

P.R. Leopoldo*
 E. Matsui**
 E. Salati**
 A.P. Sousa*

RESUMO

Estudou-se a variação dos teores de isótopos estáveis, deutério e oxigênio-18, em água de planta, com a finalidade de se verificar a possibilidade de sua aplicação em estudos ligados ao sistema solo-planta-atmosfera.

Ficou evidenciado que, através de correlações entre os valores de δ_D e δ_{18} pode-se estabelecer, até o momento qualitativamente, as necessidades hidráulicas da planta em relação aos seus estágios de desenvolvimento. Pode-se observar, também através das correlações entre δ_D e δ_{18} , estabelecidas para as diversas horas do dia, as variações que ocorrem na taxa de evapotranspiração.

Torna-se oportuna a continuação de semelhantes trabalhos de modo a se atingir uma análise quantitativa do processo de perda de água, pelo método em questão.

SUMMARY

To verify the possibility of apply the variations of isotope, deuterium and oxygen-18 concentrations in soil-plant-atmosphere system this study was carried out.

It was shown that it is possible to use the correlations between δ_D and δ_{18} values to verify qualitatively the plant hydraulic necessities in relation to their development phases. It was possible to observe the variation that can occur at the evapotranspiration rates during the day too.

Further studies concerned with the quantitative analysis of water loss process would be interesting.

INTRODUÇÃO

O uso de isótopos estáveis, oxigênio-18 e deutério, desde algum tempo vem sendo empregado em pesquisas ligadas às diversas fases do ciclo hidrológico, como pode ser observado através dos trabalhos de GONFIANTINI *et alii* (1963) e (1965), WERSHAE *et alii* (1966), ZIMMERMANN *et al* (1966), MATSUI *et al* (1972), SALATI *et alii* (1971), LEOPOLDO (1974) entre outros.

Desse modo, neste trabalho pretende-se obter uma série de esclarecimentos de ordem básica, com relação aos comportamentos do oxigênio-18 e deutério na água da planta, por ocasião do processo de evapotranspiração, uma vez que ficou demonstrado por LEOPOLDO *et alii* (1973) que fenômenos ligados à dinâmica da água da planta podem ser pesquisados e esclarecidos através desse método, com sucesso.

(*) Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP - Botucatu - SP

(**) CENA - ESALQ - Piracicaba - SP

Com esse propósito, procura-se não só conhecer mais a fundo o mecanismo das variações desses isótopos estáveis, como também verificar a possibilidade de futuramente, se determinar as necessidades hídricas de uma planta, durante o seu ciclo vegetativo pela metodologia em questão.

Evidentemente, informações dessa natureza são de real importância, não só no aspecto básico em se conhecer os seus mecanismos, como também no aspecto prático, quando se envolve o suprimento de água às plantas através da irrigação, onde o conhecimento da relação água-planta-atmosfera é de grande interesse.

MATERIAL E MÉTODO

Planta Teste

Dado ao curto ciclo vegetativo, utilizou-se, como planta-teste, o rabanete (*Raphanus sativus* L.), cultivada em caixotes de madeira, contendo areia grossa, previamente seca em estufa. Essas plantas foram, durante o ensaio, mantidas sob uma estrutura de cobertura plástica, com a finalidade de se evitar possíveis intervenções de água de chuva.

A irrigação das mesmas se deu através de solução nutritiva, preparadas com água de conteúdo variável em oxigênio-18 e deutério.

O experimento compreendeu dois testes, realizados em períodos distintos. O primeiro deles desenvolveu-se no período de março-abril, no qual estabeleceu determinadas correlações entre valores de δ_D e δ_{18} , conforme poderá ser observado no capítulo de Resultados.

Já no segundo teste, ocorrido entre agosto e setembro, observou-se apenas a variação, o conteúdo de deutério durante o ciclo vegetativo, nos diferentes órgãos da planta e solo.

O início de coleta de amostras para posterior extração da água a ser analisada, se deu cerca de 10 dias após a semeadura, em razão de as plantas, nesta ocasião, já se apresentarem com um desenvolvimento suficiente, de modo a permitir a extração da água necessária à análise.

A coleta se dava ao acaso, obtendo-se plantas de diferentes partes dos 4 caixotes utilizados e as plantas coletadas eram levadas para o laboratório, onde se dava a imediata separação das suas diversas partes, seguindo-se de seus respectivos acondicionamentos em tubos de vidro, perfeitamente vedados com rolhas de borracha, até o início do processo de extração de água.

Sistemas de Extração da Água da Planta e Solo

Na extração da água do caule e folhas do vegetal, bem como da água do solo, empregou-se semelhante sistema e metodologia descritos por LEOPOLDO et alii (1973), variando-se tão somente a fonte de aquecimento. No presente caso, como fonte de aquecimento, empregou-se um reservatório de cerca de 15 litros de capacidade, executado em folha de flandres e revestido externamente com chapas de amianto. Durante o processo de operação, o mesmo era mantido cheio de água à temperatura de 95 - 100°C, temperatura esta conseguida pelo aquecimento através de uma resistência elétrica e controlada por um termostato.

A Figura I mostra, em esquema, o conjunto abordado, cuja capacidade permitia a extração de água de 8 amostras simultaneamente.

As águas extraídas eram acondicionadas em frascos de vidro de 10ml, bem vedados, e posteriormente analisadas para os teores de deutério e oxigênio-18, conforme o caso.

