

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

BOLETIM XLI

# BOTÂNICA

Nº. 4



S. Paulo — Brasil  
1944

**UNIVERSIDADE DE S. PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS**

**Reitor da Universidade de S. Paulo**  
**PROF. DR. JORGE AMERICANO**

**Diretor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**  
**PROF. DR. ANDRÉ DREYFUS**

**Cadeira de Botânica**

**PROF. DR. FELIX K. RAWITSCHER**

**1.º assistente: DR. MARIO GUILMARAES FERRI**

**2.º assistente: MERCEDES RACHID**

**Auxiliares técnicos: M. IGNEZ DA ROCHA E SILVA**  
**BERTA LANGE DE MORRETES**

**Toda a correspondência relativa ao presente Boletim deverá ser dirigida à**  
**Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**  
**Caixa Postal 105B — S. Paulo — Brasil**

## INDICE GERAL

<i>Rawitscher, F. K.</i> — Problemas de Fitoecologia com considerações especiais sobre o Brasil meridional.	
Fatores Climatológicos (continuação) .....	9
Luz .....	9
Outros fatores climáticos .....	43
Fatores Pedológicos .....	53
<i>Ferri, Mario G.</i> — Transpiração de plantas permanentes dos “Cerrados” .....	155



# PROBLEMAS DE FITOECOLOGIA COM CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS SOBRE O BRASIL MERIDIONAL

por

Felix K. Rawitscher

1a. Parte (Continuação)

Ao continuar o nosso apanhado sôbre os problemas da Fitoecologia entre nós, lembramos o prefacio da 1a. parte. Trata-se para nós, no essencial, de pôr em relevo os traços que distinguem a Ecologia tropical e subtropical da dos climas temperados. Como, até agora, só a última foi estudada profundamente e apresentada com minúcia, destacam-se nas nossas considerações diversos pontos de vista diferentes do habitual.

A nossa apresentação visa a vegetação indigena em suas condições naturais. A Ecologia das plantas cultivadas deve se basear em tais conhecimentos. As questões referentes às culturas artificiais não são, porem, tratadas aqui, sendo deixados êsses assuntos á literatura sôbre Botânica aplicada. Entre tais apresentações indicamos ao leitor especialmente as "Investigações Agronomicas" de *A. Boerger* (3), baseadas em varios decênios de trabalho experimental no Uruguay. Considerações que se ocupam com as culturas no Brasil se encontram na obra de *Azzi* (1).



# INDICE

	<i>Pag.</i>
I — Fatores climatológicos (continuação) .....	9
C) — Luz .....	9
a) — Generalidades .....	9
b) — Distribuição da luz solar ....	11
c) — Plantas de sol e plantas de sombra .....	20
d) — Ponto de compensação .....	27
e) — Grandeza da fotossíntese ....	29
f) — Fotoperiodismo .....	37
D) — Outros fatores climáticos (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , Vento)	43
a) — Oxigênio .....	43
b) — Gaz Carbônico .....	45
c) — Vento .....	48
Bibliografia .....	49
II — Fatores pedológicos .....	53
A) — A origem dos solos por decomposição ..	53
B) — Neoformação de substâncias .....	62
a) — Argilas .....	62
1) — Troca de ions .....	65
2) — Argilas secundárias .	68
3) — Electrolitos anfóteros e o ponto isoelétrico.	69
b) — Humus .....	72
C) — As raízes e os microbios como constituintes do solo .....	75
Plantas calcífilas e calcífugas .....	78
Tamponamento dos solos e das solu- ções .....	79

	<i>Pág.</i>
D) — Perfis e Horizontes .....	80
E) — Particularidades dos solos tropicais ....	81
F) — O regime da água nos solos .....	88
a) — Água aproveitável e inaproveitável .....	88
b) — O movimento da água .....	95
c) — As reservas de água .....	97
Lisimetria .....	98
Estudos em poços .....	100
O reservatório invisível de água .....	111
Solos em climas húmidos e áridos .....	114
Cultura seca (dry farming) .....	120
d) — A erosão dos solos .....	122
G) — A aeração do solo .....	124
H) — A deterioração das terras pela cultura ..	130
I) — Algumas observações sobre a distribuição dos solos brasileiros .....	135
As terras roxas .....	139
Esquema geral dos solos tropicais ..	141
Conclusão .....	143
Resumo .....	145
Summary .....	146
Bibliografia .....	148

# I — FATORES CLIMATOLÓGICOS

(Continuação)

## C) — LUZ

### a) — GENERALIDADES

Para a existência da vegetação, e com ela de toda a vida na terra, o fator luz é o mais importante. A energia dos raios solares possibilita o processo da fotossíntese. As calorías indicadas na equação fundamental



provêm dos raios visíveis do espectro solar. Só os raios absorvidos pela clorofila ou outros pigmentos ativos na fotossíntese são eficientes. Todos os tratados de Fisiologia apresentam, por isso, o espectro da clorofila, cujas duas variantes *a* e *b* aliás não diferem muito. Os máximos de absorção encontram-se no vermelho-amarelo e no azul, ao passo que os raios amarelo-verdes são pouco absorvidos. Este último fato é característico para a clorofila, principal pigmento das plantas terrestres. A explicação, geralmente dada, repousa na grande sensibilidade de tais pigmentos á luz forte e no fato de que a luz intensa, direta do sol é rica, principalmente em raios verde-amarelos. A absorção destes raios provocaria, também, por outro lado, um aquecimento que facilmente poderia tornar letal a temperatura da folha (Veja 48, p. 22). A planta terrestre deixa passá-los quasi sem absorvê-los, aproveitando, especialmente, os raios vermelhos e azuis da luz difusa.

A Fig. 1 acrescenta ás faixas de absorção das clorofilas *a* e *b*, as de outros três pigmentos ativos encontrados — ao lado da clorofila — em algas. Na agua, a distribuição dos raios solares é diferente. Algas que vivem, geralmente na sombra, como *Cyanophyceas*, absorvem com sua ficociana justamente os raios próximos do amarelo, ao passo que as algas de maiores profundidades, como *Rhodo* e *Phaeophyceas* do mar, absorvem os raios mais próximos do azul; isso como se supõe, porque os raios de ondas curtas penetram mais na profundidade da água, como documentaremos detalhadamente na parte que tratará da vegetação aquática.

As particularidades do processo da fotossíntese constituem um dos capítulos mais atraentes e também mais complexos e problemáticos da Fisiologia contemporânea, tratados amplamente nos compêndios de Fisiologia botânica. Aqui olhamos só para o lado ecológico do assunto. Ecológicamente, o fator luz não entra no

primeiro plano, porque em toda a superfície da terra a luz não se torna um fator mínimo — como calor e humidade — ao menos considerando-se o aspecto geral da questão. A vegetação, exposta livremente aos raios diretos ou difusos provenientes do sol, recebe, em todas as latitudes geográficas — bastante luz para garantir

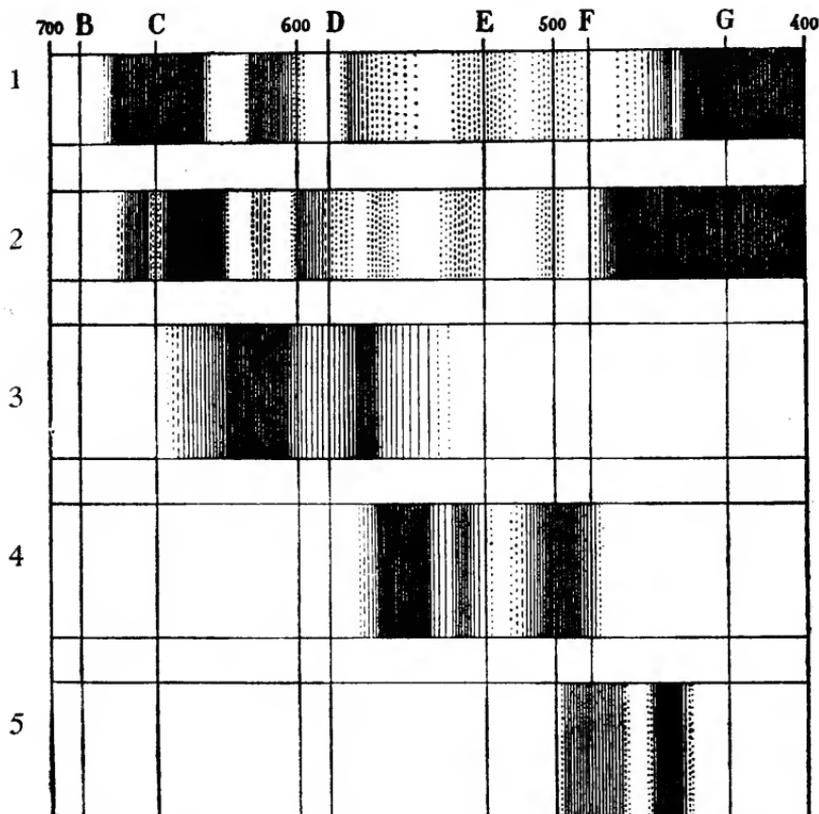


Fig. 1 — Absorção dos raios luminosos pelos pigmentos assimiladores: 1, "chlorophylla a"; 2, "chlorophylla b"; 3, "phycociana"; 4, "Phycocerythrina"; 5, "phycoxantina". Seg. Willstaetter e Stoll, (61) e outros Autores. Tirado de Rawitscher (47) com gentil autorização da Cia. Melhoramentos.

uma vegetação abundante. Sob a vegetação, á sombra das árvores, a luz pode, porem, tornar-se o fator limitante, o mesmo acontecendo na profundidade das águas e em casos excepcionais como em grutas naturais ou casas e estufas.

TABELA 1

Radiação		Comprimento de ondas em $\mu$ .	
Raios X .....		0,00001 — 0,00018	
Solar	Ultra violeta .....	0,012 — 0,40	} visível para o homem
	Violeta .....		
	Azul .....		
	Verde .....		
	Vermelho .....		
	Infra-vermelho .....	0,49 — 0,76	
		0,76 — 600	
Ondas elétricas .....		2 mm. — $\infty$	

A tabela 1 mostra o lugar que ocupam os raios luminosos no conjunto de todos os raios eletro-magnéticos. Só os raios visíveis para o homem têm eficiência na fotossíntese; os invisíveis podem, porém, afetar as plantas, sendo perigosos os raios X e os ultra-violeta, estes últimos principalmente quando agem em dosagem maior. Talvez o mesmo seja válido para os raios infra-vermelhos ou raios térmicos.

### b) — DISTRIBUIÇÃO DA LUZ SOLAR

A radiação solar é a única fonte <sup>1)</sup> das energias que mantêm a vida de todos os organismos na terra. A parte absorvida pela

terra representa cerca de  $\frac{1}{2.000.000.000}$  de toda a energia emi-

tida pelo sol para o universo. O limite superior da atmosfera terrestre recebe, por minuto, por  $\text{cm}^2$ , aproximadamente, 2 pequenas calorias <sup>2)</sup>, valor este chamado de "constante solar". Esta quantidade seria suficiente para fundir, num ano, um manto de gelo de 36 m. de espessura. Naturalmente, nem toda esta energia atravessa a atmosfera, não chegando à superfície da terra.

De outro lado, a intensidade da irradiação depende: 1) do ângulo de incidência, variando com o seu seno, como mostra a Fig. 2; 2) da espessura e turbidez da camada atmosférica atravessada pelos raios. A parte que atinge a superfície da terra representa uma fração que, em dias claros, pode alcançar o valor

1) Talvez se excetuem certas bactérias autótrofas.

