

# DEFICIÊNCIA HÍDRICA, VERMICULITA E CULTIVARES

## I. EFEITO NA PRODUTIVIDADE DO ARROZ<sup>1</sup>

LUIS FERNANDO STONE<sup>2</sup>, PAULO LEONEL LIBARDI<sup>3</sup> e KLAUS REICHARDT<sup>4</sup>

**RESUMO** - Os efeitos de quatro lâminas d'água, correspondentes a 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração máxima, e de dois tratamentos de vermiculita (sem e com adição de 10% em volume ao solo) na produtividade das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) IAC 47, IRAT 13 e IET 1444, foram estudados em um experimento em vasos. A adição de vermiculita aumentou o pH, a CTC e os teores trocáveis de cálcio, magnésio e potássio, e diminuiu o teor de alumínio. Ela, entretanto, não afetou a produtividade do arroz nem a eficiência do uso da água (EUA). Em condições de deficiência hídrica, a cultivar IRAT 13 apresentou maior estabilidade de produção, maior EUA, maior índice de colheita (IC) e maior relação raiz/colmo do que as outras, indicando maior adaptação ao estresse hídrico. A deficiência hídrica reduziu o número de grãos cheios por panícula, o peso dos grãos, o rendimento de grãos e de matéria seca total, a altura total das plantas, o IC, a EUA e aumentou a porcentagem de grãos vazios, a duração do ciclo e o rendimento de matéria seca das raízes. Ela aumentou a relação raiz/colmo das cultivares de sequeiro, mas não afetou a da cultivar de arroz irrigado.

Termos para indexação: cultivares de arroz, *Oryza sativa*.

## WATER STRESS, VERMICULITE AND CULTIVARS I. EFFECT ON RICE YIELD

**ABSTRACT** - The effect of four Irrigation levels and two vermiculite treatments on the yield of three rice cultivars (*Oryza sativa* L.) (IAC 47, IRAT 13 and IET 1444) was studied in a greenhouse experiment. The treatments included the irrigation levels corresponding to 55, 70, 85 and 100% of maximum evapotranspiration with and without vermiculite incorporation in the soil at 10% concentration on volume basis. The incorporation of vermiculite into the soil increased the pH, CEC, exchangeable cation (Ca, Mg and K) concentration and decreased the exchangeable aluminium concentration. It did not affect the grain yield nor the water use efficiency (WUE). Under conditions of water stress the cultivar IRAT 13 exhibited greater grain yield stability, WUE, harvest index (HI) and root/shoot ratio as compared to the other cultivars, indicating that it possesses better adaptation to water stress. The water stress decreased the number of filled grains per panicle, grain weight, grain yield, total dry matter yield, plant height, HI, WUE and increased the percentage of unfilled grains, growth duration and root dry matter yield. Further, while the root/shoot ratio of the upland cultivars increased, it did not significantly affect that of the lowland cultivar.

Index terms: rice cultivars, *Oryza sativa*.

## 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. Aproximadamente, 65% da produção brasileira origina-se basicamente de lavouras de sequeiro. Grande parte dessas lavouras está localizada 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. 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

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 5 de abril de 1984.

Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

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

<sup>3</sup> Eng.<sup>o</sup>-Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., Professor-Assistente Doutor do DFM da ESALQ/USP, Pesquisador Científico do CENA e Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Eng.<sup>o</sup>-Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., Professor-Titular do DFM da ESALQ/USP.

evapotranspirativa durante estes períodos, faz com que estes veranicos causem sérios decréscimos no rendimento do arroz, provocando oscilações na produção nacional.

Uma das alternativas para a solução desse problema é a seleção de cultivares adaptadas às condições de sequeiro. Devem ser procuradas cultivares que tenham as menores demandas de água possíveis e que tenham capacidade de tolerar a seca.

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 tornar-se 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.

Neste trabalho pretende-se verificar como a produtividade do arroz é afetada pela deficiência hídrica, adição de vermiculita ao solo e tipo de planta.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA da USP), Piracicaba, SP, em vasos com o fundo fechado, capacidade de 8 litros, com 5 kg de solo e três plantas de arroz. Foi usado o Latossolo Vermelho-Escuro coletado no município de Goiânia, GO, à profundidade de 0-20 cm. A curva de retenção de água do solo, a análise granulométrica e algumas características químicas do solo podem ser vistas na Fig. 1 e Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de dois tratamentos de vermiculita, sem e com adição de 10% em volume ao solo, com três cultivares de arroz de diferentes tipos de planta, IAC 47, IRAT 13 e IET 1444, e com quatro lâminas d'água, correspondentes a 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração máxima (ETm).

