

SEPARATA DE
BOLETINS DA FACULDADE DE FILOSOFIA, CIENCIAS E LETRAS
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Botânica N.º 3

(1)

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

OBSEVAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA PARA
O ESTUDO DA TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR
EM PLANTAS BRASILEIRAS, ESPECIALMENTE
EM CEDRELA FISSILIS.

por

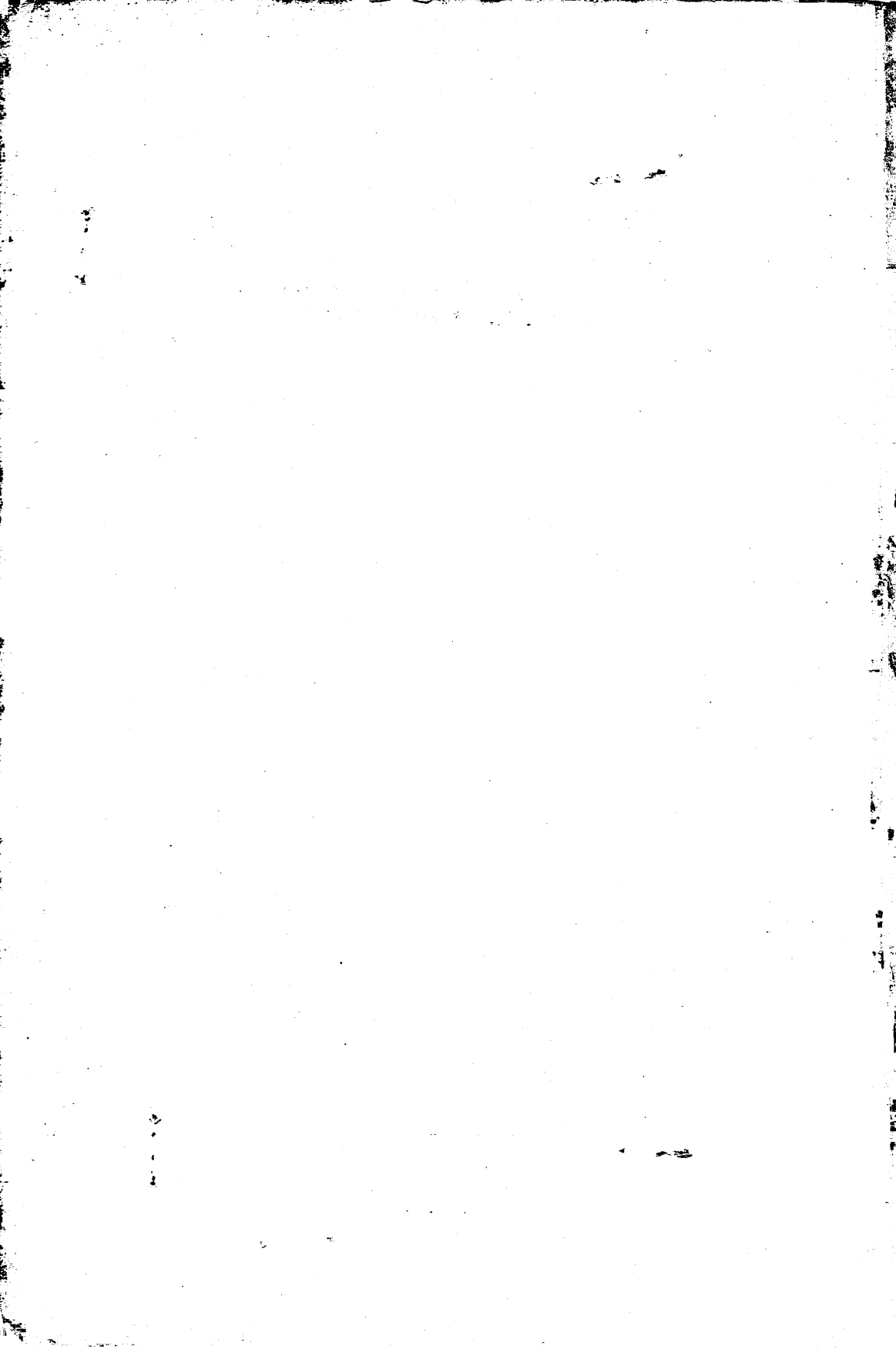
FELIX K. RAWITSCHER.

e

MARIO GUIMARÃES FERRI

ECOL. VEG.

1942



1

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

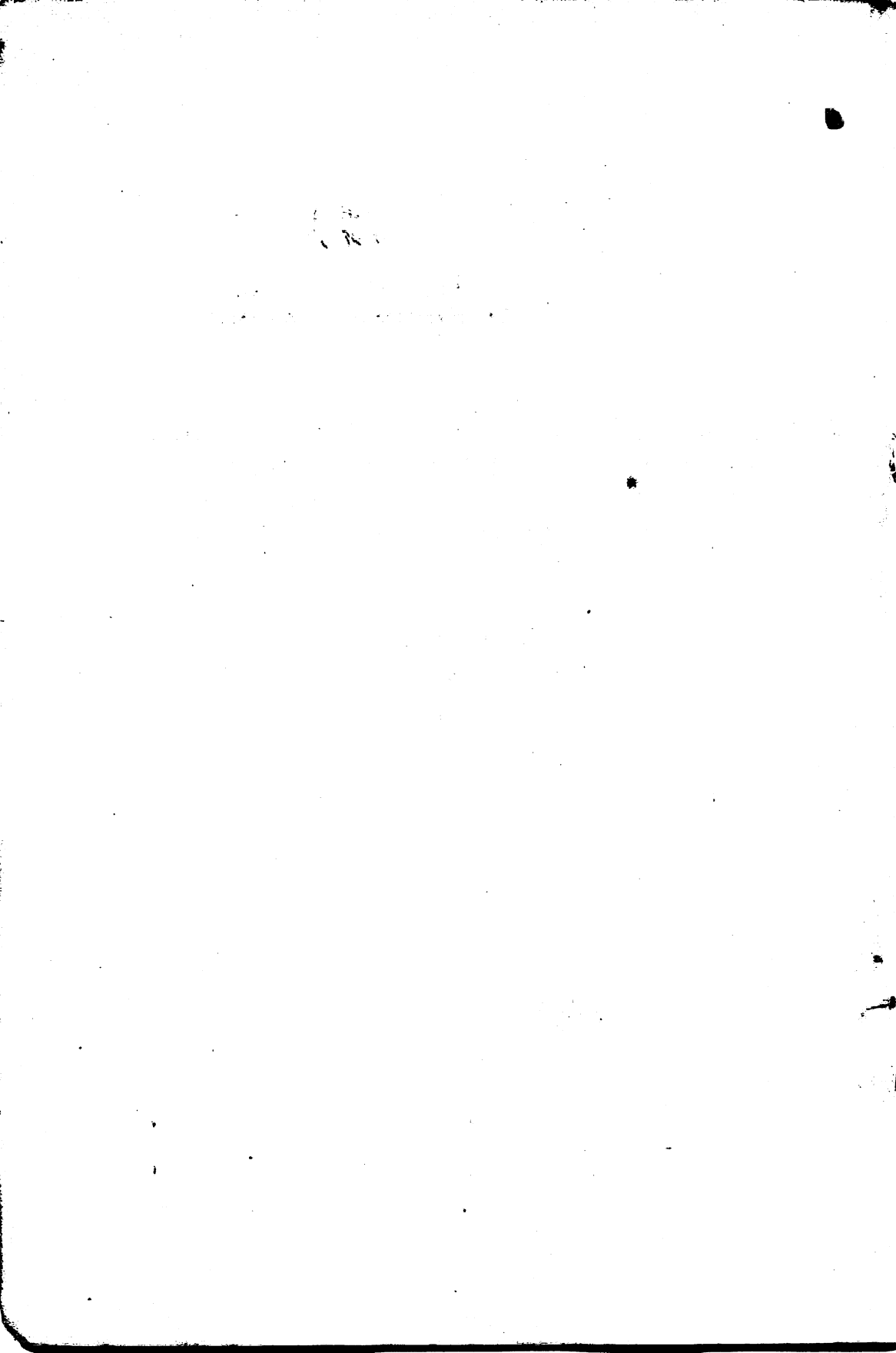
OBSERVAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA
PARA O ESTUDO DA TRANSPIRAÇÃO CU-
TICULAR EM PLANTAS BRASILEIRAS, ES-
PECIALMENTE EM CEDRELA FISSILIS

por

Felix K. Rawitscher

e

Mario Guimarães Ferri



INTRODUÇÃO

Como no Brasil a falta de água pode tornar-se um fator decisivo para a vegetação, o estudo do seu aproveitamento pelas plantas, torna-se tarefa de grande importancia para a Ecologia vegetal. Num trabalho anterior (10), já foi salientado o fato de ser muito grande a quantidade de água que passa, num dia, através de uma planta e o de que uma floresta pode transpirar um múltiplo da água que seria evaporada pela superfície livre de um lago que cobrisse a mesma area.