2) Uma pequena caloria = quantidade de calor que aquece um  $\text{cm}^3$  de água de  $1^\circ \text{C}$ .

de 0,7 aproximadamente ou seja 70 % do valor inicial. Esta fração, determinada para raios verticais, chama-se coeficiente de transmissão; êste, por sua vez, depende da turbidez da atmosfera, especialmente do vapor d'agua, conteúdo em poeira, etc.

Se os raios incidem num ângulo agudo a espessura atravessada da atmosfera cresce e a quantidade absorvida de raios aumenta. A fração que passa torna-se, portanto, menor do que a que corresponde ao coeficiente de transmissão. Tudo isso refere-se a lugares ao nível do mar. Para chegar a montanhas a radiação tem um caminho mais curto e a absorção será menor.

A maior intensidade medida na superfície da terra foi, por isso, determinada em montanhas, como no Mount Whitney (California) com 4.420 m. ou no Pico de Tenerife com 3.683 m. No Mount Whitney a fração que passa pode alcançar o valor de 0,90.

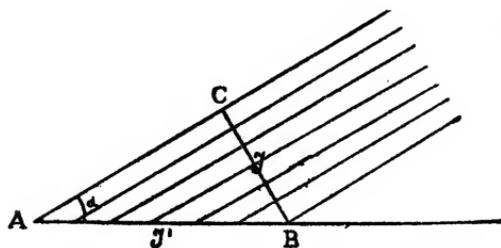


Fig. 2 — Mostra a iluminação em dependência do ângulo de incidência ( $\alpha$ ). A intensidade ( $J$ ) da iluminação é inversamente proporcional ao tamanho dos planos iluminados. Estes, no caso de raios paralelos comportam-se como os lados BC e AB. Segue-se:  $J' : J = BC : AB$ ;  $J' = J \cdot \sin. \alpha$

Dada a importância da radiação para a economia das energias na terra, tomamos emprestado de Koeppen (30) um esquema da economia terrestre de irradiação solar, calculada para a média do ano e para a média de toda a superfície terrestre. Vê-se que dos raios incidentes na superfície atmosférica (+ 100), 24 % são emitidos novamente para o universo pela reflexão das nuvens. 39 % são dispersos por reflexão di-

fusa na atmosfera e desta parte 19 % também voltam para o universo, ao passo que 20 % são irradiados para a terra. Esta irradiação difusa é a fonte mais importante de energia aproveitada pela vegetação. Outros 14 % perdem-se na atmosfera por absorção seletiva. Só 24 % da irradiação chegam como raios diretos do sol á superfície da terra. Somados á irradiação difusa perfazem 43 % da radiação total, que alcança assim a terra. Estes raios são empregados para os mais diversos trabalhos, como evaporação, formação de correntes de ar e de agua, fotossíntese, etc., mas finalmente transformam-se em calor. Este, por sua vez, é emitido novamente por radiação invisível para o universo. Não sabemos se a terra aumenta ou diminue aos poucos a sua reserva de energia, mas, este lado da questão, também discutido por Koeppen (30), pode ficar fóra das nossas considerações.

A quantidade de irradiação que um lugar na terra pode receber depende, como vimos, de um lado do ângulo de incidência dos raios solares, quer dizer, da altitude que o sol pode atingir na latitude do lugar. Entre os trópicos, duas vezes no ano, o sol culmina no Zênite; fora deles a maior altitude que o sol alcança quando culmina, diminui com a latitude geográfica. Sendo esta igual a  $\varphi$ , a maior altitude do sol será igual a  $(90 - \varphi) + 23 \frac{1}{2}^\circ$ . De outro lado, a quantidade dos raios recebidos, depende também da duração da irradiação, quer dizer, do dia, e esta duração cresce com a latitude geográfica. Por isso, as condições tornam-se complicadas, não sendo sempre o equador o lugar mais favorecido.

Para melhor compreensão das condições, deixamos primeiro de lado as complicações criadas pelo trânsito dos raios pela atmosfera, considerando a iluminação na superfície da mesma, onde o coeficiente de transmissão é igual a 1. Neste caso, no verão, o polo

— com suas 24 horas de iluminação — recebe, num dia, mais raios que o equador com um dia de 12 horas. Supondo a quantidade de raios que o equador recebe no dia do equinócio de Março, igual a 1000, a quantidade de raios recebidos durante o dia, no solstício de 21 de Junho será a seguinte:

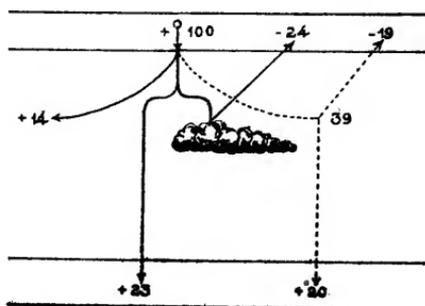


Fig. 3 — Economia dos raios solares, na sua passagem pela atmosfera, calculada para a média anual da terra. (Seg. Dines e Alt, apud Koeppen, 30).

TABELA 2

*Irradiação recebida no dia de solstício (Seg. Hann, 19, p. 96)*

Latitude Norte . . . . .	Polo Norte	62°	43 ½°	Equador
Irradiação de um dia . .	1203	1092	1109	881

Neste dia, o equador recebe menos do que 1000 porque a 21 de Junho, o ângulo do sol, quando culmina, é então o mais agudo

(90 — 23 ½°). Esta distribuição é análoga mas não exatamente válida para o verão do hemisfério sul. No dia 21 de Dezembro, o polo sul não recebe 1203 unidades, como o polo norte no seu verão, mas sim 1286. Isso porque no “verão sul” a terra está no perihélio, recebendo irradiação de 7 a 8 % maior. Por isso, a diferença entre sol e sombra no hemisfério sul, no verão, torna-se sensivelmente mais forte do que no norte.

Nas latitudes tropicais, as diferenças nos dias de culminação, são muito pequenas.

TABELA 3

*Irradiação nos trópicos em dias de culminação, em valores relativos como na Tab. 2 (Seg. Hann 19, I, p. 98)*

Latitude Geográfica	Data da Culminação	Irradiação	Data da Culminação	Irradiação
20° N	20 Maio	1041	23 Julho	1034
15° N	1 Maio	1017	12 Agosto	1008
Equador	20 Março	1000	23 Set.	988
15° S	8 Fevêr.	1061	3 Nov.	1053
20° S	20 Jan.	1101	21 Nov.	1094

Nos dias de maior afastamento do sol, os valores são os seguintes:

TABELA 4

*Irradiação nos trópicos nos dias do solstício invernal, em valores relativos como na Tab. 2 (Seg. Hann, 19)*

Latitude Geográfica	21 de Dezembro	21 de Junho
20° N	677	—
15° N	749	—
Equador	942	881
15° S	—	701
20° S	—	633

Nas latitudes mais altas os valores de culminação — que aí sempre coincide com o solstício — são, ainda segundo *Hann* (19), no hemisfério norte:

Latitude	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
21 Junho	1088	1107	1105	1093	1130	1184	1202
21 Dezembro	520	355	197	56	0	0	0

e no hemisfério sul:

Latitude	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
21 Dezembro	1163	1183	1180	1168	1207	1265	1284
21 Junho	487	332	184	52	0	0	0

As diferenças aumentam com a latitude; além disso, vê-se que a variação anual é um pouco maior no hemisfério sul pela causa já mencionada da excentricidade da orbita terrestre. Visto a importância de tais dados para a Ecologia vegetal, acrescentamos mais alguns valores calculados recentemente por *Milankovitch* (40), desta vez em calorías.

TABELA 5

*Quantidades diurnas de irradiação no limite superior da atmosfera em calorías por cm.<sup>2</sup> (Seg. Milankovitch, 40)*

Latitude geográfica	21 Março	22 Junho	23 Setembro	22 Dezembro
90° N	—	1110	—	—
80°	160	1093	158	—
70°	316	1043	312	—
60°	461	1009	456	51
50°	593	1020	586	181
40°	707	1022	698	327
30°	799	1005	789	480
20°	867	964	857	624
10°	909	900	898	756
0°	923	814	912	869
10°	909	708	898	962
20°	867	585	857	1030
30°	799	450	789	1073
40°	707	306	698	1092
50°	593	170	586	1089
60°	461	48	456	1078
70°	316	—	312	1114
80°	160	—	158	1167
90° S	—	—	—	1185

A tabela 6 indica o total dos valores calculados para o ano e para os semestres estival e invernal.

TABELA 6

Quantidades semestrais e anuais da irradiação solar no limite superior da atmosfera, em calorías por  $\text{cm}^2$  (Seg. Milankovitsch, 40)

Latitude Geográfica	Semestre estival	Semestre invernal	Ano
0°	160580	160580	321160
10°	169950	146800	316750
20°	174570	128980	303550
30°	174450	107800	282250
40°	169710	84030	253740
50°	160860	58740	219600
60°	149080	33620	182700
70°	138700	13440	152140
80°	134520	3240	137760
90°	133300	0	133300

Estes valores relacionam-se a ambos os hemisférios; no hemisfério sul são idênticos aos do norte, visto que a maior intensidade da irradiação é exatamente compensada pela menor duração do semestre estival.

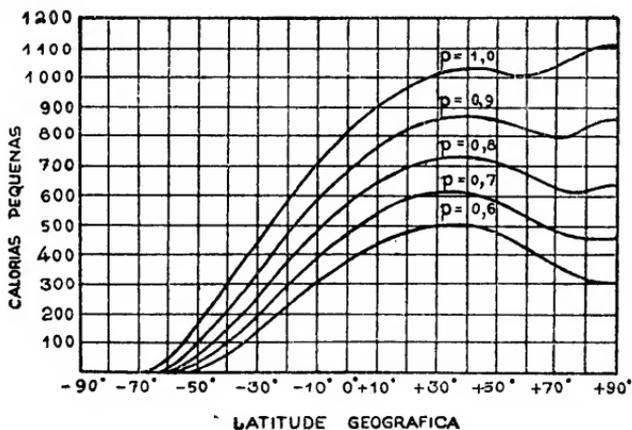


Fig. 4 — As quantidades diurnas de calorías por  $\text{cm}^2$ , irradiadas às latitudes diferentes, no solstício estival (norte). Com coeficiente de transmissão (p.) de 0,6 — 1,0. Seg. Milankovitsch (40).

As condições que acabamos de expôr são profundamente alteradas pela passagem dos raios pela atmosfera. A incidência oblíqua dos raios nas latitudes altas prolonga o seu caminho atra-

vés da atmosfera, aumentando com isso as perdas de raios. Essa perda se torna cada vez mais sensível com o aumento da turbidez; cada diminuição do coeficiente de transmissão terá, por isso, efeitos incisivos. O gráfico (Fig. 4) mostra para o hemisfério norte os valores da irradiação do dia solsticial estival, mas desta vez para diversos coeficientes de transmissão ( $p$ ). A curva para  $p = 1$  reflete as condições no limite superior da atmosfera e ressalta bem o máximo polar.

Com  $p = 0,9$  o polo já é menos irradiado que as latitudes em redor de  $30^\circ$ , e com  $p = 0,7$  o máximo polar desaparece perfeitamente. Provavelmente, temos que contar na média com um  $p = 0,6$ ; a última curva refletirá, então, as condições reais importantes para a vegetação.

Por isso, acrescentamos mais uma tabela que indica o total das calorias que chegam neste coeficiente até à superfície da terra.