A ETm, em mm.dia<sup>-1</sup>, foi determinada pela fórmula:

$$ETM = E \times K \quad (1)$$

onde

E é a evaporação da superfície livre da água, em mm.dia<sup>-1</sup>, e

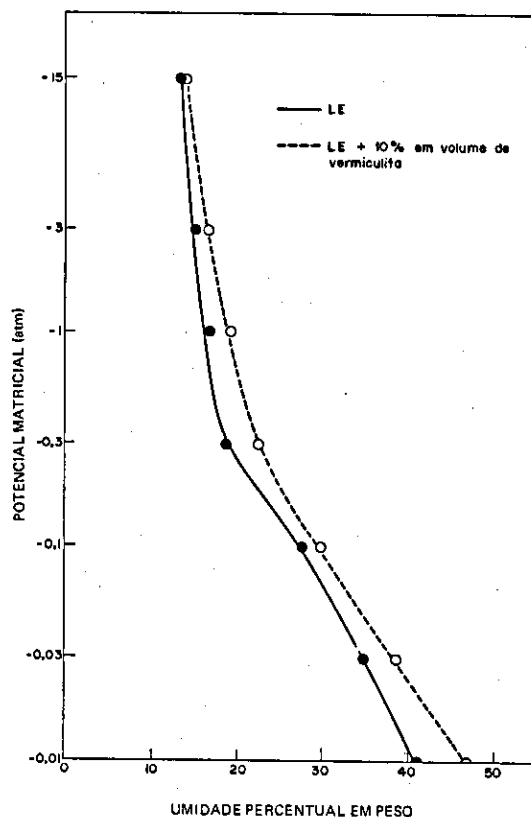


FIG. 1. Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Escuro (LE), sem e com adição de vermiculita (10% de volume).

K é um fator que varia ao longo do ciclo da cultura.

A determinação de E foi feita através de um sistema de Mariotte. Este sistema consistiu basicamente de um vaso de plástico, igual aos usados nos experimentos, com uma altura de água equivalente à 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. 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

TABELA 1. Resultados das análises de algumas características físicas do solo utilizado no experimento.

Prof. (cm)	Análise granulométrica (%)			Classe textural	Densidade global ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
	Areia	Silte	Argila		
0 - 20	46	22	32	barro argilo-arenoso	1,176

TABELA 2. Resultados das análises\* de algumas características químicas do solo utilizado no experimento.

Profundi- dade (cm)	pH 1:2,5	C org	M org	N total	C/N	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H}^+$	CTC
0 - 20	5,7	1,65	2,84	0,091	18	0,07	3,21	0,76	0,25	0,02	0,12	5,76	10,12

\* As análises foram feitas no laboratório de solos do CES/ESALQ/USP.

gravimétrica da umidade do solo de vasos extra-experimento, que este volume levava novamente o potencial matricial da água do solo a  $-0,1$  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 potencial matricial voltasse a  $-0,1$  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.

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

A vermiculita utilizada foi a Eucatex, tipo Superfina, com densidade global igual a  $0,131 \text{ g.cm}^{-3}$  e com granulometria 100% em peneira de 2 mm. A análise química da vermiculita é apresentada na Tabela 3.

Cada vaso recebeu 100 ppm de N, 150 ppm de P, 150 ppm de K e 5 ppm de Zn, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples, sulfato de potássio e sulfato de zinco, respectivamente.

Na colheita foram separadas as raízes, os colmos, as folhas, os ráquis, os grãos vazios e os grãos cheios. Foram avaliados os componentes da produção, a produção de grãos, a altura, a duração do ciclo, a duração da área foliar, o rendimento de matéria seca, o índice de colheita, a relação raiz/colmo e a eficiência do uso da água.

A duração da área foliar, expressa em  $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}$ ,

foi obtida pela integração da curva do índice de área foliar (IAF) em função do tempo. A integração foi feita da emergência até a floração da cultura. O IAF, expresso em  $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , foi determinado cada quinze dias, pela equação:

$$\text{IAF} = \text{AF} \times \text{NP/AS} \quad (2)$$

onde:

AF é a área foliar de um perfilho, em  $\text{m}^2$ ;

NP, o número de perfilhos por vaso; e

AS, a área da superfície do solo no vaso, em  $\text{m}^2$ .

A área de cada folha foi medida pelo método maior largura  $\times$  comprimento da folha  $\times 0,75$  (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1977).