Tais dados são de grande importancia para a compreensão de todo o balanço d'água, numa região húmida, semi-árida ou árida. Deste balanço depende, não só a existencia ou não de um lençol subterraneo de água que alimenta poços e nascentes, como também, todo o desenvolvimento fisico e químico do solo.

Um estudo especial das relações da vegetação para com a água confronta-nos com dois problemas: 1.º saber como as plantas absorvem a água; 2.º como a consomem e quais os meios que possuem para controlar um excesso de transpiração. As páginas que se seguem ocupam-se com uma parte deste último problema.

Todos os mecanismos de que a planta dispõe para diminuir sua transpiração — caracteres xerofíticos esses — só vêm à tona quando a planta fecha seus estômatos. A Fisiologia moderna não se cansa de salientar que a transpiração reduzida não é um indicio de xerofitismo, quando uma planta dispõe de bastante água. Neste caso, as xerofitas, muitas vezes, transpiram mais do que as higrofitas. Só quando começa a escassear a água, as xerofitas fecham, como parece, seus estômatos, rápida e eficazmente. Depois disso, a transpiração restante, isto é, a cuticular, é pequena, mostrando-se, então, a eficiencia da cutícula, cera, pelos, etc.

A resistencia de uma planta contra a seca depende, pois, em primeira linha, da pequenez da transpiração cuticular, mas, também, da perda d'água porcentual que uma planta pode suportar sem morrer. Para compreendermos a nossa vegetação, será importante estudar a grandeza da redução de transpiração de que é capaz, como também a da perda d'água tolerada. A determinação deste último valor é facil, embora laboriosa: deixa-se que uma folha ou um ramo percam certa porcentagem d'água, secando-os e verifica-se se depois de novamente abastecidos vol-

tam a viver. A determinação do primeiro fator, da transpiração cuticular, encontra porém algumas dificuldades de método que neste pequeno trabalho devem ser elucidadas.

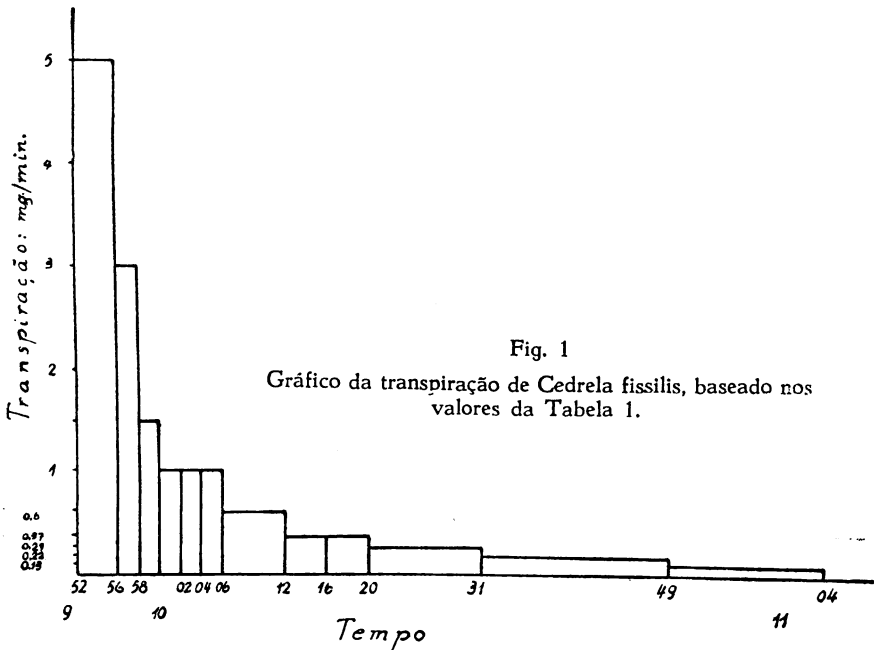
A Botânica contemporânea já dispõe de muitos dados sobre os valores muito pequenos de transpiração cuticular que certas plantas, especialmente xerofitas, apresentam. Estes dados, porém, tratam, geralmente, de plantas já em via de secar e que perderam uma boa porcentagem de sua água de saturação. Para julgar a eficácia do mecanismo estomatar, é preciso saber a que porcentagem as folhas podem reduzir sua transpiração, pelo simples fato de fecharem seus estômatos. Valores desta natureza, quasi não são apresentados nos livros e trabalhos contemporâneos, como os de Maximov (5), por ex. Na Fisiologia de Kostytschew (vol. II, pág. 156) lemos somente: a transpiração cuticular, na maioria das plantas, é de 4 a 20 vezes menor que a estomatar. Os valores indicados por Kamp (2) são da mesma ordem de grandeza, com exceção de *Laurus nobilis* cuja transpiração cuticular está para a transpiração total, na relação de 1 para 45. Stalfelt (13) indica para as folhas de *Betula*, tão modelarmente estudadas por ele, que a transpiração cuticular atinge 17% da evaporação livre. Como as suas folhas, com estômatos abertos, apresentam uma transpiração que corresponde a 65% da evaporação livre, chega-se a uma relação da transpiração cuticular para a estomatar, de 17/65, o que equivale a 25%. Pisek e Berger, na tabela que reproduzimos à pág. 124, indicam valores de transpiração cuticular muito menores. Eles não indicam valores da transpiração estomatar. Para as suas plantas, não erraremos, provavelmente, se supuzermos que esta, quando os estômatos estão bem abertos, pode atingir valores iguais aos encontrados por Stalfelt (13) e por nós (10), digamos de 60 a 65%. Neste caso, uma planta como as últimas da tabela 5, cuja transpiração cuticular acusa aproximadamente 1% da evaporação livre, baixaria, na transição da transpiração estomatar para a cuticular, a razão de perda da água, de 60-65 para 1. Veremos que os nossos estudos, feitos para elucidar esta relação, fornecem dados iguais.

DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO POR PESAGEM RÁPIDA

À primeira vista, a determinação da fração cuticular da transpiração parece simples, se partirmos de valores determinados de transpiração, obtidos com uma balança exata e rápida, como a de torsão. A tabela 1 e o gráfico que apresentamos (fig. 1) mostram-nos o comportamento de um folíolo de Cedro (*Cedrela fissilis*) cujo peso foi determinado imediatamente depois de colhido. Novamente pesado com intervalos determinados (o fo-

TABELA 1
 CEDRELA FISSILIS
 10-11-1942 — H. R. 58% — T. 24° C

Tempo	Peso (mg.)	Perda de agua mg/ min.
9 ⁵²	799	5
9 ⁵⁶	779	3
9 ⁵⁸	773	1,5
10 ⁰⁰	770	1
10 ⁰²	768	1
10 ⁰⁴	764	1
10 ⁰⁶	766	0,6
10 ¹²	760	0,37
10 ¹⁶	758,5	0,37
10 ²⁰	757	0,27
10 ³¹	754	0,22
10 ⁴⁹	750	0,13
11 ⁰⁴	748	



liolo fica pendurado na balança) mostra no inicio grandes valores de perda dagua, devido à transpiração estomatar. Logo porem, esses valores decrescem grandemente e depois de 20 minutos mais ou menos, o decréscimo quasi cessa; os valores que

agora encontramos, relativamente estaveis, são os da transpiração cuticular.

