

3
DEPARTAMENTO
DA UNIVERSIDADE DE BOTÂNICA
DE SÃO PAULO

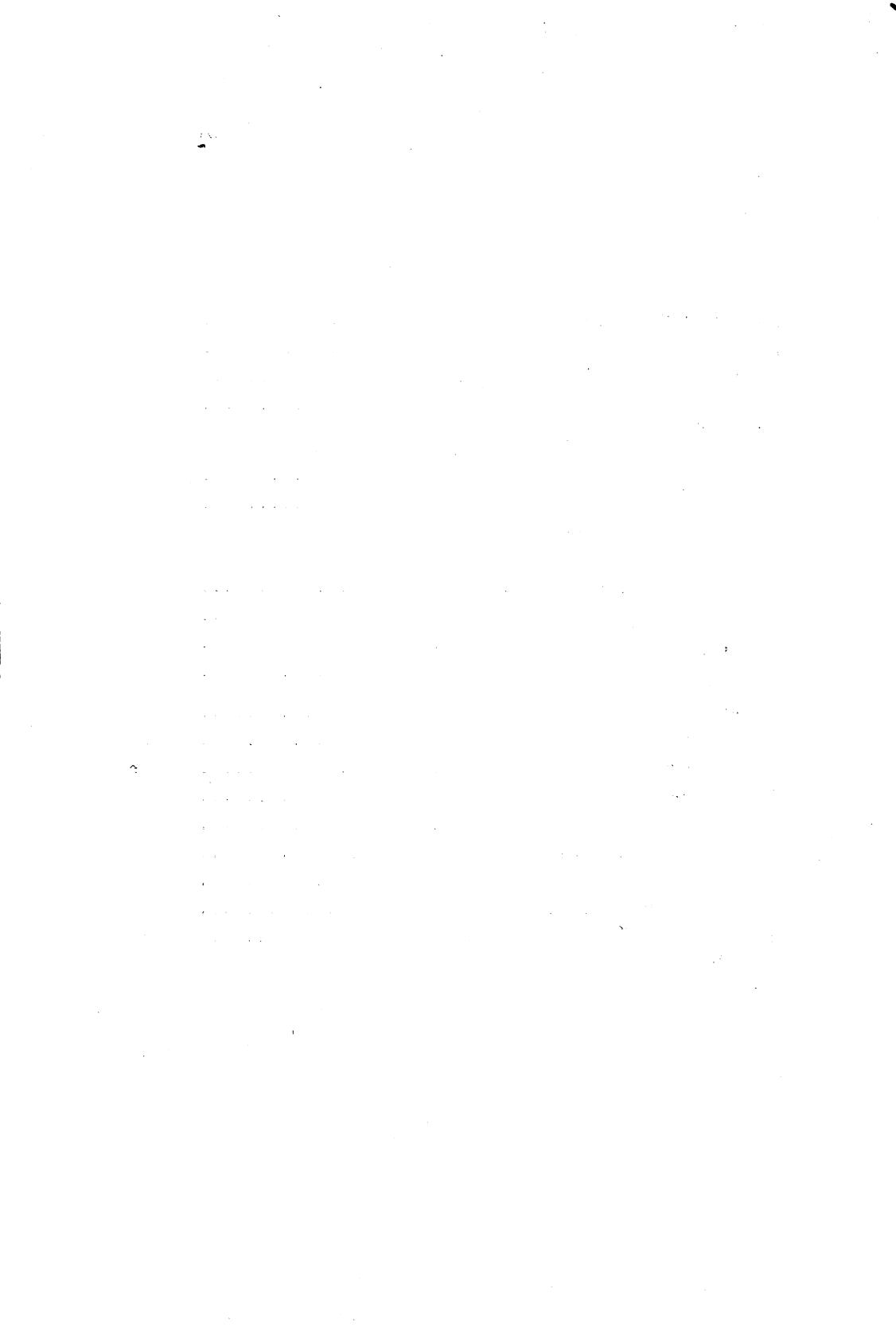
ECONOMIA D'ÁGUA DE CANA DE AÇÚCAR

(Tese de doutoramento apresentada em 1960)

MARICO MEGURO

Í N D I C E

Introdução	9
Metodologia	11
Dados anatômicos da fôlha	14
Movimentos estomáticos e transpiração	19
Velocidade do fechamento hidroativo dos estômatos ..	21
Movimento fotoativo dos estômatos	26
Transpiração cuticular	31
Andamento diário da transpiração	
Variedade Co 290	37
Variedade Co 419	49
Variedade CB 41-76	57
Variedade CB 40-69	63
Transpiração relativa	68
Andamento anual da transpiração	73
Consumo total anual	77
Discussão e conclusão	84
Agradecimentos	92
Resumo	93
Summary	94
Zusammenfassung	96
Bibliografia	98



(3)

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INTRODUÇÃO

Os primeiros resultados do estudo da economia d'água de cana de açúcar, iniciado sob a orientação do Prof. Mário Guimarães Ferri, foram publicados em 1956 (24). Tais resultados referem-se a apenas uma variedade de cana, a Co 290 (clone Coimbatore-Índia), e foram obtidos em uma só época do ano, o fim da estação chuvosa. O estudo presente abrange, não sómente esta estação, mas estende-se a outras, de condições meteorológicas diferentes. Incluímos ainda, novas variedades de cana que são a Co 419 (clone Coimbatore), a CB 41-76 e CB 40-69 (Campos — Brasil). As duas últimas são variedades brasileiras, produtos da Estação Experimental de Campos (Estado do Rio de Janeiro) e a sua cultura, no Estado de São Paulo, revelou-se muito promissora.

Como já tivemos a oportunidade de assinalar (24), a pesquisa, no Brasil, referente à economia d'água desse vegetal, cultivado em grande escala no Estado de São Paulo e em outros Estados do País, parece ter sido relegada a plano secundário. Até onde pudemos investigar, encontramos apenas um projeto de trabalho relacionado ao assunto, apresentado por Fernandes (8), do Estado de Pernambuco. Krutman (20), igualmente de Pernambuco, iniciou, recentemente, o estudo de transpiração de cana de açúcar e os seus primeiros resultados foram apresentados à X Reunião Anual da Sociedade Botânica do Brasil (1959 — Rio de Janeiro).

Estudos desta natureza, em outros países produtores de cana de açúcar, são numerosos, ao contrário do que ocorre no Brasil. Assim, Maxwell, em Hawaii — 1898, foi, segundo van Dillewijn (6), o primeiro a efetuar experimentos sobre a transpiração de cana de açúcar em diferentes estágios de desenvolvimento, verificando um aumento gradativo nos valores de perda d'água, até atingir o máximo aos seis meses de idade. Kamerling, Evans, Kuijper, entre outros, constataram entre as variedades estudadas, diferenças quanto à razão de transpiração. Kuijper, por exemplo, classificou

as variedades estudadas, em dois grupos de comportamento transpiratório diverso (cf. 4 e 6). Mallik (cf. 6, pp. 287-289) analisou, por sua vez, problemas ligados à maior ou menor capacidade de resistência à seca. Segundo suas observações, um bom indício para se verificar a "drought resistance" de uma determinada variedade de cana é a sua capacidade de restringir a transpiração nas épocas mais secas. Hartt (cf. 4, p. 300), estudando o problema do amadurecimento da cana em função do fornecimento d'água, chegou à conclusão de que esse fornecimento deve ser pleno para a formação de açúcar nas folhas e o seu transporte ao caule. Na época da maturação, tal fornecimento, ao contrário, deve declinar, uma vez que há uma correlação positiva entre a quantidade de água e açúcares reduzidos, e negativa em relação à sacarose. Estes e outros trabalhos aos quais nos referiremos oportunamente, atestam a importância desse ramo de pesquisa no estabelecimento racional de uma cultura canavieira, ou de uma cultura diversa.

Embora os nossos estudos só tenham sido realizados no Estado de São Paulo, onde o fator água, parece não constituir, pelo menos no momento, problema para a cultura de cana de açúcar, os resultados obtidos poderão importar para outras regiões canavieiras onde esse problema pode existir. A avaliação prévia dos valores de transpiração poderá contribuir para a seleção de variedades mais modestas em seu consumo d'água, assim como para verificar a conveniência ou não do emprêgo da irrigação. Poderá, igualmente, indicar a possibilidade de manter ou não, certas variedades hoje empregadas com sucesso, quando sua cultura se estender a áreas muito maiores. Nossas primeiras estimativas, baseadas na média da transpiração diária obtida no fim do verão de 1956 (24), revelaram que a cana Co 290 transpira anualmente, uma quantidade equivalente a uma precipitação de 1 336 mm. Este consumo é deveras elevado em confronto com a média da queda pluviométrica anual (1 400 mm) da região em que os nossos estudos foram efetuados (Cosmópolis, Estado de São Paulo). Assim, o consumo global de extensas áreas cultivadas poderá igualar, ou mesmo superar, em muitos casos, as disponibilidades de água do solo, o que minará de maneira talvez lenta, mas decisiva, o equilíbrio hídrico da região.

METODOLOGIA

Os estudos anatômicos da fôlha foram efetuados em material fresco, em cortes transversais ao limbo e tangenciais à sua epiderme. Para a observação mais detalhada das células epidérmicas, as preparações foram coradas com cloreto de zinco iodado (2, 3). Os desenhos foram feitos com o auxílio de uma câmara clara (Leitz-Wetzlar).

Para a obtenção dos *valores de transpiração*, foi utilizado o método das pesagens rápidas. Sendo impossível o emprêgo de fôlhas inteiras em virtude do seu tamanho, foram retirados da região mediana, segmentos de cerca de 15 cm de comprimento. Esses segmentos foram pesados com intervalos de um minuto na balança de torção (Jung, Heidelberg), protegida por uma caixa de vidro aberta na face anterior. A escolha do curto intervalo (um minuto) entre as pesagens foi feita, levando-se em conta a reação estomática relativamente rápida e o fato de serem os valores de transpiração bastante elevados, de modo a estabelecer uma diferença de peso facilmente mensurável nesse lapsó de tempo. A fim de evitar eventual perda de água, os bordos das fôlhas cortadas foram vaselinados.

No estudo do *movimento hidroativo* dos estômatos, segmentos foliares eram pesados na balança de minuto em minuto, até que os valores de perda d'gua fôssem praticamente constantes. Esses últimos forneceram os dados da *transpiração cuticular*, tendo sido expressos em porcentagem do valor inicial. Determinamos também, a transpiração cuticular em fôlhas com estômatos fechados por movimento fotoativo. Esse *movimento fotoativo* foi analisado, determinando-se a transpiração das fôlhas submetidas a crescentes períodos de escurecimento o qual se conseguia pela cobertura das fôlhas não destacadas da planta com pano prêto. Para a verificação do tempo de reabertura, fôlhas mantidas no escuro até o completo fechamento dos estômatos, eram retiradas e pesadas, após períodos crescentes de exposição à luz. Além disso, foram efetuadas observações das aberturas estomáticas em fôlhas não-cortadas, pelo *método de infiltração com xilog*.

As curvas do *andamento diário da transpiração* apresentam para cada um de seus pontos, resultados médios de pesagens de três

fôlhas, com cálculo do êrro padrão. Pareceu-nos mais adequado para as nossas experiências o uso de 3 fôlhas para cada ponto da curva de transpiração, visto que o intervalo entre 2 pontos consecutivos era de uma hora (com exceção de 2 determinações) e a pesagem de 3 fôlhas requeria 12 a 15 minutos. O uso de maior número de fôlhas implicaria no aumento do intervalo de tempo gasto nas operações, o que causaria, como conseqüência das possíveis modificações das condições do meio entre as primeiras e as últimas pesagens, maior variação nos resultados.

Juntamente com as curvas de transpiração diária, foram traçadas as de temperatura, umidade relativa (obtida com um higrômetro de cabelo), e evaporação. *O evaporímetro de Piche*, com um disco de papel mata-borrão verde de 5 cm de diâmetro forneceu os dados de evaporação. As experiências de pesagem diária foram sempre acompanhadas pelas observações feitas com o método de infiltração com xilog, aplicado em fôlhas intactas.

Os valores de *transpiração relativa* ($T/E \times 100$) foram estabelecidos através de operações comparativas entre as áreas ocupadas no gráfico pelas curvas diárias de transpiração (T) e evaporação (E). Embora êste método não seja plenamente satisfatório em face do número limitado de pontos que compõe as curvas diárias (7 a 12 pontos), fornece valores de transpiração relativa bem mais seguros do que os obtidos numa só experiência em qualquer hora ou em experiências esparsas. Devemos lembrar, também, que para a determinação dos valores de evaporação, utilizamos o exaporímetro de Piche, pois, em virtude do excessivo peso (além do limite da capacidade da balança de torção disponível) do molde do segmento foliar embebido em água, não foi possível o uso do "Blatt-evaporimeter", preferido em experiências desta natureza (11, 25, 28). Maior redução da superfície foliar, já limitada, não seria conveniente e nesse caso, também o molde não deve sofrer redução, pois que perderia a sua finalidade.

As curvas do *andamento anual da transpiração* tiveram como base as médias da transpiração diária encontradas nas diferentes épocas do ano, acompanhadas dos respectivos dados de evaporação.

Na totalidade das experiências acima referidas, os valores de transpiração e os de evaporação foram recalculados e expressos em mg/min/100 cm².

O método de avaliação do *consumo anual d'água*, já descrito no trabalho anterior (24), será novamente exposto quando estiver em foco a questão.

Resta-nos observar que a realização dos experimentos, paralelamente, em condições de laboratório e de campo, foi limitada à variedade Co 290, uma vez que os resultados obtidos não diferiam entre si, qualitativamente. Nas demais variedades Co 419, CB 41-76 e CB 40-69, apenas os estudos que requeriam maior controle e precisão (movimentos hidroativo e fotoativo) foram efetuados no laboratório do Departamento de Botânica e repetidos no campo. Os demais estudos foram feitos sómente no campo. Em todas as experiências utilizamos "cana planta" * de idades variáveis, entre 9 e 18 meses. Os trabalhos de campo foram realizados em canaviais da Usina Ester, Cosmópolis, Estado de São Paulo.

Maiores detalhes sobre a metodologia empregada, razões de sua preferência, assim como observações críticas, serão, por certo, dispensáveis no presente trabalho, pois, a extensa bibliografia existente a respeito, poderá nos fornecer quaisquer esclarecimentos necessários (11, 18, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 33, 36, 39). Citamos especialmente, uma publicação recente de Eckardt (7), onde o autor compara criticamente os métodos disponíveis para o estudo da transpiração e da qual transcrevemos o seguinte trecho: — "S'il est vrai que l'emploi de la méthode gravimétrique comporte, du fait des changements rapides de l'intensité de la transpiration survenant au moment de la section, certains risques d'erreurs difficiles à estimer, il est également vrai que cette méthode reste probablement la plus précise qui existe actuellement".

* "Cana planta" é expressão geralmente usada para indicar a cana proveniente dos "toletes", isto é, a que nunca foi cortada.

DADOS ANATÔMICOS DA FÔLHA

Como foi constatado para a variedade Co 290 (24), também as fôlhas da Co 419, CB 41-76 e CB 40-69 não apresentaram estruturas anatômicas fundamentalmente diversas das já descritas por outros autores, principalmente Artschwager (2, 3). Deste modo, foi apenas examinado o número de estômatos por unidade de superfície. O resultado das contagens (cada valor corresponde à média de 100 contagens) exposto na tabela 1, mostra que a variedade Co 290 possui maior número médio de estômatos por mm^2 , seguida de CB 41-76, Co 419 e finalmente CB 40-69. As contagens confirmaram ainda, que a epiderme inferior apresenta, em todas as variedades, aproximadamente o ôbro do número de estômatos encontrados na face superior. Verificamos, igualmente, que, de modo geral, a parte média das fôlhas possui um número ligeiramente superior à ponta ou à base (6, 24).

A figura n.º 1 apresenta aspectos da distribuição dos estômatos nas epidermes superior e inferior das variedades estudadas.

TABELA 1
Número de estômatos por milímetro quadrado

Variedades	Co 290		Co 419		CB 41-76		CB 46-69	
	Epiderme superior	Epiderme inferior						
Região da fôlha								
Ponta	85,2 ± 7,2	163,0 ± 5,6	70,4 ± 0,6	167,2 ± 1,1	88,0 ± 1,1	156,6 ± 1,1	75,0 ± 2,1	189,6 ± 3,7
Meio	103,0 ± 2,6	208,3 ± 2,7	88,5 ± 1,0	198,6 ± 0,8	94,6 ± 0,8	177,5 ± 1,1	99,0 ± 1,5	195,0 ± 1,0
Base	86,3 ± 7,2	154,7 ± 2,4	69,4 ± 0,9	178,6 ± 1,1	85,5 ± 1,1	179,0 ± 2,2	55,1 ± 1,8	127,6 ± 1,1
Média	91,5	175,3	76,1	181,4	89,3	171,0	76,3	170,7
Total	266,8		257,5		260,3		247,0	

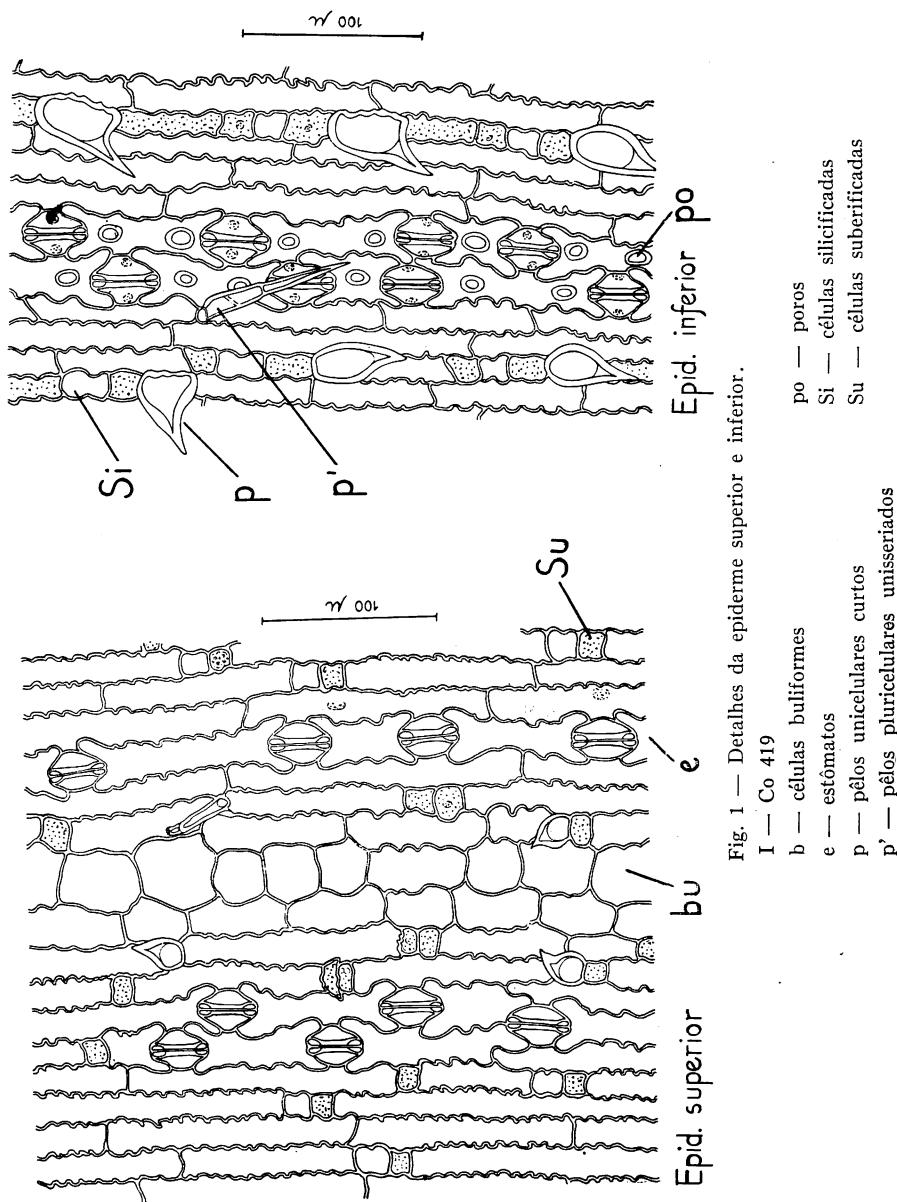


Fig. 1 — Detalhes da epiderme superior e inferior.

