K. e B.P. CHILDYAL, 1971. Effect of varying soil water regimes

during different growth phases on the yield of rice under different atmospheric evaporative demands. *Il Riso*, Milano, 20: 31-37.

JONES, C.A.; N.V. TAN e F.J.P. ZIMMERMANN, 1979. Root system development in upland rice on three Brazilian Latosols. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley & Sons. p. 385-393.

KEAY, J. e A. WILD, 1961. The kinetics of cation exchange in vermiculite. *Soil Sci.*, Baltimore, 92: 54-60.

KENDE, H., 1971. The cytokinins. *Int. Rev. Cytol.*, New York, 31: 301-338.

KESSLER, B., 1961. Nucleic acids as factors in drought resistance of higher plants. *Adv. Bot.*, New York, 2: 1153-1159.

KILMER, V.J. e V.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soil. *Soil Sci.*, Baltimore, 68: 15-26.

KLEPPER, B. e H. GREENWAY, 1968. Effects of water stress on phosphorus transport to the xylem. *Planta*, Berlin, 30: 142-146.

KLOTZ, I.M., 1958. Protein hydration and behavior. *Science*, New York, 128: 815-822.

KORABLEVA, L.I., 1965. Vermiculite as a source of magnesium for plants. *Agrokimiya*, Moscow, (7): 88-102.

KOZLOWSKI, T.T., 1964. *Water metabolism in plants*. New York, Harper and Row. 227 p.

KRAMER, P.J., 1974. Tension hídrica y crecimiento de las plantas. In: _____. *Relaciones hídricas de suelos y plantas: una síntesis moderna*. Mexico, EDUTEX e Centro Regional de Ayuda Técnica. Cap. 10, p. 393-443.

- KRUPP, H.K.; W.P. ABILAY e E.I. ALVAREZ, 1972. Some water stress effects on rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Rice breeding*. Los Baños, Philippines. p. 663-675.
- KURUP, K.R. e N.N. RAMANKUTTY, 1969. Influence of magnesium silicate, sodium silicate and magnesium carbonate on the growth and yield of rice in the Kuttanad soils of Kerala. *Agric. Res. J. Kerala*, 7: 80-83. In: *Soil and Fertilizers Abstracts*, Harpenden, 34: 334, June 1971. (Abstract nº 2509).
- LARCHER, W., 1975. *Physiological plant ecology*. Berlin, Springer-Verlag. 252 p.
- LARSON, P.R., 1964. Some indirect effects of environment on wood formation. In: ZIMMERMANN, M.H., ed. *The formation of wood in forest trees*. New York, Academic Press. p. 345-365.
- LEE, R.; E.R. ROSS e G.J. CHURCHMAN, 1978. Anomalous results in the determination of non-exchangeable potassium by the step K method: Note. *N.Z.Jl. Sci.*, Wellington, 21: 569-571.
- LEVITT, J., 1962. A sulfhydryl-disulfide hypothesis of frost injury and resistance in plants. *J. theor. Biol.*, London, 3: 355-391.
- LEVITT, J., 1972. *Responses of plants to environmental stresses*. New York, Academic Press. 697 p.
- LIETZKE, D.A.; M.M. MORTLAND e E.P. WHITESIDE, 1975. Relationship of germorphology to origin and distribution of a high charge vermiculitic soil clay. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 39: 1169-1177.
- LIVNE, A. e Y. VAADIA, 1972. Water deficits and hormone relations. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press. v. 3. p. 255-275.
- LODH, S.B.; D.P. BHATTACHARJEE; G. RAMAKRISHNAYYA e S.P. DEB, 1977. Studies

on the oxidative enzymes of rice in relation to soil moisture stress.
Indian Agric., Calcutta, 21: 181-186.

LOPES, A.S., 1977. *Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soil in relation to their chemical mineralogical properties*. Raleigh, North Carolina State University. 189 p. (Tese de Doutorado).

LUNDEGARDH, H., 1949. *Klima und Boden*. Jena, Gustave Fischer Verlag. 484 p.

MADRUGA, L.A.N. e A.B. RENA, 1977a. Variações no teor de prolina livre em folhas destacadas de cinco cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), submetidas à desidratação. *Rev. Ceres*, Viçosa, 24: 217-225.