O índice de colheita foi obtido pela razão entre a produção de grãos e o rendimento de matéria seca da parte aérea. A relação raiz/colmo foi obtida pela razão entre o rendimento de matéria seca das raízes e dos colmos. A eficiência do uso da água ( $\text{mg/mm}$ ) foi obtida pela divisão da produção de grãos pelo consumo de água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 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. 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. O aumento nos teores de cálcio, magnésio e potássio foi devido à sua liberação 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 à 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 Mitra & Prakash (1955) 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, magnésio e potássio concordam com o observado por Dunham (1967) e Santos et al. (1982). Korableva (1965) também observou aumentos no pH e nos teores trocáveis de magnésio e potássio, além de diminuição no teor de alu-

mínio trocável, pela adição de vermiculita ao solo. A redução no teor de fosfato trocável está de acordo com o observado por Dunham (1967).

#### Componentes da produção

A adição de vermiculita ao solo não afetou significativamente nenhum componente da produção. Uma possível explicação para isto é que a maior quantidade de água colocada inicialmente nos tratamentos com vermiculita, devido à maior capacidade de retenção, foi muito pequena em relação à demanda das plantas. Além disto, como a vermiculita não afeta, possivelmente, a taxa de evapotranspiração, como verificaram Salati et al. (1980) para a cultura do milho, e como os vasos não tinham abertura no fundo, não se podendo, portanto, observar diferenças com relação à percolação, os vasos com e sem vermiculita tiveram, praticamente, a mesma quantidade de água à 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 al. 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

TABELA 3. Resultados das análises\* de algumas características da vermiculita Eucatex Superfina utilizada no experimento.

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

\* As análises foram feitas no laboratório da Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA/USP.

TABELA 4. Resultados das análises<sup>1</sup> de algumas características químicas do solo, nos tratamentos sem e com adição de vermiculita, após a colheita do experimento.

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

<sup>1</sup> As análises foram feitas no laboratório de solos do CES/ESALQ/USP;

<sup>2</sup> c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo;

<sup>3</sup> \*\* = significância ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>4</sup> n.s. = não-significativo;

<sup>5</sup> \* = significativa ao nível de 5% de probabilidade.

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.

Nas Fig. 2 e 3 são apresentados os componentes da produção em função das lâminas d'água aplicadas. Observa-se que o número de panículas por vaso, o número de grãos cheios por panícula e o peso de 100 grãos diminuíram com o decréscimo das lâminas. A percentagem de grãos vazios, ao contrário, aumentou. Estes resultados concordam com o verificado por vários pesquisadores (Del Giudice et al. 1974, International Rice Research Institute 1971). O número de panículas por vaso foi o componente menos afetado pelo déficit hídrico (curvas quase paralelas ao eixo das abscissas). 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, pouco antes, portanto, do começo do estresse. Entre as cultivares, a 'IET 1444' apresentou o maior número de panículas por vaso. As cultivares desenvolvidas para o cultivo irrigado, como a 'IET 1444', possuem maior número de perfilhos do que as cultivares de sequeiro, como a 'IAC 47' e a 'IRAT 13' (Yoshida 1975). Como o número de perfilhos e de panículas são positivos e altamente correlacionados (Chang & De Datta 1975), explica-se o maior número de panículas por vaso apresentado pela cultivar de arroz irrigado.

A percentagem de grãos vazios e o número de grãos cheios por panícula foram os componentes da produção mais afetados pelo déficit hídrico.

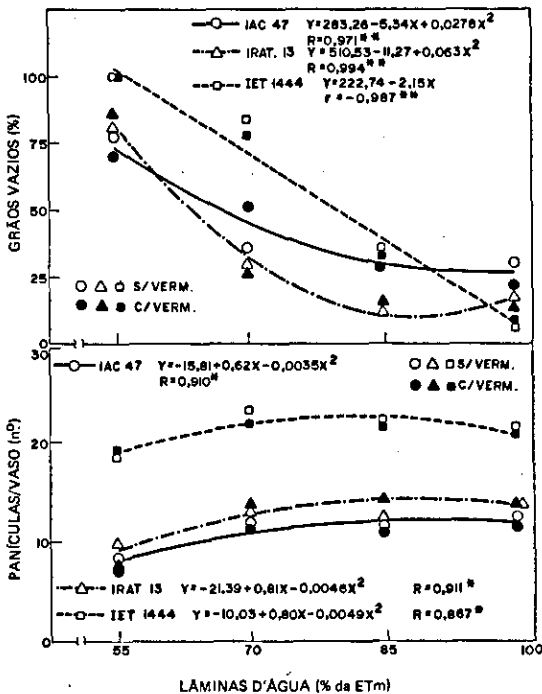


FIG. 2. Número de panículas por vaso e percentagem de grãos vazios de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