- | | |
|--|----------------------------|
| I — Co 419 | po — poros |
| b — células bulbíformes | Si — células silicificadas |
| e — estômatos | Su — células suberificadas |
| p — pêlos unicelulares curtos | |
| p' — pêlos pluricelulares unisseriados | |

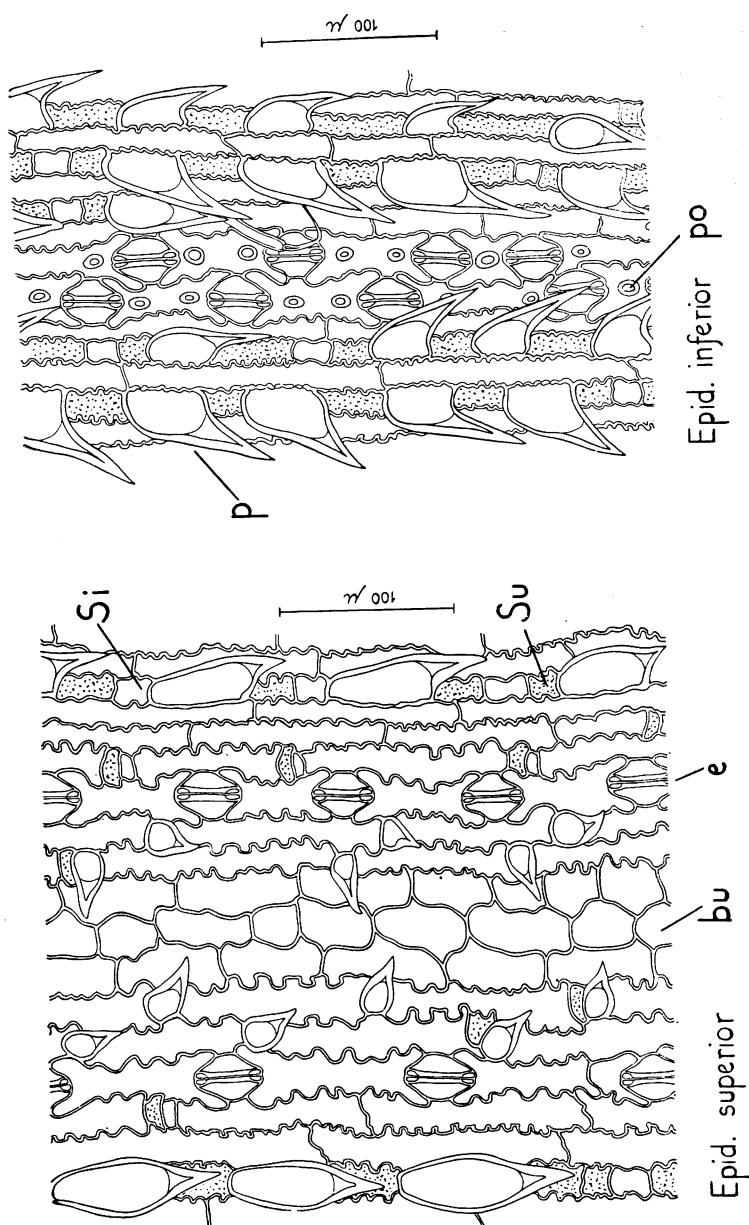


Fig. 1 — II — CB 41-76

b — células bulíformes
po — poros
Si — células silicificadas
Su — células suberificadas

e — estomatos
bu — células unicelulares curtos
p — pêlos pluricelulares unisseriados
p' — pêlos pluricelulares unisseriados

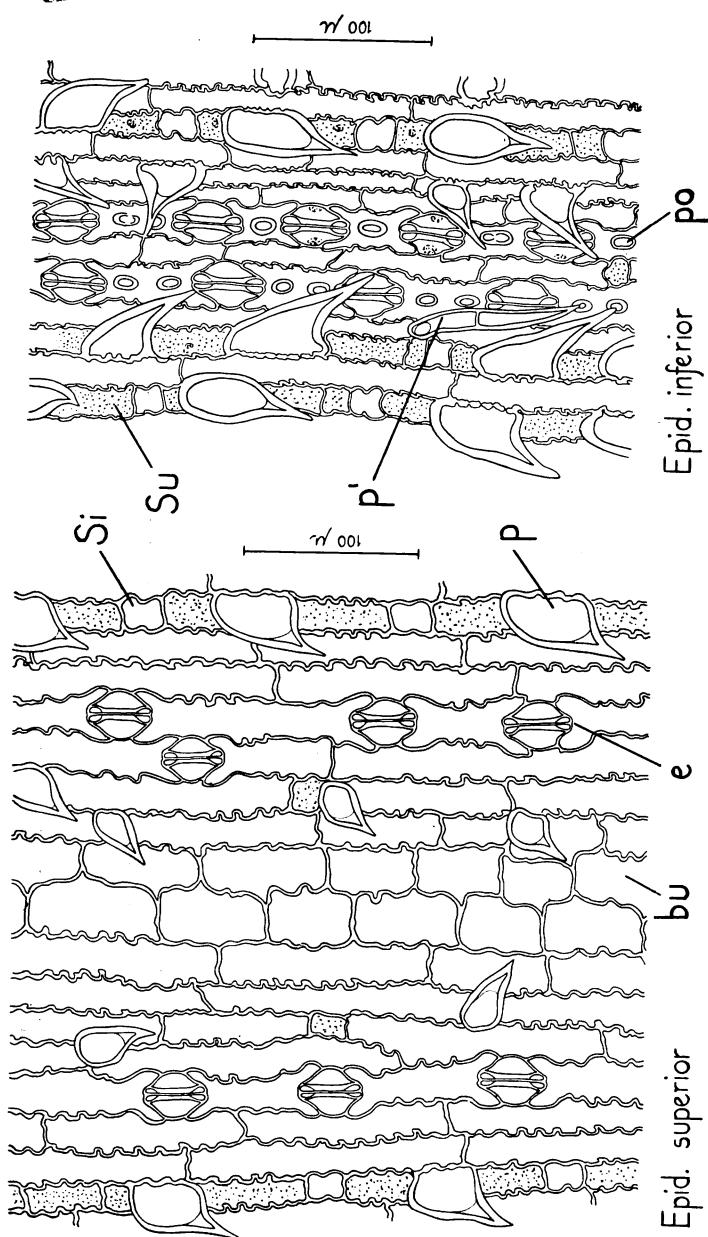


Fig. 1 — III — CB 40-69

- b — células buliformes
- e — estômatos
- po — poros
- si — células silicificadas
- su — células suberificadas
- p — pêlos unicelulares curtos
- p' — pêlos pluricelulares unisseriados

MOVIMENTOS ESTOMÁTICOS E TRANSPираÇÃO

O processo de transpiração, além de sofrer a influência dos fatores que regulam a evaporação livre, é regido por um sistema de controle da própria planta, integrado por elementos morfológicos e fisiológicos, entre os quais, o movimento dos estômatos ocupa lugar de destaque (11, 34). Da quantidade total de vapor d'água perdida pela fôlha (transpiração total), a maior parte sai pelos estômatos (transpiração estomatar) e uma parcela mais ou menos reduzida difunde-se através da cutícula (transpiração cuticular). A dependência da transpiração estomatar do grau de abertura estomática foi detalhadamente estudada por Stalfelt (32). O grau de abertura estomática, por sua vez, é regulado pelas mudanças de turgor que ocorrem nas células-guarda, sob ação de vários fatores. A quantidade de água existente na fôlha, por exemplo, exerce um papel preponderante nos movimentos estomáticos. Tais movimentos, segundo Stalfelt (34), podem ser passivos ou ativos. O movimento passivo de fechamento pode ocorrer em fôlhas super-saturadas de água. Nessas condições, as células epidérmicas, muito túrgidas, exercem pressão mecânica contra as células-guarda, provocando o fechamento da fenda. Se uma fôlha túrgida perde água ocasionando um pequeno déficit nos tecidos, a pressão mecânica que causara o fechamento passivo deixará de existir e os estômatos poderão se abrir passivamente. Mas os movimentos hidro-passivos não tomam parte importante no processo do controle de transpiração, sendo apenas fenômenos secundários (19). Se houver, por outro lado, um contínuo aumento do déficit de saturação dos tecidos da fôlha, os estômatos começam a se fechar pelo mecanismo hidroativo. O início do fechamento hidroativo pode diferir de espécie para espécie, de planta para planta, dependendo da sensibilidade do vegetal a diferentes graus de déficit de saturação (34). A velocidade de reação é, também, muito variável, o que voltaremos a discutir no decorrer do presente trabalho.

Grande maioria das plantas em bom estado de suprimento d'água, quando colocada no escuro, fecha os estômatos e os abre quando exposta à luz. Esse processo de fechamento e abertura dos estômatos em que a luz atua como causa primária, foi denominado movimento fotoativo (34). A velocidade do movimento fotoativo depende do comportamento intrínseco a cada vegetal, da intensidade luminosa e do tempo de exposição à luz (ou de escurecimento). A ação da luz pode ser extremamente rápida, provocando mudanças de volume das células-guarda e consequente variação nas aberturas estomáticas. Entre a ação da luz e a modificação do volume das células-guarda, interpõe-se uma série de fenômenos internos, de natureza física e química (34).

Devemos lembrar, ainda, a influência da temperatura e do vento do CO₂ (17), etc., nas aberturas estomáticas.

A inter-ação de todos êsses fatores determina, finalmente, o grau de abertura dos estômatos que atuam como um dos elementos de regulação da transpiração.

VELOCIDADE DO FECHAMENTO HIDROATIVO DOS ESTÔMATOS

Para a investigação do comportamento estomático em cana de açúcar, foi examinada, em primeiro lugar, a velocidade do fechamento hidroativo em fôlhas cortadas (vide capítulo referente à metodologia). Em tôdas as variedades estudadas, tal processo se verificou de maneira relativamente rápida. Assim, a variedade Co 290 teve os seus estômatos cerrados após 18 minutos de pesagem, numa avaliação média de numerosas (pelo menos 15) experiências realizadas. A figura n.º 2 mostra uma das curvas de fechamento na qual os valores de perda d'água se tornaram estáveis em aproximadamente, 19 minutos. A infiltração negativa com xitol, ao fim da

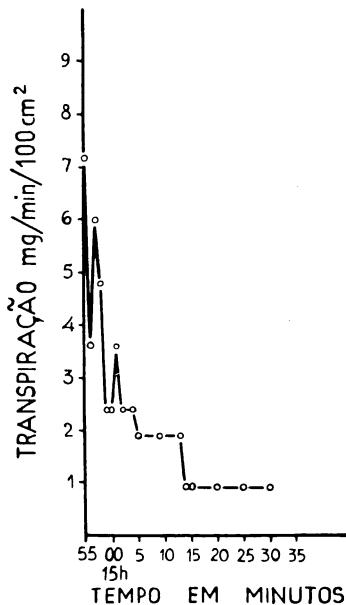


Fig. 2 — Co 290 — Curva do fechamento hidroativo dos estômatos.

experiência, confirmou que os estômatos se achavam fechados. A figura n.^o 3 refere-se à variedade Co 419, cujo fechamento estomá-tico consumiu cerca de 15 minutos. Nas variedades CB, o tempo

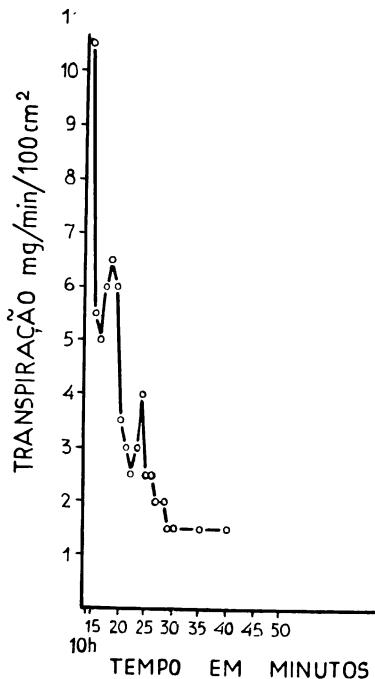


Fig. 3 — Co 419 — Curva do fechamento hidroativo dos estômatos.

necessário foi um pouco maior: em média, 21 minutos para a CB 41-76 (fig. 4) e 20 minutos para a CB 40-69 (fig. 5).

A cana Co 419 é, portanto, a que parece apresentar, entre as variedades consideradas, maior velocidade de fechamento hidroativo, seguida de Co 290. As duas CB são mais lentas. As diferenças entre as variedades são, no entanto, pouco pronunciadas.

Um fato sistemáticamente observado durante o processo de fechamento hidroativo dos estômatos de cana e que vem sendo citado por um número cada vez maior de autores (1, 5, 9, 11, 23, 24, 26, 34), em diferentes plantas, é a oscilação dos valores de perda d'água antes de se atingir o nível da transpiração cuticular. As causas atribuídas ao fenômeno são múltiplas. Assim, além da possibilidade do

êrro experimental (26), deve ser lembrada a influência direta dos fatores ambientes sobre a evaporação (irradiação luminosa, temperatura, déficit de saturação do ar, vento, etc.). Alterações mesmo reduzidas e breves destes fatores podem afetar os valores de perda d'água. Isso, porém, não poderia explicar, satisfatoriamente, a ocorrência quase que regular das referidas oscilações (11).

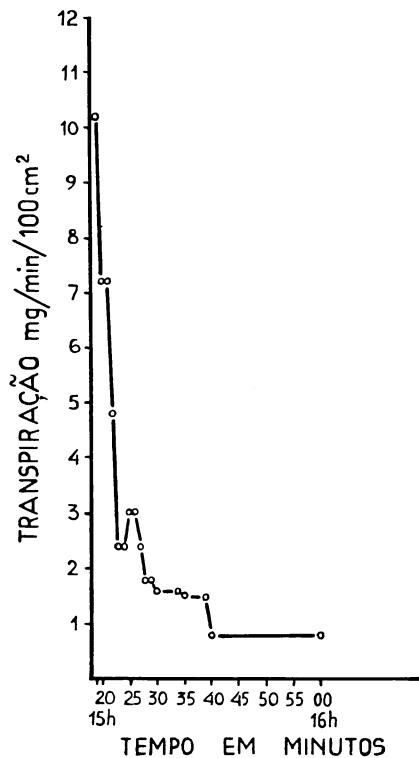


Fig. 4 — CB 41-76 — Curva do fechamento hidroativo dos estômatos.

Por outro lado, é sabido que as aberturas estomáticas podem apresentar variações, mesmo em condições mesológicas constantes, inclusive no escuro. Vários autores constataram o fato. Stalfelt (34) efetuou medidas diretas ao microscópio; Gregory e Pearse, verificaram o fenômeno por meio de "Widerstandsporometer" (cf. 34, pp. 360-61); Went observou o mesmo ao microscópio (cf. 34). Maximow e Krasnoselsky-Maximow verificaram haver uma relação en-

tre as variações das aberturas estomáticas ou "pulsões" e as alterações na intensidade de assimilação e transpiração (cf. 34).

Admite-se como uma das causas dessas "pulsões", o seguinte: as células-guarda, em íntima relação de equilíbrio hídrico com as células epidérmicas e do mesófilo, podem apresentar, com a modificação do déficit de saturação da fôlha, variações nas suas fendas durante o processo hidroativo (34).

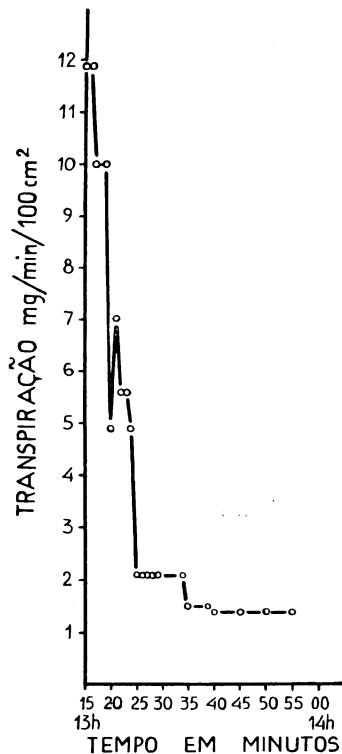


Fig. 5 — CB 40-69 — Curva do fechamento hidroativo dos estômatos.

Além disso, a reação fotoativa de abertura pode-se opor à hidroativa de fechamento, causando modificações nas fendas estomáticas, as quais se traduzem por oscilações nos valores de transpiração. Com o progressivo aumento do déficit de saturação da fôlha cortada, a reação de fechamento hidroativo se fará sentir cada vez mais sobre a fotoativa de abertura, até o completo fechamento (19, 34, 35).

Talvez seja possível explicar, igualmente, porque em certas plantas, o fenômeno de "pulsação" ou oscilação mencionado se apresenta de maneira pouco nítida ou deixa de ocorrer (11). Algumas destas plantas teriam hidro-reação extremamente rápida, o que excluiria o antagonismo da foto-reação. Outras, ainda, seriam de pequena sensibilidade estomática a ambos os processos. De qualquer maneira, a validade desta hipótese só poderá ser verificada após um grande número de experiências bem controladas.

MOVIMENTO FOTOATIVO DOS ESTÔMATOS

Segundo as observações de vários autores tais como Kamerling, Kuijper, Lyon e Brodie (cf. 6, pp. 285, 290, 291) e mais recentemente, Meguro e Ferri (24) e Ferri e Meguro (12), a cana de açúcar apresenta estômatos realmente sensíveis à luz. Como pequenas modificações na intensidade luminosa afetam os valores de transpiração, procuramos estudar a velocidade da reação fotoativa da cana de açúcar, suprimindo-lhe a iluminação por meio de cobertura com pano preto, de partes de fôlhas não retiradas da planta, e depois, fornecendo-lhes novamente a luz (Sobre o mecanismo do movimento fotoativo, vide Heath, 17 e Stalfelt, 34).

Os resultados referentes à cana Co 290 já foram publicados (12) e o tempo requerido, nesta variedade, para o completo fechamento dos estômatos submetidos ao processo de escurecimento, foi, aproximadamente, de 30 minutos. A reabertura se fêz mais rapidamente, levando cerca de 10 minutos (fig. 6 e tab. 2).

As variedades Co 419, CB 41-76 e CB 40-69, estudadas nos mesmos moldes da Co 290, apresentaram resultados mais ou menos comparáveis. Assim, o fechamento estomático no escuro se processou, nas três variedades, dentro de 35-40 minutos. As fôlhas previamente submetidas ao escuro, iniciaram a abertura dos seus estômatos já aos 5 minutos de exposição à luz e completaram-na após 10 minutos. Esta diferença na velocidade de fechamento e reabertura pode ser muito bem constatada nas figuras 7 (Co 419), 8 (CB 41-76) e 9 (CB 40-69), construídas à base de dados de transpiração obtidos por pesagens das fôlhas. Como já informamos nas publicações anteriores (12 e 24), tal diferença pode ser apenas aparente, uma consequência do método utilizado, pois, segundo Stalfelt (32, 34, 35), o efeito das modificações do grau de abertura estomática sobre

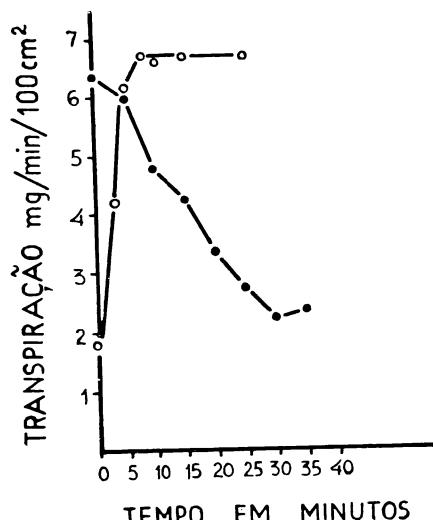


Fig. 6 — Co 290 — Curvas representativas do movimento fotoativo dos estômatos no escuro (círculos escuros) e de reabertura à luz (círculos claros). (Seg. Ferri e Meguro — modificada).

TABELA 2

Co 290 — Movimento fotoativo dos estômatos

Escureci- mento, min	Fechamento		Exposição à luz, min	Abertura	
	Infil. com xilol	Infil. com xilol		Infil. com xilol	Infil. com xilol
	epid. sup.	epid. inf.		epid. sup.	epid. inf.
0	++	+++	0	—	—
5	++	+++	3	—	—
10	++	+++	5	+	++
15	+	++	8	++	+++
20	±	+	10	++	+++
25	±	+			
30	—	—			
35	—	—			
40	—	—			

- +++ : infiltração muito intensa
- ++ : infiltração intensa
- + : infiltração fraca
- ± : infiltração muito fraca
- : infiltração negativa

a variação da transpiração terá maior evidência quando os estômatos tiverem suas aberturas bem reduzidas. Assim, quando se considera o movimento fotoativo de abertura, haverá, inicialmente, uma rápida ascensão dos valores de transpiração. Uma vez atingido um determinado grau de abertura, posterior aumento não mais afetará

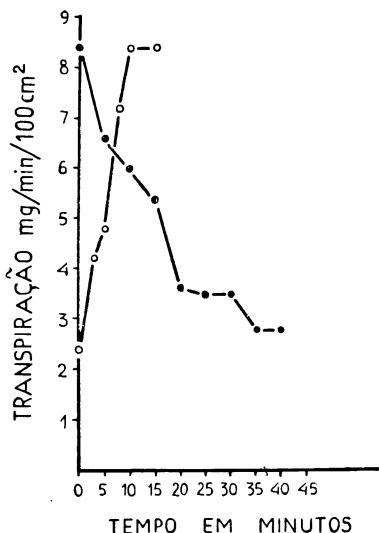


Fig. 7 — Co 419 — Curvas representativas do movimento fotoativo dos estômatos no escuro (círculos escuros) e de reabertura à luz (círculos claros).

proporcionalmente a razão da transpiração. Durante o processo de fechamento, ao contrário, ocorrerá uma lenta diminuição dos valores de transpiração, até que as aberturas estomáticas se tornem muito pequenas.

As tabelas 3 (Co 419), 4 (CB 41-76) e 5 (CB 40-69) obtidas por meio de infiltração com xilol, retratam o grau de abertura estomática durante o processo fotoativo. Nota-se, novamente aqui, maior rapidez no movimento de reabertura. Tal resultado nos leva à consideração, além da explicação acima apresentada, das teorias emitidas por outros autores, embora não tenhamos, no momento, evidências suficientes para aceitá-las ou não.

Limitamo-nos a considerar aqui, uma das mais interessantes, a formulada por Thomas e Russel (citada na publicação de Ketellap-

TABELA 3
Co 419 — Movimento fotoativo dos estômatos

Escurecimento, min	Fechamento		Exposição à luz, min	Abertura		
	Infil. com xilol			Infil. com xilol	Infil.	
	epid. sup.	epid. inf.		epid. sup.	epid. inf.	
0	++	+++	0	—	—	
5	++	+++	3	+	+	
10	+	++	5	+	++	
15	+	++	8	+	++	
20	+	+	10	++	+++	
25	+	+	15	++	+++	
30	±	+				
35	—	—?				
40	—	—				

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

— : infiltração negativa

per, 19): “o estímulo luminoso de abertura pode ser translocado rapidamente, de uma região iluminada para outra não iluminada”. Assim, nas experiências em que uma planta seja submetida parcialmente ao escuro, o estímulo de abertura, proveniente das regiões iluminadas, poderia antagonizar o movimento de fechamento, aumentando desse modo, a duração do processo. Na reabertura, tal estímulo se somaria aos efeitos diretos de exposição à luz.