Sistema de Decomposição da Água e Análise da Relação Deutério/Hidrogênio

A decomposição da água extraída e sua conversão a hidrogênio gasoso, para posterior análise da relação D/H, se deu conforme a metodologia empregada por

MATSUI *et alii* (1971).

Na análise da variação natural de deutério existente na amostra de hidrogênio gasoso, empregou-se o espectrômetro de massa da Variant-Mat, modelo GD-150

Sistemas de Preparo e Análise do Oxigênio-18 da Água Extraída

Os equipamentos empregados no preparo das amostras de água para análise do oxigênio-18, constituíram-se de um sistema de admissão de CO₂ e de um sistema de extração de CO₂ conforme descrição dada por EPSTEIN e MAYEDA² (1953).

Na análise do conteúdo de oxigênio-18 nas amostras observadas, empregou-se um espectrômetro de massa da Variant-Mat, modelo Mat-230.

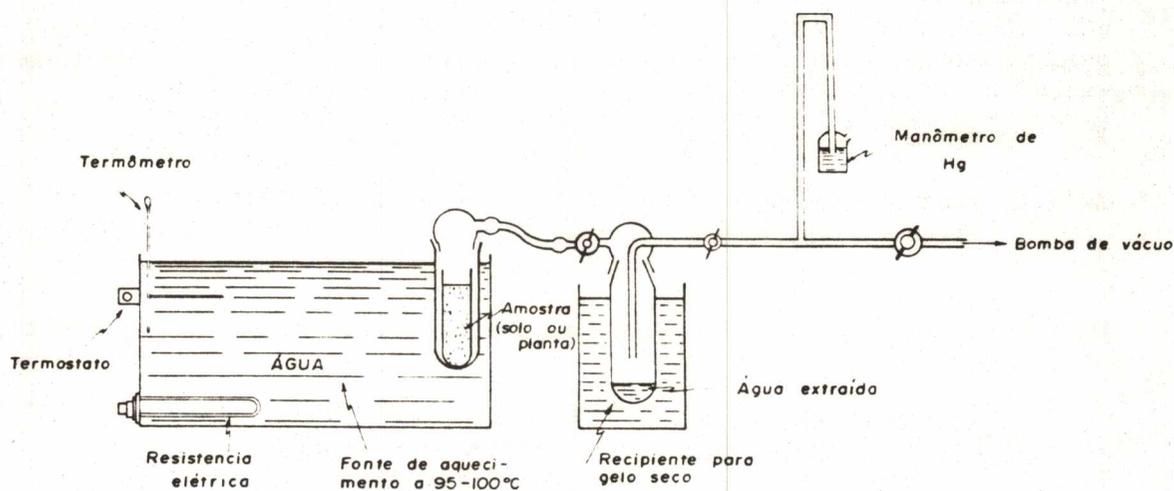


FIG. 1 - Esquema do sistema de extração da água do solo e planta.

RESULTADOS

Os resultados das análises do teor de deutério e oxigênio-18 são expressos na forma de desvio δ definido pela equação:

$$\delta \text{ ‰} = \left(\frac{a - a_{\text{SMOW}}}{a_{\text{SMOW}}} \right) \cdot 10^3$$

$\delta \text{ ‰}$ = Desvio do valor de D/H ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ da amostra de água, em relação ao padrão SMOW

a = Teor de deutério ou oxigênio-18 na amostra

a_{SMOW} = Teor de deutério ou oxigênio-18 na amostra padrão.

No caso do oxigênio-18, nem sempre foi possível proceder à sua análise, uma vez que a quantidade de água necessária à mesma é muito superior àquela de que se precisa para o deutério e, em muitas situações, a quantidade de material disponível para análise foi insuficiente.

Os dados apresentados nos Quadros 1, 2 e 3 se referem aos valores $\delta_D^0/100$ obtidos respectivamente para a água extraída do solo, raiz (órgão de reserva) e folha. Esses mesmos resultados são ainda apresentados graficamente, através da Figura 2, na qual se inclui também as variações de temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa do ar atmosférico e os valores de $\delta_{D/100}^0$ da água aplicada na forma de irrigação, em função do período de ensaio.

No Quadro 4 apresentam-se as correlações entre os valores δ_D e δ_{18} para a água da folha, raiz e água de irrigação, obtidos durante o ciclo da cultura.

Da mesma forma, tem-se, nos Quadros 5 e 6, as correlações entre esses valores, respectivamente, para dois diferentes períodos do ciclo vegetativo do rabanete e em função de diferentes horas do dia.

Segundo os dados apresentados no Quadro IV, tem-se as seguintes equações de regressão:

$$\text{Água da Folha: } \delta_D = -15,68 + 4,31\delta_{18} \quad (\text{a})$$

$$\text{Água da Raiz (órgão de reserva) } \delta_D = -14,75 + 5,04\delta_{18} \quad (\text{b})$$

$$\text{Água de Irrigação: } \delta_D = -11,77 + 5,54\delta_{18} \quad (\text{c})$$

Os coeficientes de correlação para as equações a, b e c são, respectivamente, 0,868; 0,945 e 0,997.