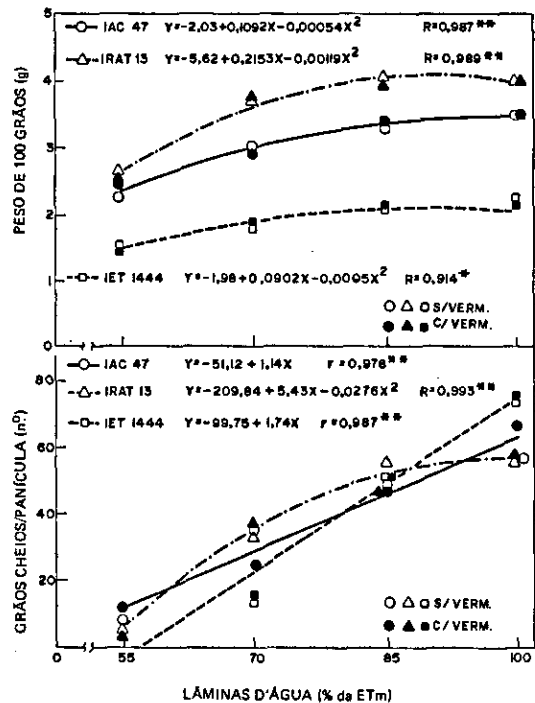


FIG. 3. Número de grãos cheios por panícula e peso de 100 grãos de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

Observa-se que a cultivar IET 1444 é mais sensível ao déficit hídrico, com relação a estes dois componentes, do que as cultivares de sequeiro. A percentagem 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. Chang et al. (1972) 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 na percentagem de grãos vazios resulta do aumento da esterilidade de flores provocada por estresse hídrico no estágio de meiose ou na antese. A redução no número de grãos cheios, por sua vez, é resultado deste aumento na esterilidade, além da diminuição no número de grãos devido à redução no número de primórdios que se desenvolvem, pela ocorrência de estresse hídrico na iniciação da panícula (O'Toole & Chang 1979).

A redução no peso dos grãos, devida ao decréscimo da lâmina d'água, ocorre, provavelmente, por causa da redução da fotossíntese com o estresse hídrico (Singh & Sasahara 1981), que se traduz na menor produção de fotossintatos, e também por causa da redução na translocação de compostos orgânicos (Kramer 1974). As cultivares IRAT 13 e IET 1444 apresentaram, respectivamente, o maior e o menor peso de 100 grãos.

#### Altura e ciclo

As médias da altura de planta e da duração do ciclo, obtidas nos diferentes tratamentos do experimento, podem ser observadas na Tabela 5.

Não houve efeito significativo da adição de vermiculita sobre a altura da planta nem sobre a duração do ciclo. Foi verificada uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com relação à altura da planta. As cultivares IRAT 13 e IET 1444 apresentaram um comportamento semelhante, tendo suas alturas diminuído significativamente, à 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 à altura da planta, pois esta diminuiu significativamente com a redução da lâmina d'água a valores menores do que o correspondente à ETm. Apesar disto, ela apresentou maior al-

tura de planta do que as outras cultivares, em todos os tratamentos de lâminas d'água. A redução da altura das plantas de arroz, devido à ocorrência de déficit hídrico, é relatada também por Shiga (1975) e Yoshida (1975). Esta redução pode ser explicada pela diminuição de turgescência das células, a qual provoca uma redução da expansão celular, o que, por sua vez, reduz o alongamento do colmo e da folha. Além disto, o déficit hídrico reduz o abastecimento de substâncias reguladoras do crescimento que as raízes fornecem ao caule, o que, aliado à síntese reduzida desta substância durante o estresse hídrico, talvez, seja um fator importante na redução do crescimento observada em plantas submetidas a déficits hídricos (Kramer 1974).

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

A duração dos ciclos das cultivares IAC 47 e IRAT 13 não diferiu significativamente e foi maior do que a da cultivar IET 1444. Resultados de vários experimentos sugerem que cultivares tardias têm mais tempo para se recuperar dos efeitos do estresse hídrico do que cultivares precoces (International Rice Research Institute 1976).

#### Produção de grãos

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 al. (1982) relatam que efeitos favoráveis da utilização de vermiculita, na produção de culturas, somente foram verificados em

TABELA 5. 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 (% de ETm <sup>1</sup> )		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. <sup>2</sup>	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	

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

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.

condições ótimas de umidade do solo e com aplicação de dosagens elevadas.