TABELA 7

*Quantidades semestrais e anuais da irradiação solar (calorias por  $cm^2$ ) que chegam ao limite inferior da atmosfera calculadas para um coeficiente de transmissão de 0,6 (Seg. Milankovitsch, 40, p. 64)*

Latitude Geográfica	Semestre Estival	Semestre Invernal	Ano
0°	78050	78050	156100
10°	84150	68480	152630
20°	86150	55960	142110
30°	84360	41760	126120
40°	78470	27140	105610
50°	68700	14100	83000
60°	56700	5150	61850
70°	42600	1050	43650
80°	30720	0	30720
90°	25980	0	25980

Olhando para os valores totais do ano, vemos que — na média — só 40 a 50 % da irradiação total atravessam a atmosfera e ficam à disposição da vegetação. Isso concorda com o esquema global da fig. 3 (pag. 140).

Para a vegetação muito importa a fração de luz difusa. Esta cresce quando os raios incidem em ângulos mais agudos, quer dizer, nas latitudes altas em geral, e nas horas matinais e da tarde em especial. Cresce também, relativamente, com a turbi-

dez da atmosfera. O quociente  $\frac{\text{Luz difusa}}{\text{Luz direta}}$  pode, por isso, desviar-se bastante na fração  $\frac{20}{23}$  deduzida da fig. 3. Para dar uma idéa da sua variabilidade, tomamos emprestado alguns algarismos de *Brennan*, observados em Dacca, na India (*Hann*, 19, p. 110) :

Alt. do sol	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°
Quociente $\frac{\text{Luz dir.}}{\text{Luz dif.}}$	0,50	0,83	1,12	1,35	1,55	1,70	1,83	1,95	2,04	2,11	2,22	2,33

O fato de que a luz difusa é relativamente forte de manhã e á tarde, pode revelar-se importante para a Fitoecologia. Como já expuzemos (48, p. 81), em condições sêcas, muitas vezes, os estômatos se fecham ao meio dia, apresentando-se dois máximos de transpiração e com isso de fotossíntese, de manhã e á tarde. Tais plantas assimilam em horas em que o quociente da luz difusa é relativamente alto.

Pela mesma razão a distribuição dos valores da relação  $\frac{\text{Luz direta}}{\text{Luz difusa}}$ , segundo as latitudes, é ecologicamente importante. Dispomos, porém, só de poucos dados comparativos, entre os quais apresentamos os valores velhos de *Bunsen* e *Roscoe*. Esses valores referem-se a "unidades químicas", abrangendo especialmente os raios de ondas curtas. Não refletem, portanto, exatamente as condições importantes para a vegetação, que também emprega muito os raios de ondas longas. A ordem de grandeza dos valores vê-se, porém, nitidamente; no dia escolhido do equinócio primaveril do norte, os valores relativos devem aproximar-se da média anual.

Os valores totais da luz difusa superam os da luz direta, do Polo até Heidelberg, tornando-se menores desde Napoles até o Equador. Mas, a diferença entre a irradiação difusa do Equador e a de latitudes tão altas como Napoles e Heidelberg é pequena, não igualando de nenhum modo as grandes diferenças entre as radiações diretas.

TABELA 8

Luz difusa e luz direta (medidas em "unidades fotoquímicas"), da irradiação que incide num dia inteiro sobre planos iguais, horizontais, em 20 de Março (equinócio). Seg. Bunsen e Roscoe, apud Hann (19, I, p. 113)

Lugar	Latitude Geográfica	Luz Direta	Luz Difusa	Total	Quociente
					Luz dif. / Luz dir.
Polo Norte .....	90°	0	20	20	—
Melville (Ilha) ..	74,8	12	106	118	8,83
Reykjavig .....	64,1	60	150	210	2,50
Petersburg .....	59,9	89	164	253	1,84
Manchester .....	53,3	145	182	327	1,25
Heidelberg .....	49,4	182	191	373	1,04
Napoles .....	40,9	266	206	472	0,77
Cairo .....	30°	364	217	581	0,59
Bombay .....	19°	438	223	661	0,50
Ceylão .....	10°	475	224	700	0,47
Equador .....	0°	489	225	714	0,46

Desse modo, quanto ao aproveitamento de luz difusa, a vegetação das latitudes altas não é tão prejudicada.

Também para fotografias, tais relações são importantes, especialmente quando se trata de tirar detalhes de sombra, como na fotografia botânica.

Não só a quantidade, mas também a qualidade dos raios que atingem a vegetação é altamente sujeita às condições atmosféricas. Os 14 % de absorção seletiva apresentados na fig. 3 indicam só uma média geral. A radiação de ondas curtas é mais sujeita à absorção, especialmente os raios ultra-violeta, que não só no limite superior da atmosfera, mas também em montanhas, já perfazem uma proporção muito maior do que ao nível do mar. A absorção depende muito da humidade do ar. Em regiões secas ou altas é de se esperar que, nas horas em que o sol está próximo do zênite, esta radiação tome valores relativamente altos. Isso não é importante apenas para a vegetação alpina; *Draenert* (9), no Brasil, atribue à grande intensidade dos raios ultra violeta certos efeitos fisiológicos sobre a vegetação e também sobre o homem. Possuimos ainda tão poucos dados sobre a passagem dos diferentes comprimentos de onda em nosso clima, que nos limitamos a salientar o interesse de estudos ulteriores.

Além da absorção seletiva, a refração e a dispersão modificam a composição da luz aproveitável às plantas.

Já vimos que na luz direta do sol, após a passagem pela atmosfera, o máximo de energia se encontra entre o vermelho claro e o verde, quer dizer, na região do espectro onde a clorofila absorve pouco. Na sombra das florestas é justamente esta parte que passa, aliás enfraquecida. As plantas de sombra contam com uma composição de luz correspondente. Se possuem uma adaptação para melhor utilização dêsses raios, é uma questão já ventilada mas ainda não respondida. Os raios filtrados pelas nuvens são mais ricos em vermelho. O céu azul, como não é preciso mencionar, manda à terra especialmente o azul. O significado deste fato para a clorofila das plantas terrestres já foi salientado.

### c) — PLANTAS DE SOL E PLANTAS DE SOMBRA

Iluminação sempre fraca geralmente só se encontra em circunstâncias especiais, como nas florestas ou nas profundidades da água, e deve ser considerada quando falarmos das respectivas

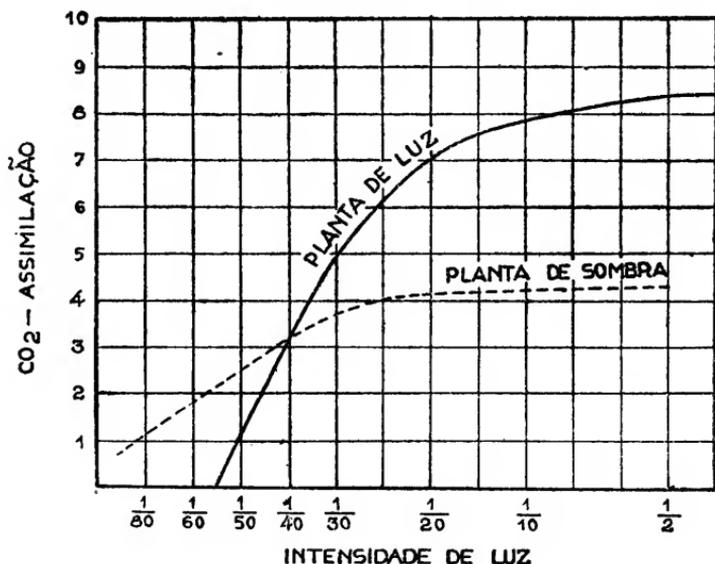


Fig. 5 — Curvas de assimilação, em intensidades crescentes de luz — indicada em frações da luz livre do dia — em folhas de sol e de sombra, em plantas tropicais (Java): *Lantana camara* (luz); *Cyrtandra picta* (sombra). Seg. Von Faber (54).

vegetações. Aqui, mencionamos, só de modo geral, que podemos distinguir fisiologicamente plantas de luz e plantas de sombra, pelas suas adaptações às diversas intensidades de luz. Nas pri-

meiras a fotossíntese pode atingir os valores mais altos na luz não enfraquecida, ao passo que nas plantas de sombra o máximo é atingido em intensidades menores. A Fig. 5, reproduzida de Von Faber (54) ilustra esse fato.

Tais gráficos não são de interpretação simples. Em luz fraca, o rendimento da fotossíntese cresce quase que proporcionalmente à intensidade da iluminação. Em luz forte, em cada planta, a assimilação do  $\text{CO}_2$  tende a um valor máximo que não pode mais ser ultrapassado. Chegando-se a esta parte da curva, a luz não é mais o fator mínimo, de cujo aumento depende a intensidade do trabalho. Esta obedece, então, a outros fatores, entre os quais citamos primeiro a quantidade de  $\text{CO}_2$  disponível. Este gás, existindo em proporção escassa (0,03 %) na atmosfera, não pode mais chegar em quantidade suficiente para acompanhar um aumento da fotossíntese que ainda seria possível com mais  $\text{CO}_2$ . Por isso “adubando” com  $\text{CO}_2$ , podemos aumentar, dentro de certos limites, a fotossíntese; isso em estufas. Nas condições do ar livre e no ambiente da vegetação natural, que nos interessam aqui, tais casos ficam fóra de consideração. Sómente em solos com respiração muito ativa, como na sombra de floréostas, existem quantidades maiores de  $\text{CO}_2$  que poderiam desempenhar um certo papel favorável (Vide pag. 45).

Outro fator é o balanço de água. Nas condições ecológicas normais o aumento da iluminação é, geralmente, acompanhado por transpiração maior e com isso os estômatos tendem a fechar-se e a dificultar a entrada do  $\text{CO}_2$ .

Compreendemos, assim, que já por tais fatores exteriores, o crescimento da assimilação deve parar em certa intensidade de iluminação. Sem a sua interferência, fatores internos da organização fisiológica da planta agiriam no mesmo sentido: o acúmulo e a condução dos produtos assimilados, por exemplo, não poderiam crescer “ad infinitum”.

Para as diversas espécies de plantas, a intensidade de luz em que o máximo de rendimento é atingido, é variável; plantas de luz, em geral, aumentam a sua fotossíntese até a proximidade da intensidade máxima de luz que na região pode ser alcançada — isso, naturalmente, só se as outras condições forem ótimas —; a planta de sombra indicada na fig. 5 atinge o seu máximo já numa intensidade de iluminação cerca de 20 vezes inferior á de fóra da floresta. Nas plantas terrestres, com sua organização complicada, não sabemos ainda distinguir quais as influências diretas e indiretas da iluminação sobre o andamento da fotossíntese. Na verdade, muitas plantas de sombra, provavelmente, deveriam ser consideradas como plantas de humidade, porque sombra e humidade são dois fatores quasi inseparáveis, na Ecologia. Em climas marítimos, com alta humidade relativa, ás vezes, vemos “plan-

tas de sombra” saírem da proteção das florestas, para viverem sem embaraço em plena luz.

O que se estuda mais na Ecologia é o outro lado do problema, a tolerância da sombra. Como deixam ver as figuras seguintes, a renda em  $\text{CO}_2$  pode apresentar valores negativos; isso quando a fotossíntese é menor do que a respiração simultânea. Então, o balanço de uma fôlha torna-se negativo. Quando ambos os processos estão em equilíbrio atingimos o “ponto de compensação”. Quando a Ecologia fala em plantas de luz, pensa geralmente em plantas cujo ponto de compensação é alto e cuja tolerancia pela sombra é pequena. Para plantas de sombra vale o contrário.