Não resta mais dúvida de que a curva do gráfico representa o fechamento dos estômatos, especialmente depois das pesquisas de Stafelt e tantos outros que o seguiram (literatura em Rawitscher, 10, e Pisek & Berger, 9). Em nosso laboratorio foram feitas inúmeras confirmações disso, em folhas cuja razão de transpiração foi determinada ao mesmo tempo que foi acompanhado o fechamento dos estômatos, no microscopio de iluminação vertical. Este microscopio, porem, não permite a constatação da fase final, isto é, do fechamento perfeito dos estômatos, porque neste estado a fenda se torna tão pequena que uma abertura mínima escaparia à observação. Certas plantas, como Cedrela, têm as fendas sempre tão estreitas que tornam inutil o uso do microscopio de iluminação vertical. Como, porem, estudos sobre transpiração cuticular dependem sempre da certeza do estado fechado dos estômatos, tivemos que estudar primeiro quais os métodos de informação que neste caso podemos empregar.

DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE FECHAMENTO DOS ESTÔMATOS

a) — Porômetro: no essencial, o porômetro consiste de um tubo vertical que por meio de vasos comunicantes é enchido de agua ou mercurio até um certo nivel. Fechando-se a abertura superior do tubo com uma folha e baixando-se o nivel do líquido no sistema comunicante, o nivel no tubo porométrico vai baixar, se a folha que o fecha deixa passar ar. O nivel do líquido vai deslocar-se com maior ou menor rapidez, segundo a viabilidade através da membrana. Os fisiologistas, muitas vezes, tiram conclusões desta rapidez, sobre o estado de abertura dos estômatos. Como, porem, a passagem de ar não depende só da abertura dos estômatos, mas tambem da resistencia dos espaços intercelulares (resistencia essa que varia com o volume destes espaços que por sua vez depende da maior ou menor turgescencia de toda a folha), tais conclusões devem ser consideradas com cautela (vide Nius, 8). De confiança, sem dúvida, são as indicações do porômetro, somente quando indicam zero, isto é, quando a folha fecha o tubo hermeticamente. Mas, isso tambem, só em folhas que com estômatos abertos mostram abaixamento do nivel.

Um folíolo de Cedrela, até com estômatos abertos não deixa entrar ar no porômetro. A razão é que tal folíolo se compõe de um sem número de espaços ou câmaras que ficam hermeticamente isoladas uma da outra. Este caso já foi encontrado em outras plantas por Neger (7) que chamou tais folhas de "hete-

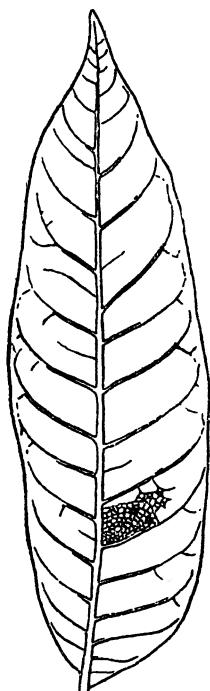


Fig. 2
Foliolo de *Cedrela fissilis*, visto pela face inferior. Entre duas nervuras a rede dos feixes foi indicada, mostrando três campos infiltrados (2/3 do tamanho natural).

robáricas". Explica-se pelo fato de que as nervuras finas que dividem o limbo, concrecem com as suas epidermes inferior e superior, tão intimamente, que, onde se encontram, não ha espaços intercelulares. A existencia de tais câmaras separadas pode ser evidenciada facilmente, injetando a folha com agua sob uma bomba aspiradora. Neste caso, podemos observar como se infiltram, uma depois da outra, as pequenas areas nitidamente limitadas por nervuras, como mostra a fig. 2.

b) — Infiltração: — como no porômetro não podemos ver se os estômatos estão fechados, recorreremos ao método de infiltração, método este cuja aplicabilidade foi estudada detalhadamente por Schorn (11). Empregando uma serie de 4 líquidos: xilol, benzol, eter de petroleo e parafina líquida, pudemos constatar, no estado mais aberto dos estômatos, uma infiltração só pelos dois primeiros. A infiltração no primeiro momento parece tambem faltar com benzol e xilol, devido à divisão do foliolo em pequenas areas isoladas. A gota que cobre uma certa area não pode entrar, pois o ar não pode sair. Infiltração só é possível na margem da gota, onde se encontram areas só parcialmente em contacto com o líquido. O ar pode então sair pelos estômatos não cobertos.

As figs. 3, 4 e 5 mostram os estômatos de *Cedrela* que nos parecem algo interessantes. São pequenos, limitados à superficie inferior do foliolo, onde existem em grande número. Como as partes da lâmina percorridas por nervuras não possuem estômatos — devido à falta já mencionada de comunicações intercelulares nestas zonas — a determinação exata do número de

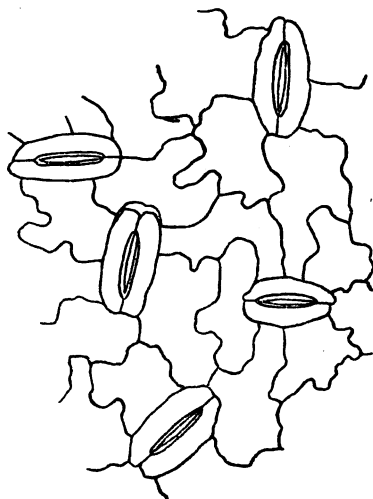


Fig. 3
Estômatos de *Cedrela fissilis*, vistos de cima, distribuidos na epiderme inferior.

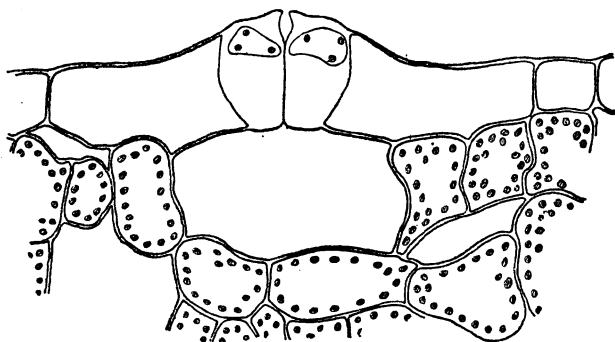


Fig. 4
Estômato de *Cedrela fissilis* em corte transversal passando pela região mediana.

mm.² (Ver Seybold, 12, Vol. V, pág. 126). E' verdade que o máximo conhecido, em *Elaeagnus Japonicus*, com 950 estômatos por mm.², é maior. O grande número é contrabalançado pela pequenez das fendas que nunca vimos mais abertas que 2μ no diâmetro menor e 12μ no maior. A fenda parece linear e a rapidez do fechamento dos estômatos se explicará, talvez, por este fato. No trabalho anterior já mencionamos esta rapidez. Esperamos poder dar mais detalhes sobre o funcionamento destes estômatos em outra ocasião. Aqui mencionamos só que lembram algo os das Gramineae e Cyperaceae: no corte long. (fig. 5 A) vê-se que nas duas extremidades o lume das células estomáticas é aumentado, faltando aí os reforços, de maneira que se poderia supor um funcionamento como o das Gramineae.