Na cana de açúcar, ao que parece, não foram realizadas experiências para se verificar a ocorrência de tal transmissão de estímulo. Podemos apenas relatar que folhas cobertas parcialmente, durante um determinado lapso de tempo (40 minutos ou mais) e testadas por meio de infiltração com xilol, mostram nítida linha de demarcação na região limítrofe, isto é, a parte coberta apresenta infiltração nula, ao passo que a parte não coberta, imediatamente vizinha, apresenta infiltração intensa. Se houvesse, de fato, uma transmissão de estímulo luminoso, poder-se-ia esperar a ocorrência de uma zona de transição, com estômatos mais ou menos abertos, na parte

TABELA 4
CB 41-76 — Movimento fotoativo dos estômatos

Escurecimento, min	Fechamento		Exposição à luz, min	Abertura	
	Infil. epid. sup.	Infil. epid. inf.		Infil. epid. sup.	Infil. epid. inf.
0	++	+++	0	—	—
5	++	+++	2	+	+
10	+	++	5	+	++
15	+	++	8		
20	+	++	10	++	+++
25	+	++	15	++	+++
30	±	+			
35	—	—			
40	—	—			

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

— : infiltração negativa

TABELA 5
CB 40-69 — Movimento fotoativo dos estômatos

Escurecimento, min	Fechamento		Exposição à luz, min	Abertura	
	Infil. epid. sup.	Infil. epid. inf.		Infil. epid. sup.	Infil. epid. inf.
0	++	+++	0	—	—
5	++	+++	2	±	+
10	++	+++	5	+	++
15	+	++	8	+	+++
20	±	++	10	++	+++
25	±	+	15	++	+++
30	—	+			
35	—	—?			
40	—	—			

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

— : infiltração negativa

próxima à iluminada. Pode-se imaginar, por outro lado, que tal transmissão, além de rápida e uniforme em toda a folha, seja fraca, e o efeito antagônico se faça notar apenas no início do fechamento.

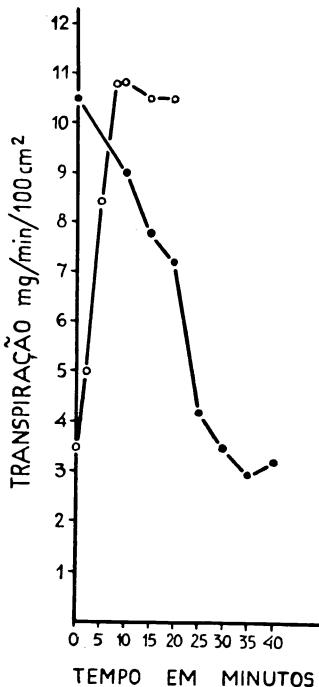


Fig. 9 — CB 40-69 — Curvas representativas do movimento fotoativo dos estômatos no escuro (círculos escuros) e de reabertura à luz (círculos claros).

mento estomático. Tudo isso requer pesquisas acuradas, as quais não tivemos oportunidade de realizar no presente trabalho, para, finalmente, chegar-se a uma solução satisfatória do problema.

TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR

Após fechamento hidroativo dos estômatos, a transpiração da folha se torna reduzida e pouco variável. Esta perda de água se faz através da cutícula e, portanto, corresponde à transpiração cuticular. Compreende-se que os valores assim obtidos, não sejam, na

realidade, equiparáveis aos encontrados em condições normais de suprimento d'água, em virtude da grandeza do déficit de saturação a que ficam sujeitos os tecidos e a cutícula de uma fôlha cortada e mantida na balança até completo fechamento estomático (25, 30). Situação análoga, todavia, poderá ocorrer em condições naturais,

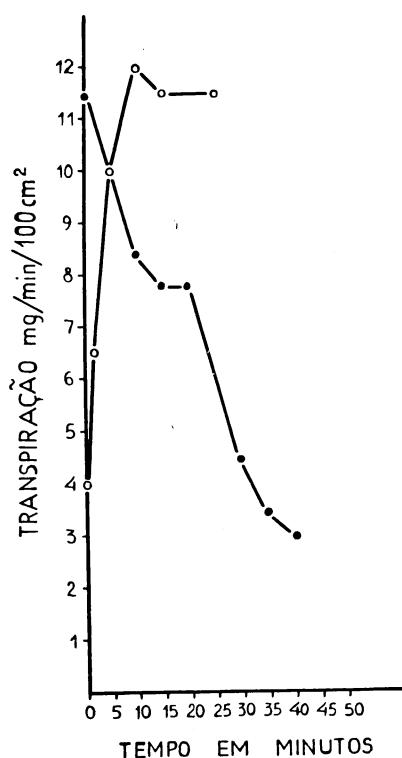


Fig. 8 — CB 41-76 — Curvas representativas do movimento fotoativo dos estômatos no escuro (círculos escuros) e de reabertura à luz (círculos claros).

por exemplo, num período de seca pronunciada em que a planta seja obrigada a restringir a sua transpiração, cerrando seus estômatos por hidro-reAÇÃO.

As tabelas 6, 7, 8 e 9 mostram que a transpiração cuticular da variedade Co 290 perfaz 13,3% da transpiração total (obtida

no início das pesagens); da Co 419, 14,6%; da CB 41-76, 12,5%; e CB 40-69, 12,6%. Talvez, aqui, as diferenças sejam muito pequenas para que se lhes possa atribuir qualquer significado. Mas merecem atenção os fatos de que o valor mais elevado da transpiração cuticular pertença, justamente, à variedade com maior velocidade de fechamento estomático: a Co 419 com 14,6%, fecha os seus estômatos em 15 minutos, aproximadamente. E a CB 41-76, com a transpiração cuticular mais reduzida, 12,5%, consome tempo superior a 20 minutos para o mesmo processo. As variedades com maior velocidade de fechamento estomático podem, pro-

TABELA 6

Co 290

Valor inicial da transpiração mg/min/100 cm ²	Transpiração cuticular mg/min/100 cm ²	Transpiração cut. em % da inicial	
11,7	1,3	11,1	
11,7	1,3	11,1	
7,2	0,9	12,5	
12,0	1,4	11,6	
7,5	1,5	20,0	
6,0	0,8	13,3	
6,0	0,8	13,3	
11,0	1,0	9,0	
8,6	1,4	16,2	
8,6	1,4	16,2	
9,0	1,5	17,6	
10,0	1,0	10,0	
7,0	0,8	11,4	
Média da Transp. cut. em % da Transp. inic.		13,3	

vavelmente, manter os tecidos e a própria cutícula em estado de saturação superior àquelas com reação mais lenta, possibilitando uma transpiração cuticular mais elevada (30, 33). Isto pode ser observado pelo grau de enrolamento (murchamento) das fôlhas ao nível da transpiração cuticular. O grau de enrolamento das fôlhas foi um bom indicador do estado de saturação das mesmas, uma vez que, em condições de campo, inúmeros problemas de natureza técnica di-

ficultaram a determinação dos valores do déficit de saturação (Déficit de saturação = conteúdo máximo de água — conteúdo real de água / conteúdo máximo de água x 100 — fórmula de Stocker, cf. 10). O mecanismo do enrolamento das folhas, detalhadamente estudado por Wakker (cf. 6), está ligado à presença de fileiras de células grandes dispostas paralelamente às nervuras, na epiderme superior (vide 24, p. 256, fig. 2). Essas células são chamadas células buliformes ou motoras. Segundo as citações encontradas em van Dillewijn (6), "these large, thin walled cells, contrary to the other epidermal cells, are not covered by a cuticle... Due to the unprotected outer wall, they are the first to lose moisture during periods

TABELA 7
Co 419

Valor inicial da transpiração mg/min/100 cm ²	Transpiração cuticular mg/min/100 cm ²	Transpiração cut. em % da inicial
11,0	1,2	10,9
11,9	1,7	14,2
11,4	1,2	10,5
10,5	1,5	14,2
9,0	1,5	16,6
9,0	1,2	13,3
8,1	1,6	19,7
12,0	2,0	16,6
10,8	1,8	16,6
12,0	1,4	11,6
12,0	2,0	16,6
9,0	1,2	13,3
6,0	1,0	16,6
Média da Transp. cut. em % da Transp. inic.		14,6

of drought, resulting in loss of turgor, shrinkage and ultimately, collapse". Assim, por perda de turgor das células buliformes, a folha se enrola em direção à epiderme superior.

Por outro lado, procuramos determinar a transpiração cuticular das folhas em estado normal de suprimento d'água. Como na cana de açúcar os estômatos estão presentes em ambas as faces, utiliza-

mos fôlhas previamente cobertas com pano preto, a fim de provocar o fechamento fotoativo dos mesmos. O estado de saturação, nestas condições, é muito superior ao apresentado por fôlhas cujos estôma-

TABELA 8
CB 41-76

Valor inicial da transpiração mg/min/100 cm ²	Transpiração cuticular mg/min/100 cm ²	Transpiração cut. em % da inicial
10,2	0,8	7,8
12,6	1,2	9,5
5,0	0,8	16,0
8,1	1,4	17,1
14,4	1,6	11,1
13,2	1,2	9,0
12,0	1,8	15,0
15,6	1,4	8,9
7,2	1,2	16,6
11,4	1,6	14,0
9,0	1,2	13,3
Média da Transp. cut. em % da Transp. inic.		12,5

TABELA 9
CB 40-69

Valor inicial da transpiração mg/min/100 cm ²	Transpiração cuticular mg/min/100 cm ²	Transpiração cut. em % da inicial
17,5	2,1	12,0
16,0	2,0	12,5
11,9	1,5	12,6
17,5	2,1	12,0
21,0	2,1	10,0
9,6	1,0	10,4
12,6	1,4	11,4
8,4	1,4	16,6
13,2	1,4	10,6
14,4	1,8	12,5
13,2	1,2	9,0
Média da Transp. cut. em % da Transp. inic.		12,6

tos sofreram processo de fechamento hidroativo. Isto porque, durante o fechamento fotoativo, as folhas foram mantidas na planta, não lhes sendo cortado o suprimento d'água. Além disso, a transpiração através dos estômatos foi sendo gradativamente reduzida no decorrer da reação fotoativa. De fato, a transpiração cuticular em folhas assim tratadas, alcançou valores bastante altos, praticamente o dobro dos obtidos após o fechamento hidroativo. Na Co 290 atingiu 24,7% do total (valor de transpiração inicial obtido nas folhas em condições normais de exposição à luz); na Co 419 — 26,4%; na CB 41-76 — 31,6%; e na CB 40-69 — 30,5%. Observe-se que, neste caso, as duas Co superaram as CB em eficiência no que diz

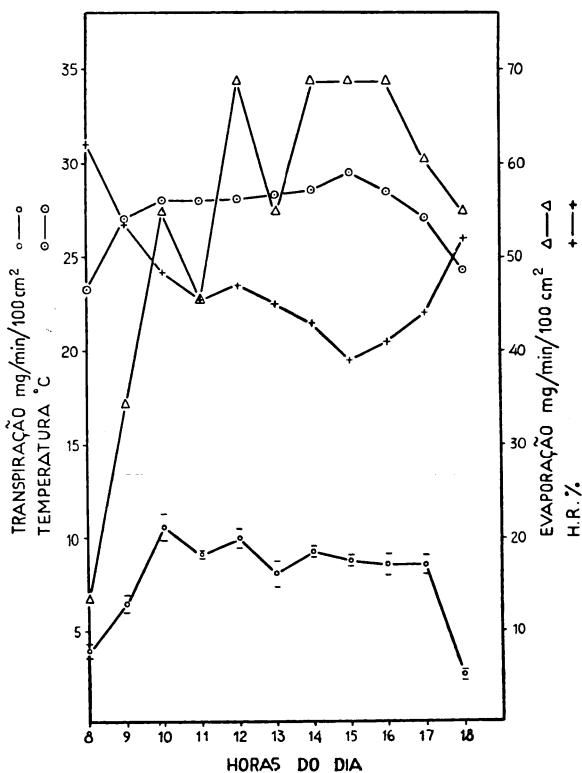


Fig. 10 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa em Cosmópolis no fim da estação das chuvas (8-3-56). Condições de campo. (Seg. Meguro e Ferri com modificações).

respeito à proteção cuticular. Lembramos, ainda, a possibilidade de que êsses altos valores tenham sido, em parte, devidos ao fechamento incompleto dos estômatos, cujas fendas reduzidíssimas não puderam ser acusadas pelo teste de infiltração (32, 33).

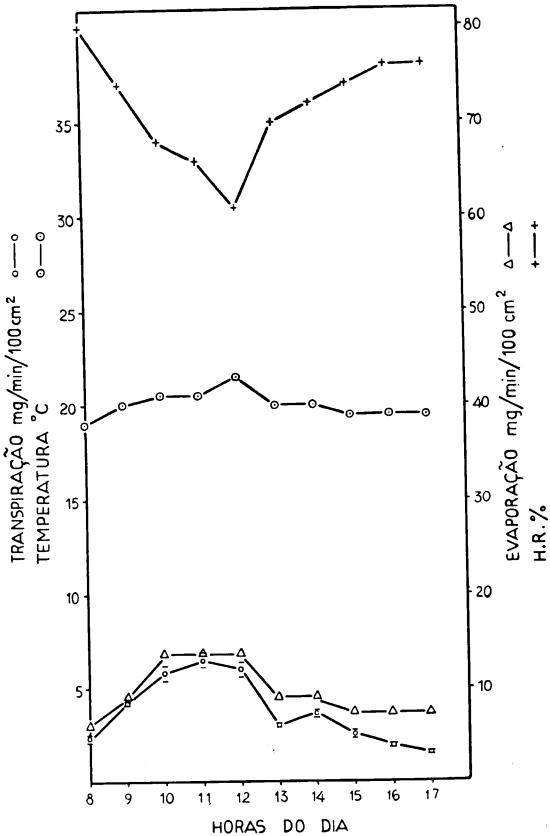


Fig. 11 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação seca (1-6-56). Condições de laboratório (São Paulo).

ANDAMENTO DIÁRIO DA TRANSPираÇÃO *Variedade Co 290*

Os estudos do andamento diário da transpiração realizados no fim da estação das chuvas (24) mostraram que a variedade Co 290

transpira sem restrição, tanto em condições de laboratório como de campo (fig. 10). Experiências do mesmo tipo foram repetidas em outras épocas do ano.

A fig. n.º 11 foi obtida em condições de laboratório no início da estação seca. Os valores mais elevados de evaporação se encontram entre 10 e 12 horas, decrescendo bruscamente às 13, quando o dia se tornou nublado (média diária de 9,6mg/min/100 cm²). Tal declínio pode ser observado também na curva de transpiração (média diária de 3,7mg/min/100 cm²). O método de infiltração com xilol permitiu verificar que, após o meio dia, com a redução da luminosidade, os estômatos apresentavam fendas sensivelmente diminuídas (tab. 10).

TABELA 10

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de laboratório. — Co 290 — (1-6-1956).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
8,30	±	++
9,30	+	++
10,30	++	+++
11,30	++	+++
12,30	++	+++
13,30	+	++
14,30	+	++
15,30	+	++
16,30	±	++
17,30	—	+

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

— : infiltração negativa

A experimentação no campo foi efetuada com “cana planta” de cerca de 16 meses de idade, num dia sem nuvens, de bastante luminosidade. Os resultados podem ser observados na fig. n.º 12. Em oposição às condições de laboratório, a temperatura e a umidade relativa apresentaram grandes variações no decorrer da experiência. A

média diária da evaporação ($19,7 \text{ mg/min/100 cm}^2$), assim como a de transpiração ($6,1 \text{ mg/min/100 cm}^2$), foram superiores às encontradas no laboratório. Mas as curvas de evaporação e de transpiração foram semelhantes em seu andamento.

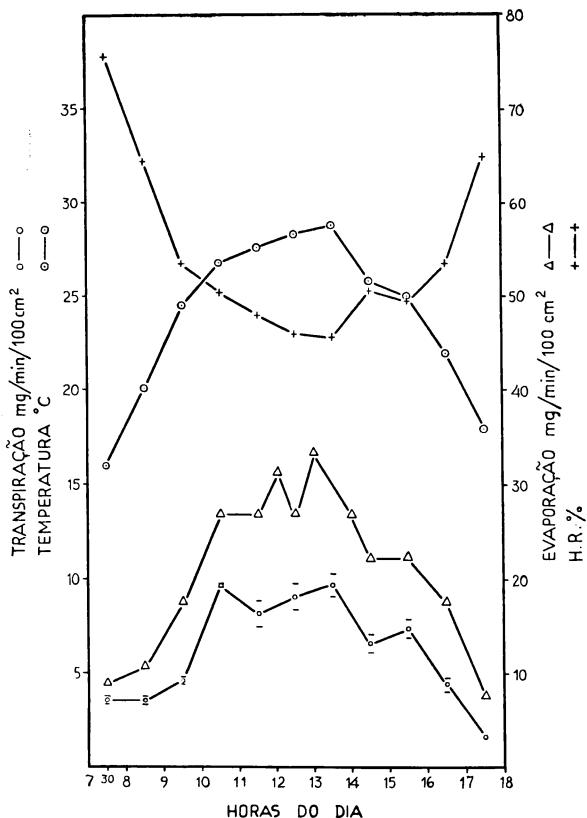


Fig. 12 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação seca (5-5-57). Condições de campo.

As figuras n.º 13 (laboratório) e 14 (campo) foram elaboradas com os resultados obtidos nos dias mais rigorosos do inverno de 1956, com ocorrência de geadas. Em ambos os casos foram registradas temperaturas de $10-12^\circ\text{C}$ momentos antes do início da experimentação. Posteriormente, a elevação da temperatura foi considerável, principal-

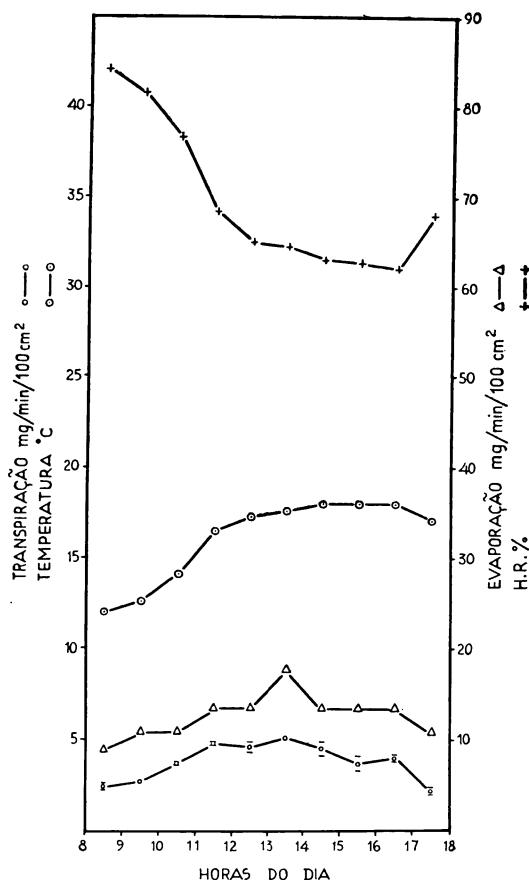


Fig. 13 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estaçao seca (27-7-56). Condições de laboratório.

mente no campo, onde se registrou um máximo de 26,1°C às 13,30 horas. No laboratório, onde a amplitude de variação dos fatores ambientais foi menor, observaram-se reduzidos valores de transpiração, em perfeita harmonia com os de evaporação.

No campo, a média da evaporação diária ($24,2\text{mg/min/100 cm}^2$) alcançou, aproximadamente, o dôbro do valor encontrado no laboratório ($12,6\text{mg/min/100 cm}^2$). No entanto, o valor médio da trans-

piração ($4,5\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$), não teve o mesmo grau de aumento verificado na evaporação. Este fato, já assinalado em trabalho anterior (24), será mais uma vez comentado no decorrer do presente estudo. A infiltração com xilol mostrou, às 9,30 horas, pequena abertura dos estômatos, apesar da intensa luminosidade. Devemos lembrar aqui, a propósito, o fato observado por Loftfield (22): "a baixa

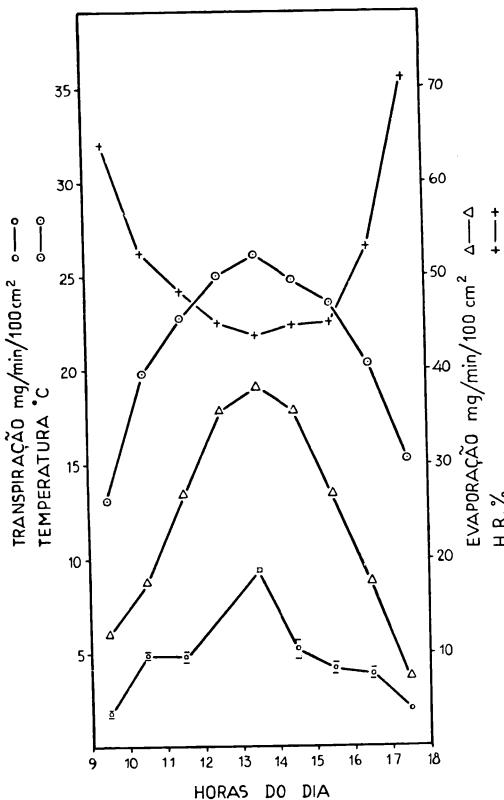


Fig. 14 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estaçao seca (8-7-56). Condições de campo.

temperatura matinal tem um efeito inibidor sobre a abertura dos estômatos". Observações antes de 9,30 horas não foram possíveis, uma vez que as fôlhas se apresentavam completamente molhadas pelo orvalho. Durante todo o dia os estômatos permitiram boa infiltração,

até às 17,30 horas (tab. 11), quando ocorreu certa diminuição (plantas de 16 meses).

TABELA 11

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de campo. — Co 290 — (8-7-1956).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
9,30	±	++
10,30	++	+++
11,30	++	+++
12,30	++	+++
13,30	++	+++
14,30	++	+++
15,30	++	+++
16,30	++	+++
17,30	±	+

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

A figura n.º 15, obtida no início da estação das chuvas, no laboratório, dispensa qualquer explicação detalhada do comportamento da variedade Co 290. A curva de transpiração é uma réplica quase perfeita da de evaporação. No campo, plantas de 9 meses de idade, com folhas plenamente desenvolvidas, foram o objeto da nossa experimentação. A média da transpiração diária foi de 8,3mg/min/100 cm², superior aos valores encontrados nas épocas anteriores. A evaporação foi extremamente elevada (média diária de 55,1mg/min/100 cm²), devendo-se salientar o efeito do vento, muito forte nesse dia. Uma breve diminuição na velocidade do vento, aproximadamente às 13 horas, acarretou uma queda brusca na evaporação (fig. 16). A curva do andamento diário da transpiração seguiu aproximadamente a de evaporação, também nessa época do ano. Os estômatos bem abertos desde às 7,30 horas, permitiam, ainda às 18 horas, uma fraca infiltração (tab. 12).