MADRUGA, L.A.N. e A.B. RENA, 1977b. Variações na concentração de prolina livre em folhas de plantas intactas de cinco cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), submetidas à desidratação. *Rev. Ceres*, Viçosa, 24: 226-236.

MAJUMBER, B. e M. PRAMANIK, 1979. Note on the effect of low rainfall on the flowering time in rice. *Indian J. agric. Sci.*, New Delhi, 49: 138-139.

MALAVOLTA, E., 1967. *Manual de química agrícola - adubos e adubação*. 2a. ed., São Paulo, Ceres. 606 p.

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

MALAVOLTA, E., 1981. *Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro*. 3a. ed., São Paulo, Ultrafertil. 40 p.

MALI, P.C. e S.L. MEHTA, 1977. Effect of drought on enzymes and free proline in rice varieties. *Phytochemistry*, Oxford, 16: 1355-1357.

MATSUI, T. e M. TOTANI, 1963. Studies on some functions of vermiculitic clay separates from Japanese soils. *Clay Sci.*, Tokyo, 1: 29-40.

- MATSUSHIMA, S., 1965. Nitrogen requirements at different stages of growth. *In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT*, Los Baños, Philippines, 1964. *Proceedings ...* Baltimore, John Hopkins. p. 219-242.
- MATSUSHIMA, S., 1968. Water and physiology of Indica rice. *Proc. Crop Sci. Soc. Jap.* Rice cultivation in Southeast Asia, Tokyo. p. 102-109. Special issue.
- MEDEIROS, A.A. de, 1980. Exigências nutricionais e correção de deficiências minerais em duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L., cv. I.A.C. 47 e I.A.C. 435). Piracicaba, ESALQ/USP. 99 p. (Dissertação de Mestrado).
- MEISINGER, A.C., 1980a. *Vermiculite*. Washington, USDI. Bureau of mines. 4 p. Separata de USDI. Bureau of mines. *Bureau of mines minerals yearbook*. Washington.
- MEISINGER, A.C., 1980b. *Vermiculite*. Washington, USDI. Bureau of mines. 9 p. Separata de USDI. Bureau of mines. *Mineral facts and problems*. Washington. (Bulletin, nº 671).
- MENGEL, D.B. e S.A. BARBER, 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agron. J.*, Madison, 66: 341-344.
- METIVIER, J.R., 1979. Citocininas. *In: FERRI, M.G., coord. Fisiologia Vegetal*. São Paulo, E.P.U. - EDUSP. v. 2. p. 93-127.
- MILLER, R.D. e D.D. JOHNSON, 1964. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 28: 644-647.
- MITRA, S.P. e D. PRAKASH, 1955a. Phosphate adsorption by vermiculite. *Proc. natn. Acad. Sci. India*, Allahabad, 24A: 117-122.
- MITRA, S.P. e D. PRAKASH, 1955b. Phosphate fixation by minerals in alkaline medium. *Proc. natn. Acad. Sci. India*, Allahabad, 24A: 169-175.

- MITSUI, S., 1956. *Inorganic nutrition fertilization and soil amelioration for lowland rice*. 3a. ed. Tokyo, Yokendo. 107 p.
- MIZRAHI, Y.; A. BLUMENFELD e A.E. RICHMOND, 1970. Abscissic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 46: 169-171.
- MOORE Jr., P.A.; J.T. GILMOUR e B.R. WELLS, 1981. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45: 875-879.
- MORTLAND, M.M., 1961. Influence of some organic salts on the absorption of potassium by vermiculite. *Nature*, London, 192: 481-482.
- NAYLOR, A.W., 1972. Water deficits and nitrogen metabolism. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press. v. 3. p. 241-254.
- NICOU, R.; L. SEGUY e G. HADDAD, 1970. Comparaison de l'enracinement de quatre varietes de riz pluvial en presence ou absence de travail du sol. *Agron. trop.*, Paris, 25: 639-659.
- NIEMAN, R.H. e L.L. POULSON, 1962. The light dependence of nucleic acid and protein synthesis by isolated radish cotyledonary leaves. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 37: 21-22. Supplement.
- NÖMMIK, H., 1965. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in soil. In: BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK, eds. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy. Cap. 5. p. 198-258.
- NORRISH, K., 1972. Factors in the weathering of mica to vermiculite. In: INT. CLAY CONF., Madrid, 1972. *Proceedings ...* p. 417-432.
- OBERMUELLER, A.J. e D.S. MIKKELSEN, 1974. Effects of water management and soil aggregation on the growth and nutrient uptake of rice. *Agron. J.*,

Madison, 66: 627-631.