Em todo o caso é de se notar que estômatos com fendas tão estreitas deixam passar ainda líquidos como xilol e benzol, ao passo que geralmente vedam o caminho ao álcool e à parafina líquida. Quando se contraem, toda a infiltração para, já antes do fechamento perfeito. Para demonstrar isso, fizemos algumas pesagens com um folíolo de um par, ao passo que o outro, colhido no mesmo momento, foi submetido à in-

estômatos por mm.² encontra dificuldades. Tem os contagens que indicam uma média de 460 estômatos por mm.², outras que chegam até 620. Vê-se que se trata de números muito elevados, sendo indicado, geralmente, para as folhas, menos de 300 estômatos por

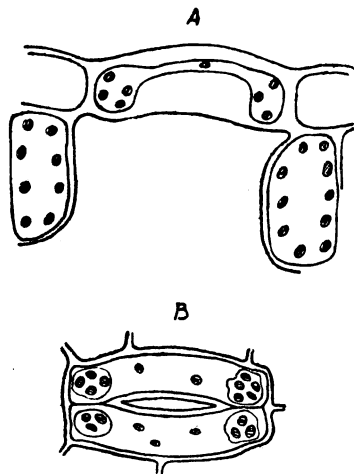


Fig. 5
Estômatos de *Cedrela fissilis*. Em A corte longitudinal de uma célula estomática mostrando o alargamento do lume nas extremidades; em B, um estômato visto de cima, mostrando maior número de cloroplastos nos extremos das duas células.

filtração de tempos em tempos. No último caso, contamos as áreas infiltradas nas margens de gotas que tiveram sempre mais ou menos o mesmo tamanho (Tabelas 2, 3 e 4). O número de pontos infiltrados não dá naturalmente resultados muito exatos, mas permite uma avaliação sumaria. De confiança, porem, é o momento em que não há mais infiltração alguma. Este momento é atingido quando a balança ainda indica valores que sem dúvida, estão acima da transpiração cuticular.

O resultado que aliás era de se esperar é que a infiltração, até mesmo com o líquido que mais facilmente se infiltra, deve parar antes do fechamento perfeito dos estômatos. Se o álcool e a parafina líquida nunca passam pelos estômatos, nem mesmo quando mais abertos, deve haver também para os líquidos mais humedecentes, uma certa abertura que não permita mais a passagem.

TABELA 2
CEDRELA FISSILIS
10-11-1942 — H. R. 58% — T. 24° C.

Pesagem			Infiltração do folíolo parceiro (Xilol)	
Tempo	Peso (mg.)	Perda d'agua mg/min.	Tempo	Pontos infiltrados
11 ⁴² ½	664,5		11 ⁴²	9
11 ⁴³ ½	660	4,5		
11 ⁴⁴ ½	657	3		
11 ⁴⁵ ½	654,5	2,5	11 ⁴⁵	6
11 ⁴⁷	651,5	2		
11 ⁴⁸	649	2,5		
11 ⁴⁹	648	1	11 ⁴⁸ ½	4
11 ⁵¹	646	1		
11 ⁵³	644,5	0,75	11 ⁵²	1
11 ⁵⁵	643	0,75	11 ⁵⁴	0

TABELA 3
CEDRELA FISSILIS
10-11-1942 — H. R. 58% — T. 24° C.

Pesagem			Infiltração do foliolo parceiro (Xilol)	
Tempo	Peso (mg.)	Perda dagua mg/min.	Tempo	Pontos infiltrados
10 ⁴²	395	2	10 ⁴³	18
10 ⁴⁵	389	1,16	10 ⁴⁶	7
10 ⁴⁸	385,5	0,6	10 ⁴⁹	4
10 ⁵¹	383,5	0,5	10 ⁵²	2
10 ⁵⁴	382	0,5	10 ⁵⁵	1
11 ⁰⁰	379	0,3	10 ⁵⁸	0
11 ⁰⁵	377,5			

TABELA 4
CEDRELA FISSILIS
10-11-1942 — H. R. 58% — T. 24° C.

Pesagem			Infiltração do foliolo parceiro (Benzol)	
Tempo	Peso (mg.)	Perda dagua mg/min.	Tempo	Pontos infiltrados
11 ⁵⁹	624	3,75	12 ⁰⁰	9
12 ⁰¹	616,5	2,6	12 ⁰²	6
12 ^{03 1/2}	610	1,2	12 ⁰⁴	4
12 ⁰⁶	607	1	12 ⁰⁷	1
12 ⁰⁸	605	0,75	12 ⁰⁹	0
12 ¹⁰	603,5	0,8		
12 ¹³	601			

Como todos os métodos indicados ¹⁾ não nos informam, no caso difícil da *Cedrela*, sobre o fechamento perfeito dos estômatos, temos só a balança: quando esta indica o fim do abaixamento rápido da razão de transpiração, quando começam os valores quasi constantes, podemos então contar só com a transpiração cuticular. Pisek e Berger (9) também julgaram este o critério mais seguro. Estes valores serão por isso a base de todas as comparações ulteriores.

A TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR EM RELAÇÃO COM A EVAPORAÇÃO — T/E

Surgem, porem, outras dificuldades quando se trata de estabelecer valores comparaveis. Se quisermos comparar a transpiração cuticular das folhas de uma planta com a das folhas de outra, temos que examina-las em condições iguais. A transpiração cuticular, como qualquer evaporação, é uma função da "força de evaporação" do ar ambiente. Já foi lembrado (10) que esta força de evaporação da atmosfera é muito difícil de avaliar. Supostas iguais a humidade relativa e a temperatura, o vento ou qualquer agitação do ar e a irradiação solar promovem, no sistema, alterações difíceis de controlar.

Aparelhos para medição da evaporação, como os atmômetros e evaporímetros de Piche e de Livingston, afastam só uma parte das dificuldades. A cor e a forma das folhas bem como a posição em que são penduradas durante e entre as pesagens influem grandemente. Por isso o único sistema de referencia que dará valores comparaveis é o que foi introduzido por Kamp e consiste em moldes de folhas, cortados em papel mata-borrão verde, saturados de agua. Estes são pendurados exatamente na mesma posição que as folhas em estudo.

Determinando a transpiração de uma folha e, ao mesmo tempo, a evaporação da superficie saturada do molde, chegamos à relação da transpiração (T) para com a evaporação (E). A fração T/E geralmente será constante para condições bem amplas e permitirá a comparação das especies entre si. Tais valores já foram determinados para plantas europeas, tendo sido calculados por Pisek e Berger (9) em pequena escala.

¹⁾ — O método de Lloyd — fixação rápida dos estômatos em alcool — nem sempre dá valores exatos (Vide Schorn, 11). Em casos de observação difícil, como em *Cedrela*, não se recomenda.

TABELA 5
 Transpiração relativa — T/Ē. (seg. Pisek e Berger, 9)

	T/E sendo E a evaporação do Evaporimetro de Piche	T/E sendo E a evaporação do molde de folha
<i>Pulmonaria officinalis</i>	0,081	0,086
<i>Coronilla varia</i>	0,061	0,038
<i>Sedum maximum</i>	0,056	0,050
<i>Stachys recta</i>	0,042	0,026
<i>Convolvulus arvensis</i>	0,039	0,033
<i>Rhododendron ferrugineum</i> ..	0,020	0,013
<i>Oxalis acetosella</i>	0,017	0,014
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	0,014	0,0088

TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR EM DEPENDENCIA DO ESTADO DE SATURAÇÃO DA CUTÍCULA

Chegamos assim a um principio que nos permite estabelecer series comparativas de plantas com maior ou menor proteção cuticular. Antes de empregar tais valores convem, entretanto, notar que ainda não são válidos para todas as condições. A transpiração cuticular depende do estado de saturação da folha (vide tambem Kamp, 2). Mesmo a cutícula mais bem protegida por impregnação de substancias graxas deixa escapar agua por duas razões: 1.º as gorduras dissolvem uma pequena parte de agua que assim pode passar; 2.º ficam sempre intersticios microcapilares que se enchem de agua, através dos quais se dá uma evaporação.

Se a folha não estiver saturada, estas quantidades dagua vão ser retidas com forças relativamente grandes que se opõem à evaporação. Na folha saturada haverá relativa abundancia dagua nas camadas externas da cutícula que evapora então com mais facilidade.

FECHAMENTO NOTURNO DOS ESTÔMATOS

Quando nossos dados indicam perfeito fechamento dos estômatos, a transpiração cuticular que resta é de uma folha cuja cutícula já não está saturada de agua. Em geral, quando se trata de determinar a resistencia das plantas contra a seca, só estes valores serão de importancia.