O ponto de compensação das fôlhas ou dos órgãos assimiladores aliás não é decisivo para o balanço da planta toda; uma arvore com tronco grosso e com vasto sistema radicular precisa empregar uma parte de sua renda fotossintética para a manutenção dêsse sistema que é improdutivo no sentido da fotossíntese. Isto quer dizer que o ponto de compensação que aparece na fôlha deve ser aumentado pelo imposto que a fôlha paga ao organismo todo. Plantas com organização menos exigente gastam menos com isso; algas unicelulares ou de fios simples são as menos embaraçadas. Não é de admirar que possam vegetar com balanço positivo em luminosidade diminuta.

TABELA 9

*Fração da luminosidade livre ainda suportada pelas plantas*  
(Seg. Wiesner, 60)

Especies	Fração critica
<i>Larix decidua</i> .....	1/5
<i>Betula verrucosa</i> .....	1/7 — 1/9
<i>Pinus silvestris</i> .....	1/9 — 1/11
<i>Quercus Robur</i> .....	1/26
<i>Picea excelsa</i> .....	1/28 — 1/33
<i>Acer Pseudoplatanus</i> .....	1/55
<i>Fagus silvatica</i> .....	1/60 — 1/80
<i>Buxus sempervirens</i> .....	1/100

O primeiro a medir as exigências das plantas de luz e de sombra foi Wiesner (60). Para medir as exigências das espécies para com a luminosidade, poder-se-ia empregar o método fisiológico de cultivo das plantas em luz graduada para ver com que fração de luz livre começam a sofrer. Este método seria dispendioso, especialmente em trabalho. Wiesner (l.c.) usou mui-

lo mais economicamente um método ecológico. Partiu do fenómeno da poda natural das árvores. Sabemos que as fôlhas no interior de uma copa são afastadas por reacção espontânea, pela planta, quando a luz não chega para alimentá-las, quer dizer, quando não dão mais uma renda suficiente. Assim, as próprias plantas indicam o grau de sombra que ainda toleram. *Wiesner* mediu a intensidade da luz naquela parte da copa onde as fôlhas dão sinais de sofrimento, na zona de afastamento. Para as árvores das florestas de Viena observou os valores da tab. 9.

Para as suas determinações *Wiesner* usou papel fotográfico. Em limites amplos vale a regra de que o tempo necessário para um certo grau de enegrecimento do papel é inversamente proporcional á intensidade da iluminação.

E' verdade que os fotômetros usados mediram especialmente os raios de ondas curtas e para julgar exatamente o clima luminoso da planta certas correções seriam necessárias. Para avaliar, aproximadamente, as proporções de luminosidade o método dá, porém, valores satisfatórios.

Hoje empregamos células fotoelétricas; as partes do espectro são determinadas separadamente mediante filtros de vidro corado que deixam passar raios aproximadamente monocromáticos. Os métodos e as dificuldades de applicação são descritos e discutidos por diversos autores, como ultimamente por *Evans* (13).

Valores como os reunidos pela primeira vez por *Wiesner* (60), no seu livro clássico sôbre o aproveitamento da luz pelas plantas, dão-nos informações valiosíssimas, sem as quais não poderíamos compreender a Ecologia e a composição sociológica das florestas. Encaremos isso mais de perto: se a Faia (*Fagus*) tolera uma sombra de 1/60 até 1/80, isso quer dizer que as copas de uma floresta de Faias se fecha até deixar passar só aquella fração de luz do exterior; significa ainda que plantinhas novas da mesma espécie, geralmente munidas da mesma tolerância á sombra, podem manter sua vida na sombra formada pelas plantas-mães. De outro lado, *Carvalhos* (*Quercus*) não só toleram, como também produzem uma sombra de 1/26, onde suas plantinhas podem viver e sua reprodução natural ainda se pode processar. As plantinhas de Carvalho não poderiam crescer na sombra das Faias, ao passo que as de Faia poderiam crescer na sombra dos Carvalhos. Em condições ótimas para ambas as espécies, a Faia dominaria e expulsaria o Carvalho.

Isso, justamente, foi o que se deu nas épocas pre-historicas da Europa. A análise polínica que nos informa sôbre a composição das florestas das épocas inter-glaciais e especialmente da época post-glacial, que seguiu a última glaciação do quaternário, documenta esse fato. A uma época do Carvalho, tida como mais sêca do que a actual — na época do bronze — seguiu-se uma da Faia, cuja invasão se attribue á uma alteração do clima para um pouco me-

nos quente e um pouco mais humido. A alteração do clima permitiu á faia entrar em competição.

Este processo de "sucessão" pode ser observado ainda hoje: em várias partes da Europa mantiveram-se florestas admiráveis de Carvalhos chamados "milenaes", mas que, na verdade, contam só alguns séculos de idade. Algumas dessas florestas foram declaradas reservas florestais. Com a exclusão, porém, de toda influência humana, deu-se uma invasão rápida de Faias, cuja concorrência começou por sobrepujar os Carvalhos. Na luta pela luz torna-se vencedor aquele que não só tolera mas também forma a sombra mais densa.

Mencionamos com isso a luta pela luz, que em associações como as florestas, não pode ser super-estimada. Neste combate não só a tolerância á sombra é um fator decisivo, como também a rapidez do crescimento e a altura que a árvore póde atingir. As "árvores dominantes", que vamos encontrar no capítulo sôbre as florestas, aproveitam melhor que quaisquer outras a luz, devido á sua altura. Chegam a uma tal posição dominante pela rapidez do crescimento que vence a dos outros competidores.

Geralmente, não nos damos conta da grande influência de tais fatos sobre todo o desenvolvimento da vegetação. Se as plantas tendem a desenvolver troncos enormes, elevando a copa até grandes alturas, que em certos casos ultrapassam a 100 ms., isso é devido sómente á competição pela luz. Se não existisse esta luta, as plantas não teriam que desperdiçar tanta matéria para a formação de seus troncos e se contentariam em desenvolver a sua copa, ou melhor a sua folhagem, perto do chão. Em regiões onde a luta pela luz é sobrepujada por outras lutas com fatores climáticos, como nos limites árticos ou alpinos das florestas, as árvores se reduzem a tapetes arbustivos e o leigo não reconhece mais que se trata de espécies arbóreas.

A fruticultura, já desde muito tempo seleciona árvores baixas para facilitar a colheita e para apressar a frutificação. Isso não só se dá com a ameixeira ou o pecegueiro, mas também com palmeiras, como o coqueiro e a tamareira. Neste caso, o homem exclue a concorrência de outras plantas competidoras. Tais "biotipos" ou novos tipos genéticos, abandonados á natureza, não poderiam manter-se por muito tempo. Pereceriam na sombra de outras árvores mais elevadas.

Temos aqui um exemplo muito bom para ver como um fator pode influenciar a sucessão das várias associações. Uma região, inicialmente livre de florestas, cobre-se primeiro de árvores de luz cujas plantinhas exigem grande claridade e suportam a séca que, geralmente, acompanha a irradiação forte. São estas plantas que preparam o terreno para a invasão de outras mais dependentes de sombra e de humidade. Sucedem-se, assim, as associações e a última que se mostra mais adaptada ás condições do ambiente será a que produz e tolera a maior sombra. Em condições fa-

voráveis para a Faia na Europa, a sua associação constitui a formação mais forte, que suplanta todas as outras e constitui assim a formação chamada de "climax" (conceito este a ser explicado detalhadamente na terceira parte a ser publicada).

Na Europa este estado de climax, muitas vezes, não foi atingido devido à interferência humana que, desde épocas pre-históricas, tem favorecido o tipo de floresta de Carvalho. Isso se compreende: a sombra das Faias é tão densa que no solo quasi não crescem plantas rasteiras. Na sombra dos Carvalhos desenvolve-se um rico gramado que serve de pasto para os animais domésticos ou de caça.

Insistimos nestes detalhes, interessantes para os continentes do norte, porque no Brasil ainda nos faltam elementos para caracterizar diferentes tipos de árvores de sol e de sombra. As nossas matas virgens, em regiões húmidas fecham-se tão densamente que também nelas, no chão, não ha luz para vegetação baixa; em tais matas, homens e cavalos podem passar sem maior dificuldade. Plantinhas das espécies arbóreas crescem dificilmente e mantêm uma vida precária até a queda de uma arvore que lhes dê a possibilidade de melhor desenvolvimento. Plantas de luz, aí, não podem resistir.

Depois de derrubada a mata, as sementes das plantas iniciais têm dificuldade para germinar. Desenvolve-se, por isso, agora, outra vegetação de capoeira. Nesta observamos, por exemplo, as Embaúbas do género *Cecropia*, que acompanham os cortes das estradas de ferro e de rodagem e que, quando a mata novamente se fecha, desaparecem: provavelmente, por serem árvores de luz. Os Eucaliptais, introduzidos no Brasil e que são também formações de luz, deixam passar bastante raios para permitir o desenvolvimento de capins e pastagens.

Na Silvicultura do país, tais considerações terão grande importância. Se quizermos provocar e controlar o reflorestamento natural, que um dia nos restituirá as matas, agora em destruição, temos que conhecer as exigências das diversas espécies para com a luz!

Na Morfologia, as plantas de sombra e de luz distinguem-se pelos mesmos critérios que caracterizam as higrofitas e xerófitas (veja 1.<sup>a</sup> parte, p. 58). Talvez, possamos mencionar ainda a maior riqueza em clorofila das folhas de sombra. Chamamos também a atenção para o fato de que muitas plantas desenvolvem, segundo as condições, fôlhas de luz e fôlhas de sombra, as ultimas novamente de carater mais higrofitico. Como todos os compêndios descrevem e figuram tais fôlhas, limitamo-nos a fazer referências a estes dados, especialmente também porque o fenômeno parece mais freqüente e mais nítido nas florestas dos climas temperados. *Schimper* (54) apresenta fôlhas de sol e de sombra de

espécies tropicais de Java; podem ser encontrados exemplos paralelos nas florestas brasileiras.

As folhas de luz e as de sombra da mesma planta distinguem-se pelo aproveitamento da luz, da mesma forma que foi ilustrada para folhas de plantas de luz e de sombra, na Fig. 5 (p. 20). Isso mostra a Fig. 6, para folhas de Faia.

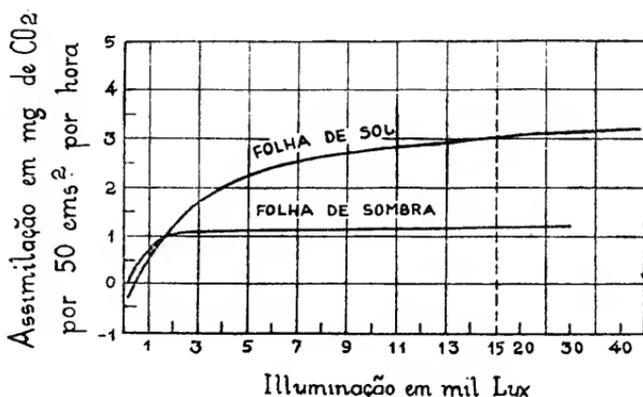


Fig. 6 — Curvas de assimilação em intensidades crescentes de luz, em folhas de sol e de sombra da mesma planta (*Fagus silvatica*), seg. Boysen-Jensen, (5).