ORDIN, L., 1960. Effect of water stress on cell wall metabolism of *Avena* Coleoptile tissue. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 35: 443-450.

O'TOOLE, J.C. e T.T. CHANG, 1979. Drought resistance in cereals - rice: a case study. In: MUSSELL, H. e R.C. STAPLES, eds. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley & Sons. p. 373-405.

PANDE, H.K. e B.N. MITTRA, 1970. Response of lowland rice to varying levels of soil, water, and fertility management in different seasons. *Agron. J.*, Madison, 62: 197-199.

PANDE, H.K. e P. SINGH, 1970. Water and fertility management of rice varieties under low atmospheric evaporative demand. *J. agric. Sci.*, Cambridge, 75: 61-67.

PARICHA, P.C.; B.K. GHOSH e N.C. SAHOO, 1977. Further studies on the significance of Cycocel in enhancing drought resistance in rice. *Sci. Cult.*, Calcutta, 43: 230-231.

PARICHA, P.C. e K.R. PERUMAL, 1974. Effect of cycocel on retention of chlorophyll in rice leaves following drought. *Sci. Cult.*, Calcutta, 40: 165-166.

PARICHA, P.C. e P. SAHOO, 1975. Studies on the physiological variability in some mutant cultures of rice to resist drought. *Oryza*, 12: 73-81.

PARK, H. e C.S. SHIN, 1973. Mineral nutrition of field-grown rice plant. II. Recovery of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potassium in relation to climatic zone and physical or chemical characteristics of soil profile. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, Seoul, 6: 17-26.

PARK, I.K.; T. SASAHARA e S. TSUNODA, 1978. Response of four rice varieties to three regimes of soil moisture tension under two levels of fertilization. *Tokyo J. agric. Res.*, Tokyo, 29: 63-69.

PATRICK Jr., W.H. e K.R. REDDY, 1976. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 40: 678-681.

PATRICK Jr.; W.H. e W.J. FONTENOT, 1976. Growth and mineral composition of rice at various soil moisture tensions and oxygen levels. *Agron. J.*, Madison, 68: 325-329.

PEARSON, R.W., 1974. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia. p. 247-270.

PETERSON, F.F.; J. RHOADES; M. ARCA e N.T. COLEMAN, 1965. Selective adsorption of magnesium ions by vermiculite. Note. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29: 327-328.

PETINOV, N.S. e K.M. MALYSHEVA, 1960. Effect of drought on efficiency of respiration in corn leaves. *Fiziologiya Rast.*, Moskva, 7: 553-557.

PLAUT, Z. e L. ORDIN, 1964. The effect of moisture tension and nitrogen supply on cell wall metabolism of sunflower leaves. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 17: 279-286.

PLAUT, Z. e L. REINHOLD, 1965. The effect of water stress on ^{14}C sucrose transport in bean plants. *Aust. J. biol. Sci.*, Melbourne, 18: 1143-1155.

PONNAMPERUMA, F.N., 1975. Growth-limiting factors of aerobic soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Major research in upland rice*. Los Baños, Philippines. p. 40-43.

PROKSCH, G., 1969. Routine analysis of ^{15}N in plant material by mass-spectrometry. *Pl. Soil*, The Hague, 31: 380-384.

RAGAI, H. e W.E. LOOMIS, 1954. Respiration of maize grain. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 29: 49-55.