Quizemos, porem, encontrar alguns valores sobre transpiração da cutícula no estado saturado. Pensamos primeiro em fazer uma destas determinações durante a noite, quando é de se supor que os estômatos estejam fechados. Nossas observações mostraram porem que os estômatos de Cedro não estão perfeitamente fechados à noite e os valores na balança foram altos a principio, mostrando rápido decréscimo e a infiltração com xilol deu valores positivos (Tab. 6). O mesmo fato foi verificado em outras observações em horas mais adiantadas (22 1/2 horas). Isto deve ser ressaltado, porque a opinião geral é que à noite os estômatos de plantas terrestres geralmente estão fechados. Wenzl (14) confirmou este fato até em plantas aquáticas e de brejo, citando como exceção apenas folhas muito novas com estômatos sempre fechados e folhas moribundas que não mais podem fecha-los.

TABELA 6
CEDRELA FISSILIS
10-11-1942 — H. R. 68% — T. 21° C.

Tempo	Peso (mg.)	Perda dagua mg/min.
20 ¹⁰	398	1
20 ¹¹	397	0,5
20 ¹⁵	395	0,5
20 ²⁰	392,5	0,5
20 ²⁵	390	0,44
20 ³⁴	386	0,5
20 ⁴⁰ (x)	383	0,307
20 ⁵³	379	

Infiltração com xilol, no foliolo parceiro, positiva até o tempo marcado com (x).

FECHAMENTO DOS ESTÔMATOS POR VASELINA

Para folhas que apresentam estômatos só no lado inferior, as "hypostomaticas", temos mais um método muito empregado que consiste em revestir a face inferior com vaselina. Esta, como já mostrou F. Darwin (1), fecha os estômatos perfeitamente, impedindo tambem quasi toda a transpiração cuticular.

Uma folha assim tratada deveria mostrar transpiração cuticular só do lado livre, superior. Este seria um primeiro valor observado com certeza.

Fazendo-se tais observações deve-se notar porem que até através da vaselina pode evaporar uma certa quantidade de agua, que, embora pequena, não deve ser desprezada. Kamp (2, pág. 416) encontrou, em certas condições, 1 mg. por 100 cms² por hora. A explicação é que a vaselina pode dissolver e conter certa quantidade de agua que então pode passar. A vaselina com a qual cobrimos a folha forma uma camada que, em certos lugares, será mais fina que em outros. Tudo isso vai influir na quantidade de vapor desprendido.

Para conhecer melhor os valores de que se poderia tratar, fizemos algumas experiencias orientadoras. Para estudar folhas em diversos estados de saturação, revestimos algumas, de *Coffea arabica* — aliás de ambos os lados — com vaselina; algumas estavam tão secas que já mostravam sinais de murchamento; outras foram utilizadas em estado fresco, imediatamente depois de colhidas; uma terceira serie foi revestida de vaselina ainda na planta, de modo que, quando as folhas foram colhidas, podia-se contar com um estado mais ou menos saturado.

TABELA 7
COFFEA ARABICA

Evaporação através da vaselina: mg/min./100 cms. ²					
Folhas muito novas 26/31-12-1942			Folhas adultas 26/31-12-1942		
H. R. entre 62 e 67%	1	0,0105	0,0022	1	H. R. entre 62 e 76%
	2	0,0243	0,0132	2	
T. entre 23 e 25° C	3	0,0741	0,0240	3	T entre 23 e 26° C

1 — folha revestida com vaselina, ambos os lados, depois de murcha
2 — folha revestida com vaselina, ambos os lados, imediatamente depois de colhida
3 — folha revestida com vaselina, ambos os lados, ainda na planta.

Vê-se que em geral os valores nas folhas novas são maiores que nas adultas. Provavelmente o contacto da vaselina, com a cuticula ainda delicada das primeiras, facilita a passagem da gua

da folha para a vaselina. O que nos interessa aqui, porem, é o fato de que a folha mais saturada, em ambos os casos, evapora nitidamente mais através da vaselina. Transformados os valores por hora, nas folhas adultas, saturadas, chegaríamos a dados comparáveis aos de Kamp (2), ao passo que nas folhas muito novas poderíamos alcançar até o quádruplo desses valores. Damos a seguir uma das diversas observações feitas em Cedrela. Usamos propositadamente folíolos muito saturados de água. Quando colocados na câmara húmida, com o pecíolo nua, estes se enchem tanto de água que uma parte dos espaços intercelulares fica infiltrada. Cobertos os folíolos com vaselina de ambos os lados, mostram um decréscimo bem nitido da evaporação.

TABELA 8
CEDRELA FISSILIS
Folíolo revestido com vaselina de ambos os lados
20/21-11-1942

Humidade relativa e Temperatura	Tempo	Peso (mg.)	Perda de água mg/min.
H. R. 78% T. 21,3° C	16 ⁰⁶	879	0,25
	16 ¹⁶	876,5	
	16 ²⁶	875,5	0,1
	17 ³⁵	872	0,051
H. R. 76% T. 21° C	8 ⁵²	832	0,043

E' de se notar que as folhas, assim tratadas, perdem muito pouca água no total, ficando até o fim da experiência muito perto da saturação. Os folíolos de Cedrela, no começo da experiência, estavam sempre saturados ou muito próximos desse estado.

O decréscimo da transpiração através da vaselina deve ser atribuído ao "incipient drying" das camadas cuticulares que assim deixam escapar menos água para a vaselina.

TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR DAS FACES SUPERIOR E INFERIOR

As experiências que se seguem, feitas com o fim de determinar a transpiração cuticular, foram sempre acompanhadas de outras, de controle, que acusam o valor da transpiração através da vaselina, valor este que sempre deve entrar no cálculo.

Determinamos assim a transpiração cuticular da face superior, mas também a da inferior, de folíolos de Cedrela. A transpiração cuticular do lado superior foi determinada por ex. numa experiência concomitante com a da tabela 8. O folíolo parceiro do apresentado em 8 é o da tabela 9, cujos valores são os seguintes:

TABELA 9
CEDRELA FISSILIS
Folíolo revestido com vaselina do lado inferior
20/21-11-1942

Humidade relativa e Temperatura	Tempo	Peso (mg)	Perda d'agua mg/min.	Perda d'agua do lado vase- linado (x)	Transpir. cutic. superior
T. 21,3° C H. R. 78%	16 ⁰³	845,5	0,3	0,125	0,175
	16 ¹³	842,5	0,18	0,05	0,13
	16 ²⁷	840	0,16	0,025	0,135
	17 ⁰¹	834,5	0,12	—	—
	17 ³⁴	830,5	0,105	0,021	0,083
H. R. 76% T. 21° C	8 ⁵⁴	734			

(x) — Valores calculados de acordo com os da última coluna da Tabela 8.

A transpiração cuticular no começo deve ser considerada como a maior possível, tratando-se de um folíolo saturado até a infiltração. O valor inicial não é muito maior do que o da tabela 8. Isto quer dizer que o estagio na câmara húmida revestiu a vaselina e a cutícula não vaselinada de uma camada d'agua que evaporou nos primeiros 10 minutos, em ambos os casos com rapidez mais ou menos igual. Um cálculo exato daria para a transpiração cuticular da superficie um primeiro valor de 0,175 mg/min. Como mais tarde vamos calcular os valores T/E, indicamos já que o molde do folíolo da tabela 9 evaporou, entre 16³⁵ horas e 16⁴⁵ horas, 6 mg/min., o que dá para uma só face uma evpaoração de 3 mg/min. Disto se calcula um valor T/E de 0,06 ou 6% para a cutícula bem saturada, ao passo que no fim da experiencia T/E é 1,4%. E' interessante saber se a transpiração cuticular do lado inferior dará valores comparaveis ou não. Valores maiores seriam de se esperar, se a cutícula deste lado deixasse passar mais agua ou se o fechamento dos estômatos não fosse perfeito.

Experiências em que foram cobertos com vaselina ambos os lados, só o superior ou só o lado inferior, deram os valores das tabelas 10 e 11.