Para os dados do Quadro 5, as equações de regressão, segundo os dois diferentes períodos do ciclo vegetativo da cultura, são as seguintes:

$$\text{Período de 29.03 a 05.04: } \delta_D = 4,31 + 1,32\delta_{18} \quad (\text{d})$$

$$\text{Período de 12.04 a 20.04: } \delta_D = -18,67 + 4,99\delta_{18} \quad (\text{e})$$

Os coeficientes de correlação em tais casos, foram de 0,782 e 0,953, respectivamente, para d e e.

Em função das horas do dia, conforme dados do Quadro 6, tem-se as respectivas equações de regressão:

$$8 \text{ horas: } \delta_D = -17,95 + 5,22\delta_{18} \quad (\text{f})$$

$$12 \text{ horas: } \delta_D = -14,04 + 4,70\delta_{18} \quad (\text{g})$$

$$16 \text{ horas: } \delta_D = -6,31 + 1,99\delta_{18} \quad (\text{h})$$

$$20 \text{ horas: } \delta_D = -6,38 + 2,31\delta_{18} \quad (\text{i})$$

$$24 \text{ horas: } \delta_D = -13,81 + 4,78\delta_{18} \quad (\text{j})$$

Essas equações de f a j têm, como coeficientes de correlação, os valores de, respectivamente, 0,960; 0,760; 0,892; 0,902 e 0,998.

QUADRO 1 - Valores de $\delta_D^0/00$ da Água Extraída do Solo, em Função do Dia e Hora

Datas	Hora					Média Utilizada	
		1. ^a Repetição		2. ^a Repetição			
25.08	0	+	2,0	+	2,1	+	2,0
25.08	8	+	0,1	+	0,9	+	0,4
25.08	12	+	0,3	+	1,5	+	1,0
25.08	16	-	2,4	-	1,7	-	2,0
25.08	20	-	1,5	-	0,3	-	1,0
25.08	24	+	2,8	+	0,9	+	2,0
01.09	0	+	1,5	+	0,3	+	1,0
01.09	8	-	2,4	-	1,7	-	2,0
01.09	12	+	2,0	+	1,9	+	2,0
01.09	16	+	0,3	+	1,3	+	1,0
01.09	20	+	3,2	+	3,4	+	3,0
01.09	24	+	1,0	+	2,3	+	2,0
08.09	0	-	10,2	-	11,4	-	11,0
08.09	8	-	13,2	-	12,6	-	13,0
08.09	12	-	11,9	-	12,3	-	12,0
08.09	16	-	8,8	-	9,7	-	9,0
08.09	20	-	8,2	-	9,0	-	8,0
08.09	24	-	10,7	-	10,5	-	10,0
15.09	0	-	10,5	-	10,3	-	10,0
15.09	8	-	12,1	-	12,2	-	12,0
15.09	12	-	10,8	-	10,9	-	11,0
15.09	16	-	11,2	-	11,3	-	11,0
15.09	20	-	12,0	-	12,3	-	12,0
15.09	24	-	12,8	-	12,7	-	13,0
22.09	0	-	8,2	-	7,8	-	8,0
22.09	8	-	9,5	-	8,3	-	9,0
22.09	12	-	10,4	-	10,5	-	10,0
22.09	16	-	8,4	-	9,4	-	9,0
22.09	20	-	9,6	-	9,4	-	10,0
22.09	24	-	10,9	-	11,5	-	11,0

QUADRO 2 - Valores de $\delta_D^0/00$ da Água Extraída da Raiz (Órgão de Reserva) em Função do Dia e Hora

Datas	Hora	Repetição		Média Utilizada			
		1. ^a Repetição	2. ^a Repetição				
25.08	0	-	14,5	-	14,5	-	14,0
25.08	8	-	14,0	-	15,6	-	15,0
25.08	12	-	13,0	-	12,8	-	13,0
25.08	16	-	15,9	-	15,9	-	16,0
25.08	20	-	17,9	-	18,2	-	18,0
25.08	24	-	11,0	-	10,0	-	11,0
01.09	0	-	6,2	-	5,0	-	6,0
01.09	8	-	5,5	-	5,1	-	5,0
01.09	12	-	7,3	-	6,0	-	7,0
01.09	16	-	8,0	-	7,5	-	8,0
01.09	20	-	10,0	-	11,4	-	10,0
01.09	24	-	7,2	-	6,1	-	7,0
08.09	0	-	11,5	-	11,4	-	11,0
08.09	8	-	13,0	-	13,7	-	13,0
08.09	12	-	12,5	-	14,0	-	13,0
08.09	16	-	11,2	-	11,9	-	12,0
08.09	20	-	12,5	-	11,8	-	12,0
08.09	24	-	4,6	-	4,4	-	5,0
15.09	0	-	6,2	-	5,0	-	6,0
15.09	8	-	10,6	-	12,6	-	11,0
15.09	12	-	7,4	-	9,8	-	9,0
15.09	16	-	3,3	-	2,8	-	3,0
15.09	20	-	4,4	-	3,0	-	4,0
15.09	24	-	5,5	-	5,1	-	5,0
22.09	0	-	5,2	-	2,6	-	4,0
22.09	8	-	3,2	-	3,3	-	3,0
22.09	12	-	1,0	+	1,4	+	1,0
22.09	16	+	4,0	-	2,5	-	3,0
22.09	20	-	6,4	-	8,1	-	7,0
22.09	24	-	8,5	-	9,6	-	9,0