- RAMAKRISHNAYYA, G. e D.P. BHATTACHARJEE, 1973. Concentration of sugars in rice varieties under soil moisture deficit. *Oryza*, 10: 31-35.
- RAMULU, S.U.S., 1967. Phosphorus reactions with soils high in iron oxides. *Diss. Abstr.*, Riverside, University of California, 28B: 20.
- REDDY, K.R. e W.H. PATRICK Jr., 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. *Agron. J.*, Madison, 68: 965-969.
- REDDY, K.R. e W.H. PATRICK Jr., 1978. Utilization of labelled urea and ammonium sulfate by lowland rice. *Agron. J.*, Madison, 70: 465-467.
- REHATTA, S.B.; W. DIJKSHOORN e J.E.M. LAMPE, 1979. Nitrogen uptake by rice plants from a dry soil at maintained water supply from a greater depth. *Neth. J. agric. Sci.*, Wageningen, 27: 99-110.
- REICHMAN, G.A.; D.L. GRUNES e F.G. VIETS Jr., 1966. Effect of soil moisture on ammonification and nitrification in two Northern Plains soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 30: 363-366.
- REYES, E.D.; J.G. DAVIDE; L.G. ORARA e R.A. CALIXIHAN, 1962. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by a lowland rice variety at different stages of growth. *Philipp. Agric.*, Los Baños, 46: 7-19.
- REYNIERS, F.N. e M. JACQUOT, 1978. Démarche pour l'obtention de la résistance variétale à la sécheresse. Cas du riz pluvial. *Agron. trop.*, Paris, 33: 314-317.
- RICH, C.I., 1961. Ammonium fixation by two red-yellow podzolic soils as influenced by interlayer-Al in clay minerals. In: INT. CONGR. SOIL SCI., 79, Madison, 1960. *Transactions ... Amsterdam, Elsevier.* v. 4. p. 468-475.
- RICHARDS, L.A., 1965. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A. et alii, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of

Agronomy. Part 1. p. 128-152.

RICHARDS, L.A. e C.H. WADLEIGH, 1952. Soil water and plant growth. In: SHAW, B.T., ed. *Soil physical conditions and plant growth*. New York, Academic Press. p. 73-251.

ROBERTS, B.R., 1964. Effect of water stress on the translocation of photosynthetically assimilated carbon-14 in yellow poplar. In: ZIMMERMAN, M.H., ed. *The formation of wood in forest trees*. New York, Academic Press. p. 273.

ROBINSON, J.B.D., 1957. The critical relationship between soil moisture content in the region of the wilting point and the mineralization of natural soil nitrogen. *J. agric. Sci.*, Cambridge, 49: 100-105.

RUNKLES, J.R.; A.D. SCOTT e F.S. NAKAYAMA, 1958. Oxygen sorption by moist soils and vermiculite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 22: 15-18.

SALATI, E.; K. REICHARDT e S. URQUIAGA C., 1980. Efeitos da adição de vermiculita na retenção e armazenamento de água por latossolos. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 4: 125-131.

SANCHEZ, P.A., 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley & Sons. p. 184-222.

SANTOS, A.B. dos; S. STEINMETZ; P.M. da SILVEIRA; M.P. BARBOSA FILHO e N.K. FAGERIA, 1982. *Comentários sobre resultados obtidos em estudos com vermiculita na agricultura*. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF. 19 p. (Mimeografado).

SCHWERTMANN, U., 1966. The behaviour of vermiculites towards potassium, aluminium and other cations. 2. Chemical investigations. *Z. PflErnähr. Düng. Bodenk.*, Leipzig, 115: 173-181.

SENEWIRATNE, S.T. e D.S. MIKKELSEN, 1961. Physiological factors limiting

- growth and yield of *Oryza sativa* under unflooded conditions. *Pl. Soil*, The Hague, 14: 127-146.
- SHAH, C.B. e R.S. LOOMIS, 1965. Ribonucleic acid and protein metabolism in sugar beet during drought. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 18: 240-254.
- SHIGA, H., 1975. Mineral microbial transformations in upland rice soil. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Major research in upland rice*. Los Baños, Philippines. p. 217-237.
- SILVA, J.C. de A.; T.E. RODRIGUES; J.C. SABINO; I.A. GOMES; A. de P. CRUZ; F.A. de OLIVEIRA; C. DAGHLIAN; I.A. GUERRINI; J.A. MAZZA; F. de S. CORREA; M.A. SCHIAVUZZO e M.P. da COSTA, 1981. *Marcha de absorção e exigências minerais do arroz (Oryza sativa, L.), cultivares IAC-25 e IAC-47*. Piracicaba, ESALQ/USP. 37 p. (Mimeografado).
- SILVA, P.R.F. da e C.A. STUTTE, 1981. Nitrogen loss in conjunction with transpiration from rice leaves as influenced by growth stage, leaf position, and N supply. *Agron. J.*, Madison, 73: 38-42.
- SIMS, J.L. e G.A. PLACE, 1968. Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. *Agron. J.*, Madison, 60: 692-696.
- SINGH, M.K. e T. SASAHARA, 1981. Photosynthesis and transpiration in rice as influenced by soil moisture and air humidity. *Ann. Bot.*, London, 48: 513-518.
- SLATYER, R.O., 1967. Development and significance of internal water deficits. In: _____. *Plant-water relationships*. London, Academic Press. Cap. 9, p. 275-308.
- SLAVIK, B., 1958. The influence of water deficit on transpiration. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, 11: 524-536.