TABELA 10

CEDRELA FISSILIS

27-10-1942 — H. R. 66% — T. 19,5°C 28-10-1942 — H. R. 77% — T. 19° C

Tempo	Peso (mg)	Perda da água das 2 faces mg/min.	Perda p/ 100 cms ² mg/min.	Perda da metade vaselin. mg/min.	Perda da metade livre mg/min.	
10 ³⁰ 9 ⁰⁰	777 755	0,016	0,020	0,010	—	face superior vaselinada face inferior vaselinada
10 ³⁰ 9 ⁰⁰	715 631	0,062	0,080	0,010	0,070	face superior livre face inferior vaselinada
10 ³⁰ 9 ⁰⁰	619 563	0,041	0,061	0,051	0,010	face inferior livre face superior vaselinada
10 ³⁰ 9 ⁰⁰	589 478	0,082	0,114	—	0,057	face superior livre face inferior livre

Vê-se que o lado superior e o inferior não diferem grandemente. Das tabelas escolhidas, uma mostra transpiração cuticular um pouco maior do lado superior, outra, do lado inferior. Em folhas cortadas, logo, os estômatos fecham perfeitamente, de modo que o lado inferior conserva só a transpiração cuticular e esta por si só é comparável com a transpiração cuticular do lado superior. As diferenças relativamente pequenas não nos devem surpreender. As experiências foram realizadas na primavera, quando o Cedro está com folhas novas. Experiências ainda não publicadas de M. Rachid, que amavelmente nos autorizou a mencioná-las, mostram que com o progresso da estação os folíolos do Cedro evidenciam uma transpiração cuticular cada vez maior, fato já constatado para outros casos. Sem dúvida, a cutícula sofre, por quaisquer influências mecânicas, danos que vão influenciar provavelmente primeiro a

TABELA 11

CEDRELA FISSILIS

28-10-1942 — H. R. 77% — T. 19° C 29-10-1942 — H. R. 66% — T. 18° C

Tem- pº	Peso (mg)	Perda d'agua das 2 faces mg/min.	Perda p/ 100 cms.² mg/min.	Perda da metade vaselin. mg/min.	Perda da metade livre mg/min.	
10 ²⁴ 8 ⁴⁶	1.331 1.292	0,029	0,023	0,0115	—	face superior vaselinada face inferior vaselinada
10 ²⁴ 8 ⁴⁶	1.315 1.160	0,115	0,092	0,0115	0,0805	face superior livre face inferior vaselinada
10 ²⁴ 8 ⁴⁶	1.212 1.029	0,136	0,108	0,0115	0,0965	face inferior livre face superior vaselinada
10 ²⁴ 8 ⁴⁶	1.073 809	0,196	0,156	—	0,078	face superior livre face inferior livre

face superior mais exposta. Assim nunca chegaremos a uma comparação perfeita das transpirações superior e inferior e se salientamos a perfeição do fechamento dos estômatos, temos sempre que admitir a possibilidade de que, numa comparação em condições perfeitamente iguais, o lado com os estômatos terá uma pequena inferioridade de proteção. Deve-se admitir também que, com o progresso da idade, cada lesão do lado inferior pode ter consequências relativamente importantes, caso impossibilite o funcionamento de um grupo de estômatos ¹⁾.

Finalmente, não se deve extranhar que os valores somados da transpiração do lado inferior e superior ultrapassem um pouco os da folha toda, livre de vaselina. Tais observações são também conhecidas na literatura e são geralmente atribuídas ao fato de que quando a folha é protegida de um lado, fica mais saturada e transpira mais do outro, não protegido. Esta inter-

¹⁾ — Talvez isso constitua uma das vantagens das folhas com câmaras aéreas separadas, que limitariam as consequências de cada lesão à câmara machucada.

pretação é confirmada pelas nossas constatações das tabelas 10 e 11.

Só com o conhecimento das dificuldades de método que acabamos de tratar, podemos tentar determinar valores relativos sobre a transpiração em relação à força evaporativa do ambiente. Vimos que a transpiração cuticular depende não só das forças de evaporação do ambiente, como também do estado interno da folha. Este também deve ser considerado na determinação de T/E .

Como já dissemos, será muito importante, para fins ecológicos, saber a grandeza deste quociente nas condições em que normalmente a cutícula desempenha seu papel protetor. Este momento chega, quando, por escassez da substituição de água, a planta fecha os estômatos, fechamento este chamado "hydro-activo" pelos autores. A tabela 12 apresenta um folíolo que às 15 horas, na árvore, estava com os estômatos quasi fechados.

TABELA 12
CEDRELA FISSILIS
21-10-1942 — H. R. 50% — T. 24° C

Tempo	Peso (mg.)	Perda dagua mg/min.
15 ⁰⁶	599	0,6
15 ⁰⁹	597	0,6
15 ¹⁴	594	0,23
15 ⁵²	585	0,18
16 ²⁴	579	0,17
17 ²⁷	568	

O peso saturado determinado no fim da experiencia deu 619 mg., o peso seco 167 mg., a superficie 74,94 cms², resultando da duplicação do valor da superficie de um lado. A superficie não entra em nossos cálculos porque o molde de comparação, mencionado mais tarde, tem superficie e forma iguais. Vê-se que o peso saturado do folíolo abrangia 452 mg. de agua. O peso "fresco", isto é, imediatamente depois que foi colhido o folíolo, acusa 20 mg. menos de agua, o que significa que este estava quasi saturado, observação essa mais ou menos geral no nosso Cedro, nas condições normais de São Paulo. Desde 15⁵², a transpiração acusa valores quasi constantes — em redor de 0,2. A evaporação do molde foi determinada à mesma hora e na mesma mesa

do laboratorio, onde durante varias horas da tarde as condições permaneceram mais ou menos constantes (H. R. 50%, T. 24° C). A evaporação foi de 21,3 mg. por minuto. T/E então é 0,01 ou seja a transpiração é 1% da evaporação. Este valor difere bastante do encontrado na pág. 128, para uma cutícula muito saturada de agua, onde T/E era igual a 6%. No estado seco da cutícula os valores variam em redor de 1%, o maior valor observado tendo sido de 1,6% aproximadamente.

Isso é interessante. Num trabalho anterior tinhamos constatado que, com estômatos abertos, a transpiração estomatar atinge e até ultrapassa 70% da evaporação livre, valor este que deve ser aumentado pela transpiração cuticular. Em pouco tempo (vide pág. 117) o folíolo pode fechar os estômatos, diminuindo assim sua transpiração de 70 para 1, ou seja uma redução percentual de 100 para 1,5.

Se compararmos os nossos valores com os de Pisek e Berger (9), citados na pág. 124, veremos que se aproximam dos das plantas que gozam da melhor proteção, embora o folíolo de Cedrela não possua caracteres de uma folha xerofítica. Sua estrutura interna parece-se com a da faia (*Fagus silvatica*) sempre representada nos livros, embora seja consideravelmente mais robusta. A cutícula não é espessa; os estômatos não são mergulhados; cera e pelos faltam. Tambem os autores europeus salientam que folhas aparentemente muito delicadas têm uma transpiração cuticular muito reduzida, lembrando especialmente *Oxalis Acetosella*. O estudo de tais folhas será interessante tambem para nós, pois aqui não faltam folhas aparentemente delicadas em lugares bem expostos, como muitas *Oxalis* e especialmente varias Leguminosas.

* * *

Terminamos esta apresentação com um pequeno cálculo provisório. O Cedro apresentado na fig. 6 entra no seu 6.º ano de vida, tendo uma altura de aproximadamente 6 metros. Possui 350 folhas com uma média de 45 folíolos. Tomando-se como superficie media de um folíolo 70 cms.², teremos, como superficie total dos folíolos 110,25 ms.². A superficie de terra coberta pela árvore pode ser calculada em 8 ms.². A folhagem é tão densa que à projeção de um folíolo no solo correspondem mais ou menos 7 folíolos que se estendem acima desta superficie. Como media da transpiração cuticular total de um folíolo supomos 0,147 mg/min. — valor medio de todas as nossas observações.

Para saber se podemos transferir nossos valores de laboratorio para a árvore que fica fóra, a uma distancia de 20 ms., fizemos uma serie de determinações, comparando folíolos pendurados

na árvore com folíolos que ficaram no laboratório. Durante 24 horas as diferenças foram insignificantes.

Assim, teremos como transpiração cuticular de todos os folíolos 2,332 Kg. por dia. Isto significa que, em 24 horas, passam através da cutícula do Cedro por nós estudado aproximadamente 2,5 litros d'agua.