TABELA 12

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de campo. — Co 290 — (24-10-1956).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
7,15	++	+++
8,00	++	+++
9,00	++	+++
10,00	++	+++
11,00	++	+++
12,00	++	+++
13,00	++	+++
14,00	++	+++
15,00	++	+++
16,00	++	+++
17,00	++	+++
18,00	±	+

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

TABELA 13

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de campo. — Co 290 — (1-2-1957).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
7,00	++	+++
8,00	++	+++
9,00	++	+++
10,00	++	+++
11,00	++	+++
12,00	++	+++
13,00	++	+++
14,00	++	+++
15,00	++	+++
16,00	++	+++
17,00	++	+++
18,00	+	++

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

Dos estudos realizados em laboratório, na estação das chuvas, nada de especial temos a observar (fig. 17).

As figuras 18 e 19 retratam as experiências efetuadas no campo, em janeiro e fevereiro de 1957, respectivamente, numa plantação de 12 meses de idade. Ambas comprovam, decididamente, que a va-

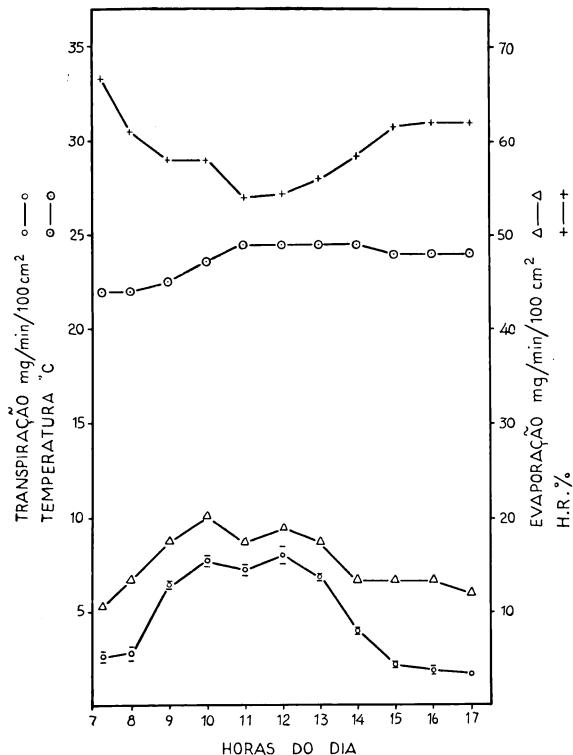


Fig. 15 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação chuvosa (9-11-56). Condições de laboratório.

riedade Co 290 não limita a sua transpiração. Os estômatos, nas horas de maior evaporação, permaneceram perfeitamente abertos (tab. 13). Quanto aos dados meteorológicos, temos a salientar que no dia 8-1-1957 (fig. 18), os valores mais altos de temperatura e evaporação, bem como o mínimo de umidade relativa, foram registrados às 11 horas. Entre 12 e 13 horas, houve um decréscimo geral de todos os

valores, em virtude de uma chuva passageira. Verificou-se, posteriormente, um novo aumento dos mesmos.

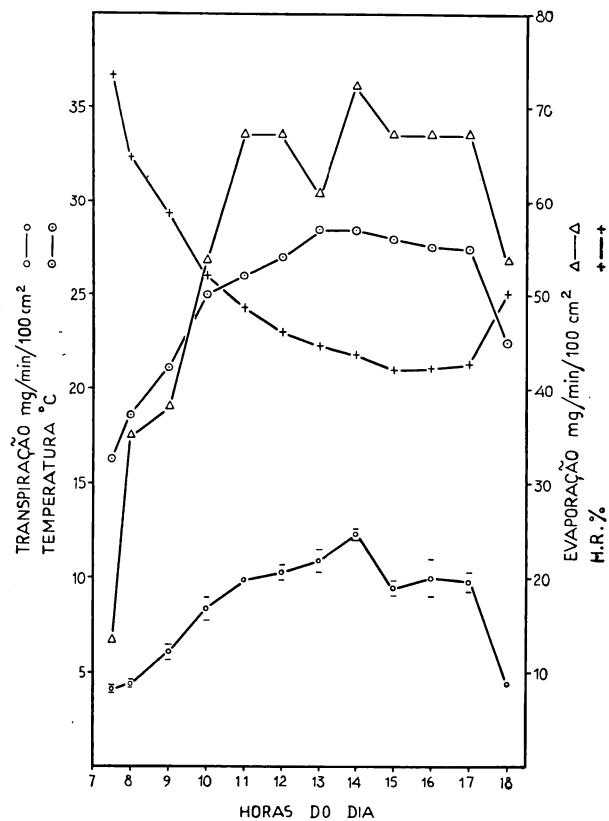


Fig. 16 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação chuvosa (24-10-56). Condições de campo.

O dia 1-2-1958 (fig. 19) transcorreu normalmente, sem chuva, tendo a temperatura atingido 36° à sombra, aproximadamente às 14 horas. As médias diárias de evaporação ($51,7 \text{mg/min/100 cm}^2$) e de transpiração ($12,9 \text{mg/min/100 cm}^2$), foram as mais altas encontradas, até então, nas experimentações de campo.

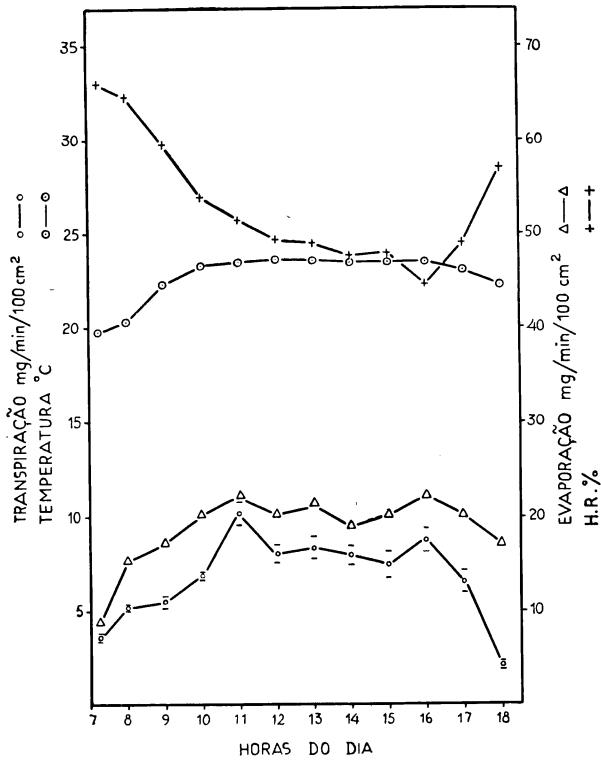


Fig. 17 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (27-12-56). Condições de laboratório.

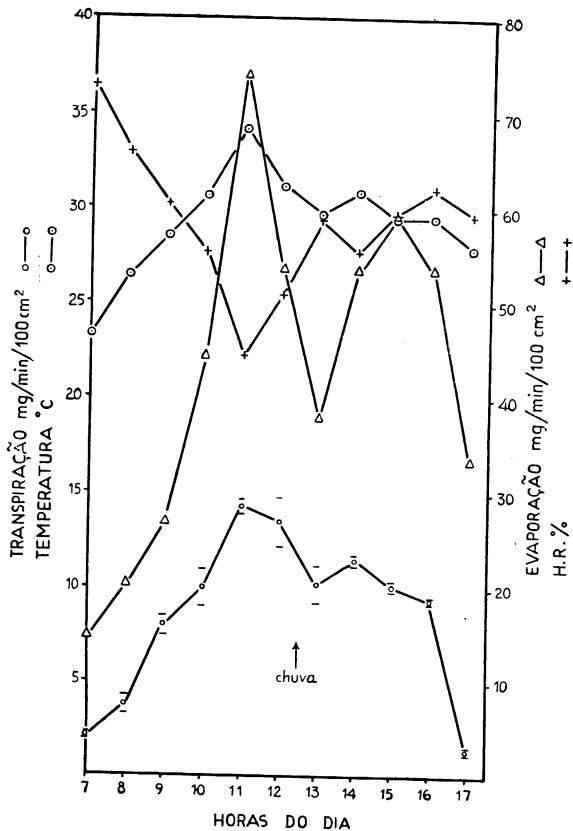


Fig. 18 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (8-1-57). Condições de campo.

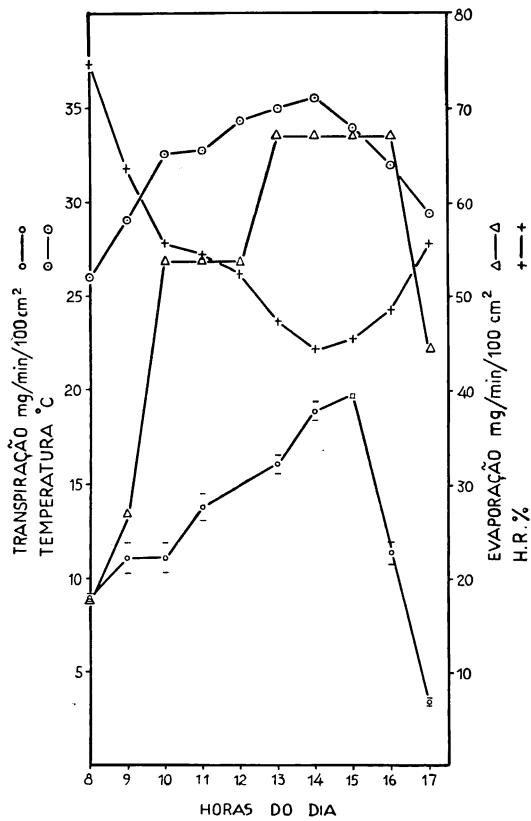


Fig. 19 — Andamento diário da transpiração de cana Co 290 e da evaporação, temperatura e umidade relativa na estação das chuvas (1-2-57). Condições de campo.

Variedade Co 419

O comportamento da variedade Co 419, aos 16 meses de idade, no fim da estação das chuvas, em condições de campo (fig. 20), é perfeitamente comparável ao da Co 290 (fig. 10). A média da transpiração diária da nova variedade estudada foi de $11,3\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$.

No início da estação seca (fig. 21), a Co 419 (plantas de 16 meses) transpirou livremente, estando os estômatos abertos durante todo o dia. A média da transpiração diária ($8,0\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$), e a da evaporação ($21,8\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$), foram sensivelmente inferiores em face dos valores obtidos na época anterior.

A figura n.^o 22 reune os resultados obtidos na estação seca, com plantas de aproximadamente 18 meses de idade. Notam-se grandes oscilações dos fatores ambientes no decurso do dia: a umidade relativa próxima de 90% no início da experiência, decresce muito, atingindo 38% às 15 horas. A curva do andamento diário da transpiração acompanha a de evaporação até às 14 horas, após o que deixa de existir o paralelismo, com uma queda antecipada da transpiração (tab. 14).

Já na figura n.^o 23, obtida no início da estação das chuvas, com plantas de 9 meses de idade, observa-se uma notável superposição das curvas representativas da transpiração e da evaporação. Neste dia, entre 9 e 10 horas, verificou-se uma chuva passageira, o que explica a lenta progressão dos componentes das várias curvas, neste período do dia. Os maiores valores de transpiração se encontram entre 13 e 14 horas e a média diária ($9,7\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$) foi, de acordo com a expectativa, superior à da época seca ($7,9\text{ mg/min}/100\text{ cm}^2$).

Em plena estação das chuvas, como no caso anterior, não se registrou nenhuma tendência à restrição (plantas de 12 meses). A tabela n.^o 15 comprova o fato. A interrupção ao meio dia, na curva da transpiração da figura 24, deve-se à ocorrência de uma chuva de alguns minutos de duração. Os valores de transpiração que compõem a figura n.^o 25 foram os maiores encontrados para a variedade Co 419 (média diária de $14,5\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$).

TABELA 14

Grau de infiltração estomática com xanol, no decurso do dia, em condições de campo. — Co 419 — (1-8-1958).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
9,00	++	+++
10,00	++	+++
11,50	++	+++
12,50	++	+++
13,50	++	+++
14,50	+	++
15,50	+	++
16,50	+	++
17,50	±	+

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

TABELA 15

Grau de infiltração estomática com xanol, no decurso do dia, em condições de campo. — Co 419 — (1-2-1957).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
7,30	++	+++
8,30	++	+++
9,30	++	+++
10,30	++	+++
11,30	++	+++
12,30	++	+++
13,30	++	+++
14,30	++	+++
15,30	++	+++
16,30	++	+++
17,30	++	+++
18,00	+	++

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

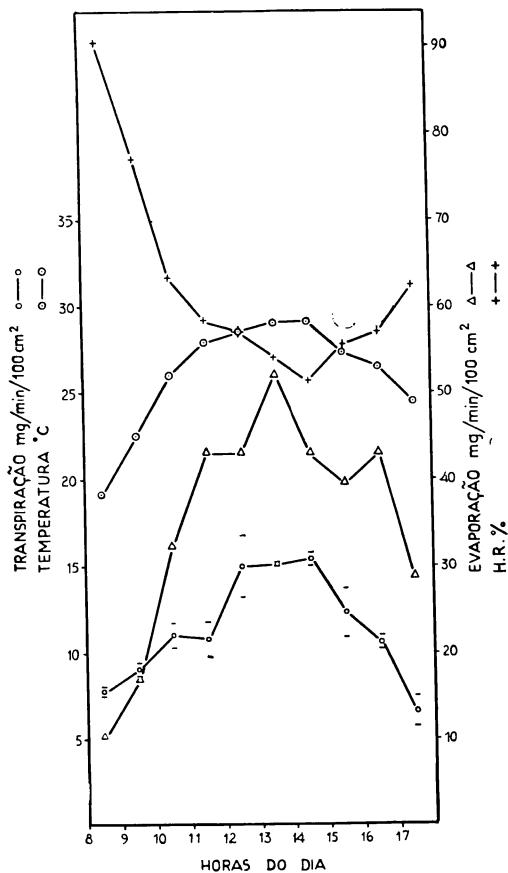


Fig. 20 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Fim da estação chuvosa (3-4-58).

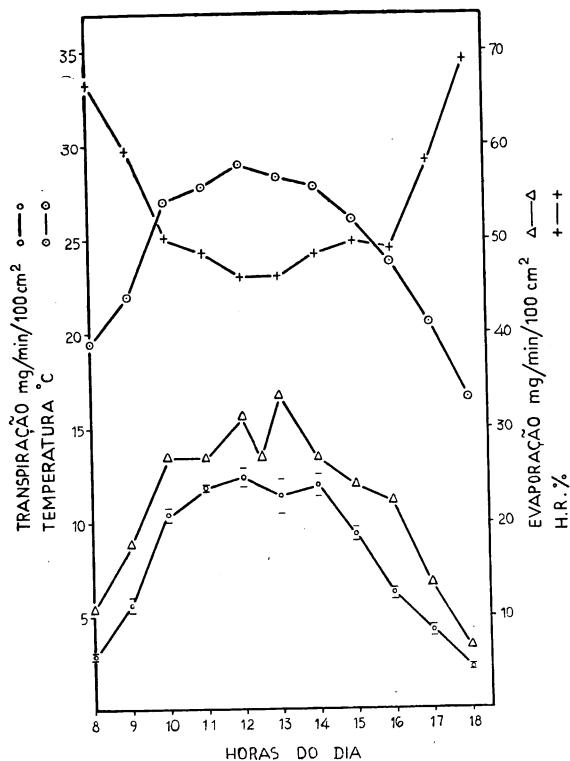


Fig. 21 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação seca (5-5-57).

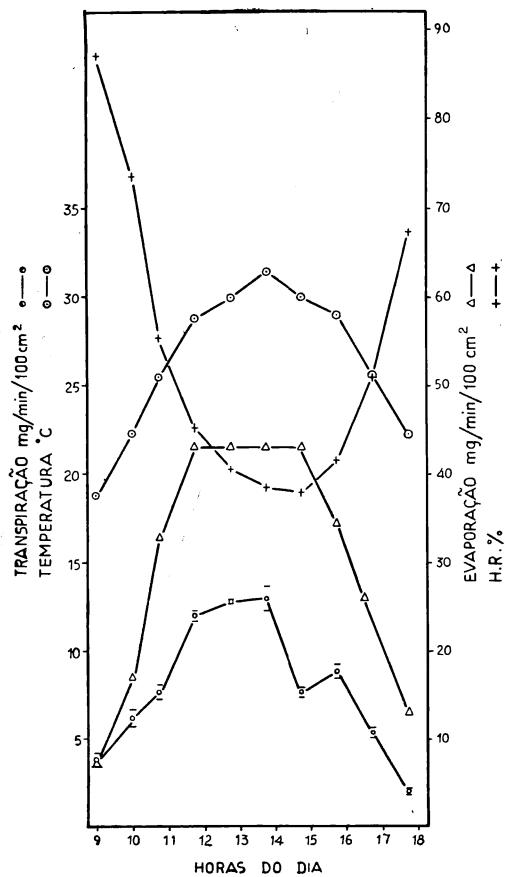


Fig. 22 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação seca (1-8-58).

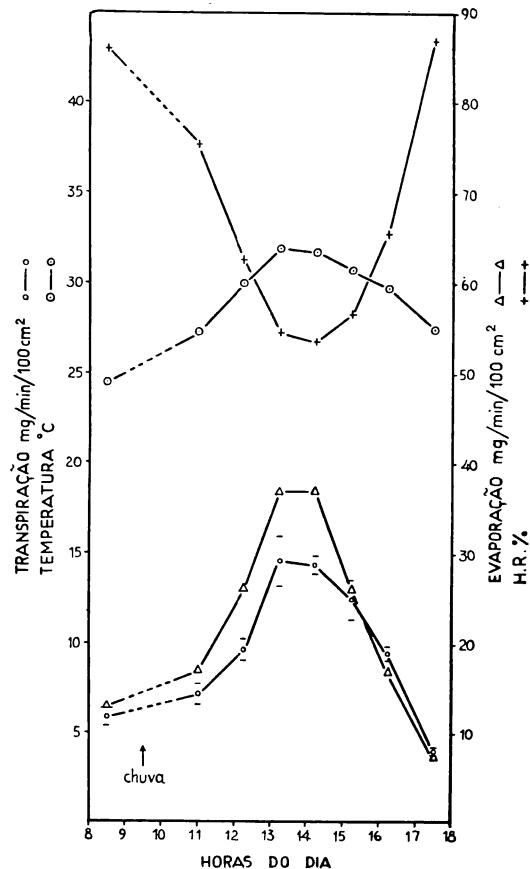


Fig. 23 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação chuvosa (12-12-58).

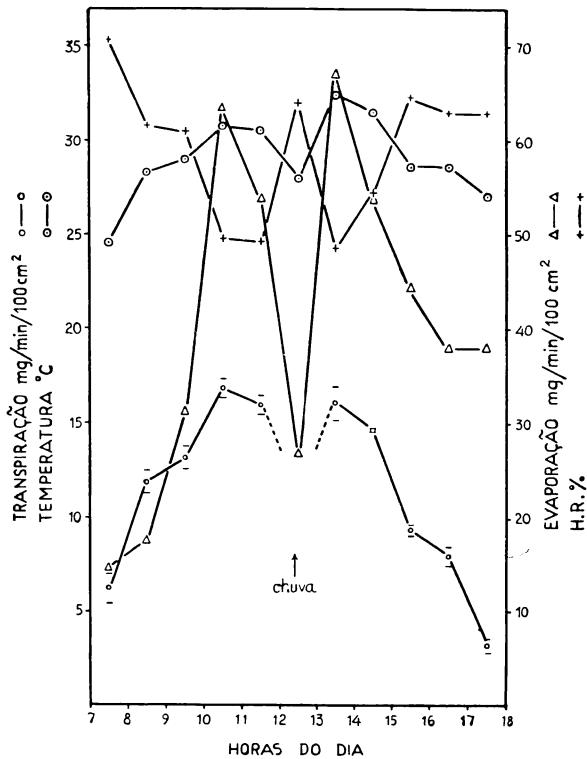


Fig. 24 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (8-1-57).

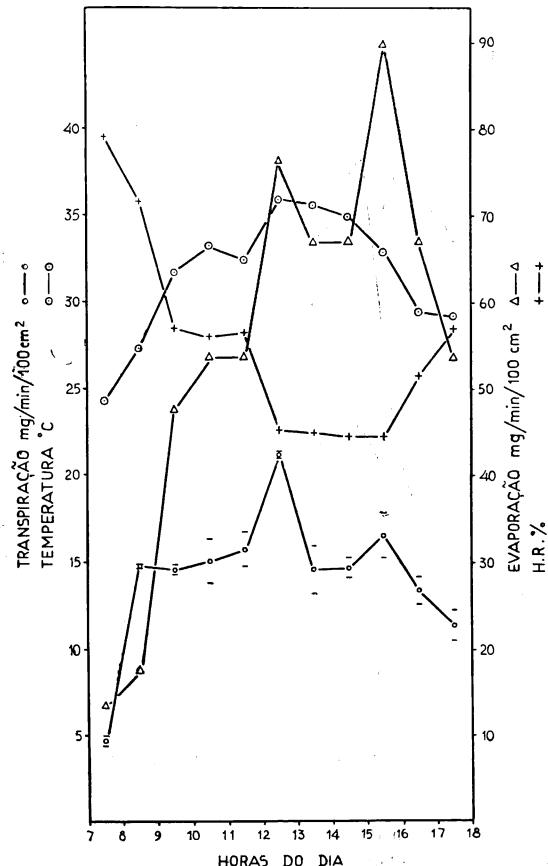


Fig. 25 — Andamento diário da transpiração de cana Co 419 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (1-2-57).

Variedade CB 41-76

O estudo da variedade CB 41-76 foi iniciado com plantas de 13 meses de idade, em abril de 1958. As condições do meio retratadas na figura n.º 26 não são rigorosas e a curva de transpiração acompanha, de modo geral, a de evaporação. O "plateau" observado entre 12 e 14 horas não significa restrição. A própria evaporação sofreu um declínio às 14 horas (nuvem), antes de atingir o máximo valor às 15 horas, quando também a transpiração foi máxima. Deve, ainda, ser lembrado o fato de que a experiência teve lugar num dia precedido por dois outros com copiosas precipitações, de maneira que o solo se achava bastante úmido.