QUADRO 3 - Valores de $\delta_D^0/00$ da Água Extraída das Folhas em Função do Dia e da Hora

Datas	Hora			Média Utilizada			
		1. ^a Repetição	2. ^a Repetição				
25.08	0	+	20,8	+	21,4	+	21,0
25.08	8	+	27,1	+	27,3	+	27,0
25.08	12	+	31,9	+	31,9	+	32,0
25.08	16	+	32,1	+	31,6	+	32,0
25.08	20	+	23,7	+	21,8	+	23,0
25.08	24	+	23,2	+	24,3	+	23,0
01.09	0	+	18,5	+	21,5	+	20,0
01.09	8	+	20,4	+	19,8	+	20,0
01.09	12	+	26,0	+	27,2	+	27,0
01.09	16	+	37,9	+	39,9	+	38,0
01.09	20	+	33,5	+	34,1	+	34,0
01.09	24	+	29,3	+	31,4	+	30,0
08.09	0	-	1,7	-	1,2	-	1,0
08.09	8	-	3,2	-	2,6	-	3,0
08.09	12	+	3,8	+	4,8	+	4,0
08.09	16	+	16,8	+	18,2	+	18,0
08.09	20	+	14,7	+	14,5	+	15,0
08.09	24	+	11,3	+	8,9	+	10,0
15.09	0	+	3,1	+	2,7	+	3,0
15.09	8	+	9,6	+	8,7	+	9,0
15.09	12	+	16,2	+	16,2	+	16,0
15.09	16	+	16,2	+	18,0	+	17,0
15.09	20	+	3,9	+	4,1	+	4,0
15.09	24	+	3,1	+	3,3	+	3,0
22.09	0	+	1,8	+	2,6	+	2,0
22.09	8	+	6,3	+	5,8	+	6,0
22.09	12	+	14,9	+	15,4	+	15,0
22.09	16	+	18,2	+	19,8	+	19,0
22.09	20	+	10,2	+	11,4	+	11,0
22.09	24	+	7,6	+	7,6	+	8,0

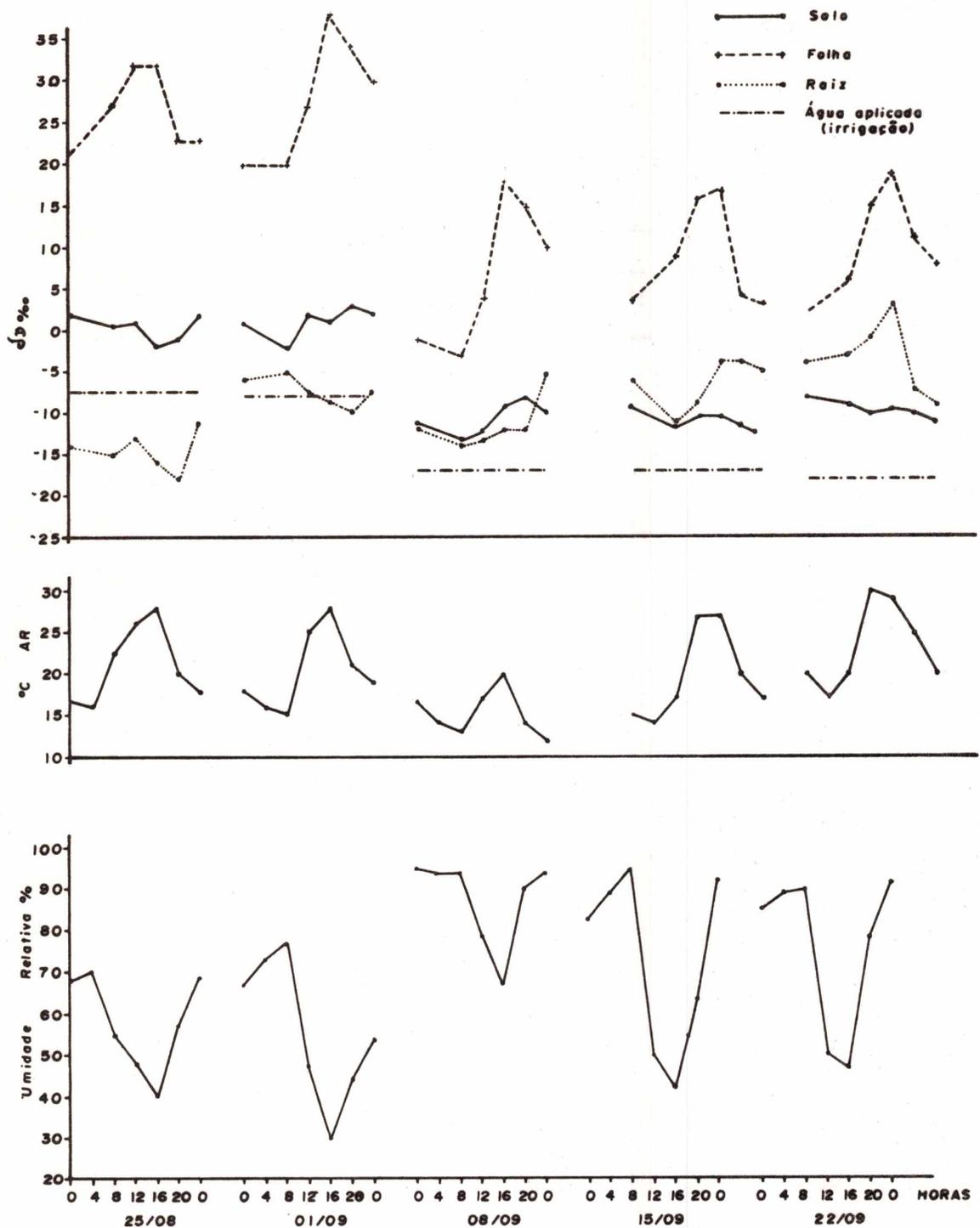


FIG. 2 - Valores de ψ % obtidos para a água extraída de solo, raiz e folha, durante o ciclo do rabanete e correspondentes variações das temperaturas do ar, umidade relativa e água aplicada.