Como sabemos, com a idade das folhas a transpiração cuticular cresce, mas supondo até o duplo valor da transpiração cuticular, chegaríamos a 5 litros por dia. Para substituir esta perda, seriam suficientes precipitações que trouxessem 0,6 mm. de chuva por dia ou seja 18 mm. por mês. O mês, mais seco nas estações do interior do Estado de São Paulo tem em media precipitações deste valor, das quais porem uma boa parte evapora na folhagem antes de chegar ao solo.

O fato de que o Cedro se protege contra a seca pela perda das folhas no outono não deve ser atribuido a esta falta de agua, ao menos num clima como o de São Paulo. As florestas até no interior do estado contêm muitas essencias com folhas delicadas e não caducas, em cuja sombra não faltam até os fetos arborescentes. O abastecimento de todos, na época seca, se faz mediante a agua armazenada em camadas não muito profundas da terra, agua esta proveniente das chuvas de verão.



Fig. 6
Cedrela fissilis: o exemplar estudado.

RESUMO

A determinação da transpiração cuticular encontra varias dificuldades, tratando-se em primeiro lugar de excluir qualquer possibilidade de transpiração estomatar. Este trabalho trata dos métodos que podem ser usados. Como planta de estudo serviu *Cedrela fissilis*.

Tratando-se de folhas heterobáricas, o porômetro não pode ser empregado para indicar o fechamento perfeito dos estômatos.

Ao microscopio de iluminação vertical não pode ser observado o fechamento perfeito dos estômatos, em virtude da estreiteza das fendas mesmo no estado aberto. Pela mesma razão falha o método de infiltração.

O fechamento dos estômatos durante a noite é incompleto.

Valores de transpiração cuticular podem ser obtidos quando a balança de torsão acusa decréscimo da transpiração até valores relativamente constantes; isso porem se refere a folhas com um certo deficit de saturação.

Valores em estado saturado foram obtidos com o método de vaselina. Para isso torna-se necessario determinar a transpiração através da vaselina, que em folhas saturadas tambem toma valores que devem ser considerados (tabelas 7 e 8).

Usando, para comparação com a evaporação, o molde de folha (*Blattevaporimeter*) a razão da transpiração cuticular, T/E, é de 0,01 ou 1% no estado de fechamento "hydroactivo", valor este que concorda com os valores menores observados de igual maneira por Pisek e Berger (9) em plantas européas.

Como a transpiração estomatar atinge e até ultrapassa o máximo de 70% da evaporação livre (10), podemos deduzir que em cerca de 1 hora — espaço de tempo necessario para o completo fechamento dos estômatos — *Cedrela fissilis* pode reduzir sua transpiração de 70 para 1, isto é, para 1,5% aproximadamente de sua transpiração anterior.

Um cálculo provisorio indica a razão da transpiração cuticular, no espaço de um dia, para a árvore apresentada na fig. 6. Esta árvore cobre uma superficie de 8 ms.² aproximadamente. A superficie total dos folíolos é de 110,25 ms.² (contadas ambas as faces); desta maneira, à area de projeção de um folíolo no solo corresponderiam 7 folíolos superpostos na árvore. Restringindo-se à evaporação cuticular, a árvore desprende tanta agua quanta corresponde a uma precipitação de 0,6 mm. por dia ou 18 mm. por mês.

S U M M A R Y

To determine cuticular transpiration the main difficulty is to exclude any possibility of stomatal transpiration. This paper deals with the methods that can be used. The plant studied was principally *Cedrela fissilis*.

As *Cedrela* has heterobaric leaves the porometer gives no indication at all.

The microscope with vertical illumination is not reliable in the determination of the full closure of stomata and moreover in *Cedrela fissilis* does not allow observations due to the very small aperture of the stomata even when entirely open. The method of infiltration fails for the same reason.

On the other hand the stomata do not close completely during the night.

Reliable values are obtained when, following the decrease of the transpiration rate, the torsion balance begins to show comparatively constant values; in this case however the leaves have a certain saturation deficit.

Data on the cuticular transpiration rates in saturated leaves are obtained by means of the vaseline coating method. In this case the evaporation rate across the vaseline layer has to be considered; these values should not be underestimated in the case of saturated leaves (tables 7, 8).

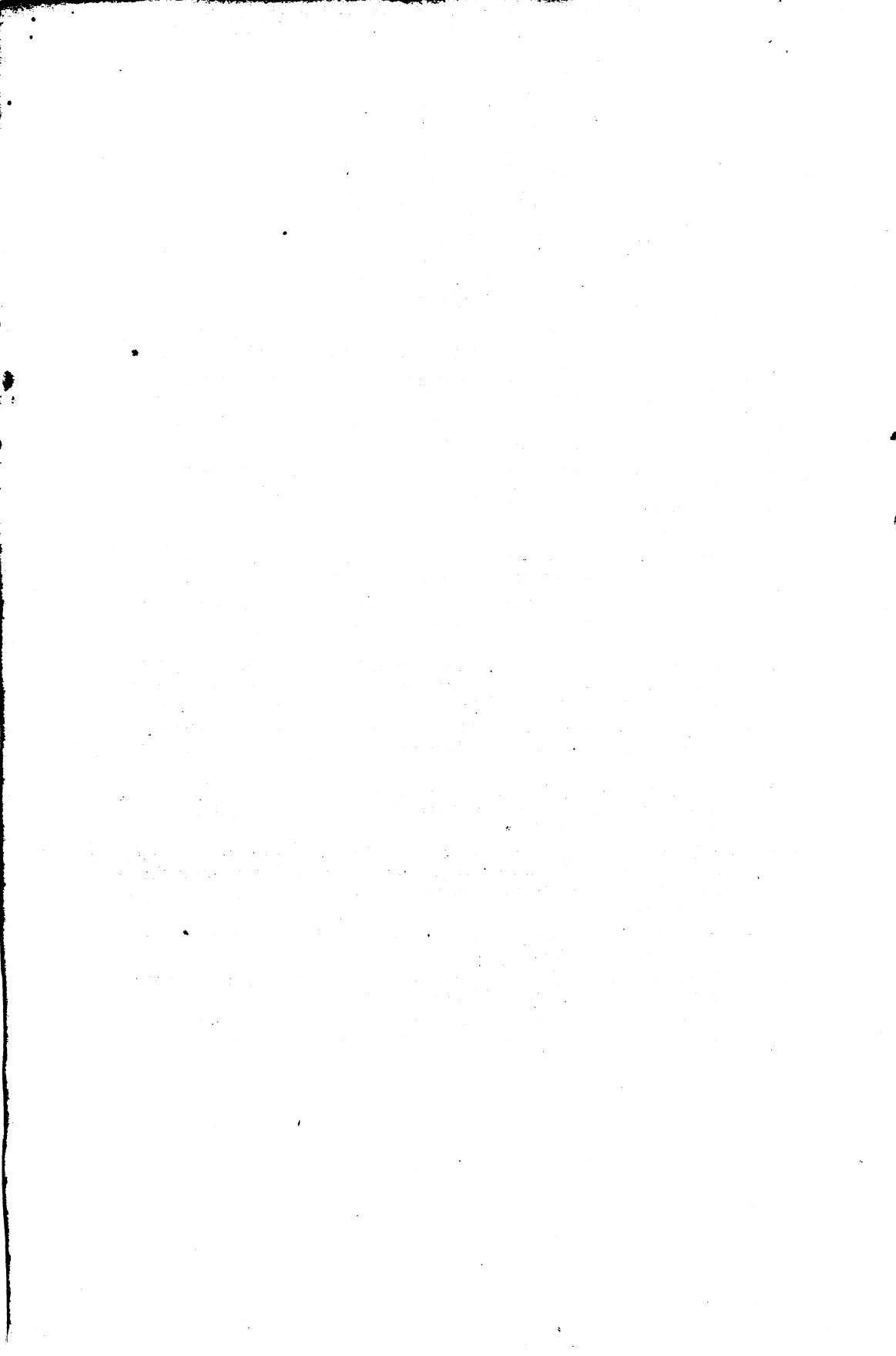
To compare transpiration with free evaporation we used leaf molds made of green blotting paper (Blatt-evaporimeter). The cuticular transpiration rate, T/E was 1/100 or 1%, in the case of hydroactive closing, in accordance with the smaller values obtained by Pisek & Berger for european plants.