A possibilidade de adaptação às diferentes intensidades de insolação caracteriza, especialmente, as árvores de sombra, que — repetimos — são plantas de sombra, geralmente, só pela sua tolerância a escassez de luz. Que suportam a irradiação direta, mostram-no quando as suas copas chegam á maior altura, onde exibem as suas folhas — folhas de sol então — em plena luz. As plantas rasteiras e os arbustos das florestas, muitas vezes, não toleram a luz direta; mas, como já salientamos, não sabemos se a própria luz ou a evaporação constitue o perigo. Observações muito interessantes relata *Evans* (13) sobre as florestas húmidas da Nigéria austral. As plantas rasteiras examinadas por este autor parecem aproveitar ainda uma luminosidade de perto de 0,5% da luz exterior. Também *Wiesner* (60) menciona aproveitamento de 1/200 da luz nas florestas tropicais. Como, na Austria, *Buxus* tolera ainda uma sombra correspondente a 1% da luz exterior, vê-se que, portanto, a diferença entre condições tropicais e extratropicais não parece muito grande.

A sombra maior que permite ainda desenvolvimento de plantas é observada em plantas com baixa organização. Em grutas húmidas, encontramos ainda musgos e algas em intensidades de

luz menores que 1/2000 da luz exterior (literatura em *Schimper*, 54, vol. I, p. 98).

#### d) — O PONTO DE COMPENSAÇÃO

O ponto de compensação torna-se um assunto cada vez mais importante na Ecologia. É, porém, um fenômeno complicado.

Nas páginas precedentes indicamo-lo em relação às intensidades de luz, nas quais, para certas plantas, a respiração iguala a fotossíntese, sendo, então, o ganho da assimilação total igual a zero. Este ponto, porém, não é estável para nenhuma planta, variando com as condições do ambiente. Esse é especialmente o caso com a temperatura, a qual influencia de forma diferente a

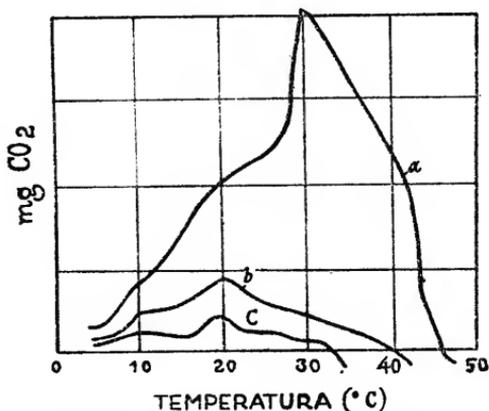


Fig. 7 — Esquema da fotossíntese de folhas de *Solanum tuberosum*, em dependência da temperatura:

- a) - fotossíntese em plena luz solar e tensão alta de  $\text{CO}_2$  (1,22%).
- b) - fotossíntese em plena luz solar e tensão normal de  $\text{CO}_2$  (0,03%).
- c) - fotossíntese em 1/25 de luz e tensão normal de  $\text{CO}_2$  (0,03%).

Seg. *Lundegardh* (35).

respiração e a assimilação. Como já vimos (48 p. 16), a respiração cresce com a temperatura, até a proximidade do ponto letal, onde a curva desce abruptamente. A fotossíntese comporta-se de maneira muito diferente: geralmente, é uma genuína curva de ótimo, com declínio nitido em temperaturas bem aquém do ponto letal. Isso foi evidenciado especialmente por *Lundegardh* (35), de quem reproduzimos a

Fig. 7, que apresenta várias curvas de assimilação em folhas da batatinha (*Solanum tuberosum*). Todas têm a sua parte ascendente, o ótimo, e a parte descendente. Vê-se, ainda, que a posição do maior ótimo — segundo *Lundegardh* existem 3 ótimos, veja, porém, a crítica de *Mueller* (44, p. 35) — se desvia, com iluminação decrescente, para temperaturas mais baixas. Além disso, a concentração de  $\text{CO}_2$  altera muito o comportamento; num teor de  $\text{CO}_2$  muito mais elevado do que o normal, o ótimo principal é encontrado em temperatura mais alta (30° C.).

A forma diferente das curvas de fotossíntese e de respiração faz com que, em temperaturas elevadas, a assimilação deva ser

cada vez maior para equilibrar a respiração. Em temperaturas baixas, muitas vezes temos, para a mesma intensidade de luz, valores positivos da fotossíntese total, ao passo que em temperaturas altas tornam-se negativos. Isso é demonstrado por observações de *Mueller* (44), que determinou — em temperaturas diferentes — o ponto de compensação em várias plantas, encontrando, por exemplo, os valores seguintes de iluminação, medida em Lux ou Velas métricas <sup>1)</sup>:

TABELA 10  
Ponto de Compensação seg. *Mueller* (44)

Temperatura ° C	<i>Salix glauca</i>	<i>Chamaenerium latifolium</i>
0 <sup>2)</sup>	250	175
10	750	500
20	1700	1550

Isso quer dizer que acima de 20° C o ganho final de *Salix* teria valores negativos numa intensidade de 1700 Lux, ao passo que a mesma intensidade permite valores positivos a 0 e a 10° C.

Também as condições internas das plantas influem: Luz ou temperatura, às quais as plantas estiveram sujeitas anteriormente, alteram sua disposição fisiológica. *Harder* (22, 23) mostrou que tratamento anterior em luminosidades ou temperaturas diferentes desloca o ótimo e o ponto de compensação de plantas terrestres e algas. A capacidade das plantas de adaptar as folhas a diversas condições de luz, aliás, já se percebe pelo comportamento das folhas de sombra e das de sol da mesma planta, apresentado na Fig. 6. Nessa figura o ponto de compensação é marcado pelo ponto em que a curva atravessa a linha na altura de zero; para a folha de sol, é desviado para a região de maior luminosidade.

Estas diferenças podem ser formidáveis. *Boysen-Jensen* (4), por exemplo, indica, para folhas de luz e folhas de sombra da mesma planta, em condições iguais, o ponto de compensação seguinte (em lux):

<sup>1)</sup> *Lux* é uma das unidades usadas para indicar intensidades de iluminação. Corresponde á intensidade de luz que um ponto recebe a 1 metro de distância de uma vela de *Hefner*. Em plena luz do meio dia, podemos contar com uma luminosidade aproximada de 150.000 Lux.

<sup>2)</sup> Os valores de 0° são calculados só por extrapolação.

	Fólias de luz	Fólias de sombra
<i>Betula verrucosa</i> .....	1000	400
<i>Fraxinus excelsior</i> .....	700	200
<i>Fagus sylvatica</i> .....	500	150

Para a compreensão da vegetação tropical, estudos sobre o ponto de compensação nas diversas categorias de plantas seriam interessantes. Será constatada, provavelmente, uma certa adaptação às temperaturas elevadas, na posição do ótimo da termo-curva de assimilação e na do ponto de compensação.

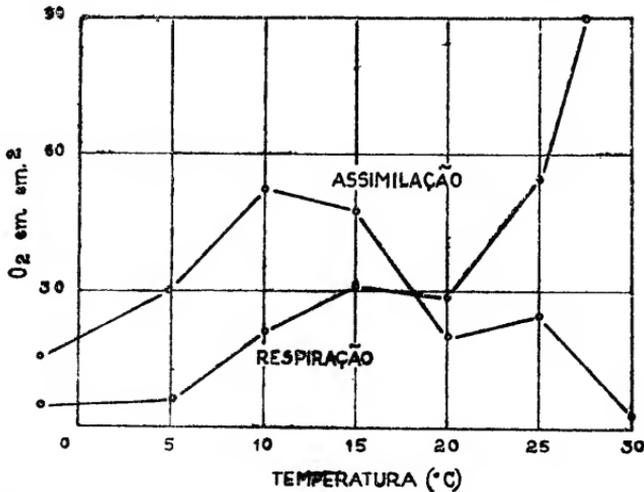


Fig. 8 — Respiração e assimilação de *Plocamium coccineum*, no verão. Iluminação 298 Lux. Seg. Ehrke (10).

Plantas adaptadas ao clima frio mostram o contrário. A esta categoria pertencem muitas algas marinhas das zonas temperadas, como já foi mencionado na 1.<sup>a</sup> parte (48, p. 15). A Fig. 8 mostra as curvas de assimilação e respiração de uma *Rhodophyceae*. O ótimo de assimilação encontra-se a 10° C. O ponto de compensação para a iluminação indicada é atingido entre 15 e 20° C. A dependencia de tais algas de temperaturas baixas, sem duvida, está ligada á posição do seu ponto de compensação.

#### e) — GRANDEZA DA FOTOSSINTESE

Quais as quantidades de substâncias assimiladas que as plantas podem formar num certo tempo é um problema que estudamos desde a obra clássica de Sachs (52). Neste trabalho, Sachs

não só introduziu a prova de iodo para demonstrar o amido formado, como mostrou também que, pelo "método das metades de folhas" se pode avaliar quantitativamente a grandeza da fotossíntese. Determinando o pêso de substância a sêco, de pedaços iguais, tirados da metade de uma folha, de madrugada, antes do começo da fotossíntese e da outra metade da mesma folha, à tarde, chega-se a determinar o ganho em substâncias. Para saber o valor verdadeiro da assimilação é preciso conhecer também as substâncias perdidas durante a experiência, por respiração e, no caso de se tratar de folhas deixadas na planta, por condução. Para o Girasol (*Helianthus annuus*) foi encontrado um valor total de 1,8 g por hora e por m<sup>2</sup>. Para a Abobora (*Cucurbita Pepo*) o resultado foi de 1,5 g.

Este método que parece tão simples suscita certas ressalvas. A fotossíntese e suas atividades afins são fenômenos complexos que se apresentam cada vez mais intrincados. O método de *Sachs* pressupõe que o processo de assimilação se daria durante várias horas com certa constância. *Sachs* dividiu o ganho total de 10 horas do dia por 10, para chegar a um valor horário de assimilação. Não sabemos, porém, se a fotossíntese assume valores iguais durante todo esse tempo. Na maioria dos casos — pelo menos dos observados no campo — sobrem um fechamento, pelo menos parcial dos estômatos, que pode diminuir os valores. Além disso, os próprios produtos assimilados, quando acumulados nas células devem ter uma influência retardadora. De outro lado, foram incluídos no cálculo do ganho total, os valores da condução para baixo e da respiração. Estes valores foram tirados de observações paralelas, no escuro. Hoje temos motivos para duvidar de que estes valores, observados no escuro, sejam válidos também para as horas de fotossíntese (Vide p. 31).

Os métodos modernos empregam o sistema de análise do ar que passa por uma folha em recipientes fechados. Dão valores sobre lapsos de tempo muito menores. A diferença do ar antes e depois da passagem indica o CO<sub>2</sub> empregado na fotossíntese. Pode-se medir diretamente a diminuição de CO<sub>2</sub> ou o aumento em O<sub>2</sub>, sendo de supor que a quantidade das moléculas dos dois gases seja igual 1). A 1,5 g de CO<sub>2</sub> absorvido corresponde aproximadamente 1 g de Hidrato de Carbono formado. Os méritos da introdução de tais métodos cabem especialmente a *Lundegardh* (34); os pesquisadores usam, hoje, diversos aparelhamentos, em parte especializados para estudos no campo. O leitor encontra

---

1) Vide equação da assimilação, p. 9. Dela resulta o coeficiente assimilatório  $\frac{O_2}{CO_2} = 1$ . Vide também p. 32.

descrições — entre outros — nos trabalhos de *Mitchell* (41), de *Nutman* (45), de *Holdheide*, *Huber* e *Stocker* (26) e de *Schanderl* e *Bosian* (53).