Na estação seca, a limitação da transpiração (plantas de 18 meses) nas horas de condições mais rigorosas se apresenta patente (fig. 27). A curva de transpiração de início ascendente, mostra uma depressão após 13 horas, quando se encontram os maiores valores de evaporação e temperatura e o menor de umidade relativa. Mas as fendas estomáticas foram apenas reduzidas e não cerradas completamente nesse período, como pudemos observar pela infiltração mais fraca (tab. 16). Tal estado perdurou até ao fim do dia. A média

TABELA 16

Grau de infiltração estomática com xilog, no decurso do dia, em condições de campo. — CB 41-76 — (1-8-1958).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
8,30	+	++
9,30	++	+++
10,30	++	+++
11,30	++	+++
12,30	++	+++
13,30	+	++
14,30	+	++
15,30	+	++
16,30	+	++
17,30	-	±

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

- : infiltração negativa

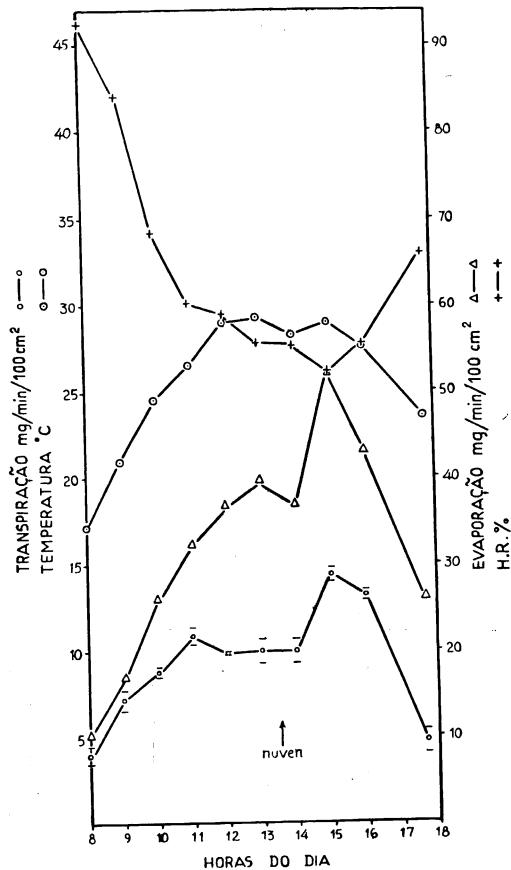


Fig. 26 — Andamento diário da transpiração de cana CB 41-76 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Abril de 1958.

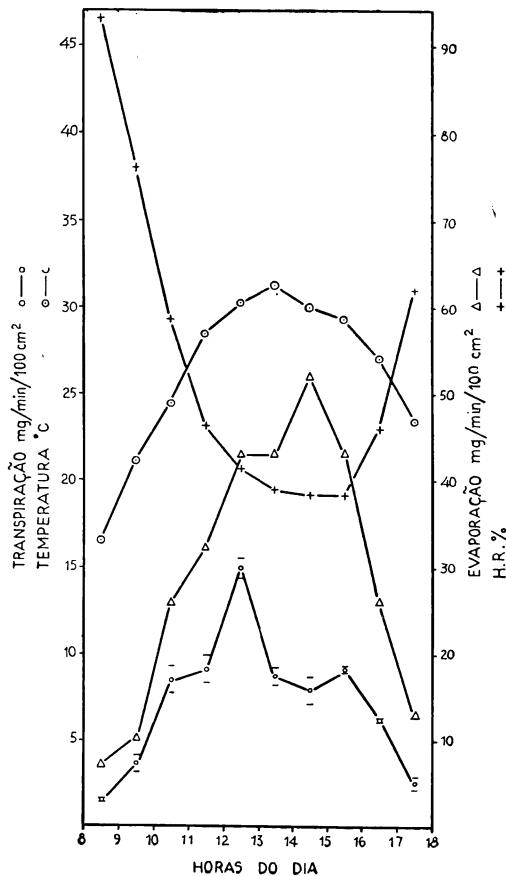


Fig. 27 -- Andamento diário da transpiração de cana CB 41-76 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação seca (1-8-58).

diária da transpiração ($7,3\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$) foi inferior à da época anterior ($9,3\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$).

No início da estação das chuvas, plantas de 9 meses de idade não apresentaram restrição. Os valores de transpiração (média diária de $7,9\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$), que integram a curva da figura n.^o 28, assim como os de evaporação (média diária de $22,2\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$), foram relativamente baixos.

Quanto aos resultados apresentados na figura 29, devemos salientar que fortíssimos ventos ocasionaram uma evaporação realmente elevada. Assim, às 12,30 horas, ela atingiu a $135\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$, acompanhando o máximo de temperatura e o mínimo de umidade relativa. A curva de transpiração (plantas de 12 meses) teve quase o mesmo andamento que a da evaporação, mas não houve perfeita proporcionalidade na variação dos valores. Isto pode ser parcialmente atribuído, como em vários casos anteriores, ao fato de que, enquanto o evaporímetro permanecia completamente desabrigado do vento, as folhas eram pesadas numa caixa de vidro aberta apenas na face anterior. Todavia, a menor intensidade de infiltração observada após as 12,30 horas, nos leva a admitir que as folhas, em face da violência incomum do vento e consequente aumento no déficit de saturação, tenham diminuído as fendas estomáticas (tab. 17).

TABELA 17

Grau de infiltração estomática com xilog, no decurso do dia, em condições de campo. — CB 41-76 — (28-2-1959).

H o r a s	E p i d e r m e s u p e r i o r	E p i d e r m e i n f e r i o r
8,00	++	+++
9,30	++	+++
11,00	++	+++
12,30	++	+++
14,00	+	++
15,30	+	++
17,00	+	++
18,00	+	+

+++: infiltração muito intensa

++: infiltração intensa

+: infiltração fraca

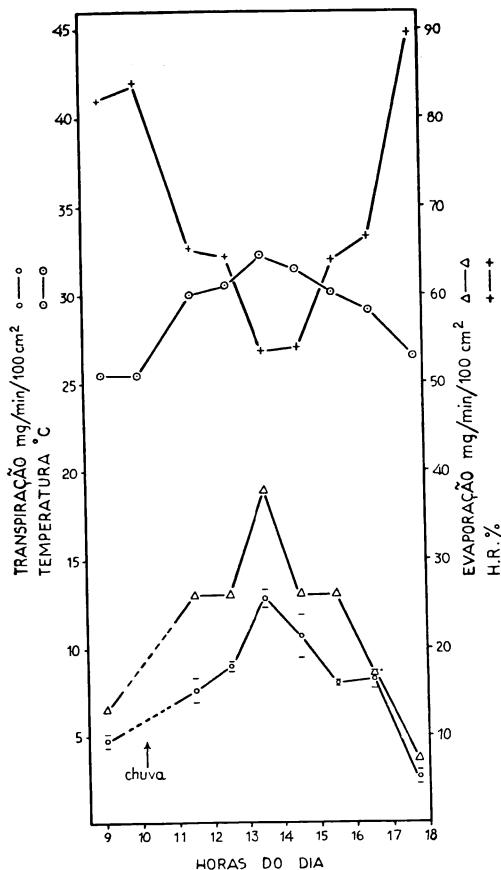


Fig. 28 — Andamento diário da transpiração de cana CB 41-76 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação chuvosa (12-12-58).

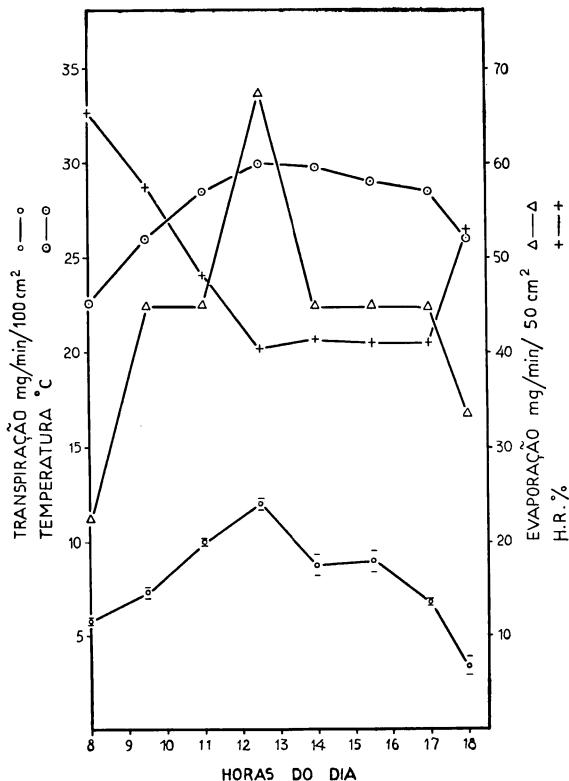


Fig. 29 — Andamento diário da transpiração de cana CB 41-76 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (28-2-59).

Variedade CB 40-69

Na primeira experimentação feita com esta variedade, em abril de 1958, foram tomadas plantas de 13 meses. Como se pode verificar na figura 30, há íntima correlação entre a evaporação e a transpiração, cuja média diária foi considerável: $12,5\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$. A infiltração com xilol não denunciou qualquer modificação nas fendas estomáticas durante todo o dia.

Na época seca, embora pouco perceptível na curva da transpiração (fig. 31), foi notada uma redução nas aberturas estomáticas, no período da tarde, após as 14 horas (tab. 18). Nesta hora a umidade relativa desceu a 35%, valor muito inferior ao observado no início da experiência: 85%. (Idade das plantas = 18 meses).

TABELA 18

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de campo. — CB 40-69 — (2-8-1958).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
9,00	++	+++
10,00	++	+++
11,00	++	+++
12,00	++	+++
13,00	++	+++
14,00	++	+++
15,00	+	++
16,00	+	++
17,00	+	++
17,30	±	+

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

+ : infiltração fraca

± : infiltração muito fraca

A transpiração da variedade CB 40-69 (plantas de 9 meses), no início da estação das chuvas, foi bem elevada. Na experiência resumida na fig. 32, a média diária alcançada foi de $12,6\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$.

Finalmente, em plena estação das chuvas, esta variedade com 12 meses de idade, em condições de evaporação (média diária de $98,6\text{mg/min}/100\text{ cm}^2$) extremamente severas (fig. 33), como as assi-

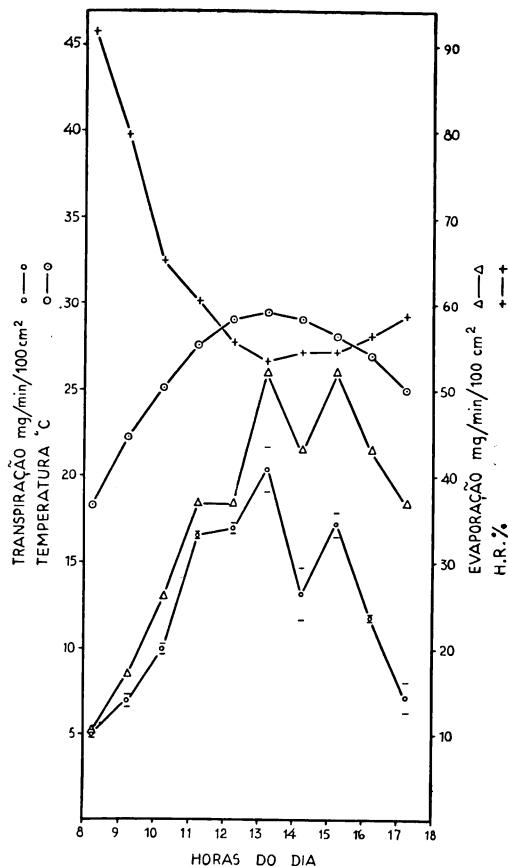


Fig. 30 — Andamento diário da transpiração de cana CB 40-69 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Abril de 1958.

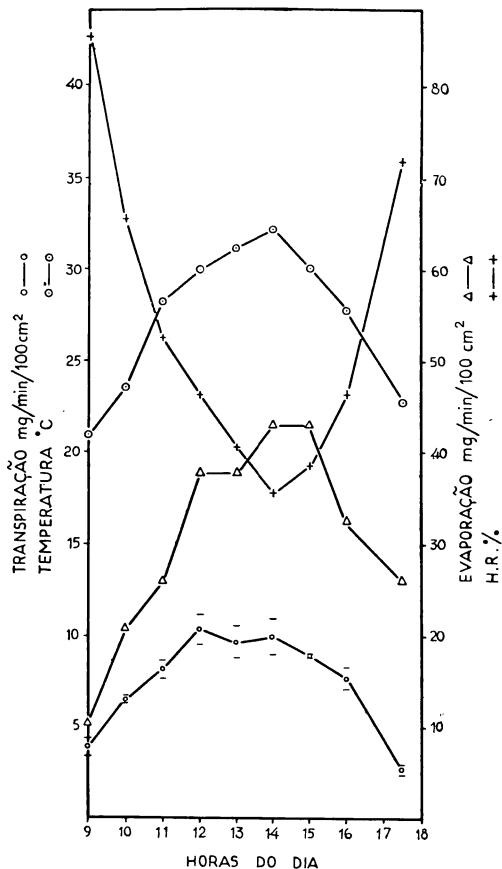


Fig. 31 — Andamento diário da transpiração de cana CB 40-69 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação seca (2-8-58).

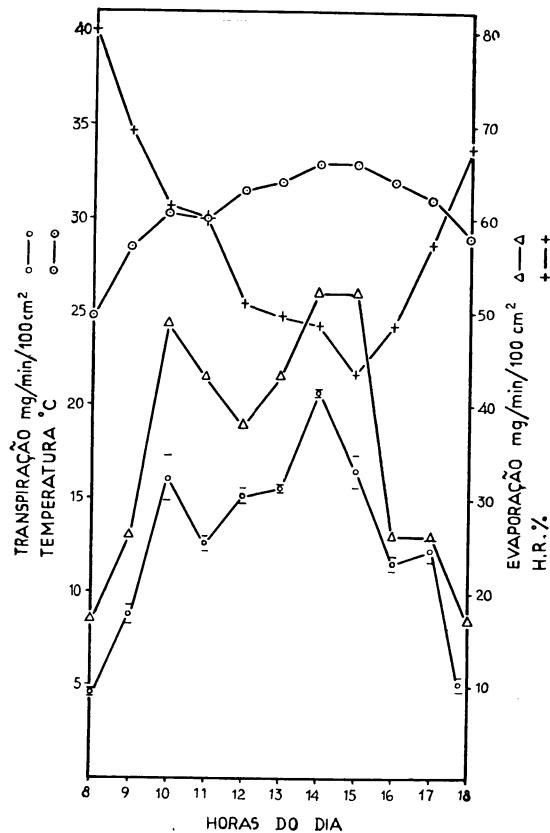


Fig. 32 — Andamento diário da transpiração de cana CB 40-69 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Início da estação chuvosa (13-12-58).

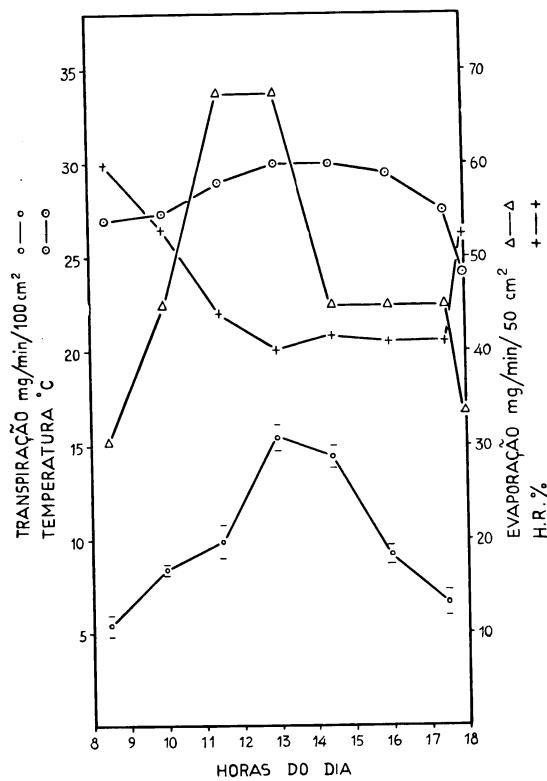


Fig. 33 — Andamento diário da transpiração de cana CB 40-69 e da evaporação, temperatura e umidade relativa. Estação chuvosa (28-2-59).

naladas para a CB 41-76, na mesma época, apresentou valores relativamente baixos de transpiração (média diária de 9,9mg/min/100 cm²), mas não demonstrou, quando examinada com xilol, redução nas aberturas estomáticas no decurso da experiência (tab. 19).

TABELA 19

Grau de infiltração estomática com xilol, no decurso do dia, em condições de campo. — CB 40-69 — (28-2-1959).

Horas	Epiderme superior	Epiderme inferior
8,30	++	+++
10,00	++	+++
11,30	++	+++
13,00	++	+++
14,30	++	+++
16,00	++	+++
17,30	++	+++

+++ : infiltração muito intensa

++ : infiltração intensa

TRANSPIRAÇÃO RELATIVA

Devemos salientar, em primeiro lugar, que o valor da transpiração relativa (Transpiração/Evaporação x 100) *, está sujeita a variações de ano para ano, de uma época para outra num mesmo ano e, por sua íntima dependência dos fatores climatológicos reinantes, além do comportamento intrínseco ao vegetal, pode variar muito nas diversas horas de um mesmo dia (11, 23, 36).

O estudo da transpiração relativa da variedade Co 290 efetuado em condições de laboratório, não mostrou oscilações muito pronunciadas nas diferentes épocas do ano, estando as médias diárias (vide capítulo referente à metodologia) compreendidas entre 29,4 e 38,6%. As médias diárias mais altas foram encontradas na época chuvosa (34,6%) e início da estação seca (38,6%) e as mais baixas no período seco e início da estação chuvosa (em torno de 29%). A explicação para êsses fatos poderia, talvez, ser dada em função da quantidade de reserva d'água disponível no solo nas épocas consideradas.

* O conceito da transpiração relativa foi introduzido na literatura ecológica por Livingston, em 1906 (vide 23).

Quanto às variações nas diferentes horas de um dia, verificamos serem maiores que as observadas entre as médias diárias encontradas em diversas épocas. A tabela 20 (Co 290-laboratório) mostra os máximos e os mínimos determinados no decorrer de um dia no início da seca, no período seco, início da estação chuvosa e plena estação chuvosa. Além da grande amplitude de variação, podemos notar que os máximos da estação chuvosa e início da seca foram superiores aos da época seca e início da estação chuvosa.

Todos os máximos foram estabelecidos entre 11-12 horas, em concordância com os valores mais altos de transpiração absoluta e de evaporação, com exceção da estação seca em que o máximo da transpiração relativa antecedeu de 2 horas os referidos valores absolutos de transpiração e evaporação.

TABELA 20

Transpiração relativa %
Co 290 (Laboratório)

Data da exp.	1-6-56	27-7-56	9-11-56	27-12-56
Máximos	47,4 (11 h)	35,5 (11,30 h)	42,6 (12 h)	45,9 (11 h)
Mínimos	20,0 (17 h)	20,3 (17,30 h)	14,1 (17 h)	12,1 (18 h)

Co 290 (Campo)

Data da exp.	5-5-57	8-7-56	24-10-56	8-1-57
Máximos	36,1 (10,30 h)	27,7 (10,30 h)	17,9 (13 h)	29,8 (9 h)
Mínimos	23,8 (17,30 h)	13,4 (12,30 h)	8,2 (18 h)	3,8 (17 h)

Co 419 (Campo)

Data da exp.	3-4-58	1-8-58	8-1-57	5-5-57
Máximos	75,0 (8,30 h)	52,7 (9 h)	67,6 (8,30 h)	44,7 (14 h)
Mínimos	22,9 (17,30 h)	15,3 (17,50 h)	8,4 (17,30 h)	26,1 (8 h)

CB 41-76 (Campo)

Data da exp.	3-4-58	1-8-58	12-12-58	28-2-59
Máximos	42,1 (9 h)	37,1 (12,30 h)	47,9 (16,30 h)	12,9 (8 h)
Mínimos	18,0 (17,40 h)	20,0 (17,30 h)	29,2 (11,30 h)	5,0 (18 h)

CB 40-69 (Campo)

Data da exp.	3-4-58	2-8-58	13-12-58	28-2-59
Máximos	48,0 (8,15 h)	37,5 (9 h)	47,3 (17 h)	15,9 (14,30 h)
Mínimos	19,5 (17,15 h)	10,4 (17,30 h)	26,9 (8 h)	7,3 (17,30 h)

Os mínimos foram sempre encontrados no fim do dia (17-18 horas, dentro do limite do horário em que as experiências foram efetuadas), sendo o valor obtido na estação seca superior ao encontrado na estação chuvosa. O aparente paradoxo poderia ser explicado em função da temperatura e da umidade relativa que no verão, por exemplo, propiciam um declínio mais lento da evaporação, enquanto que a transpiração diminui mais rapidamente em virtude do fechamento fotativo dos estômatos ao entardecer (constatado pelo método de infiltração com xitol).

No campo (tab. 21), as médias diárias de transpiração relativa mostraram variações um pouco maiores que no laboratório cujas condições ambientes eram mais regulares. A média diária mais alta (30,6%) foi encontrada no fim da estação das chuvas e a mais baixa (15,2%) no início da estação chuvosa. Mas o pequeno valor encontrado nessa época deve ter sido estabelecido, principalmente, pela grande velocidade do vento que acarretou uma evaporação elevada, sem que a transpiração tenha acompanhado, proporcionalmente, tal elevação, embora os estômatos se mantivessem abertos.

A tabela 20 (Co 290 — campo) apresenta os máximos e os mínimos diários determinados em diversos períodos. Como aconteceu no laboratório, os máximos obtidos na estação chuvosa e início da seca foram superiores aos da estação seca e início das chuvas.

A variedade Co 419 apresentou médias diárias de transpiração relativa que variaram de 26 a 38% em diferentes épocas. Um confronto com a Co 290 (tab. 21), considerando-se os dados determinados em circunstâncias essencialmente comparáveis (janeiro, fevereiro e maio de 1957), nos mostra que a Co 419 apresenta, sempre, médias diárias mais altas que a Co 290. Os valores mais altos foram encontrados no período intermediário (maio, abril) entre a estação chuvosa e seca. Nesses meses, provavelmente, todos os fatores (água do solo abundante, evaporação e temperatura moderadas) concorreram para o desenvolvimento favorável da cana de açúcar que pôde manter num nível adequado, os vários processos metabólicos, entre os quais transpiração e assimilação.