- SMALLEY, R.R.; W.L. PRITCHETT e L.C. HAMMOND, 1962. Effects of four amendments on soil physical properties and on yield and quality of putting greens. *Agron. J.*, Madison, 54: 393-395.
- SOWDEN, F.J.; A.A. MacLEAN e G.J. ROSS, 1978. Native clay-fixed ammonium content, and the fixation of added ammonium of some soils of Eastern Canada. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 58: 27-38.
- STEINMETZ, S.; L.F. STONE e B. da S. PINHEIRO, 1979. *Deficiência hídrica e produtividade de arroz de sequeiro (nota prévia)*. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF. 2 p. (Mimeografado).
- STEWART, B.A. e L.K. PORTER, 1963. Inability of the Kjeldahl method to fully measure indigenous fixed ammonium in some soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 27: 41-43.
- STOCKER, O., 1960. Physiological and morphological changes in plants due to water deficiency. In: UNESCO. *Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions*. Paris. v. 15. p. 63-104.
- STONE, L.F., 1976. Efeitos de diferentes conteúdos de água do solo e doses de nitrogênio sobre o comportamento do trigo (*Triticum aestivum* L.). Campina Grande, CCT/UFPb. 81 p. (Dissertação de Mestrado).
- STONE, L.F.; A.B. dos SANTOS e S. STEINMETZ, 1980. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água do solo e no rendimento do arroz-de-sequeiro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15: 63-68.
- STONE, L.F.; P.M. da SILVEIRA; A.B. de OLIVEIRA e A.R.L. de AQUINO, 1979a. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção de arroz irrigado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14: 105-109.
- STONE, L.F.; A.B. de OLIVEIRA e S. STEINMETZ, 1979b. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14: 295-301.

- STORRIER, R.R., 1965. The influence of water on wheat yield, plant nitrogen uptake and soil mineral nitrogen concentration. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.*, Melbourne, 5: 310-316
- SUTCLIFFE, J.F., 1980. *As plantas e a água*. São Paulo, E.P.U. - EDUSP. 126 p.
- TAL, M. e D. IMBER, 1971. Abnormal stomatal behaviour and hormonal imbalance in *flacca*, a wilted mutant of tomato. III. Hormonal effects on the water status in the plant. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 47: 849-850.
- TANFORD, C., 1963. The structure of water and of aqueous solutions. In: HERZFELD, C.M., ed. *Temperature - its measurement and control*. New York, Reinhold. v. 3. p. 123-129.
- TERMAN, G.L., 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Adv. Agron.*, New York, 31: 189-223.
- TISDALE, S.L. e W.L. NELSON, 1975. Fertilizers and efficient use of water. In: _____. *Soil fertility and fertilizers*. New York, Macmillan. cap. 16. p. 622-646.
- TODD, G.W., 1972. Water deficits and enzymatic activity. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press. v. 3. p. 177-216.
- TOMAR, V.S. e B.P. GHILDYAL, 1973. Internal leaf water status and transport of water in rice plants. *Agron. J.*, Madison, 65: 861-865.
- TRIVELIN, P.C.O.; E. SALATI e E. MATSUI, 1973. *Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa*. Piracicaba, CENA. 41 p. (Boletim Técnico, nº 2).
- TSUNODA, S., 1965. Leaf characters and nitrogen response. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, Los Baños, Philippines,