Os valores conseguidos com tais métodos são da ordem de grandeza das quantidades observadas por *Sachs* (52). Entretanto, também estes dados estão sujeitos a dúvidas. O recipiente fechado não garante condições comparáveis às da folha livre. Especialmente quando se trata de medir os valores máximos possíveis, não sabemos se a difusão de  $\text{CO}_2$ , na corrente lenta que atravessa os recipientes, de fato será igual à difusão ao ar livre, onde a ventilação é bem diferente. Aqui existem sempre muitas pequenas correntes de ar, que provocam uma troca de gases viva, porém pouco analisada. Pela mesma causa, ocorre um aquecimento excessivo nos recipientes, que muitas vezes foi mencionado pelos autores, temperatura essa cuja influência sobre o ponto de compensação já foi mencionada. Assim, as pesquisas mais interessantes, como as de *Kostytschew* (31), que logo mencionaremos, apresentam uma grande inconstância nos valores.

Tais inconstâncias podem derivar também de outros fatores: a fotossíntese por si só, até em intervalos pequenos, não é um fenômeno tão constante como se pensava. Que o próprio acúmulo de produtos assimilados pode diminuir a intensidade da fotossíntese já foi mencionado. Mas, ainda que desprovidas de produtos assimilados, as plantas não começam, quando expostas à irradiação contínua, com um valor constante de fotossíntese. Esta aumenta gradativamente desde o começo da iluminação, estando sujeita também a variações no sentido contrário; sobre essas variações do tempo pouco sabemos.

*Harder* (25) observou isso no musgo aquático *Fontinalis*, medindo o  $\text{O}_2$  desprendido. *Emerson* e *Lewis* (12), por outro lado, mostraram em Algas aquáticas, como *Chlorella*, que a curva de  $\text{CO}_2$  absorvido, em alternância de escuro e de luz, flutua muito mais do que a do  $\text{O}_2$  desprendido.

As observações destes últimos autores referem-se especialmente a um problema que ainda não temos mencionado: o rendimento da fotossíntese em relação aos quanta de luz. Os trabalhos de *Warburg* (59) determinaram o valor, muito citado na literatura, de 4 quanta, utilizados para a redução de uma molécula de  $\text{CO}_2$ . Os resultados de *Emerson* e *Lewis* (12), considerando erros provocados pela inconstância das flutuações só agora descoberta, chegam a valores menores, ao redor de 10 quanta por molécula de  $\text{CO}_2$ . Não sabemos se tais dados representam a última palavra; citamo-los neste conjunto, mais para mostrar as dificuldades, com as quais também os métodos de análise de gases têm que contar na determinação da eficiência ecológica da fotossíntese <sup>1)</sup>.

---

1) *Os últimos progressos de nossos conhecimentos sobre a fotossíntese, o leitor os encontra reunidos nas revistas anuais do "Annual Review of Biochemistry" (29).*

Finalmente, a grandeza da respiração simultanea á fotossíntese constitue um fator desconhecido; em todo o caso não pode mais ser suposta igual á respiração no escuro, em condições iguais. Na luz aparecem logo os produtos assimilados, que por sua vez podem aumentar a respiração; mas, a iluminação exerce também uma influencia direta, podendo provocar aumento formidável da respiração. Isso resulta especialmente dos estudos de *Van der Paauw* (58) e, mais detalhadamente, de *Emerson* e *Lewis* (11).

Determinações da intensidade de assimilação por métodos analíticos conduziram a valores como os reunidos por *Lundegardh* na tabela seguinte.

TABELA 11

*Intensidade absoluta de assimilação, á temperatura de 18-20° C, e em iluminação ótima (1/4 - 1/1). Teor normal do ar em CO<sub>2</sub>. Seg. Lundegardh (35)*

P l a n t a	Hidrato de Carbono (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) formado, em g. por m <sup>2</sup> e por hora
<i>Solanum tuberosum</i> (batatinha) ..	1,30
<i>Solanum lycopersicum</i> (tomate) ..	1,15
<i>Beta vulgaris</i> (beterraba) .....	1,26
<i>Spinacia oleracea</i> (espinafre) ...	1,33
<i>Vicia faba</i> (Fava) .....	1,20
<i>Phaseolus vulgaris</i> (feijão) .....	1,26
<i>Oxalis acetosella</i> .....	0,33

Com exceção da planta de sombra *Oxalis*, os valores mantêm-se na ordem de grandeza (1,5 — 1,8 g por metro) dos observados por *Sachs*; são menores, mas *Helianthus* e *Cucurbita*, estudados por *Sachs*, são plantas de tão grande intensidade de crescimento, que nelas valores especialmente altos não surpreendem.

A exuberância da vegetação tropical sugere a idéia de que nos trópicos deveriam ser encontrados valores especialmente altos de fotossíntese. As pesquisas mais recentes não permitem, entretanto, uma resposta afirmativa. Dados modernos de vários pesquisadores acham-se reunidos no trabalho de *Stocker* (57). Os próprios dados deste Autor, conseguidos com fôlhas cortadas em luz artificial, não pretendem dar uma resposta á nossa pergunta. Valores muito altos foram encontrados na Ásia central por *Kostytschew* (31), para o arbusto dos camelos (*Alhagi camelorum*). Esta planta, que desenvolve pouca folhagem acima da

terra, ao passo que seu sistema radicular procura o lençol subterrâneo em profundidades de 20 ms., vive em condições comparáveis às das nossas *Andiras* e *Anacardiums*, descritos mais atrás (p. 108). Não tendo necessidade de fechar cedo os estômatos, pode assimilar irrestritamente, ao menos durante certo tempo, em iluminação forte. Os valores encontrados por *Kostytschew* (l.c.) atingem 75 mg de  $\text{CO}_2$  absorvido por  $\text{dm}^2$ , por hora, o que corresponde a 50 mg de carboidratos formados por  $\text{dm}^2$ , ou sejam 5 g. por  $\text{m}^2$  e por hora. Estes valores ainda são ultrapassados pelos indicados para o planalto do Pamir por *Blagowestschenski* (2), onde o valor máximo em *Gentiana algida* chegou até 100 mg  $\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{hora}$ . (Segundo citação deste autor, valor idêntico foi observado por *Killian*, na Argélia, para *Narcissus Tazetta*). 100 mg  $\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{hora}$  seriam 6,7 g de produtos assimilados por  $\text{m}^2$  e por hora. Quasi na mesma ordem de grandeza ficam os valores observados por *Moench* (42) em *Alchemilla alpina*, nos Alpes bávaros (90 mg  $\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{hora}$ ).

Os valores máximos, que acabamos de citar, não nos parecem improváveis. Os 1,8 g por  $\text{m}^2$  observados por *Sachs* — se precisam de correções — provavelmente deveriam ser aumentados por valores maiores de condução e respiração simultâneas do que os supostos por *Sachs*. Como indicou *Von Guttenberg* (18), o rendimento máximo só se deve esperar nas primeiras horas da manhã. Considerando-se só as horas mais favoráveis do dia, valores como os do *Alhagi* não parecem surpreendentes.

Outra questão, naturalmente, é a de saber se, nas condições tropicais, as plantas ao meio dia podem continuar com a fotossíntese. *Von Guttenberg* e *Von Faber* (citado pelo primeiro, 18) supõem que geralmente as plantas tropicais fecham os estômatos na luz do meio dia. As curvas diárias dos autores russos mencionados indicam o mesmo.

Tal comportamento, sem dúvida, será frequente, mas não geral. *Harder* e colaboradores (24) encontraram, em pleno deserto africano, plantas cujos estômatos ficaram abertos durante todo o dia, na época seca, acusando sempre valores positivos de fotossíntese. E' de se esperar que nos campos cerrados do Brasil, onde a maioria das plantas não fecha os estômatos durante todo o dia (49), a assimilação dê valores altos durante todas as horas.

Como vimos, nossos conhecimentos dos valores máximos de fotossíntese por unidade de superfície folhear, em diversas condições ecológicas, ainda são imperfeitos. Os valores efetivos, para épocas maiores, podem, porém, ser depreendidos, com maior facilidade, do aumento de peso que as plantas acusam nas culturas e nos campos.

*Sachs* (52) calculou que uma planta normal de Girasol, na época de maior crescimento, possuindo talvez 1,5  $\text{m}^2$  de superfície folhear, ganharia — por dia — 36 g de substância seca. Um

pé de abóbora (*Cucurbita Pepo*), nas mesmas condições, com 116 fôlhas e com uma superfície de 7,3 m<sup>2</sup> aumentaria 185 g, também num dia de 15 horas. *Maximov* (37) cita dados de *Miller*, em Kansas (l.c., p. 215) que indicam o acréscimo semanal do péso de uma planta de milho.

TABELA 12

*Aumento semanal no péso a sêco do Milho, seg. Miller, in Maximov (37, p. 215)*

Numero de semanas depois da sementeadura	Sementeadura	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Péso a sêco em g .....	0,30	0.15	0.6	4.7	16	49	124	195	300	385	500	570	680	800	900
Aumento em g	...	-0.15	0.45	4.1	11	33	75	71	185	85	115	70	110	120	100

Com o desenvolvimento da superfície folhear o acréscimo em péso aumenta rapidamente para acusar um pequeno retardamento na 10a. semana, que coincide com a época da floração. O ganho máximo de 110 a 120 g por semana corresponde a 16 g por dia, valor êste que não discorda muito na sua ordem de grandeza dos valores calculados por *Sachs* (52) para plantas com superfície folhear maior. Até parece superior, incluindo-se no cálculo a respiração e as perdas, não pequenas, em substância gasta para formação de raízes e fôlhas que durante a vida da planta são afastadas.

Muitas vezes, os autores referem o acréscimo de substância sêca á quantidade de água gasta, no mesmo período, por transpiração 1). O "coeficiente de transpiração" que aparece em tais estudos, indica o numero de gramas de agua gastas por grama de substância sêca formada. Êsse coeficiente pode variar, segundo os autores, entre 260 g e mais de 1000. Se indicarmos o numero de gramas de substância sêca obtida por litro de agua transpirada, teremos o índice de "eficiencia da transpiração", que segundo os autores varia entre menos de 1 g até quasi 4 g. Tais dados para avaliar a grandeza da assimilação não têm valor imediato; refletem mais as condições de sêca e de humidade, ás quais as plantas estão submetidas ou adaptadas. Em condições muito aridas, a eficiencia da transpiração, em geral, é relativamente pequena, por causa da grande evaporação. Plantas aquáticas, submersas, não gastam água e as plantas terrestres que crescem em regiões muito húmidas — se não houver gutação — também não

1) *Dados extensos encontram-se em Maximov (36, Cap. X).*

gastarão tanto. Muito influe a necessidade em que se vêem as plantas de fechar os seus estômatos, necessidade essa que depende da humidade do clima e da constituição da planta; plantas de sombra fecham os estômatos quando as plantas de sol ainda podem mantê-los abertos.