QUADRO 4 - Correlação entre os Valores de $\delta_D^0/00$ e $\delta_{18}^0/00$ obtidos para a Água da Folha, Raiz e Água de Irrigação.

FOLHA	$\delta_D^0/00$	$\delta_{18}^0/00$
	+ 13,0	+ 5,1
	+ 18,0	+ 2,3
	+ 12,0	+ 7,7
	+ 11,0	+ 7,0
	+ 12,0	+ 5,7
	+ 18,0	- 7,8
	- 49,0	- 7,3
	- 3,0	+ 3,1
	+ 5,0	+ 6,2
	- 1,0	+ 3,5
	- 1,0	+ 2,5
	+ 10,0	+ 4,8
	+ 19,0	+ 10,8
	- 48,0	- 5,6
	- 39,0	- 3,4
	- 4,0	- 1,7
	0,0	+ 3,7
CAULE	- 9,0	+ 1,4
	- 46,0	- 5,4
	- 46,0	- 5,8
	- 31,0	- 4,1
	- 35,0	- 4,6
ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	- 33,0	- 3,2
	+ 34,0	+ 8,5
	- 44,0	- 5,7
	- 50,0	- 7,2
	- 51,0	- 7,3
	+ 28,0	+ 6,7
	- 54,0	- 7,6

QUADRO 5 - Correlação entre os Valores de $\delta_D^0/00$ e $\delta_{18}^0/00$ da Água Extraída das Folhas, obtidas para os períodos de 29.03 e de 12 a 20.04

PERÍODO	$\delta_D^0/00$	$\delta_{18}^0/00$
29 a 05.04	+ 13,0	+ 5,1
	+ 10,0	+ 4,8
	+ 19,0	+ 10,8
	+ 12,0	+ 7,7
	+ 11,0	+ 7,0
	+ 12,0	+ 5,7
	+ 18,0	+ 7,8

QUADRO 5 - Correlação entre os Valores de $\delta_D^0/00$ e $\delta_{18}^0/00$ da Água Extraída das Folhas, obtidas para os períodos de 29.03 e de 12 a 20.04 (Continuação)

PERÍODO	$\delta_D^0/00$	$\delta_{18}^0/00$
12 a 20.04	- 3,0	+ 3,1
	+ 5,0	+ 6,2
	- 1,0	+ 3,5
	- 1,0	+ 2,5
	- 48,0	- 5,6
	- 39,0	- 3,4
	- 4,0	+ 1,7
	0,0	+ 3,7

As retas de regressão, representativas das correlações apontadas, são mostradas, graficamente, nas Figuras 3, 4 e 5.

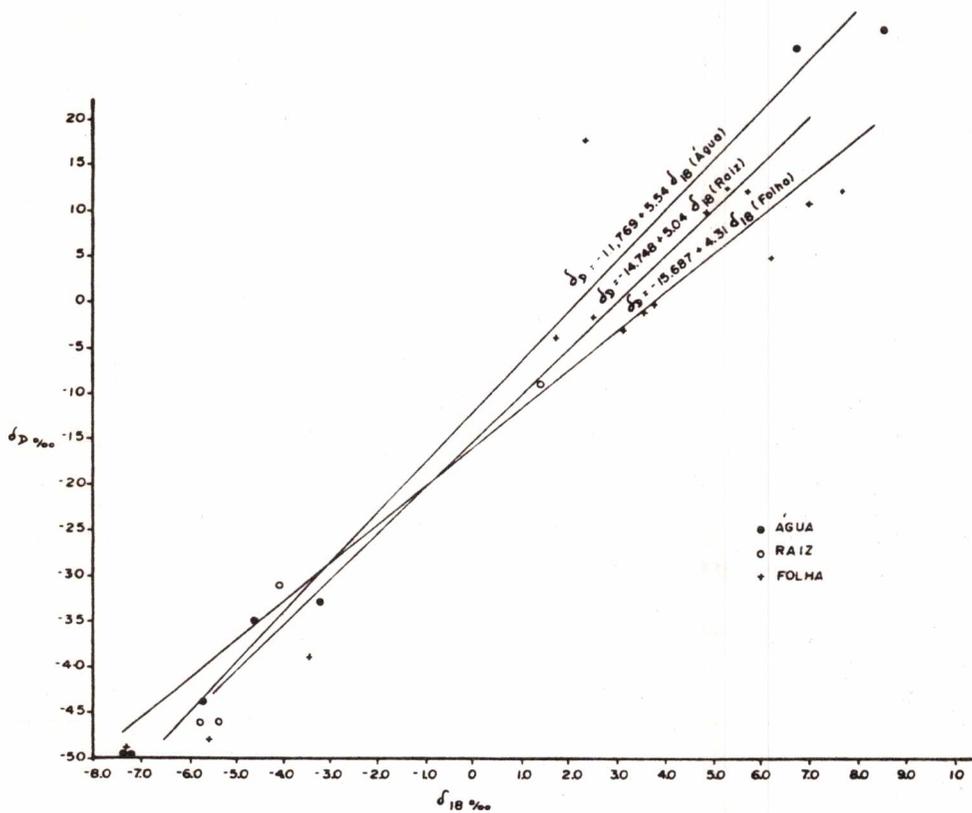


FIG.3 - Correlação entre os valores de δ_D e δ_{18} observados para a água de irrigação, raiz e folha.