1964. *Proceedings ...* Baltimore, John Hopkins. p. 401-418.
- TSUTSUI, H., 1972. Manejo da água para produção de arroz. *Lavoura arroz.*, Porto Alegre, 25: 36-41.
- TURNER, N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: MUSSELL, H. e R.C. STAPLES, eds. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley & Sons. p. 343-372.
- USDA, 1975. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification to making and interpreting soil surveys*. Washington. 754 p. (Agriculture Handbook, nº 436).
- VIEIRA, L.S., 1975. *Manual da ciência do solo*. São Paulo, Ceres. 461 p.
- VIETS Jr., F.G., 1965. The plant's need for and use of nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK, eds. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy. Cap. 14. p. 503-549.
- VIETS Jr., F.G., 1972. Water deficits and nutrient availability. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press. v. 3. p. 217-239.
- VILLA NOVA, N.A.; V. BARBIERI e R. SCARDUA, 1980. *Evapotranspiração e evaporação: principais métodos de estimativa climatológica, segundo as recomendações da FAO (1979)*. Piracicaba, Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ/USP. 22 p. (Mimeografado).
- VLEK, P.L.G.; C.W. HONG e L.J. YOUNGDAHL, 1979. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. *Agron. J.*, Madison, 71: 829-833.
- VOSE, P.B., 1980. *Introduction to nuclear technique in agronomy and plant biology*. Oxford, Pergamon Press. p. 328-360.
- WADLEIGH, C.H. e A.D. AYERS, 1945. Growth and biochemical composition of

bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 20: 106-132.

WALKER, G.F., 1949. Water layers in vermiculite. *Nature*, London, 163: 726.

WALKER, G.F., 1951. Vermiculite and some related mixed-layer minerals. In: MINERALOGICAL SOCIETY OF GREAT BRITAIN AND IRELAND. *X-ray identification and structures of clay minerals*. London, p. 199-223.

WALKER, G.F., 1958. Reactions of expanding lattice minerals with glycerol and ethylene glycol. *Clay Miner. Bull.*, London, 3: 302-313.

WALTON, D.C.; E. GALSON e M.A. HARRISON, 1977. The relationship between stomatal resistance and abscisic-acid in leaves of water stressed bean plants. *Planta*, Berlin, 133: 145-148.

WARDLAW, I.F., 1968. The control and pattern of movement of carbohydrates in plants. *Bot. Rev.*, Lancaster, 34: 79-105.

WATSON, D.J., 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.*, New York, 4: 101-145.

WEST, S.H., 1962. Protein, nucleotide and ribonucleic acid metabolism in corn during germination under water stress. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 37: 565-571.

WHITMORE, F.W. e R. ZAHNER, 1967. Evidence for a direct effect of water stress in the metabolism of cell wall in Pinus. *Forest Sci.*, Washington, 13: 397-400.

WIEBE, H.H. e S.E. WIHRHEIM, 1962. The influence of internal moisture stress on translocation. In: SYMPOSIUM ON THE USE OF RADIOISOTOPES IN SOIL-PLANT NUTRITION STUDIES, Bombay, 1962. *Proceedings ... Vienna*, International Atomic Energy Agency. p. 279-287.

- WILD, A. e J. KEAY, 1964. Cation-exchange equilibria with vermiculite. *J. Soil Sci.*, Oxford, 15: 135-144.
- WOLF, J.M., 1975. Relación suelo-agua en oxisoles de Puerto Rico y Brasil. In: BORNEMISZA, E. e A. ALVARADO. *Manejo de suelos en la America Tropical*. Raleigh, N.C., University Consortium on Soils of the Tropics - Soil Science Department - North Carolina State University. p. 147-157.
- WOODHAMS, D.H. e T.T. KOZLOWSKI, 1954. Effects of soil moisture stress on carbohydrate development and growth in plants. *Am. J. Bot.*, Lancaster, 41: 316-320.
- WRIGHT, S.T.C., 1969. An increase in the "Inhibitor- β " content of detached wheat leaves following a period of wilting. *Planta*, Berlin, 86: 10-20.
- WRIGHT, S.T.C. e R.W.P. HIRON, 1969. (+) - Abscissic acid, the growth inhibitor induced in detached wheat leaves by a period of wilting. *Nature*, London, 224: 719-720.
- YAROSH, N.P., 1959. Effect of water supply on biochemical changes in cotton leaves and seeds. *Fiziologiya Rast.*, Moskva, 6: 211-214.
- YOSHIDA, S., 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Major research in upland rice*. Los Baños, Philippines. p. 46-71.
- YOSHIDA, S.; M. SHIOYA; E. DE LOS REYES; V. CORONEL e F.T. PARAÓ, 1974. Physiological basis and techniques for screening for drought resistance. In: IRRI SEMINAR, Los Baños, Philippines, March 16, 1974. *Proceedings ...* (Mimeografiado).
- YOSHIDA, T. e R.R. ANCAJAS, 1973. The fixation of atmospheric nitrogen in the rice rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 5: 153-155.