A produção de todas as cultivares decresceu à medida que as lâminas d'água diminuíram (Fig. 4). A redução na produção do arroz devido à deficiência hídrica tem sido relatada por muitos pesquisadores (Del Giudice et al. 1974, International Rice Research Institute 1971, O'Toole & Chang 1979 e 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.

Observando a produção relativa das cultivares, 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. A cultivar IET 1444 foi desenvolvida para condições de irrigação por submersão. 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 à aplicada na

lâmina d'água correspondente à ETm, reduz a sua produção 50%. Para as cultivares IAC 47 e IRAT 13, a redução de 50% da produção ocorre com 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 al. (1979) observaram uma correlação significativa entre a DAF, medida da emergência até a floração, e a produção de grãos, para três cultivares de arroz. Na Fig. 5, pode ser observada a correlação entre DAF e produção de grãos das três cultivares estudadas no 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 de a produção diminuir com o aumento da DAF, nas menores lâminas (55 e 70% da ETm), e de aumentar, 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 au-

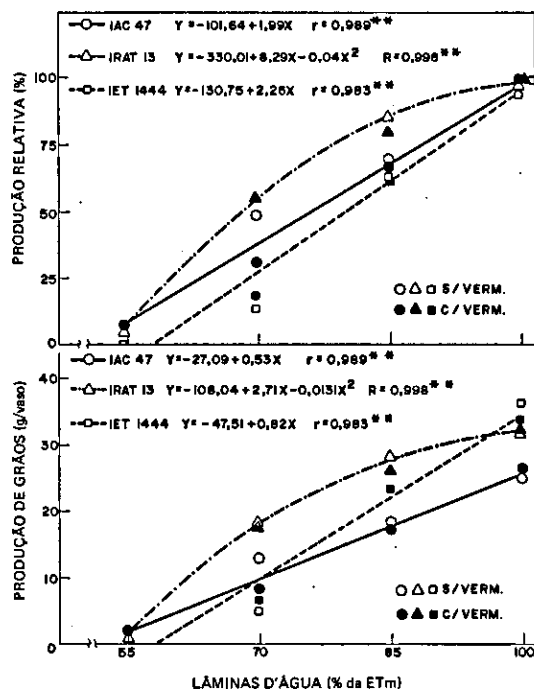


FIG. 4. Produção de grãos e produção relativa de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes à percentagem da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

mento na área foliar causa aumento no uso da água (Brunini et al. 1981 e Stone et al. 1979). Em condições de suprimento limitado de água, isto resulta em queda na produção. Observa-se, assim, que a cultivar IET 1444, que desenvolveu 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, à medida que a área foliar cresce, aumenta o número e a superfície de folhas fotossinteticamente ativas, resultando em aumento na produção, até chegar a um ponto crítico, em que começa a haver sombreamento mútuo e decréscimo da produção. Isto ocorreu na lâmina d'água correspondente à ETm, em que 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 tendên-

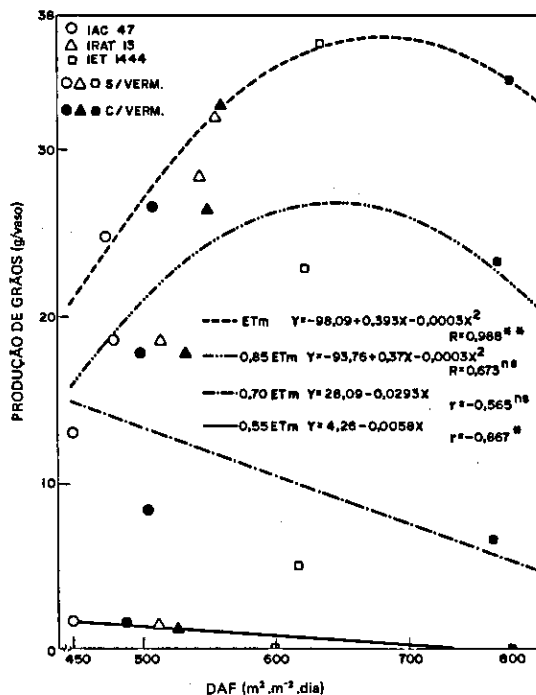


FIG. 5. Produção de grãos de três cultivares de arroz, em função da duração da sua área foliar (DAF), medida da emergência até a floração.

cia de a produção apresentar, em relação à DAF, um comportamento semelhante ao observado na lâmina correspondente à ETm, apenas com a queda na produção iniciando a um menor valor de DAF. Como neste tratamento as condições da umidade do solo não foram ótimas, como no tratamento de lâmina d'água correspondente à ETm, possivelmente, a partir deste valor considerado, a DAF tornou-se excessiva para as condições de umidade do solo.