As stomatal transpiration reaches and does even exceed the maximum of 70% of free evaporation (10), we can state that in about an hour — i.e. the time during which the stomata complete a full closure — the decrease in the transpiration rate for *Cedrela fissilis* is from 70 to 1 or about from 100 to 1.5.

We made a provisional estimation of the cuticular transpiration rate during one day for the plant presented in fig. 6. This plant covers an area of about 8 ms.². The total area covered by the leaves is of 110,25 ms.² (including both surfaces). In this way, for each leaf projected on the ground we should have 7 superposed leaves on the tree. Limited to cuticular transpiration only, the tree would loose an amount of water corresponding to a precipitation of 0,6 mm. a day or 18 mm. during one month.

B I B L I O G R A F I A

- (1) — Darwin, F. & Pertz, F. M. — 1911 — On a new method of estimating the aperture of stomata. — Proc. r. soc. London, vol 84, 136.
- (2) — Kamp, H. — 1930 — Untersuchungen ueber Kutikularbau und Transpiration von Blaettern. — Jahrb. f. wiss. Bot., 72, 413-465.
- (3) — Kostytschew, S. — 1926 — Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. — vols. I e II. — Berlin.
- (4) — Lloyd, F. E. — 1908 — The physiology of stomata. — Carnegie Inst. Washington, Publ. 82.
- (5) — Maximov, N. A. — 1929 — The Plant in Relation to Water. — London.
- (6) — Maximov, N. A. — 1931 — The physiological significance of the xeromorphic structure of plants. — Journ. Ecology, 19, n.º 2.
- (7) — Neger, F. W. — 1912 — Spaltoeffnungsschluss u. kuenstliche Turgorsteigerung (Vorl. Mitt.). — Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. 30, 179-194.
- (8) — Nius, E. — 1931 — Untersuchungen ueber den Einfluss des Interzellularvolumens und der Oeffnungsweite der Stomata auf die Luftwegigkeit der Laubblaetter. — Jahrb. f. wiss. Bot., 74, 3.
- (9) — Pisek, A. & Berger, E. — 1938 — Kutikulaere Transpiration und Trockenresistenz isolierter Blaetter und Sprosse. — Planta, Bd. 28, H. 1.
- (10) — Rawitscher, F. — 1942 — Algumas noções sobre a transpiração e o balanço dagua de plantas brasileiras. — An. Acad. Bras. Cienc. — Tomo XIV, n.º 1.
- (11) — Schorn, Margarete — 1929 — Untersuchungen ueber die Verwendbarkeit der Alkoholfixierungs und der Infiltrationsmethode zur Messung von Spaltoeffnungsweiten. — Jahrb. f. wiss. Bot., 71, H. 5.
- (12) — Seybold, A. — 1929, 1930 — Die pflanzliche Transpiration, I. e II. — Erg. d. Biologie, V, VI.
- (13) — Stalfelt, M. G. — 1932 — Der stomataere Regulator in der pflanzlichen Transpiration. — Planta, 17, 22-85.
- (14) — Wenzl, Hans — 1939 — Das Verhalten der Spaltoeffnungen von Wasser und Sumpfpflanzen. — Jahrb. f. wiss. Bot., 88, H. 1.



BOLETINS PUBLICADOS PELO DEPARTAMENTO
DE BOTÂNICA

N.º 1 — 1937:

Rawitscher, F. — Experiencias sobre a symetria das fôlhas.

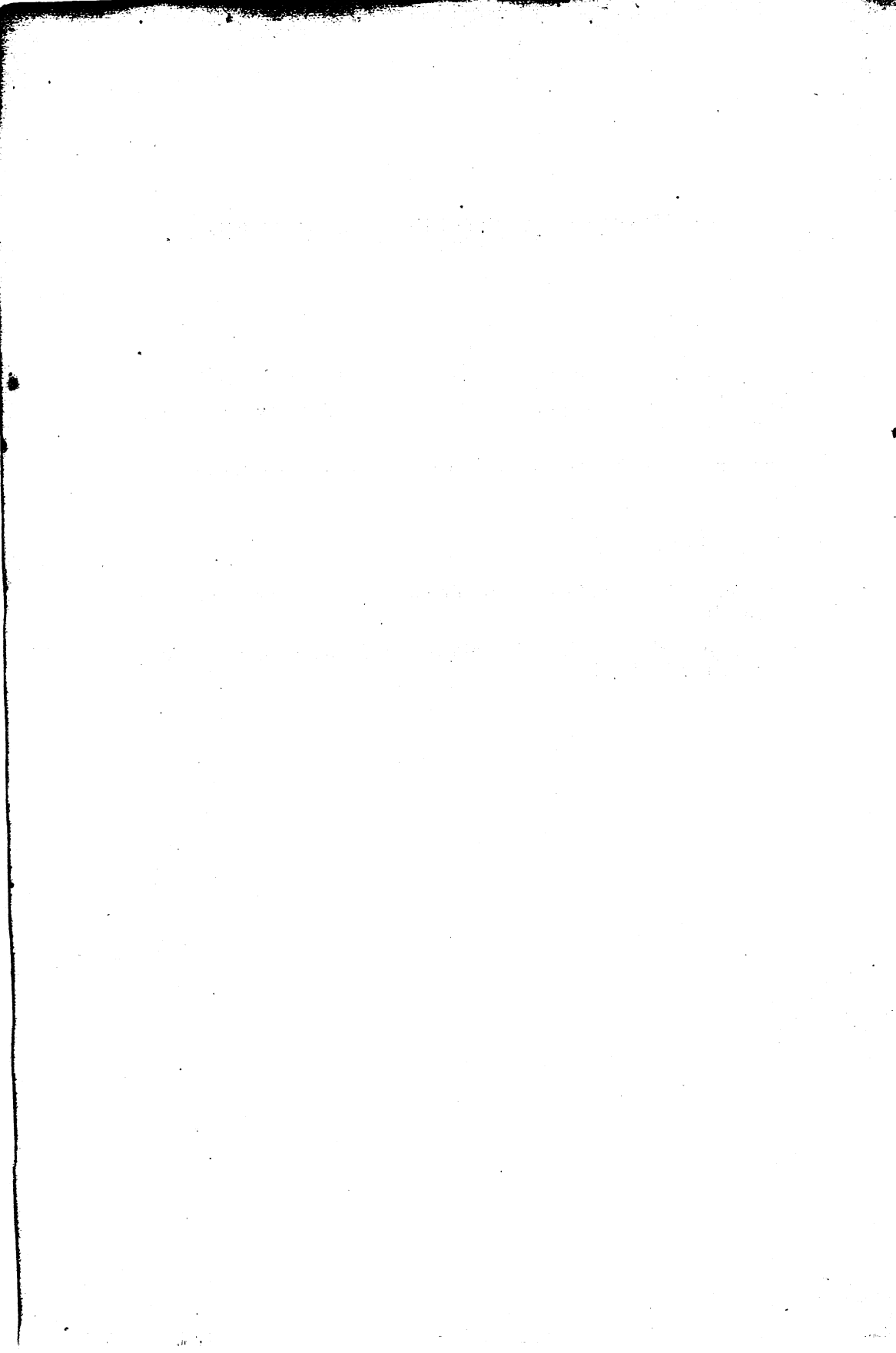
Arens, K. — Sobre o papel do Potassio na Photosynthese aquatica e aerea.

Arens, K. — O processo de infecção da Bremia Lactucae.

N.º 2 — 1939:

Rawitscher, F. — Sobre a reprodução vegetativa no genero Kalanchoe.

Kleerekoper, H. — Estudo limnologico da Represa de Santo Amaro em São Paulo.



IMPRESSORA COMERCIAL
R. QUIRINO DE ANDRADE, 59-67
SÃO PAULO