ZHOLKEVICH, V.N. e T.F. KORETSKAYA, 1959. Metabolism of pumpkin roots during soil drought. *Fiziologiya Rast.*, Moskva, 6: 690-700.

APENDICE

TABELA 33 - Rendimentos médios de matéria seca de colmos, folhas, grãos vazios e grãos cheios da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Matéria Seca (g/vaso)									
	Colmos		Folhas		Râquis		Grãos Vazios		Grãos Cheios	
	s/verm.	c/verm. ¹	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.
0	32,10	37,49	17,39	17,70	1,10	1,06	1,06	0,80	21,96	23,59
4	28,10	34,61	16,66	18,66	1,00	0,96	1,89	2,32	10,76	7,50
8	28,29	27,73	19,00	18,80	0,98	0,94	2,88	2,20	1,46	4,60

(1) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 34 - Porcentagens médias de átomos de ^{15}N em diversas partes da planta de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm)	Átomos de ^{15}N (%)							
	Raízes		Colmos		Folhas		Râquis	
	IAC47	IRAT13	IET1444	IAC47	IRAT13	IET1444	IAC47	IRAT13
	IET1444	IAC47	IRAT13	IET1444	IAC47	IRAT13	IET1444	IRAT13
55	s/verm.	1,574	1,551	1,564	1,677	1,673	1,713	1,689
	c/verm. ²	1,546	1,586	1,475	1,654	1,680	1,623	1,607
70	s/verm.	1,540	1,543	1,478	1,658	1,679	1,637	1,686
	c/verm.	1,517	1,532	1,513	1,612	1,671	1,688	1,639
85	s/verm.	1,486	1,540	1,519	1,634	1,701	1,690	1,676
	c/verm.	1,498	1,536	1,436	1,644	1,684	1,649	1,672
100	s/verm.	1,405	1,416	1,435	1,584	1,580	1,670	1,674
	c/verm.	1,437	1,458	1,418	1,596	1,629	1,599	1,704

(1) ETm = evapotranspiração máxima; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 35 - Porcentagens médias de átomos de ^{15}N em diversas partes da planta da cultivar de arroz IAC 47 submetida a veranicos de diferentes durações, durante a emissão das panículas, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Átomos de ^{15}N (%)											
	Raízes		Colmos		Folhas		Râquis		Grãos Vazios		Grãos Cheios	
	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.	s/verm.	c/verm.
0	1,405	1,437	1,584	1,596	1,674	1,704	1,564	1,603	1,570	1,623	1,597	1,664
4	1,484	1,464	1,619	1,582	1,712	1,638	1,596	1,612	1,656	1,649	1,656	1,666
8	1,456	1,448	1,537	1,531	1,623	1,719	1,578	1,590	1,606	1,654	1,680	1,619

(1) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 36 - Porcentagens médias de átomos de ^{15}N no solo, após a colheita, nos diversos tratamentos do primeiro experimento.

Lâminas d'Água (% da ETm ¹)		Átomos de ^{15}N (%)		
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	s/verm.	0,432	0,417	0,413
	c/verm. ²	0,432	0,423	0,406
70	s/verm.	0,420	0,422	0,407
	c/verm.	0,429	0,432	0,410
85	s/verm.	0,420	0,410	0,407
	c/verm.	0,423	0,417	0,408
100	s/verm.	0,416	0,412	0,402
	c/verm.	0,416	0,417	0,404

(1) ETm = evapotranspiração máxima; (2) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 37 - Porcentagens médias de átomos de ^{15}N no solo, após a colheita, nos diversos tratamentos do segundo experimento.

Veranicos (dia)	Átomos de ^{15}N (%)	
	s/verm.	c/verm. ¹
0	0,416	0,416
4	0,399	0,400
8	0,386	0,390

(1) c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.