#### Rendimento de matéria seca

Na Tabela 6, podem ser vistas as médias dos rendimentos de matéria seca obtidas nos diversos tratamentos do experimento.

A adição de vermiculita não afetou significativamente o rendimento de matéria seca das raízes. Entretanto, ele foi afetado pelos tratamentos de lâmina d'água, apresentando maiores valores com as menores lâminas.



TABELA 6. Rendimentos médios de matéria seca de três cultivares de arroz irrigado com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ET <sup>1</sup> )	Matéria seca (g/vaso)														
	Raízes						Parte aérea <sup>2</sup>						Total <sup>3</sup>		
	IAC 47	IRAT 13	IRAT 47	IET 1444	Média		IAC 47	IRAT 13	IRAT 47	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	s/verm. <sup>4</sup>	19,64	20,25	14,44	9,35	43,56	39,69	44,72	40,34	52,05	64,69	61,24	61,97	63,90	63,14d
	c/verm.	19,39	20,47	17,24	10,07	44,72	40,34	44,14cB	40,01C	52,91aA	65,62	61,97	61,60d	62,66c	
	Média	19,51aA	20,36aA	15,98bA	9,71abB	44,14cB	40,01C	44,14cB	40,01C	52,91aA	65,62	61,60d	62,66c	62,66c	63,14d
70	s/verm.	14,73	14,44	14,73	10,52	45,87	40,28	45,87	40,28	55,56	72,07	71,10	71,10	70,43	
	c/verm.	17,24	15,32	15,98bA	9,76	52,62	42,06	52,62	42,06	55,80	77,27	73,22	73,22	71,40	
	Média	15,98bA	14,88bA	15,98bA	10,14aB	49,25bB	41,16C	49,25bB	41,16C	55,68aA	74,67c	72,16c	72,16c	70,92b	72,58c
85	s/verm.	15,16	14,00	14,98	7,63	52,06	41,34	52,06	41,34	45,59	83,72	80,46	80,46	73,52	
	c/verm.	14,98	14,37	15,07bA	7,45	52,48	43,54	52,48	43,54	49,22	83,17	81,24	81,24	77,42	
	Média	15,07bA	14,18bA	15,07bA	7,54bcB	52,27abA	42,44C	52,27abA	42,44C	47,40bB	83,44bA	80,85 bA	80,85 bA	75,47aB	79,92b
100	s/verm.	15,06	14,06	14,55	7,78	51,66	43,74	51,66	43,74	39,72	88,68	86,15	86,15	79,66	
	c/verm.	14,55	13,93	14,80bA	6,04	57,05	43,51	57,05	43,51	39,37	95,19	86,41	86,41	75,65	
	Média	14,80bA	14,00bA	14,80bA	6,91cB	54,35aA	43,62B	54,35aA	43,62B	39,54cC	91,93aA	86,28aB	86,28aB	77,65aC	85,29a
Média	s/verm.	16,15	15,69	16,54	8,82	48,29	41,26	48,29	41,26	48,23	77,29	74,74	74,74	71,26	72,76b
	c/verm.	16,54	16,02	16,34A	8,33	51,72	42,36	51,72	42,36	49,54	80,31	75,71	75,71	72,09	76,04a
	Média	16,34A	15,86A	16,34A	8,57B	50,00A	41,81B	50,00A	41,81B	48,89A	78,80A	75,22B	75,22B	71,68C	

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> parte aérea = colmos + folhas + ráquis + grãos vazios;

<sup>3</sup> total = parte aérea + raiz + grãos cheios;

<sup>4</sup> c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

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.

O aumento do rendimento de matéria seca das raízes com a ocorrência de estresse hídrico foi observado também por Banba & Ohkubo (1981), Chang et al. (1972) e Hsiao & Acevedo (1974). Segundo Turner (1979), um aumento no peso da matéria seca das raízes pode indicar maior densidade de raízes ou maior profundidade; ambas são importantes adaptações morfológicas a déficits hídricos, pelo fato de serem capazes de extrair maior quantidade de água do solo. Uma possível explicação do aumento da matéria seca das raízes, devido ao estresse hídrico, é a oferecida por Hsiao & Acevedo (1974). Segundo estes autores, a assimilação de  $CO_2$  não é tão reduzida pelo estresse hídrico como o crescimento do colmo. O aumento em assimilados, como resultado do crescimento reduzido do colmo, permite ajustamento osmótico e 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. Jones et al. (1979) também verificaram 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 as 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 & 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 de 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.