Tais condições são muito bem ilustradas pelo comportamento do café, conforme *Nutman* (45, I e II). A Fig. 9 mostra o

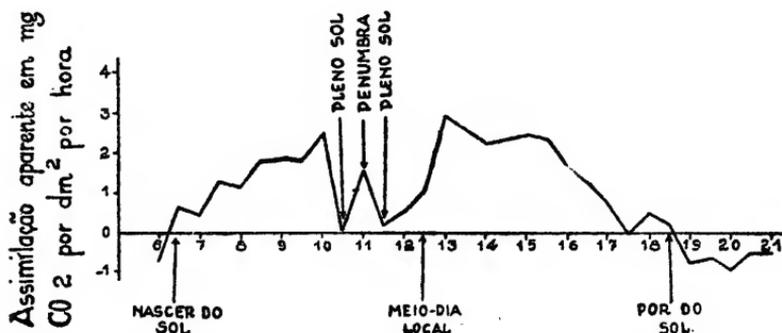


Fig. 9 — Andamento diurno da assimilação de uma folha de *Coffea arabica*, de um pé sombreado por *Grevillea robusta*, seg. *Nutman*, 45.

comportamento de uma fôlha de café, bem sombreado por *Grevillea robusta*, árvore essa que na África serve muito para sombreamento e que conhecemos no Brasil como árvore decorativa. Vê-se como os valores sobem com o nascer do sol, até 10 horas. Depois dão-se duas quedas bruscas, quando o sol direto alcança a fôlha. Este abaixamento da assimilação é acompanhado pelo fechamento dos estômatos, como o autor mostra na 2a. parte de seu trabalho.

O Café pertence às plantas que encontram as melhores condições na luz difusa. A Fig. 10 mostra o comportamento de fôlhas em tempo nublado e com sol aberto, na média de várias experiências. Com sol aberto temos o comportamento já mencionado para outras plantas (48, p. 81), que assimilam muito só nas primeiras horas da manhã, com uma segunda elevação do valor à tardinha. Em luz difusa, porém, temos os valores máximos ao meio dia e em geral, então, os valores totais do dia são maiores. Parece, segundo um trabalho de *Coaracy* (8), que podemos supor comportamento análogo para os cafés cultivados entre nós; estudos detalhados poderão nos dar informações valiosas sôbre o papel do sombreamento do café.

Em traços gerais, a assimilação depende, como a transpiração, do estado de abertura dos estômatos (Vide p. 46). Para com-

preender essas analogias entre fotossíntese e transpiração de plantas terrestres vide a 1a. parte, p. 81 e seguinte.

Observações como a apresentada na Fig. 9 parecem de interpretação simples. Geralmente, os estudos no campo fornecem cur-

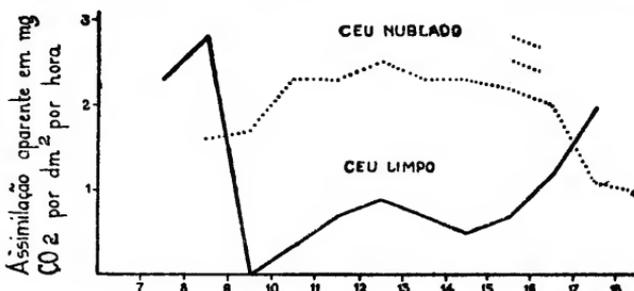


Fig. 10 — Valores medios horarios de assimilação de folhas de *Coffea arabica*, em condições de céu nublado e sol aberto, seg. Nutman, 45.

vas muito mais complicadas e de compreensão difícil. Ao meio dia, freqüentemente, observam-se — nas condições de recipientes

fechados — valores negativos que provavelmente devem ser atribuídos á respiração elevada, devida ao excesso de temperatura.

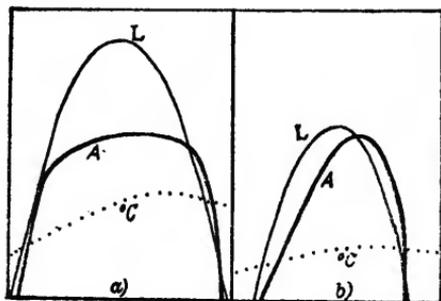


Fig. 11 — Esquema do andamento diurno da assimilação (A) em plantas submersas, em relação á intensidade da luz (L) e temperatura ( $^{\circ}$ C), em grande luminosidade (a) e em luminosidade fraca (b). Em consequencia do aquecimento lento da agua, as curvas de assimilação aparecem deslocadas, em relação ás curvas de iluminação. Seg. Gessner (17).

Em condições do campo, como no recipiente das análises gasométricas, a quantidade de CO<sub>2</sub> e a sua difusão podem se tornar o fator limitante. Isso até parece ser válido para plantas submersas, aquáticas, seg. Gessner (17). Na Fig. 11, em luminosidade fraca, a assimilação acompanha quasi exatamente a intensidade da luz (com um pequeno atrazo provocado pelo aumento da temperatura, que é lento na agua). Em grande lu-

minosidade, a assimilação não sobe mais, nas horas de irradiação mais forte. Reações estomáticas aí não podem intervir e co-

mo *Gessner* torna provável, o efeito se deve à dificuldade da difusão do  $\text{CO}_2$ . Fôlhas muito retalhadas, com superfície relativamente grande, têm, em tais condições, assimilação maior do que fôlhas inteiras. Estas últimas, por sua vez, aumentam os seus valores, quando a difusão fôr aumentada, pondo-se a água em movimento.

Quando tratarmos do  $\text{CO}_2$  como fator ecológico, veremos que a renda da fotossíntese pode ser muito aumentada por acréscimo deste gás, em luz forte. Em condições normais, provavelmente, a luminosidade equatorial não aumenta muito os valores da assimilação, em comparação com outras latitudes. A exuberância da vegetação tropical será devida antes às condições favoráveis de temperatura e de humidade.

#### f) — FOTOPERIODISMO

De grande importância para a periodicidade dos fenômenos vitais das plantas é o ritmo da iluminação diária, cuja duração varia com as estações. A diferença do comprimento dos dias in-

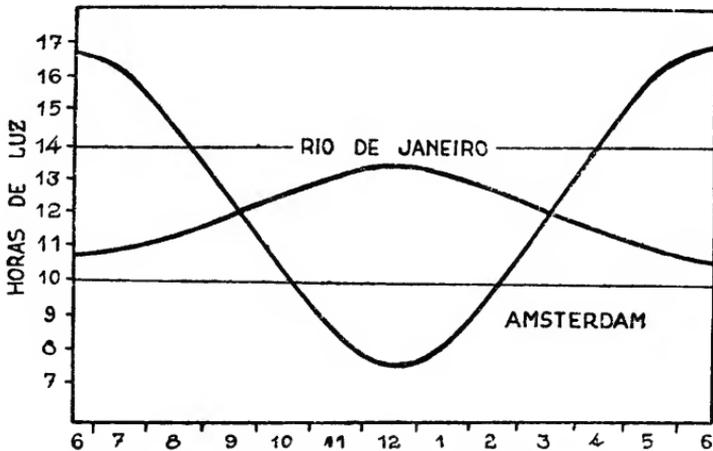


Fig. 12 — Duração do dia em Amsterdam e no Rio de Janeiro, durante o ano.

vernais e estivais é pequena nos trópicos, grande nas zonas temperadas. A Fig. 12 confronta, neste sentido, Amsterdam com o Rio de Janeiro. A tabela 13 reúne vários lugares, desde o Equador (Quito) até Helsinki, na latitude de  $60^\circ$ .

TABELA 13

*Duração do dia mais curto e do mais longo em diferentes latitudes, seg. Roodenburg (51)*

Lugar	Latitude	Dia mais curto		Dia mais longo	
		Horas	Minutos	Horas	Minutos
Quito .....	0° 14'	12	04	12	04
Porto Rico .....	18° 10'	11	01	13	10
Rio de Janeiro..	22° 54'	10	42	13	30
Valparaiso .....	33° 02'	9	55	14	18
Washington .....	38° 54'	9	23	14	51
Paris .....	48° 50'	8	11	16	06
Amsterdam .....	52° 30'	7	35	16	44
Punta Arenas ...	53° 08'	7	29	16	52
Helsinki .....	60° 05'	5	43	18	55 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> com crepusculo toda a noite.

A variação estacional da duração da luz influe de maneira muito parecida com a periodicidade das temperaturas.

Na I.<sup>a</sup> parte (48, p. 36 e seguintes) vimos como o periodismo no desenvolvimento das plantas depende das temperaturas estacionais. Aqui vemos que o mesmo se dá com a luz: Termoperiodismo e Fotoperiodismo são fenômenos interdependentes que se completam.

A influência do comprimento do dia sôbre o desenvolvimento das plantas foi descoberta por *Garner e Allard* (14). Suas primeiras observações foram feitas com a variedade Maryland-Mammoth de fumo (*Nicotiana tabacum*), que em Washington, no verão, não floresce, mas vegeta com grande exuberância. Para se conseguir sementes foi necessário recorrer á Florida, onde a variedade floresce. Cultivada, porém, no inverno, nas estufas de Washington, a planta também aí floresce; floresce e frutifica, assim, numa época em que a duração do dia é menor do que nas condições normais da cultura em Washington.

Com efeito, *Garner e Allard* (14) mostraram que a duração do dia é a causa disso: abreviando o dia do verão em Washington, conseguiram provocar a floração. Em seguida, descobriram todo um grupo de plantas "de dia longo" que florescem só no periodo dos dias longos. Existem, naturalmente, plantas indiferentes que não fazem caso do comprimento do dia.

As plantas que precisam de dia longo para florescer são, como é de se esperar, as provenientes das latitudes altas. Encontram-

se entre elas muitos trigos (*Triticum*) e variedades de aveias (*Avena sativa*). Os cereais cultivados em latitudes baixas, como *Sorghum*, *Oryza*, *Setaria italica* e a maioria das variedades do milho (*Zea Mays*) pertencem ao outro grupo — de dias curtos — como também os algodões (*Gossypium*), espécies e variedades de feijões (*Phaseolus*), a Soja (*Glycine Max*) e os *Chrysanthemums* e *Asters* dos nossos jardins. Provavelmente, devem ser aqui incluídas muitas plantas brasileiras; mas, só temos comprovação experimental para poucas espécies, como certas primaveras (*Bougainvillea*) e “campanulas” nossas como *Pharbitis hispida*.

Não nos devemos esquecer de que todas essas plantas para medrarem não dependem de uma certa duração do dia, suposto que recebam bastante luz para a sua assimilação. Da duração do dia depende, porém, a permanência — sempre, ou por mais tempo — no estado vegetativo ou a entrada na fase de floração. No último caso, formam-se os botões florais ou se desenvolvem os já preformados. Muito interessante é que estas reações fotoperiódicas nada têm que ver com a luz necessária para a fotossíntese. Para transformar um dia curto de talvez 10 até 12 horas de iluminação em dia longo é preciso acrescentar só algumas horas de iluminação artificial de intensidade muito baixa, inferior ao ponto de compensação, sendo suficientes intensidades, às vezes, de 10 até 20 lux. Para encurtar o dia basta escurecer, durante certas horas da manhã ou da tarde, as plantas. Escurecimento artificial como iluminação acessória, porém, só têm efeito quando aplicados em continuação do dia ou da noite já existentes. Luz acrescentada entre as horas de escuridão e escurecimento que interrompe o dia, não têm efeito.

O ritmo de dia e noite pode influenciar profundamente todo o sistema de reações interiores de uma planta, transformando a forma do crescimento, como mostra o exemplo da Fig. 13 (*Rasumov*, 46). A planta que anteriormente crescia em “dia longo” teve o ápice reto, folheado, pronto para florescer. Sujeito ao regime de dia curto, o ápice transformou-se num estolho que logo procurará a terra para formar um tubérculo.



Fig. 13 — Broto de *Ullucus*, sujeito ao regime de dia curto depois do de dia longo. Seg. *Rasumov* (46).