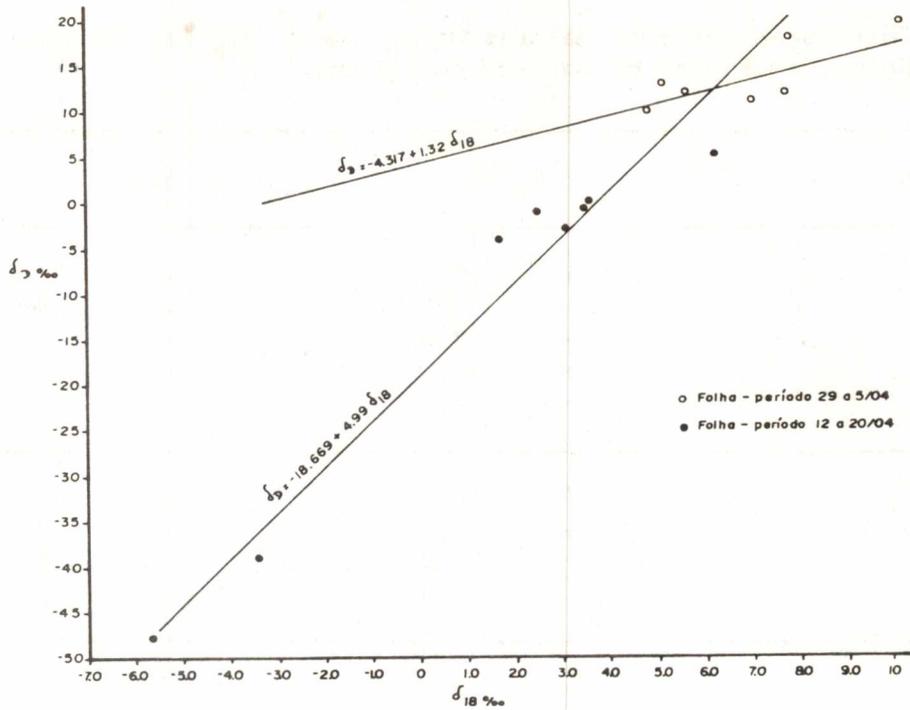


FIG. 4- Correlação entre os valores de δ_9 e δ_{18} observados para a água da folha em dois períodos diferentes.

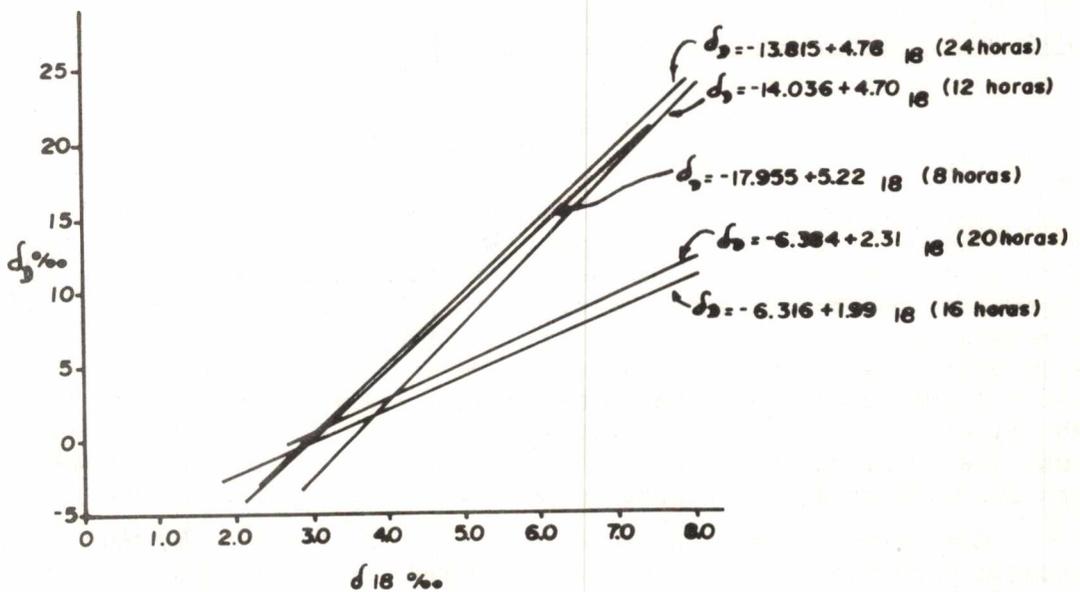


FIG. 5- Correlação entre os valores de δ_9 e δ_{18} para a água da folha, em função de diferentes horas do dia.