Os máximos e os mínimos relativos aos dias dos meses de abril, agosto, janeiro e maio estão expostos na tab. 20 (Co 419).

TABELA 21
Transpiração relativa em %
(médias diárias)

Meses	Co 290	Co 419	CB 41-76	CB 40-69
Julho (1956)	20,2	—	—	—
Outubro	15,2	—	—	—
Janeiro (1957)	20,4	28,9	—	—
Fevereiro	25,3	26,2	—	—
Maio	30,6	38,0	—	—
Abril (1958)	—	32,2	29,4	36,1
Agosto	—	26,5	25,1	25,3
Dezembro	—	—	35,0	35,7
Fevereiro (1959)	—	—	9,0	10,2

As duas variedades CB (tab. 21), estudadas em condições bem comparáveis, não apresentaram entre si, diferenças pronunciadas, a não ser média diária mais alta para a CB 40-69 na determinação efetuada em abril de 1958. A transpiração relativa da Co 419, determinada nessa mesma ocasião, ocupa uma posição intermediária entre as duas CB: a CB 40-69 foi a variedade cuja transpiração relativa se apresentou mais elevada, seguindo-se a Co 419 e CB 41-76.

A tabela 21 mostra, ainda, que as variações nas diversas épocas não foram, de modo geral, muito grandes. Na época seca, as médias diárias foram mais baixas do que na estação chuvosa (com exceção das determinações de fevereiro de 1959) e fim da mesma, o que pode ser explicado pela ligeira restrição r , andamento diário da transpiração. Em ambas as variedades, de fato, a partir do meio-dia, os valores de transpiração relativa foram sempre inferiores à média diária, estando os maiores no período entre 9 horas e meio-dia.

A tabela 20 (CB 41-76 e CB 40-69) apresenta as variações observadas no decorrer dos dias nas diferentes épocas. O decréscimo considerável da transpiração relativa em fevereiro de 1959, deve ter sido causado pelo vento. Dentre os possíveis efeitos do vento sobre a diminuição da transpiração relativa, podem ser destacados os seguintes: a — E' sabido que, em ambiente calmo, a evaporação através de um sistema de poros não se faz proporcionalmente à área das aberturas, mas ao diâmetro das mesmas, como foi calculado por

Stefan em 1881 e experimentalmente demonstrado por Brown e Escombe e outros, entre os quais Sierp, Seybold, Huber, van den Honert e Bangue (cf. 18, 23 e 34). Assim se explica o fato de que, embora a área das aberturas estomáticas de uma fôlha corresponda a uma pequena parte (1-3%) da superfície total (34), a transpiração total poderá chegar a 60-70% do valor da evaporação de igual superfície livre de água ou de um evaporímetro. No ar agitado (remoção das camadas de vapor d'água em difusão), porém, a evaporação através de um sistema de poros não mais será determinada pelo diâmetro dos mesmos, mas mais aproximadamente, pela área das aberturas (vide 23 ou 34). Assim, o aumento no valor da evaporação livre causado pelo vento (medidas efetuadas no evaporímetro), deverá ser muito maior que o aumento do valor da transpiração de uma fôlha de igual superfície total, mas de área transpirante efetiva muito menor (1-3%).

b — O fato já considerado no capítulo do andamento diário da transpiração de que, enquanto o evaporímetro permanecia desabrigado ao vento, as fôlhas eram pesadas em caixa de vidro aberta na face anterior.

c — As variações do grau de abertura estomática apresentadas pelas fôlhas expostas ao vento podem ter influído nos valores de transpiração (vide o capítulo referente ao andamento anual da transpiração).

Do que acabamos de expor, podemos salientar que na cana de açúcar, as variações nas diferentes épocas do ano foram pequenas e muito menores que as observadas no decorrer de um dia. Isto pode decorrer do fato de que a amplitude de variação da temperatura e da umidade relativa se apresente maior no decurso de um dia do que entre as médias diárias das diferentes épocas do ano. Por outro lado, tal comportamento mostra que as variedades de cana estudadas encontram-se, atualmente, em condições mesoiógicas favoráveis, sem necessidade de restrições sensíveis em todas as épocas consideradas. Em vegetais que vivem nos ambientes mais rigorosos, o comportamento transpiratório deverá ser muito diverso. Ferri (10), por exemplo, verificou que as plantas da Caatinga (Paulo Afonso), apresentavam nas duas épocas em que foram estudadas, diferenças consideráveis nos valores de transpiração relativa. Assim, em abril de 1952

(precipitação = 18,2 mm), *Spondias tuberosa* apresentou transpiração relativa igual a 10,6% e em janeiro de 1953 (precipitação = 2,9 mm), 0,5%. *Jatropha phyllacantha*, por sua vez, apresentou 18,8% em abril e 1,3% em janeiro. Essas diferenças bem marcantes da transpiração relativa demonstram uma regulação estomática da transpiração.

Como já assinalamos na parte da metodologia, os nossos valores de evaporação foram obtidos com o evaporímetro de Piche e não com um "Blatt-evaporimeter", usado pela maioria dos autores para a determinação da transpiração relativa. E' sabido que o tipo de evaporímetro influí nos valores absolutos de evaporação e consequentemente, nos da transpiração relativa. Dêsse modo, deixamos de estabelecer comparações com os dados de transpiração relativa determinados por outros autores, limitando-nos às 4 variedades de cana de açúcar, onde o método empregado foi sempre o mesmo.

ANDAMENTO ANUAL DA TRANSPираÇÃO

Os dados que compõem as curvas do andamento diário da transpiração, nas diferentes épocas do ano, podem ser reunidos para construção das curvas de andamento anual da transpiração. Tais curvas nos fornecem uma síntese do comportamento transpiratório das variedades consideradas, no decorrer do ano.

E' sabido que vários fatores influem no andamento anual da transpiração. Stocker (37) enumera, entre outros, o déficit de saturação do ar que age sobre a evaporação e consequentemente sobre o possível potencial da transpiração; a quantidade de água aproveitável do solo, como fator limitante do potencial absoluto da transpiração; a estrutura e a capacidade de reação fisiológica apresentadas pelo vegetal.

A variedade Co 290 (fig. 34), que em estudos periódicos do andamento diário da transpiração não demonstrou nenhuma restrição, apresenta uma curva anual concordante com a da evaporação.

Na variedade Co 419, a curva da transpiração também segue, em linhas gerais, a da evaporação (fig. 35). Mas, esta variedade apresentou, na época seca, uma redução nas suas fendas estomáticas,

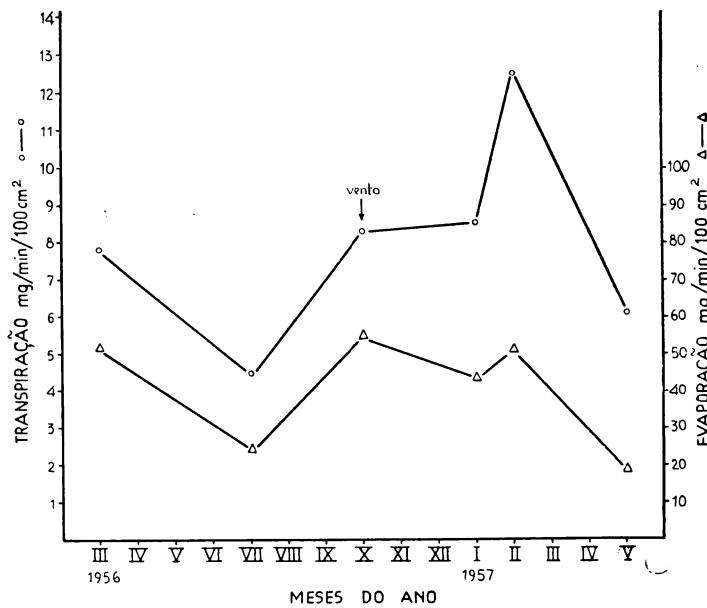


Fig. 34 — Co 290 — Andamento anual da transpiração e da evaporação.

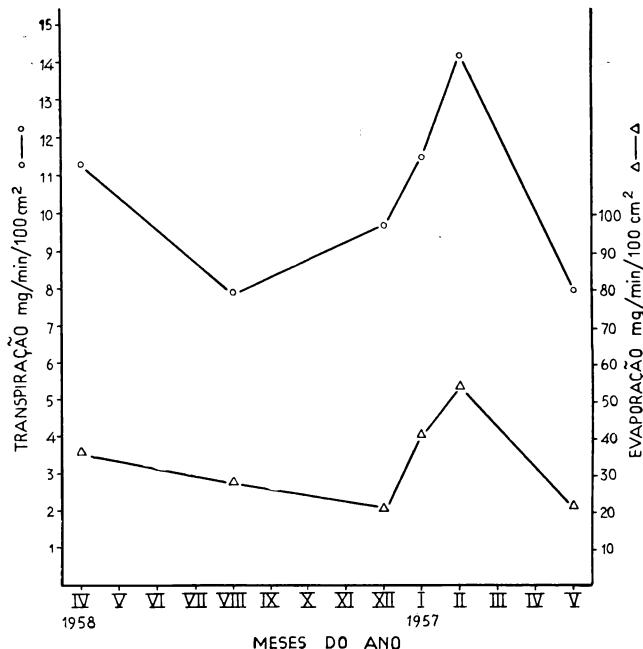


Fig. 35 — Co 419 — Andamento anual da transpiração e da evaporação.

o que deve ter sido a causa da maior queda na curva da transpiração anual, em relação à da evaporação, nessa época (ponto correspondente a agosto de 1958 na fig. 35).

A figura 36 mostra que a CB 41-76, em quase todas as estações, teve a transpiração moldada pelos fatores que agem sobre a evaporação. A restrição apresentada na época seca (fig. 27) não se fez evi-

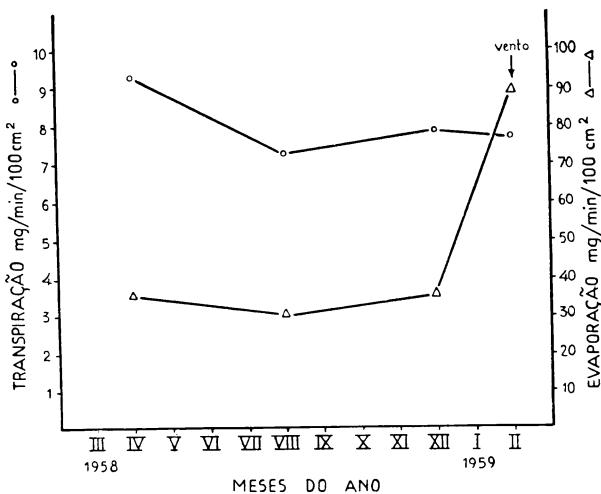


Fig. 36 — CB 41-76 — Andamento anual da transpiração e da evaporação.

dente, mesmo porque, nesta variedade, a variação dos valores da transpiração, no decorrer do ano, foi muito menor em relação à Co 419. No entanto, a queda causada pelo vento, na estação chuvosa, foi bem nítida.

A CB 40-69, tal como a Co 419, apresentou oscilações pronunciadas na grandeza da transpiração (fig. 37). Nas épocas favoráveis (abril e dezembro), os valores foram muito altos, ao passo que na estação seca se verificou uma grande depressão. Como na variedade CB 41-76, observou-se, na estação chuvosa, uma queda acentuada (vento). Segundo Stocker (37), dentro de certos limites, a influência do vento sobre a razão da transpiração em plantas com bom suprimento d'água, varia de acordo com as diversidades específicas.

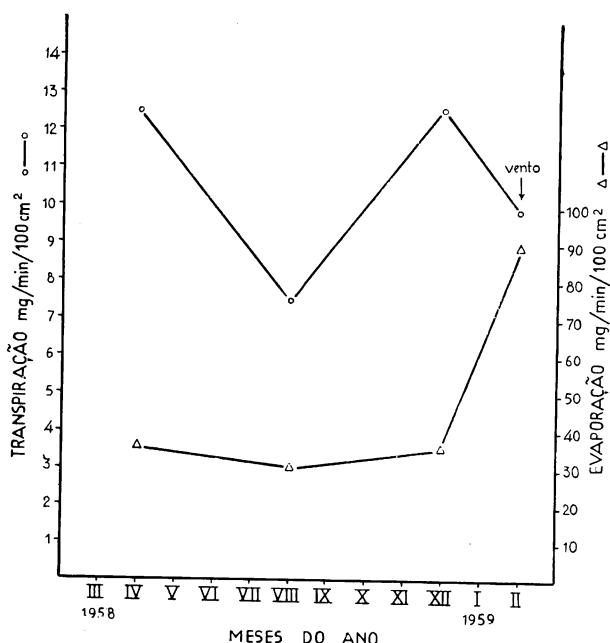


Fig. 37 — CB 40-69 — Andamento anual da transpiração e da evaporação.

Assim, de um lado, a transpiração pode aumentar, acompanhando a evaporação e, de outro, o efeito do vento pode se fazer notar em menor proporção (como no caso da Co 290 em outubro de 1956), ou ainda acarretar uma diminuição (caso das CB em fevereiro de 1959). Isto se deve, provavelmente, a diferentes graus de abertura estomática nas plantas. Wrenger (cf. 34) verificou haver uma estreita correlação entre a porcentagem de aumento da transpiração ao vento e o grau de abertura dos estômatos. Bange (cf. 34) igualmente, investigando a ação do vento sobre a transpiração, demonstrou que esta aumenta em proporção linear ao grau de abertura das fendas, exceto quando as aberturas estão extremamente reduzidas. Neste caso, as variações das aberturas se refletem, com maior intensidade, nos valores da transpiração.

E' interessante observar que o comportamento transpiratório anual da cana de açúcar difere bastante do apresentado pela banana (*Musa cavendishii*). Este vegetal, estudado por Morello (25) nas condições da cidade de São Paulo, apresentou transpiração mais

pronunciada na estação seca e menor no verão chuvoso, se bem que as diferenças não sejam grandes.

CONSUMO TOTAL ANUAL

A ordem de grandeza do consumo total de água, de uma área cultivada com cana de açúcar, pode ser avaliada, conhecendo-se a superfície foliar transpirante nela existente e a quantidade de água perdida por unidade de superfície.

O cálculo da superfície foliar de uma área cultivada com cana, obedeceu às seguintes operações. Foram colhidas 10 amostras da ponta de fôlhas, 10 do meio e 10 da base. Seus pesos e superfícies foram determinados (24, p. 539, tab. 7) e a partir dêstes, obtivemos o peso fresco médio para 100 cm² de superfície foliar. Em seguida, todas as fôlhas de uma área cultivada de 100m², foram cortadas e pesadas. Da relação entre o peso assim encontrado e o estabelecido para 100cm² da amostra, resultou a superfície foliar total da área considerada.

Essas determinações foram repetidas (5 vezes para a Co 290 e 4 para as demais) em diferentes idades e épocas do ano. Os resultados parciais, assim como as médias finais, estão representados nas respectivas tabelas (n.ºs 22, 23, 24 e 25).

De modo geral, o máximo de desenvolvimento foliar se verifica, nas variedades estudadas, entre 9 e 16 meses, com um visível declí-

TABELA 22
Relação entre peso fresco e superfície foliar
Co 290

Idade em meses	Peso fresco em mg/100cm ²	Peso das fôlhas de 100m ² de plantação em kg	Superfície foliar em m ² /100m ² de plantação
9	1 725	173,0	1 002,8
12	1 862	135,5	727,6
13	2 039	230,0	1 127,7
16	2 255	241,0	1 068,8
16	2 198	85,0	386,7*
Média	2 015	172,9	862,7

* Superfície foliar reduzida em virtude do ataque por lagartas.

nio após 18 meses. Aliás, nesse período, mesmo as canas tardias, atingiram, praticamente, o desenvolvimento conveniente ao corte.

A superfície transpirante média, de 100m² de plantação de Co 290 (tab. 22) foi de 862,7m², o que equivale a 8,6 vezes a área cultivada. A Co 419 (tab. 23), apresentou maior superfície: 920,6m². Das variedades brasileiras, a que alcançou desenvolvimento foliar superior às Co, foi a CB 40-69 com 957,2m² (tab. 25). A CB 41-76 com 901,1m² (tab. 24) não ultrapassou senão a Co 290.

TABELA 23
Relação entre peso fresco e superfície foliar
Co 419

Idade em meses	Peso fresco em mg/100cm ²	Peso das fôlhas de 100m ² de plantação em kg	Superfície foliar em m ² /100m ² de plantação
9	2 094	164,0	783,1
12	2 258	280,0	1 239,8
16	2 071	255,0	1 230,9
18	2 193	94,0	428,6
Média	2 154	198,2	920,6

Embora vários fatores como o tipo do solo, o clima, a idade, variedades, etc., interfiram no desenvolvimento foliar, nossos resultados, acima referidos, são da mesma ordem de grandeza dos encontrados por outros autores (cf. 6, pp. 29 e 31), por métodos diferentes.

Assim, os dados citados por van Dillewijn foram calculados da forma seguinte: uma fôlha bem desenvolvida possui, considerando-se

TABELA 24
Relação entre peso fresco e superfície foliar
CB 41-76

Idade em meses	Peso fresco em mg/100cm ²	Peso das fôlhas de 100m ² de plantação em kg	Superfície foliar em m ² /100m ² de plantação
9	1 886	101,2	536,5
12	1 890	152,5	806,8
13	1 879	330,0	1 756,2
18	2 185	110,4	505,2
Média	1 960	173,5	901,1

as duas faces, uma superfície aproximada de $0,10\text{m}^2$, o que leva um colmo, com 10 fôlhas em média, a apresentar uma área total de 1m^2 . Avaliando-se que num hectare de cultura são encontrados 70.000 colmos, a superfície transpirante total ocupará 700.000m^2 , isto é, 7 vezes a área cultivada considerada.

Os nossos resultados variaram de 8,6 a 9,5 vezes a superfície do solo, sendo o número de colmos presentes num hectare, de 75.000 a 80.000. As canas mais precoces (31) foram as que apresentaram maior superfície foliar: Co 419 e CB 40-69. Isto concorda com as determinações de Loh e Chen, realizadas em Formosa, com as variedades F 108 (Formosa), precoce e POJ 2883 (Proof-Station Ost-Java), tardia (cf. 6, p. 100).

Determinada a superfície média transpirante de 100m^2 de plantação, devemos verificar, a seguir, a quantidade de água por ela perdida.

Sabemos, através das determinações do andamento diário da transpiração realizadas em diversas épocas do ano, que a variedade Co 290, por exemplo, transpira em média $8,0\text{mg}/\text{min}/100\text{cm}^2$. No mesmo lapso de tempo, a superfície foliar de $862,7\text{m}^2$ (correspon-

TABELA 25
Relação entre peso fresco e superfície foliar
CB 40-69

Idade em meses	Peso fresco em mg/ 100cm^2	Peso das fôlhas de 100m^2 de plantação em kg	Superfície foliar em $\text{m}^2/100\text{m}^2$ de plantação
9	1 999	133,4	667,2
12	1 912	143,0	747,7
13	1 866	325,0	1 741,2
18	2 140	144,0	672,8
Média	1 979	186,3	957,2

dente a 100m^2 de área cultivada) perderá 690.160 mg. Se, no período de um ano, considerarmos 200 dias com 12 horas de transpiração e 150 dias com 10 horas (baseado no número de horas em que as fôlhas mostram infiltração positiva durante o dia), perfazendo um total de 3.900 horas ou 234.000 minutos (vide 24, p. 540)*,

* Os autores tecem considerações sobre o critério mais ou menos arbitrário dessa estimativa, levado a efeito por força das circunstâncias.

a mesma área acima mencionada terá um consumo anual de aproximadamente 1.600.000 litros. O valor de perda d'água, por hectare cultivado, será de 16.000.000 de litros por ano.

Da mesma forma avaliamos a ordem de grandeza do consumo anual das demais variedades. Na tabela 26 estão expostos os valores médios de transpiração, por unidade de superfície ($\text{mg}/\text{min}/100\text{cm}^2$), consumo anual em litros por hectare e, ainda, o equivalente à precipitação, em milímetros.

TABELA 26
Valores de transpiração de cana

Variedades	Transpiração $\text{mg}/\text{min}/100\text{cm}^2$	Transp. anual litros/hectare	Transp. anual mm
Co 290	8,0	16 000 000	1 600
Co 419	10,4	22 000 000	2 200
CB 41-76	8,0	16 000 000	1 600
CB 40-69	10,5	23 000 000	2 300

Queda pluviométrica anual da região em que os estudos foram efetuados: 1 400 mm

Em função direta dos valores de transpiração e do desenvolvimento foliar, a CB 40-69 e a Co 419, apresentaram maior consumo hídrico, com uma ligeira superioridade para a primeira. Além disso, a tabela nos indica, que a quantidade de água perdida por essas variedades ultrapassa de muito a queda pluviométrica anual da região (1.400 mm — média de 66 anos, obtida na Usina Ester, Cosmópolis). Mesmo as variedades CB 41-76 e Co 290, de consumo sensivelmente inferior à Co 419 e à CB 40-69, ainda superam a média da precipitação anual.

Para que possamos apreciar melhor a questão, apresentamos, a seguir, gráficos contendo alguns dados comparativos de transpiração e precipitação, obtidos no decorrer dos anos 1956 a 1959. Os valores da transpiração mensal que compõem os gráficos 38, 39, 40 e 41, traduzem as condições reais existentes numa plantação normal de

cana, nas diferentes épocas em que foram efetuadas as experiências. Assim, cada ponto da curva é o produto da transpiração diária apresentada por uma área cultivada (com determinada superfície foliar), pelo número de dias do mês correspondente.

A figura n.º 38 mostra que na variedade Co 290, apenas 2 das 6 determinações de transpiração se apresentaram inferiores às precipitações mensais correspondentes. Em julho de 1956, as chuvas foram relativamente abundantes (120 mm) para uma estação seca. E a transpiração, como conseqüência das condições de evaporação associadas à redução da superfície foliar (conseqüência do ataque por lagartas), apresentou-se mínima. Em janeiro de 1957, a transpiração alcançou apenas 55% da precipitação, cujo valor foi de 391 mm.