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 diferente 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. Enyi (1968) e Shiga (1975) também verificaram redução no rendimento de matéria seca do arroz com a ocorrência de estresse hídrico. Esta redução foi devida, principalmente, à 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 contribuiu para a redução do rendimento de matéria seca da parte aérea. A cultivar IET 1444, ao contrário da 'IAC 47', apresentou maior rendimento de matéria seca da parte aérea nas duas menores lâminas d'água. Isto se deve 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 & 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; nas duas menores lâminas d'água, o maior rendimento foi o da cultivar IET 1444, devido ao perfilhamento tardio.

A adição de vermiculita também aumentou significativamente o rendimento total de matéria seca. O incremento no peso da palha foi o responsável por este aumento, pois a vermiculita não teve efeito significativo na produção de grãos nem no peso das raízes. Todas as cultivares tiveram seu rendimento reduzido quando se diminuíram as lâminas d'água. A cultivar IET 1444 apresentou menor rendimento total de matéria seca do que as outras cultivares devido ao menor peso de suas raízes.

#### Índice de colheita e relação raiz/colmo

Na Tabela 7, podem ser observadas as médias do índice de colheita e da relação raiz/colmo, obtidas nos diversos tratamentos do experimento. Não houve efeito significativo da adição de vermiculita sobre estas duas relações.

TABELA 7. 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 (% de ETm <sup>1</sup> )		Índice de colheita (g/g)				Relação raiz/colmo (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. <sup>2</sup>	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	

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> c/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

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.

Em todas as cultivares, o índice de colheita diminuiu à medida que diminuíram as lâminas d'água. Chang & Vergara (1975), Enyi (1968) e Yoshida (1975) também observaram que o déficit hídrico reduziu o índice 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 & 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.

Houve uma interação significativa entre cultivares e lâminas d'água, com respeito à 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 observado também por Banba & Ohkubo (1981). De acordo com Turner (1979), isto geralmente acontece devido ao 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 a ambos os fatores: decréscimo no peso da matéria seca dos colmos e aumento nos das raízes. No caso da cultivar IET 1444, o perfilamento tar-

dio que ocorreu nos tratamentos com as duas menores lâminas d'água, aumentou o peso da matéria seca dos colmos, contrabalançando o aumento verificado no peso da matéria seca das raízes nestes mesmos tratamentos. Desta maneira, explica-se por que 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.

#### Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água diminuiu, em todas as cultivares, à medida que diminuíram as lâminas d'água (Fig. 6). Isto significa que o decréscimo na quantidade de água aplicada foi proporcionalmente menor do que o decréscimo na produção de grãos. Apesar de a cultivar IRAT 13 ter apresentado menor eficiência do uso da água do que a

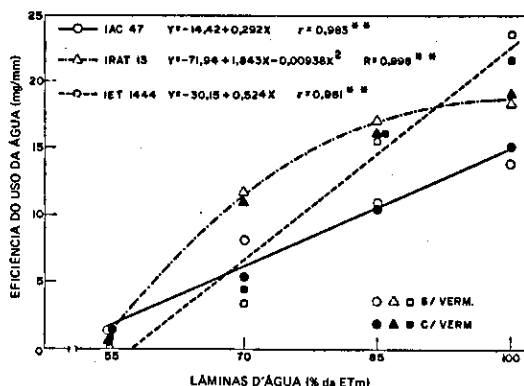


FIG. 6. Eficiência do uso da água de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

'IET 1444', quando não ocorreu estresse hídrico, ela manteve maior eficiência do uso da água do que as outras cultivares, ao diminuírem as lâminas d'água, mostrando maior adaptação ao estresse hídrico.

#### CONCLUSÕES

1. A adição de vermiculita 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.

2. Aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea, mas não afetou a produtividade do arroz nem a eficiência do uso da água.

3. 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 estudadas, indicando maior adaptação ao estresse hídrico.

4. 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 percentagem de grãos vazios, a duração do ciclo e o rendimento de matéria seca das raízes.