QUADRO 6 - Correlação entre os Valores de $\delta_D^0/00$ e $\delta_{18}^0/00$ da Água Extraída da Folha, em Função da Hora de Amostragem.

HORA	$\delta_D^0/00$	$\delta_{18}^0/00$
08	+ 13,0	+ 5,1
	+ 18,0	+ 7,8
	- 3,0	+ 3,1
	- 39,0	+ 3,4
	- 4,0	+ 1,7
12	+ 18,0	+ 2,3
	+ 12,0	+ 7,7
	- 48,0	- 5,6
	0,0	+ 3,7
16	+ 19,0	+ 110,8
	+ 18,0	+ 13,4
	+ 5,0	+ 6,2
	+ 4,0	+ 5,3
20	+ 11,0	+ 7,0
	- 1,0	+ 3,5
	- 3,0	+ 0,8
24	+ 12,0	+ 5,7
	- 49,0	- 7,3
	- 1,0	+ 2,5
	+ 10,0	+ 4,8

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a variação do conteúdo de deutério na água da folha, Quadro III e Figura 2, seguem, de modo semelhante, as variações ocorridas nas taxas de transpiração. Tem-se, portanto, que a água da folha é enriquecida em elementos pesados durante o período diurno, seguindo-se de um empobrecimento dos mesmos durante o período noturno. Observa-se, ainda, que o enriquecimento máximo ocorre, em linhas gerais, entre as 12 e 16 horas do dia. Tais resultados estão plenamente de acordo com aqueles observados por WERSHAW et alii (1966) GONFIANTINI et alii (1965) e LEOPOLDO et alii (1975). Através da Figura 2 tem-se, ainda, que, qualitativamente, esse enriquecimento é diretamente proporcional à temperatura do ar atmosférico e inversamente à umidade relativa.

Com relação à água do solo, o teor de deutério se mantém, praticamente, constante para cada período observado, demonstrando uma ausência de fracionamento isotópico, conforme observações feitas por LEOPOLDO et alii (1973).

Para as raízes, ou seja, o órgão de reserva da planta analisada, observa-se que, inicialmente, face às irrigações precedentes, o seu conteúdo em deutério se apresenta inferior ao próprio valor de $\delta_D^0/00$ da água do solo. No entanto, à medida que esse órgão se vai formando e se desenvolvendo, constituindo-se

em um órgão de reserva, os valores de $\delta_D^0/00$ apresentam uma tendência em se aproximarem dos valores de $\delta_D^0/00$ da água da folha. Evidentemente, a água existente nessa parte do vegetal, por ser um órgão de reserva, ela se apresenta como uma mistura das águas absorvidas nos diversos intervalos. Pela Figura 2 pode-se observar, nos períodos iniciais, a água do órgão de reserva, praticamente não sofre fracionamento isotópico. Ainda, pela mesma Figura, pode-se mostrar que nos períodos finais, próximo ao encerramento do ciclo, a água desse órgão já é possível de um certo fracionamento isotópico, e em um dos períodos (22.09) acompanha quase que exatamente as variações de $\delta_D^0/00$ observadas para a água da folha.

Este fato ocorre em razão do órgão de reserva, nesta fase do ciclo, já se apresenta com um volume razoável e muito próximo à superfície do solo e também susceptível ao processo de perda de água.

Algumas outras observações podem ser feitas através da análise das correlações obtidas entre os valores de δ_D e δ_{18} , efetuadas para alguns casos. Antes de se analisar tais resultados, cabe esclarecer que essas correlações estão apenas indicando certas tendências do que possa ocorrer através do sistema, uma vez que poucos foram os dados obtidos para δ_{18} impedindo, desse modo, afirmações mais categóricas.

Pelas correlações, tem-se que durante o processo de evapotranspiração se dá um enriquecimento diferencial entre os teores de ^{18}O e D , fato que se observa pelo coeficiente angular das retas, os quais se apresentam com menores valores para as águas submetidas a maiores taxas de evapotranspiração.

Através da Figura 3 observa-se que o coeficiente angular das retas que representam as correlações entre δ_D e δ_{18} variam, indicando, durante o processo de evapotranspiração, um enriquecimento diferencial gradativo no sentido água de irrigação, raiz (órgão de reserva) e folha. Essas equações demonstram que, aparentemente, ocorre um ligeiro fracionamento da água em sua movimentação através do sistema solo-planta-atmosfera.

A questão da ausência de fracionamento isotópico da água, quando de sua movimentação através de vasos capilares de planta, já foi observado por diversos autores, entre os quais GONFIANTINI et alii (1963) e ZIMMERMANN et alii (1966).

Embora tais dados, no presente caso, levem a crer que tenha ocorrido um certo fracionamento, contrariando, de certo modo, as afirmações dos citados autores, é mais possível que esses resultados tenham sido mascarados pelo acúmulo e diluição da água absorvida pelo órgão de reserva durante o ciclo da planta.

As correlações entre δ_D e δ_{18} , estabelecidas para dois diferentes períodos, conforme Figura 4, demonstram que no intervalo de 29.03 a 05.04 houve uma evapotranspiração muito mais intensa que no final do ciclo da cultura, ou seja, para o período de 12 a 20.04, fato que pode ser observado pelos coeficientes angulares de cada um dos períodos analisados.