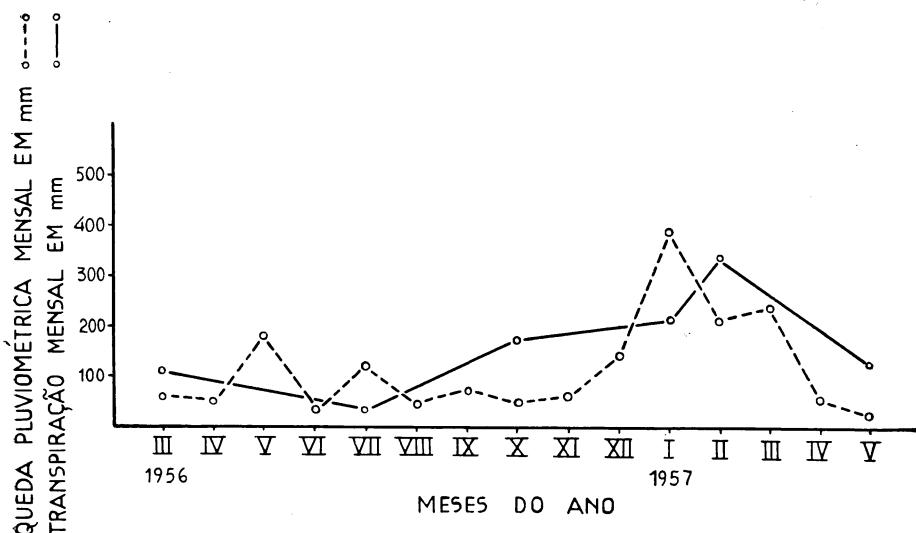


Fig. 38 — Co 290 — Curvas comparativas do consumo hídrico e pluviosidade mensal (dados obtidos na Usina Ester, Cosmópolis).

A transpiração de Co 419, suplantou de modo notável as precipitações nas várias épocas em que foram feitas as determinações, com exceção de janeiro de 1957 (fig. 39).

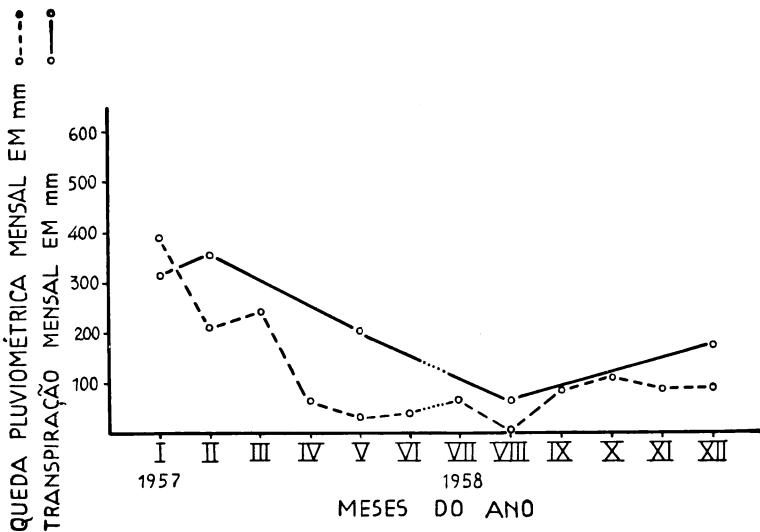


Fig. 39 — Co 419 — Curvas comparativas do consumo hídrico e pluviosidade mensal (dados obtidos na Usina Ester, Cosmópolis).

A CB 41-76, de consumo apenas superior à Co 290, mostrou, igualmente, excluída a estação chuvosa, um balanço negativo (fig. 40).

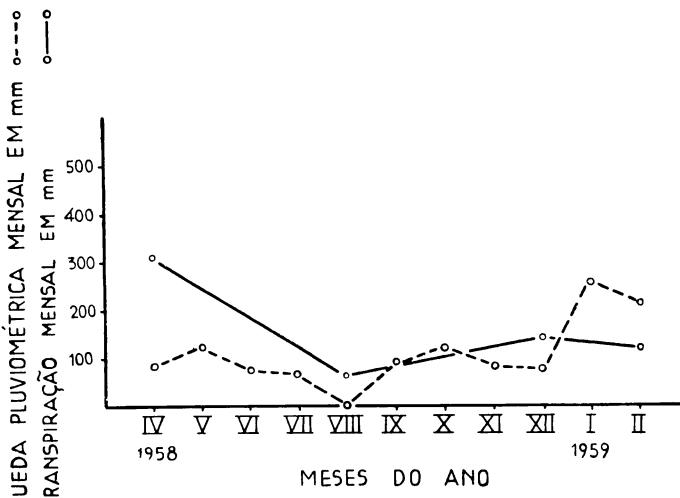


Fig. 40 — CB 41-76 — Curvas comparativas do consumo hídrico e pluviosidade mensal (dados obtidos na Usina Ester, Cosmópolis).

A CB 40-69, observadas as proporções devidas ao seu maior consumo, teve o mesmo comportamento da anterior (fig. 41).

Assim, podemos considerar que as precipitações locais foram suficientes para a cobertura da transpiração, sómente na estação chuvosa. Na estação seca, ainda que os valores de perda d'água fôssem reduzidos, o balanço d'água se apresentou francamente negativo. Nos demais meses do ano também predominou tal balanço negativo, o que se reflete, claramente, nos resultados gerais apresentados na tabela 26.

Casos semelhantes de vegetais com valores de transpiração superiores aos de precipitação local, são citados com relativa freqüência na literatura ecológica. Henrici, por exemplo, verificou que *Eucalyptus* (plantação velha) transpirava, anualmente, 1200 mm e *Acacia mollissima* (plantação velha), 2 500 mm, numa região (Pre-

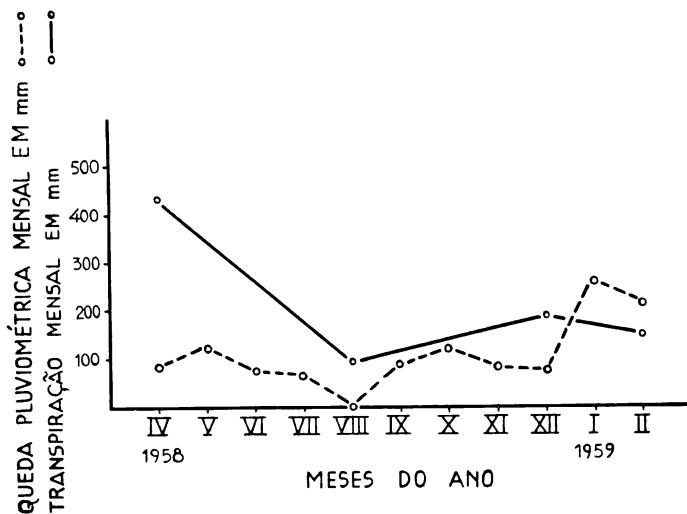


Fig. 41 — CB 40-69 — Curvas comparativas do consumo hídrico e pluviometria mensal (dados obtidos na Usina Ester, Cosmópolis).

toria) da África do Sul, onde a precipitação anual atingia apenas 760 mm (cf. Stocker, 37). Podemos mencionar ainda, os casos de *Eucalyptus saligna* (14 e 16) e *Cedrela fissilis* (39) que serão detalhadamente discutidos no fim do presente trabalho.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As dificuldades inerentes às pesquisas de campo, não nos permitiram a realização de experimentos nos moldes rigorosos de planejamento. No entanto, em trabalhos desta natureza, preferimos, sempre, os resultados obtidos em condições normais de campo, aos frutos de experiências efetuadas no ambiente confinado de um laboratório. Isto porque as plantas, quando desenvolvidas isoladamente numa área muito restrita, ou em estufas especiais, não apresentam, via de regra, do ponto de vista quantitativo, o mesmo comportamento das que integram associações naturais ou extensas áreas de cultura. Assim, os nossos resultados quantitativos encontrados em condições de campo, não alcançam grande precisão, mas nos permitem avaliar a ordem de grandeza dos fenômenos considerados *.

Feitas essas considerações, passaremos à apreciação geral dos resultados.

Veremos de início a relação existente entre o número de estômatos por unidade de superfície e a razão de transpiração. Kuijper constatou não haver, nas variedades por ele estudadas (cf. tabela 77, cit. in van Dillewijn, 6, p. 288), uma relação direta entre a densidade estomática e a razão de transpiração. Tal fato foi confirmado por Evans (cf. 6). Nas variedades por nós analisadas, a Co 290 e a CB 41-76 com maior número de estômatos, foram as que apresentaram transpiração menor. Esta situação se deve, possivelmente, ao fato de que, nessas variedades, as fendas estomáticas se mantenham mais reduzidas, apresentando como consequência, transpiração em nível inferior (menor transpiração relativa). Maximov (23) considera que não há uma relação constante entre a quantidade de água

* Análises estatísticas não foram realizadas, uma vez que os resultados foram obtidos em condições de uma cultura canavieira normal, onde, dificilmente, poderiam ser excluídas as interferências de numerosos fatores que fogem ao nosso controle. Podemos citar a propósito, as considerações de Franco e Inforzato (15): "os fatores que influem na quantidade de água transpirada, anualmente, por uma planta, em condições de cultura, são tantos e tão diversos, e as precipitações pluviométricas tão variáveis de ano para ano, que tornariam sem expressão prática os resultados de uma análise estatística rigorosa obtida com dados de um determinado ano".

perdida e o número de estômatos por unidade de superfície, mas sim, em relação ao comportamento dos mesmos. Stalfelt (34), igualmente atribui uma importância limitada ao número dos estômatos. Este apenas influiria na grandeza absoluta da transpiração, quando as fendas estomáticas apresentassem aberturas máximas, o que raramente ocorre. O autor (Stalfelt) admite que "Meistens greifen die Stomata regulierende ein, wobei sie gemäss der bestehenden Wasserbilanz nur teilweise geöffnet sind. Die Spaltzahl ist daher nur für die transpiratorische Wirkung der Veränderungen, nicht aber für die erreichte Grösse der Transpiration von Bedeutung". Mas isto não significa que as variedades com fendas estomáticas mais reduzidas devam fechar com maior rapidez os seus estômatos durante o processo hidroativo. Haja visto o caso de certas plantas da Caatinga (11), como *Jatropha phyllacantha*, *Maytenus rigida*, *Zizyphus joazeiro*. Estas plantas podem reduzir a transpiração de 50% dentro de 2-10 minutos, muito muito o fechamento hidroativo completo se efetue após 40-60 minutos. E segundo Stalfelt (34), "Die physiologische Regulierbarkeit der Transpiration ist auch von der Geschwindigkeit der Schliessbewegungen und dem Synchronismus der Stomata abhängig. Diese beiden Größen zeigen Schwankungen, die mit dem physiologischen Zustand der Pflanzen zusammenhängen. Infolgedessen kann der Regulator schneller oder langsamer eingreifen".

A rapidez do fechamento hidroativo nas canas não mostrou diferenças intervarietais muito grandes, a não ser Co 419 que se destacou um pouco pela rapidez das demais variedades estudadas. Por outro lado, um confronto com os resultados obtidos por diversos autores em diferentes vegetais, mas pelo mesmo método, nos mostra que cana de açúcar se classifica entre os de reação mais rápida. Por exemplo, Morello (25) verificou que em bananeira (*Musa cavendishii*), o fechamento estomático completo se efetua após 50-60 minutos de pesagem. Villaça e Ferri (39), obtiveram para *Eucalyptus tereticornis*, 30 minutos. Rawitscher (28) encontrou para café (*Coffea arabica*) 35 minutos, para *Cedrela fissilis*, 22-24 minutos e Rachid (27), para *Craniolaria integrifolia*, uma planta periódica do Cerrado, 10-15 minutos. As variedades estudadas de cana de açúcar apresentaram valores que oscilaram de 15 a 22 minutos.

Tal comparação pode ser feita, também, em relação à rapidez do movimento fotoativo. Se tomarmos novamente a bananeira (25), verificamos que seus estômatos levam cerca de 60 minutos para o fechamento completo e 50-58 minutos para a reabertura, isto é, quase o dobro do tempo exigido para o fechamento fotoativo dos estômatos de cana. O comportamento de cana de açúcar está mais próximo, por exemplo, do de *Spondias tuberosa*, uma planta da Caatinga estudada por Ferri e Labouriau (9), que aos 33 minutos de escurecimento fecha os estômatos e após 10 minutos de exposição à luz, já inicia o movimento de reabertura, completando-o aos 22 minutos. Rachid (27), igualmente, verificou que *Craniolaria integrifolia* fecha os estômatos após 30-40 minutos de escurecimento, mas os reabre após 26 minutos de exposição à luz. Em todos êsses dados notamos que a reabertura se processa em menor lapso de tempo do que o fechamento (talvez com exceção da bananeira em que os valores são muito próximos). E esta diferença, em cana, se apresenta com maior nitidez (30-40 minutos para o fechamento e 10 para a reabertura). Como já dissemos em páginas anteriores, a explicação desse fenômeno, pelo menos no momento, não é perfeitamente conhecida. Mas os resultados comprovam, sem dúvida alguma, que a cana de açúcar pode ser incluída entre os vegetais de estômatos mais sensíveis à hidro e foto-reação.

Quanto à transpiração cuticular, verificamos que a sua grandeza varia de acordo com o estado de saturação da folha em questão (vide 30 e 33). Em experiências efetuadas após o fechamento hidroativo dos estômatos, as variedades brasileiras apresentaram valores ligeiramente inferiores de transpiração cuticular. Mas em condições normais de suprimento d'água (medida efetuada após o fechamento fotoativo dos estômatos), as variedades indianas por nós estudadas perderam menos água através da cutícula.

No que diz respeito ao comportamento transpiratório e às exigências hídricas de cada uma das variedades, podemos associá-los ao grau de produtividade (vide as pesquisas de Segalla e Alvarez, 29, em várias Usinas do Estado de São Paulo).

Em nossas condições, a Co 290, apresentando um consumo mais reduzido, pode manter a transpiração nas diferentes épocas do ano, sem restringí-la. Por outro lado, a rapidez do fechamento hidroativo

dos estômatos faz-nos prever a sua capacidade de restrição em condições mais severas. Mas esta variedade, dominante em nossas culturas (80%) até 1950 (31), está sendo, atualmente, eliminada e substituída por outras de maior rendimento. A Co 419 é uma das introduzidas recentemente e, nos últimos anos, iniciou-se a cultura de numerosas variedades brasileiras, entre as quais estão a CB 40-69 e CB 41-76. Destas três variedades incluídas entre as mais recomendadas para o nosso Estado, pela produtividade (31), a última se destava, a nosso ver, pelo seu consumo hídrico mais baixo (comparável ao da Co 290), aliado à capacidade de restrição. A Co 419 e a CB 40-69, embora apresentem capacidade de restrição nas épocas mais secas, consomem, no decorrer do ano, maiores quantidades de água. Devemos salientar que, quando nos referimos à Co 290 e à CB 41-76 como variedades de baixo consumo, só o fazemos em relação à Co 419 e à CB 40-69, pois, se as confrontarmos, por exemplo, com as variedades estudadas por Kuijper (cf. 6), veremos que elas apresentam valores de transpiração dos mais elevados. Kuijper determinou a transpiração em colmos cortados e colocados em recipientes com água, cuja superfície era coberta com uma fina camada de óleo para evitar a evaporação. O consumo era estimado por pesagem do conjunto e o autor limitou as suas observações a períodos inferiores a 10 horas, pelo fato de que a condução, nessas condições, era perturbada e consequentemente, a transpiração se tornaria sub-normal. As oito variedades assim estudadas apresentam média de transpiração diária de 321 a 629 g por colmo (vide tabela 77 transcrita por van Dillewijn, 6, p. 288). Nossos resultados oscilaram de 570 g (Co 290 e CB 41-76) a 860 g (Co 419 e CB 40-69), por colmo, por dia. Estes valores foram obtidos, dividindo-se a média do consumo total diário apresentado por uma determinada área de cultura, pelo número de colmos aí encontrados. Uma comparação mais detalhada não será conveniente, uma vez que os métodos empregados, assim como as condições ambientes não são os mesmos.

Por outro lado, Krutman (20), no Estado de Pernambuco, utilizando o método de Kuijper, encontrou para as sete variedades seguintes, Co 419, Co 331, POJ 2887 e mais quatro IANE (Instituto Agronômico do Nordeste) recentemente criadas pela secção de genética do Instituto Agronômico do Nordeste, um consumo variável

entre 344 e 567 g por colmo. A autora verificou que as diferenças observadas entre as variedades não apresentavam significação estatística, embora tenha encontrado, na determinação da superfície foliar, diferenças significativas. Disso concluiu: "...os fatores extrínsecos revelaram-se mais importantes para transpiração que os intrínsecos". Mas, autores como Kamerling e Evans, entre outros (cf. 4 e 6), obtiveram evidências de que diferentes variedades apresentavam diferentes razões de transpiração. Realmente, diferenças varietais quanto ao consumo d'água existem e são notadas quando as medidas se efetuam em condições mesológicas idênticas. Em ambientes diversos, as variações causadas pelo meio, podem ou não superar as diferenças intervarietais. Assim, a Co 419 transpirou 860 g por colmo, por dia, em nossas condições e em Pernambuco, 507 g. Neste caso, supondo-se que os resultados sejam comparáveis, a variação causada pelo meio seria maior do que a devida às diferenças intervarietais, pois, a CB 41-76, por exemplo, transpirou cerca de 570 g (em Cosmópolis, São Paulo).

Quanto à relação existente entre a transpiração total e a precipitação, verificamos ser negativo o balanço anual em tôdas as variedades que estudamos. E as comparações estacionais mostraram que apenas no verão, as precipitações cobriram o consumo. A quantidade de água aproveitável, naturalmente, não está limitada às precipitações locais e momentâneas. Há que considerar lençóis subterrâneos alimentados pelo excedente das chuvas (de verão no nosso caso), ou ainda, procedente de regiões circunvizinhas. E esta deve ser a situação atual da cultura canaveira no Estado de São Paulo, uma vez que essa planta transpira, senão livremente, com mínimas restrições, durante todo o ano.

De qualquer modo, a cana de açúcar constitui uma das culturas de grande consumo hídrico. Isto pode ser observado na tabela 27 que reune os dados de consumo anual encontrados para algumas plantas no Estado de São Paulo em relação às precipitações locais: *Coffea arabica*, variedade Bourbon, sem (13) e com sombreamento de *Inga edulis* (15); *Eucalyptus saligna* (14 e 16); *Musa cavendishii* (25); *Cedrela fissilis* (39) e, finalmente, as variedades de cana aqui

TABELA 27
Consumo hídrico de diversas plantas cultivadas no Estado de São Paulo

Planta	Espaçamento em m	Consumo anual em m	Precipitação anual em m	Author
<i>Coffea arabica</i> , sem sombreamento	3,5 x 3,5	593	1 391 (Campinas)	C. M. Franco e R. Inforzato, 1950.
<i>Coffea arabica</i> , sombreada por <i>Inga edulis</i>		1 120	1 391 (Campinas)	C. M. Franco e R. Inforzato, 1951.
<i>Coffea</i>	3,5 x 3,5	476		
<i>Inga</i>	10,5 x 10,5	644		
<i>Eucalyptus saligna</i>	2,0 x 2,0	4 900	1 300 (Rio Claro)	C. M. Franco e R. Inforzato, 1950-52.
<i>Musa cavendishii</i>	3,5 x 3,5	479	1 327 (São Paulo)	J. Morello, 1953.
	2,0 x 2,0	1 496	2 425 (Santos)	
<i>Cedrela fissilis</i>	2,0 x 2,0	9 300	1 327 (São Paulo)	Villaça e Ferri, 1954.
Cana Co 290	espaço entre as fileiras	1 600	1 400 (Cosmópolis)	M. Meguro.
Co 419		2 200		
CB 41-76	± 1,40 m	1 600		
CB 40-69		2 300		

* Valor calculado por Villaça e Ferri, 1954, a partir dos dados de transpiração cuticular de Rawitscher e Ferri, 1942.

consideradas *. Podemos verificar que sómente cafeiro sem sombreamento e bananeira com espaçamento de 3,5 x 3,5, ou 2,0 x 2,0, em condições de litoral (Santos), apresentam um balanço positivo. Já o cafeiro sombreado com ingazeiro mostra valores que quase se igualam, e a bananeira, no espaçamento de 2,0 x 2,0 (excluído o caso do litoral), indica um pequeno déficit no balanço hídrico. *Eucalyptus saligna*, por sua vez, transpira aproximadamente 3 vezes a precipitação e mais do que o dóbro dos valores encontrados para as variedades Co 419 e CB 40-69. *Cedrela fissilis* supera, mais ou menos na mesma proporção anterior, o gasto de *Eucalyptus*. Naturalmente, tal valor, calculado a partir dos dados obtidos num exemplar isolado, deve decrescer em condições de competição entre os indivíduos (39).

Tendo em vista êsses fatos e a preservação do equilíbrio hídrico de uma determinada região, devemos ter, constantemente, a preocupação de escolher espécies ou variedades vegetais, cujo consumo d'água se apresente num nível compatível com as possibilidades da região, levando em conta o problema do rendimento e outros igualmente importantes como resistência às doenças e pragas. Aliás, Fernandes (8), no seu plano de trabalho, chama a atenção para a obtenção de "variedades xeromorfas", para que no nordeste (úmido), a cultura canavieira seja compatível com o rendimento e possa arcar com as necessidades de eventual irrigação. Aquêle autor ainda sugere a limitação da cultura "às áreas constituídas por várzeas irrigáveis e solos de boa capacidade", para resolver econômicamente os vários problemas, inclusive o de fertilizantes.

A nosso ver, para a produção e a seleção de novas variedades, devem ser considerados, não tanto os caracteres xeromorfos, mas, principalmente, os de natureza fisiológica, incorporando, entre nós, definitivamente, no rol da experimentação, o estudo do balanço d'água. Isto porque, os caracteres morfológicos podem ou não ser favoráveis como elementos de adaptação à seca (11 e 38). No moderno conceito do xerofitismo, atribui-se importância cada vez maior às adap-

* Para obter maiores informações sobre a grandeza da transpiração, não sómente em plantas de cultura, mas também em diversas associações vegetais, vide Stocker (37) no capítulo: Größenordnungen der Bestandtranspiration.

tações fisiológicas, pois, vegetais de regiões sêcas podem ou não apresentar xeromorfismo * (de natureza genotípica ou fenotípica). Por outro lado, certas plantas de cultura, quando submetidas à seca, apresentam caracteres xeromorfos (modificação fenotípica).