5. Aumentou a relação raiz/colmo das cultivares de sequeiro, mas não afetou a da cultivar de arroz irrigado.

#### REFERÊNCIAS

- BANBA, H. & OHKUBO, T. 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. *Jap. J. Crop. Sci., Tokyo*, 50(1):1-7, 1981.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F. & SANTOS, J.M. dos. Balanço hídrico em condições de campo para duas cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *R. Bras. Ci. Solo, Campinas*, 5(1):1-6, 1981.
- CHANG, T.T. & DE DATTA, S.K. Agronomic traits needed in upland rice varieties. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, Philippines, 1975. p.93-116.
- CHANG, T.T.; LORESTO, G.C. & TAGUMPAY, O. Agronomic and growth characteristics of upland and lowland rice varieties. In: INTERNATIONAL RICE

- RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Rice breeding. Los Baños, Philippines, 1972. p.645-61.
- CHANG, T.T. & VERGARA, B.S. Varietal diversity and morpho-agronomic characteristics of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, Philippines, 1975. p.72-90.
- DE DATTA, S.K. & BEACHELL, H.M. Varietal response to some factors affecting production of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Rice breeding. Los Baños, Philippines, 1972. p.685-700.
- DEL GIUDICE, R.M.; BRANDÃO, S.S.; GALVÃO, J.D. & GOMES, F.R. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites d'água disponível. *Experientiae*, Viçosa, 18(5):103-23, 1974.
- DUNHAM, C.W. Nutrition of greenhouse crops in soils with added peat moss and vermiculite. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, St. Joseph, 90:462-6, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Goiânia, GO. Manual de métodos de pesquisa em arroz; 1.<sup>a</sup> aproximação. Goiânia, 1977. 106p.
- ENYI, B.A.C. 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, 1968.
- FAGERIA, N.K. Effect of P, Ca, and Mg concentrations in solution culture on growth and uptake of these ions by rice. *Agron. J.*, 68(5):726-32, 1976.
- HSIAO, T.C. & ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 14:59-84, 1974.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Annual Report for 1970. Los Baños, Philippines, 1971. p.123-56.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Annual report for 1975. Los Baños, Philippines, 1976. p.146.
- ISHIZUKA, Y. Physiology of the rice plant. *Adv. Agron.*, New York, 23:241-315, 1972.
- JONES, C.A.; TAN, N.V. & ZIMMERMANN, F.J.P. Root system development in upland rice on three Brazilian Latosols. In: LAL, R. & GREENLAND, D.J., eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley & Sons, 1979. p.385-93.
- KORABLEVA, L.I. Vermiculite as a source of magnesium for plants. *Agrokhimiya*, Moscow, (7):88-102, 1965.
- KRAMER, P.J. Tensión hídrica y crecimiento de las plantas. In: \_\_\_\_\_ *Relaciones hídricas de suelos y plantas: una síntesis moderna*. México, EDUTEX - Centro Regional de Ayuda Técnica, 1974. Cap. 10, p.393-443.
- KURUP, K.R. & RAMANKUTTY, N.N. 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, 7:80-3, 1969.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. New York, Academic Press, 1972. 697p.
- MAJUMBER, B. & PRAMANIK, M. Note on the effect of low rainfall on the flowering time in rice. *Indian J. Agric. Sci.*, New Delhi, 49(2):138-9, 1979.
- MITRA, S.P. & PRAKASH, D. Phosphate adsorption by vermiculite. *Proc. Natn. Acad. Sci. India*, Allahabad, 24A:117-22, 1955.
- O'TOOLE, J.C. & CHANG, T.T. Drought resistance in cereals-rice: a case study. In: MUSSELL, H. & STAPLES, R.C., eds. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley & Sons, 1979. p.373-405.
- SALATI, E.; REICHARDT, K. & URQUIAGA, S. Efeitos da adição de vermiculita na retenção e armazenamento de água por latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 4(3):125-31, 1980.
- SANTOS, A.B. dos; STEINMETZ, S.; SILVEIRA, P.M. da; BARBOSA FILHO, M.P. & FAGERIA, N.K. Comentários sobre resultados obtidos em estudos com vermiculita na agricultura. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1982. 19p. Mimeografado.
- SENEWIRATNE, S.T. & MIKKELSEN, D.S. Physiological factors limiting growth and yield for *Oryza sativa* under unflooded conditions. *Plant Soil*, The Hague, 14(2):127-46, 1961.
- SHIGA, H. Mineral microbial transformations in upland rice soil. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, Philippines, 1975. p.217-37.
- SINGH, M.K. & SASAHARA, T. Photosynthesis and transpiration in rice as influenced by soil moisture and air humidity. *Ann. Bot.*, London, 48(4):513-8, 1981.
- STONE, L.F.; OLIVEIRA, A.B. de & STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14(3):295-301, 1979.
- TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: MUSSEL, H. & STAPLES, R.C., eds. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley & Sons, 1979. p.343-72.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.*, New York, 4:101-45, 1952.
- YOSHIDA, S. Factors that limit the growth and yields of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, Philippines, 1975. p.46-71.