Portanto, seria possível, estabelecendo-se várias correlações entre δ_D e δ_{18} para diferentes períodos de uma cultura qualquer, determinar-se a variação de seu consumo ou demanda em água pela planta. Tais estudos, embora analisados qualitativamente no momento, apresentam-se com real interesse ao campo da irrigação.

Na Figura 5, ainda que com um pequeno número de dados, tem-se as correlações de δ_D e δ_{18} estabelecidas para a água da folha em função das horas do dia.

Essas correlações, verificadas através da Figura 5, e pelos coeficientes angulares das respectivas equações, mostram que a taxa de evapotranspiração varia acentuadamente com as horas do dia, com um máximo entre 12 e 16 horas.

Segundo SLATYER (1967) e ROO (1969) tem-se que o gradiente de tensão que existe entre a água da folha e a raiz de uma planta, é grande durante o período diurno e que, por volta das 6 horas da manhã, praticamente inexistente essa diferença, encontrando-se a planta muito próximo de um equilíbrio dinâmico no sistema solo-planta-atmosfera.

As correlações apresentadas na Figura 5 evidenciam as afirmações feitas pelos citados autores, pois se observa que o coeficiente angular da correlação

estabelecida para a água de irrigação (5,54) é muito próximo daquele definido para a água da folha no horário das 8 (5,22) evidenciando um equilíbrio dinâmico no sistema.

A partir das 8 horas, os coeficientes angulares das equações estabelecidas começam a decrescer, passando para 4,70 às 12 horas, um mínimo de 1,99 às 16 horas, sendo que a seguir tais valores novamente se elevam, apresentando um valor de 4,78 às 24 horas.

Tais resultados demonstram que, no presente caso, a taxa de evapotranspiração máxima ocorreu entre 12 e 16 horas, e que entre 16 e 20 horas a água perdida pela planta, durante o período diurno, começa a ser reposta até que o equilíbrio dinâmico do sistema seja atingido.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam as reais possibilidades de aplicação do método das variações isotópicas naturais em estudos de problemas de demanda em água, com interesse para a irrigação, bem como outros estudos diretamente ligados à fisiologia vegetal.

Dados mais positivos poderiam ser obtidos, caso se utilizasse de uma planta com um ciclo vegetativo mais extenso, de tal modo a permitir um maior número de análise durante os diversos períodos do ciclo.

Torna-se oportuna a continuação de semelhantes trabalhos, que, acompanhados de outros dados que afetam o comportamento da água envolvida, poderiam permitir uma análise quantitativa do processo de perda de água, pelo método em questão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio concedido, sem o qual o presente trabalho não poderia ter sido desenvolvido.

LITERATURA CITADA

- EPSTEIN, S. e MAYEDA, T. Variations of the oxygen-18 content of water from natural sources. *Geochim. Cosmochim. Acta* 4 (5): 213-24. 1953.
- GONFIANTINI, R.; TOCLIATI, V. e TONGIORGI, E. Some Possible Applications of Isotopic analysis of water to Hydrology Problems. In: *Science et Technique pour les Regions en developpées*. Roma, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, 1963.
- GONFIANTINI, R.; TOCLIATI, V. e TONGIORGI, E. Some Possible Applications of Isotopic analysis of water to Hydrology Problems. In: *Science et Technique pour les Regions en developpées*. Roma, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, 1963.
- GONFIANTINI, R.; GRATZIU, S. e TONGIORGI, E. Oxygen Isotopic Composition of Water in Leaves. In: *Isotopes and Radiation in Soil Plant Nutrition Studies*. I.A.E.A., Viena, 1965.
- LEOPOLDO, P.R.; SALATI, E. e MATSUI, E. Método de extração da água do solo para análise da relação D/H. Piracicaba, CENA, *Boletim Científico* nº 9, 21 p. 1973.
- LEOPOLDO, P.R. Fracionamento isotópico da água do solo durante o processo de evaporação. *Ciência e Cultura*, 26 (7): 688-671. 1974.
- MATSUI, E.; SALATI, E. e BARROS FERRAZ, E.S. Medida da variação natural da relação D/H em amostras de água. Piracicaba, CENA, *Boletim Científico* nº 1, 31 p. 1974.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; BRINKMANN, W.L.F. e FRIEDMAN, I. Vazões relativas dos rios Negro e Solimões através das concentrações de ^{18}O . *Acta Amazônica*, 2(3): 31-46. 1972.

ROO, H.C.D. Water stress gradients in plants and soil roots systems. *Agron. J.* 61 (4): 511-514. 1969.

SALATI, E.; GUSMÃO, G.A.; MATSUI, E. e CERVellini, A. Estudo das concentrações de ^{18}O e D em águas do Nordeste brasileiro. Piracicaba, CENA, *Boletim Científico* nº 2, 30 p. 1971.

SLATYER, R.D. *Plant-Water Relationships*. Ed. Academic Press, London. 1967. 366 p.

WERSHAW, R. L.; FRIEDMAN, I.; HELLER, S.J. e FRANK, P.A. Hydrogen isotopic fractionation of water passing through trees. In: HOBSON, G.D. (Ed) *The International Conference of Advances in Organic Geochemistry*. Proceeding, 1966.

ZIMMERMANN, V.; EHHALT, D. e MUNNICH, K.O. *Soil Water Movement and Evapotranspiration*. In Symposium of Isotopes in Hydrology. I.A.E.A. Vienna. 1966.