Lal e Mehrotra, em 1949 (21), realizaram estudos em cana de açúcar, no sentido de estabelecer uma relação entre os caracteres celulares (tamanho e número) e a capacidade de resistência à seca. Verificaram êsses autores que, de certa maneira, as dimensões das células epidérmicas e estomáticas permitem separar as variedades resistentes de cana (por exemplo, *Rheora*) das relativamente sensíveis à seca (por exemplo, *Co 213*). Embora vários autores tenham notado a ocorrência de baixos índices celulares em vegetais adaptados à seca, Lal e Mehrotra tomam uma atitude de cautela a êsse respeito, uma vez que as diferenças entre a maioria das variedades de cana não se apresentaram significativas: "It is difficult at this stage to ascertain to what extent such measurements of cell indexes would be of ecological significance in sugarcane". Salisbury (vide 21), em outras plantas de cultura, não encontrou relação significativa, particularmente, entre a freqüência estomática e certas funções fisiológicas tais como, transpiração e assimilação.

Entre as adaptações de natureza fisiológica à seca, podemos citar por exemplo, a capacidade de suportar o murchamento, o alto valor osmótico das células, alta viscosidade plasmática e eficiente reação estomática (vide 23, 38).

Stocker e Klein (38), estudando o andamento diário do movimento estomático em variedades resistentes e sensíveis de aveia, ambas submetidas às condições de seca, verificaram que as primeiras mostravam maior mobilidade estomática tanto à foto como à hidroreação. As variedades resistentes abriam os estômatos rapidamente durante a manhã, quando as condições de evaporação eram menos rigorosas e fechavam-nos logo que as condições se tornavam desfavoráveis.

* Os caracteres xeromorfos citados com maior freqüência são: superfície total limitada, sistema radicular desenvolvido, folhas pequenas e espessas com tendência à succulência, pêlos abundantes, enervação abundante, células epidérmicas fortemente cutinizadas, estômatos pequenos e numerosos situados em níveis inferiores às células epidérmicas, parênquima paliçádico desenvolvido, etc

Os comportamentos de plantas do Cerrado e da Caatinga estudados por Ferri (11), finalmente, vêm demonstrar que os elementos fisiológicos são de maior importância. As plantas da Caatinga, de condições muito mais rigorosas do que no Cerrado, possuem estômatos de rápida reação e podem regular a transpiração, fechando-os nas épocas desfavoráveis. Mas na grande maioria dessas plantas não são encontrados os elementos morfológicos de proteção, como acontece, com grande freqüência e variedade, nas plantas permanentes do Cerrado. Estas, por sua vez, não apresentam comportamento estomático tão eficiente como o encontrado em plantas da Caatinga.

AGRADECIMENTOS

Externamos aqui, o nosso grande aprêço e gratidão ao Professor Mário Guimarães Ferri que, com incansável dedicação, nos introduziu no campo da pesquisa botânica e orientou o presente trabalho.

Nosso reconhecimento às seguintes Instituições e pessoas que auxiliaram na realização dêste trabalho:

Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai que concedeu, através do convênio estabelecido com o Departamento de Botânica, uma bolsa no período — janeiro de 1956 a abril de 1957 e recursos para as viagens.

Rockefeller Foundation, à qual devemos a aquisição de numerosos aparelhos utilizados.

Da Usina Ester, Dr. Paulo Nogueira Neto que proporcionou tôdas as facilidades necessárias para a execução da parte experimental no campo; Dr. Luiz de Andrade Maia cujos auxílios e informações foram inestimáveis.

Dr. Karl Silberschmidt do Instituto Biológico pelas observações críticas do "Zuzammenfassung".

Srta. T. Denda pelo auxílio no trabalho de datilografia e revisão.

Do Departamento de Botânica, D. Maria Amélia Braga de Andrade que, gentilmente, nos acompanhou e auxiliou nas pesquisas de campo; igualmente à Dra. Berta Lange de Morretes; D. Else Graf

Kalmus pela versão do resumo em inglês e alemão, auxílio na redação e trabalho de datilografia; D. Maria José Guimarães que cobriu os gráficos a nankin; os funcionários do Departamento que direta ou indiretamente colaboraram para o bom andamento das experiências.

RESUMO

O presente trabalho estuda a transpiração de quatro variedades de cana de açúcar: Co 290, Co 419 (Clones Coimbatore — Índia); CB 41-76 e CB 40-69 (Campos — Brasil). Experiências no laboratório e no campo foram feitas só com a Co 290, sendo as demais estudadas apenas em condições normais de cultura, nos cañavais da Usina Ester, Cosmópolis, Estado de São Paulo.

O método empregado para as medidas de transpiração e para o estudo do movimento estomático foi o de pesagens rápidas, acompanhado por observações por infiltração com xilog.

O estudo anatômico da fôlha nada revelou de especial, quanto à estrutura fundamental, em confronto com as descrições já existentes, com exceção do número de estômatos.

Quanto ao comportamento estomático, tôdas as variedades estudadas demonstraram elevado grau de sensibilidade quanto às reações hidro e fotoativas. O fechamento hidroativo se processou em 15 minutos para a Co 419, 18 para a Co 290, 20 para a CB 40-69 e 21 para a CB 41-76. O fechamento fotoativo consumiu cerca de 30-40 minutos em tôdas as variedades, sendo a reabertura mais rápida: cerca de 10 minutos.

Os valores de transpiração cuticular estabelecidos após o fechamento hidroativo foram sempre inferiores (12,5-14,6% do valor inicial) aos obtidos após o fechamento fotoativo dos estômatos (24,7-31,6% do valor inicial), possivelmente em consequências da maior saturação das fôlhas.

O estudo do andamento diário da transpiração em diversas épocas do ano, demonstrou que a Co 290 não restringe a sua transpiração. As três outras variedades apresentaram uma ligeira restrição na época seca. As CB, quando expostas ao vento, apresentaram

apreciável queda nos valores de transpiração. O comportamento das quatro variedades, no decorrer do ano, foi sintetizado em curvas anuais de transpiração.

A transpiração relativa de CB 40-69 foi a mais alta, seguindo-se-lhe a Co 419, a CB 41-76 e a CO 290.

As oscilações encontradas nas diferentes épocas do ano mostraram-se inferiores às observadas no decorrer de um dia.

Foi, também, avaliada a ordem de grandeza do consumo anual apresentado por uma determinada área cultivada. Em função direta do desenvolvimento foliar e dos valores de transpiração por unidade de superfície, as variedades CB 40-69 e Co 419 mostraram maior consumo hídrico: 2 300 mm e 2 200 mm, respectivamente. As Co 290 e CB 41-76 gastaram 1 600 mm. Tôdas excederam a média da precipitação anual 1 400 mm) da região em que as medidas foram feitas. Dentre as quatro variedades, a CB 41-76 apresenta-se mais vantajosa, em vista do seu menor consumo hídrico e de sua boa produtividade.

O consumo hídrico anual da cana foi comparado ao de várias plantas, como *Coffea arabica* (sem ou com sombreamento de *Inga edulis*), *Eucalyptus saligna*, *Musa cavendishii* e *Cedrela fissilis*, verificando-se que cana se situa entre as culturas de maior consumo.

Salientou-se a necessidade de melhor conhecimento no que diz respeito ao consumo d'água, quando da escolha de espécies ou variedades vegetais destinadas a uma determinada região, para que o seu equilíbrio hídrico seja preservado.

SUMMARY

The present paper studies the transpiration of four varieties of sugar cane: Co 290, Co 419 (Coimbatore — India); CB 41-76 and CB 40-69 (Campos — Brazil).

Experiments were made under laboratory and field conditions with Co 290, whereas, with the others, all the experiments were carried out only under the conditions of a regular sugar cane plantation, belonging to the Usina Ester, Cosmópolis, State of São Paulo.

The methods employed for the transpiration measurements and the investigation of stomatal movements were rapid weighings with

a torsion balance (Junge-Heidelberg) and Molisch's infiltration method with xylol.

Anatomical studies of the leaves did not show anything special in the fundamental structure, that is not already described, except the number of stomata, which may change with varieties.

Concerning the stomatal behavior, all four varieties showed a great sensitivity both to water and light changes. The hydroactive movement of closure was performed within 15 minutes by Co 419, 18 by Co 290, 20 by CB 40-69 and 21 by CB 41-76, in average. The photoactive movement of closure occurs, for the four varieties, in 30-40 minutes of darkness, and the reopening takes place at about 10 minutes after exposure to light.

The values of cuticular transpiration measured after the hydroactive closure of the stomates, were, in all varieties, smaller than those obtained after the photoactive closure, probably as a result of differences in the saturation of the leaves.

The study of the daily course of transpiration, performed at the different seasons demonstrated that Co 290 does not restrict its water consumption. All other varieties presented a small restriction during the dry season. The two CB, when exposed to a high wind speed, showed an appreciable drop in their transpiration rates. The behavior of the four varieties studied, was synthetized in yearly transpirations curves.

CB 40-69 showed the highest relative transpiration values, followed by Co 419, CB 41-76 and Co 290. Oscillations during the different seasons of the year presented by all the varieties investigated, proved to be smaller than those shown in a single day.

The order of magnitude of the yearly water consumption of a certain cultivated area was calculated. CB 40-69 and Co 419 were the varieties that showed the highest consumption (2.300 and 2.200 mm respectively) as a function of foliar development and transpiration rates. Co 290 and CB 41-76 consumed 1.600 mm. All varieties exceeded the yearly rainfall of the region — 1.400 mm. From our point of view, CB 41-76, with a good productivity and a relatively small water consumption, seems, at the present time, to be the best among the four varieties.

The water consumption of other cultivated plants, such as *Coffea arabica* (without or with shading with *Inga edulis*), *Eucalyptus saligna*, *Musa cavendishii* and *Cedrela fissilis* was compared with that of sugar cane.

It was found that sugar cane stands among the plants with a high water requirement. Based upon the present data, attention was called to the necessity of a careful consideration of the water expenditure of the cultivated plants and of the water available in the region, so as to preserve the desirable equilibrium.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt das Ergebnis von Untersuchungen über die Transpiration von vier Zuckerrohr-Sorten: Co 290, Co 419 (Klon Coimbatore — Indien); CB 41-76 und CB 40-69 (Campos — Brasilien) dar.

Co 290 wurde unter Laboratoriums- und Freilandbedingungen untersucht, während die anderen Sorten ausschliesslich unter den auf einer normalen Rohrzuckerplantage herrschenden Bedingungen (in unserem Fall die "Usina Ester" in Cosmópolis, Staat São Paulo) beobachtet wurden.

Zur Transpirationsmessung und Untersuchung der Spaltöffnungsbewegungen verwendeten wir die Methoden der Schnellwägung auf einer Torsions-Waage (Jung, Heidelberg) und der Infiltration mit Xylol nach Molisch.

Die Untersuchungen der Blattanatomie bestätigten die Beobachtungen früherer Autoren hinsichtlich der Grundstruktur und zeigten auf Neue, dass die Zahl der Spaltöffnungen je nach der Sorte variieren kann.

Was das stomatäre Verhalten anbelangt, zeigten alle vier Sorten grosse Empfindlichkeit, sowohl Feuchtigkeits- als auch Lichtwechsel gegenüber. Die mittlere hydroaktive Schliessbewegung (von mindestens je 15 Experimenten) vollzog sich binnen 15 Minuten bei Co 419, binnen 18 Minuten bei Co 290, binnen 20 bei CB 49-69 und binnen 21 Minuten bei CB 41-76. Die photoaktive Schliessbewegung nahm bei den vier Sorten 30 bis 40 Minuten (berechnet vom Beginn

der Verdunkelung and) in Anspruch und die Wiederöffnung bei Lichtexposition beanspruchte fast 10 Minuten.

Die nach der hydroaktiven Schliessung der Stomata gemessenen kutikulären Transpirationswerte waren in allen Sorten niedriger als die nach der photoaktiven Schliessung erhaltenen, wahrscheinlich wegen des unterschiedlichen Sättigungsgrades der Blätter.

Der während der verschiedenen Jahreszeiten untersuchte Tagesgang der Transpiration zeigte, dass bei der Sorte Co 290 keine Einschränkung des Wasserverbrauches festzustellen ist. Alle anderen Sorten zeigten nur eine unbedeutende Einschränkung während der Trockenzeit. Beide CB Sorten erlitten, wenn grossen Windstärken ausgesetzt, eine ansehnliche Verminderung ihrer Transpirationswerte.

Das Verhalten der vier untersuchten Sorten wurde in Jahres-Transpirationskurven zusammengefasst.

In Bezug auf ihre relativen Transpirationswerte können die Sorten in die folgende absteigende Reihe gruppiert werden: CB 40-69, Co 419, CB 41-76 und Co 290. Die während der verschiedenen Zeitabschnitte des Jahres bei allen untersuchten Sorten festgestellten Schwankungen erwiesen sich kleiner als die im Tageslauf erwiesenen.

Bei der Berechnung der "Bestandtranspiration" (d. h. des jährlichen Wasserverbrauches einer bebauten Fläche), ergab sich, dass die Sorten CB 40-69 und Co 419 den höchsten Wasserverbrauch (2300 bzw. 2200 mm) aufwiesen. Die beiden restlichen Sorten (Co 290 und CB 41-76) zeichneten sich durch geringere Werte des Wasserverbrauches (1600 mm) aus. Die Berechnung dieser Werte stützt sich auf die Ergebnisse unserer Beobachtungen hinsichtlich der Blattoberflächenentwicklung und der Transpiration der betreffenden Sorte. Der Wasserverbrauch aller Sorten übertrifft den Wert des jährlichen Regenfalls der Region: 1400 mm. Von unserem Standpunkt aus betrachtet, scheint die Sorte CB 41-76 hinsichtlich ihres zufriedenstellenden Ertrages bei relativ bescheidenem Wasserverbrauch zur Zeit die günstigste zu sein.

Beim Vergleich des Wasserverbrauches des Zuckerrohres mit dem anderer Kulturpflanzen wie *Coffea arabica* (in Licht = und Schattenkultur, letztere durch Assoziation mit *Inga edulis*), *Eucalyptus saligna*, *Musa cavendishii* und *Cedrela fissilis* ergibt sich, dass das

Zuckerrohr zu den Pflanzen mit hohem Wasserverbrauch zu zählen ist.

Auf Grund der vorliegenden Befunde wird auf die Notwendigkeit hingewiesen bei der Auswahl von Nutzflächen für landwirtschaftliche Zwecke sorgfältig einerseits den em betreffenden Grundstück zufallenden Betrag an Wasser und andererseits den Wert des Wasserverbrauches der anzubauenden Planzen in Betracht zu ziehen, um eine Störung des Gleichgewichtes zwischen beiden Werten zu vermeiden.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — ANDERSON, N. E., C. H. HERTZ and H. RUFELT: A new fast recording hygrometer for plant transpiration measurements. *Physiologia Plantarum* 7 (4): 753-767. 1954.
- 2 — ARTSCHWAGER, E.: Anatomy of the vegetative organs of sugarcane. *Jour. Agric. Res.* XXX (3): 197-221. 1925.
- 3 — ARTSCHWAGER, E.: Morphology of the vegetative organs of sugarcane. *Jour. Agric. Res.* 60 (8): 503-549. 1940.
- 4 — BURR, G. O., C. E. HARTT, H. W. BRODIE, T. TANIMOTO, H. P. KORTSCHAK, D. TAKAHASHI, F. M. ASHTON and R. E. COLEMAN: The sugarcane plant. *Ann. Rev. of Plant Physiology*, 8: 275-308. 1957.
- 5 — COUTINHO, L. M. e M. G. FERRI: Transpiração de plantas permanentes do Cerrado na estação das chuvas. *Rev. Brasil. Biologia* 16 (4): 501-518. 1956.
- 6 — DILLEWIJN, C. van: Botany of sugarcane. The Chronica Botanica Co., Waltham, Mass., E.U.A., 1955.
- 7 — ECKARDT, F.: Méthodologie des échanges hydriques. (Publicação mimeografada). Unesco/ NS/ AZ/ 416. Paris, le 31 mars 1959.
- 8 — FERNANDES, C. S.: O regime hídrico do solo e a produção açucareira — Plano para o estudo do regime de umidade do solo e das qualidades xeromórficas das variedades de cana cultivadas no Nordeste Brasileiro. Bolet. da Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio. Est. de Pernambuco, 21 (1-2): 1-5, 1954.
- 9 — FERRI, M. G. and L. G. LABOURIAU: Water balance of plants from the Caatinga. I — Transpiration of some of the most frequent species of the Caatinga of Paulo Afonso (Bahia) in the rainy season. *Rev. Brasil. Biol.* 12 (3): 301-312. 1952.
- 10 — FERRI, M. G.: Water balance of plants from the "Caatinga" II — Further information on transpiration and stomatal behavior. *Rev. Bras. Biol.* 13 (3): 237-244. 1953.

- 11 — FERRI, M. G.: Contribuição ao conhecimento da ecologia do Cerrado e da Caatinga — Estudo comparativo da economia d'água de sua vegetação. Bol. Fac. Fil., Ciênc. Letr. 195 — Botânica n.º 12: 1-170. 1955.
- 12 — FERRI, M. G. and M. MEGURO: Photoactive movement of the stomata of sugarcane. Rev. Brasil. Biol. 17 (2): 223-226. 1957.
- 13 — FRANCO, C. M. e R. INFORZATO: Quantidade de água transpirada pelo cafeiro cultivado ao sol. Bragantia 10: 247-257. 1950.
- 14 — FRANCO, C. M. e R. INFORZATO: Transpiração de *Eucalyptus saligna*. Ciênc. e Cult. 2, 1. 1950.
- 15 — FRANCO, C. M. e R. INFORZATO: Quantidade de água transpirada pelo cafeiro sombreado e pelo ingazeiro. Bragantia 11: 121-125. 1951.
- 16 — FRANCO, C. M. e R. INFORZATO: Nota sôbre a transpiração de *Eucalyptus saligna*. Palestra mimeografada pelo Serv. Flor. do Estado — Secretaria da Agricultura de São Paulo, n.º 28. 1952.
- 17 — HEATH, O. V. S.: Light and carbon dioxide in stomatal movements. In W. RUHLAND — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. XVII: 415-464. Springer-Verlag. 1959.
- 18 — HUBER, B.: Die Evaporation. In W. RUHLAND — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 265-282. Springer-Verlag. 1956.
- 19 — KETELLAPER, H. J.: The mechanism of stomatal movement. Amer. Jour. of Botany 46 (3): 225-231. 1959.
- 20 — KRUTMAN, S.: Ensaio de transpiração em variedades de cana. Resumo apresentado na X Reunião anual da S. B. B. 1959.
- 21 — LAL, K. N. and O. N. MEHROTRA: Studies in crop physiology -cell-size characteristics of sugarcane varieties in relation to drought resistance. Bot. Gaz. 111: 193-210. 1949.
- 22 — LOFTFIELD, J. V.: The behavior of stomata. Carn. Institut. Washington. Publ. 314. 1921.
- 23 — MAXIMOV, N. A.: The plant in relation to water. Trad. R. YAPP. London. 1929.
- 24 — MEGURO, M. e M. G. FERRI: Economia d'água de cana de açúcar. An. Acad. Brasil. Ciên. Vol. 28, n.º 4: 523-543. 1956.
- 25 — MORELLO, J.: Transpiración y balance de água de la bananera en las condiciones de la ciudad de São Paulo. Bol. Fac. Fil., Ciênc. Letr. 1956 — Botânica n.º 10. 1953.
- 26 — OPPENHEIMER, H. R.: An experimental study on ecological relationships and water expences of Mediterranean forest vegetation. Palest. Journ. Bot. VIII (2): 103-124. Rehovot Ser. 1953.
- 27 — RACHID, M.: Transpiração e sistemas subterrâneos da vegetação de verão nos campos cerrados de Emas. Bol. Fac. Fil., Ciênc. Letr. LXXX — Botânica n.º 5. 1947.

- 28 — RAWITSCHER, F.: Problemas de Fitoecologia com considerações especiais sobre o Brasil meridional — 1a. parte. Bol. Fac. Fil., Ciên. Letr. XXVIII — Botânica n.^o 3. 1942.
- 29 — RAWITSCHER, F.: Beobachtungen zur Methodik der Transpirationsmessungen bei Pflanzen. Ber. Deutsch. Bot. Ges. Bd. LXVIII, Heft 8: 287-296. 1955.
- 30 — RAWITSCHER, F. e M. G. FERRI: Observações sobre a metodologia para o estudo da transpiração cuticular em plantas brasileiras, especialmente em *Cedrela fissilis*. Bol. Fac. Fil., Ciên. Letr. XXVIII — Botânica n.^o 3. 1942.
- 31 — SEGALLA, A. L. e R. ÁLVAREZ: Variedades de cana de açúcar II. Série de ensaios realizados em 1953-1956. Braganzia, 17: 45-80. 1958.
- 32 — STALFELT, M. G.: Der stomatäre Regulator der pflanzlichen Transpiration. Planta, 17: 22-85. 1932.
- 33 — STALFELT, M. G.: Die cuticuläre Transpiration. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 342-350. Springer-Verlag. 1956.
- 34 — STALFELT, M. G.: Die stomatäre Transpiration und die Physiologie der Spaltöffnungen. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 351-426. Springer-Verlag. 1956.
- 35 — STALFELT, M. G.: Sonstige Reizreaktionen der Spaltöffnungen. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. XVII: 564-471. Springer-Verlag. 1959.
- 36 — STOCKER, O.: Messmethoden der Transpiration. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 293-311. Springer-Verlag. 1956.
- 37 — STOCKER, O.: Die Abhängigkeit der Transpiration von den Umweltfaktoren. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 436-488. Springer-Verlag. 1956.
- 38 — STOCKER, O.: Die Dürresistenz. In W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. III: 696-734. Springer-Verlag. 1956.
- 39 — VILLAÇA, H. e M. G. FERRI: Transpiração de *Eucalptus tereticornis*. Bol. Fac. Fil., Ciên. Letr. 173 — Botânica n.^o 11. 1954.