Esta susceptibilidade das plantas evoca muitos problemas do maior interesse fisiológico, problemas esses que hoje em dia são

objeto de pesquisas intensas em todo o mundo. Para a Fisiologia geral é interessante ver como os processos internos da planta obedecem a um ritmo diurno e noturno, sem dúvida sempre ligado com alterações no comportamento fisiológico do vegetal. Esta periodicidade observa-se facilmente nas “dormideiras”, que apresentam o sono noturno. Nas outras também deve existir; se não fosse assim, o período de dia e noite não as poderia afetar da maneira esboçada.

Para a Botânica aplicada o fotoperiodismo é da maior importância, dependendo os sucessos de aclimação de plantas cultivadas do conhecimento e da compreensão de tais fatos. Na Eco-



Fig. 14 — Uma planta de *Ullucus tuberosus*, cujo ramo esquerdo foi exposto ao dia longo, formando flores, ao passo que o ramo direito, exposto ao dia curto, não floresceu mas formou tuberculos. Seg. Rasumov (46).

logia natural de um país, tais fenômenos escapam facilmente á nossa atenção, porque as plantas naturais de uma região — se não pertencerem ao grupo das indiferentes — devem possuir uma adaptação natural ás condições reinantes. Como a nossa apresentação visa, especialmente, a vegetação nativa, limitamo-nos aqui a referir apenas os traços bem gerais do assunto; o leitor encontra literatura em trabalhos como, por exemplo, o de *Garner* (14) ou a *Fisiologia Vegetal de Maximov* (37) ou ainda os *Boletins do “Imperial Bureau of Plant Genetics”* (28).

Como acontece na vernalização, a reação das plantas pode ser influenciada mais ou menos irreversivelmente por um tratamento de dia curto ou longo de certa duração; basta uma “época de indução”. Depois de induzida a transformação no comportamento, esta pôde ficar definitiva, não dependendo mais da duração de dia e noite. Os cereais vernalizados pelo processo de *Lysenko* (veja 1.<sup>a</sup> parte, p. 38) depois de terem passado o seu

termo-estágio tornam-se sensíveis á duração da iluminação, passando por um foto-estágio correspondente. A importância disso para a triticultura sul-americana ressalta dos trabalhos feitos em Estanzuela, no Uruguai (Vide *Canel*, 7).

A iluminação longa ou curta tem efeito muito localizado. Sujeito um ramo de uma planta ao dia curto ou longo, só este ramo adota o comportamento correspondente.

Isso é excelentemente ilustrado pela Fig. 14, de *Ullucus tuberosus* (*Basellaceae*), planta tuberosa sul-americana estudada por Rasumov (46). A parte esquerda da planta exposta ao dia longo de 14 horas, formou e desenvolveu suas inflorescências. O brôto à direita, sujeito certo tempo — por escurecimento de algumas horas — ao regime de dia curto — mostra folhagem exuberante, sem inflorescência, e os ramos laterais que à esquerda trazem flôres, à direita tornam-se estolhos que procuram a terra, desenvolvendo seus tubérculos.

O ponto mais facilmente influenciado é o ponto vegetativo da planta, formando, certamente, hormônios responsáveis, hormônios cuja natureza está ainda em discussão, mas que não podem ser específicos, pois passam em plantas enxertadas, do garfo até o cavalo, mesmo de uma planta para outra de espécie e até de gênero diferente (*Hyoscyamus* e *Nicotiana*, seg. Melchers, 38), quando reunidas pelo enxerto. Com isso, já vemos que a localização do efeito fotoperiódico não é absoluta, migrando a influência do ponto apical até partes não diretamente afetadas. O transporte para baixo, como acontece muitas vezes, é mais fácil do que para cima; por isso, brotos diferentes de um caule mostram certa independência.

Se a sensibilidade principal parece caber aos pontos vegetativos, as folhas também não deixam de exercer a sua influência, como mostrou toda uma série de trabalhos russos (*Moschkov*, 43), americanos e alemães, que o leitor encontra discutidos, entre outras, nas publicações de Hamner e Bonner (21) e de Melchers e Lang (39).

A formação de tubérculos, muitas vezes, depende de condições diferentes das que importam para a floração, como já vimos no caso de *Ullucus*. O rabanete engrossa a raiz nos dias curtos, florescendo nos dias longos. A maioria das batatinhas (*Solanum*) também forma tubérculos em dias curtos; só nos alhos (*Allium sativum*) conhecemos o comportamento contrário. Em todos os casos, porém, não podemos generalizar para as espécies. Sempre existem raças ou, como dissemos na I.<sup>a</sup> parte (48, p. 16 e 36), biotipos diferentes, adaptados ao clima de sua proveniência. Isso foi evidenciado para muitas plantas. Muito citado é o comportamento diferente de variedades como “mandarim” e “biloxi” de Soja e diferenças análogas são encontradas no comportamento de trigos e de milhos de proveniências diversas. São significativas as observações de Hackbarth (20): *Solanum andigenum*, proveniente de regiões entre 4,5° N e 12° S, perto do Equador, era quasi exclusivamente do tipo dos dias curtos. Nas proveniências de latitudes mais meridionais prevalecem tipos indiferentes; *Solanum*

*tuberosum*, da ilha de Chiloé, a 42,5° S, revelou-se como sendo do tipo de dia longo.

O fotoperiodismo influencia todo o comportamento fisiológico das plantas e muitos fenômenos até agora tidos como autônomos na periodicidade da vida das plantas, revelam-se hoje dependentes do ritmo da iluminação. Isso se refere também á resistência das plantas ao frio, resistência essa que muda com as estações do ano, como documentamos com as figuras 3 e 4 da I.<sup>a</sup> parte (p. 19 e 20). *Moschkov* (43) mostrou que também este periodismo é afetado pelo ritmo do dia. Se ha repouso e quando este começa, tudo isso pode depender do ritmo dos dias. Plantas, cuja floração é indiferente ao fotoperiodismo podem evidenciar-se muito sensíveis a este em relação á sua resistencia ao frio, ou melhor, pela sua prontidão para entrar em repouso. (Vide também *Kramer*, 32).

A grande sensibilidade das plantas e as muitas reações pelas quais podem responder ás diferentes condições do ambiente não surpreendem ao fito-fisiólogo, se bem que os botânicos que têm que aplicar esta ciência, muitas vezes se esquecem disso. Especialmente quando se trata de aclimatar plantas de proveniência estrangeira, pode surgir toda uma série de dificuldades inesperadas 1). Entre estas se encontram Foto e Termoperiodismo.

Nas nossas considerações, novamente tocamos num assunto que também é de grande importância ecológica, quer se trate de plantas nativas ou introduzidas: a existência de biotipos (ou variedades genotípicas) diferentes, que compõem as espécies. Na I.<sup>a</sup> parte (48, p. 16), salientamos a importância de tais fatos para a Silvicultura. Aqui, voltamos ao caso, citando as constatações das expedições russas á America do Sul, em relação ás batatinhas inglesas (que, aliás, não pertencem só á espécie *Solanum tuberosum*, mas também a outras, especialmente *S. andigenum*). As batatinhas cultivadas até os últimos anos provieram de poucos exemplares introduzidos, logo depois de sua descoberta, na Europa. Aqui, a seleção voluntária ou involuntária eliminou — entre outros — os caracteres de fotoperiodismo de dia curto. Embora tenham sido creadas muitas variedades de grande valor, partindo-se dos poucos genotipos inicialmente introduzidos, as expedições russas descobriram — nos Andes — uma riqueza formidável de outros genotipos que vão ser utilísimos para obtenção sistemática de novas formas. As observações são tão ilustrativas, que fechamos este capítulo com uma citação de *Bukasov*, emprestada de

---

1) Na verdade, o assunto é mais complicado do que pudemos apresentá-lo aqui. Assim para citar um só exemplo — nas temperaturas baixas da Rússia setentrional, batatinhas inglesas assumem o comportamento de plantas de dia longo, efeito esse que falta nas mesmas variedades em temperaturas mais elevadas (Eientfeld, *seg. Imp. Bureau of Pl. Genet.*, p. 100).

uma publicação do "Imperial Bureau of Plant Genetics" (28). Mostra não só a importância prática do assunto, mas também o comportamento ecológico das sub-espécies ou biotipos, nas regiões onde são nativas:

"A zona de cultura da batata nativa da América do Sul estende-se de 40° S até o Equador, e mesmo ainda ao Trópico de Cancer, abrangendo ao todo mais de 60 graus de latitude. Das praias do Pacífico, ao nível do mar, até alturas de mais de 4.000 m, nas Cordilheiras dos Andes, quasi até o limite da neve, espécies diferentes de batatinhas são cultivadas. Nos extremos das elevações ocorrem geadas constantemente. Ai, desde tempos imemoriais, têm sido cultivadas unicamente certas espécies que não sofrem com estas geadas. Nos vales quentes das montanhas são cultivadas outras espécies. As precipitações nos campos nativos de batatinhas variam da abundância de 2.000 mms. até a escassês de 200 mms. anuais, onde a cultura só é possível mediante irrigação. Toda esta variedade de condições, que além disso são confinadas a zonas nitidamente demarcadas — separadas por desertos e brejos salinos dos mais inférteis do mundo, por cadeias de montanhas intranponíveis coroadas de neves eternas, ou por mata virgem tropical impenetrável á outra vegetação, ou por largos e inacessíveis vales de rios de montanhas, inavegáveis, ou por golfos — tudo isso criou condições para a produção de espécies nitidamente distintas e altamente características de batatinhas cultivadas, caracterizadas por resistência á geada, germinação rápida, maturidade precoce, maturidade tardia, curto fotoperíodo, longo fotoperíodo, etc." (l.c. p. 2).

## D) — OUTROS FATORES CLIMATICOS

### (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Vento)

Entre os fatores climáticos, temperatura, humidade e luz desempenham o papel preponderante para a Ecologia. O conteúdo da atmosfera em Oxigênio e Anidrido carbônico, como a atuação do vento são de grande importância fisiológica, mas na Ecologia influem sómente em certos casos especiais, de maneira que serão considerados detalhadamente quando tratarmos das formações e associações vegetais afetadas por êles. Quanto aos dois gases mencionados, a sua falta ou o seu excesso se faz sentir especialmente na vegetação aquática e de brejos. O vento importa de preferência no litoral e nas altas montanhas.

#### a) — OXIGÊNIO

O Oxigênio, imprescindível á respiração, encontra-se na atmosfera sempre em quantidade mais que suficiente para as necessi-

dades das plantas. Os 21 porcentos volumétricos, que encontramos com grande regularidade no ar, podem bem ser diminuídos grandemente sem reduzir a respiração. Flores, frutos e plantinhas podem respirar normalmente ainda, quando o ar contém 2-4 % de  $O_2$ , isto é,  $1/5$  até  $1/10$  do volume normal. O mesmo vale para plantas aquáticas, cujo comportamento é ilustrado pelo gráfico seguinte (Fig. 15), que reproduzimos de Gessner (16). Em ambas as plantas estudadas a respiração mantém-se no mesmo nível, ao diminuir o conteúdo em  $O_2$ , até ser alcançado um terço ou um quinto do conteúdo existente na água saturada. Existem, porém,

plantas aquáticas mais exigentes, que precisam de um abastecimento grande, contínuo, de oxigênio. São as espécies habituais à água fortemente ventilada, espécies essas limitadas à beira mar com grande ressaca, ou a rios e córregos de água doce com grande correnteza.

Em casos em que o  $O_2$  se torna o fator limitante, a temperatura também entra em jogo. Como mostra a tabela seguinte, água quente mantém menos  $O_2$  em solução do que água fria. Em temperaturas baixas, de outro lado, a respiração é, como já vimos (p. 27) menor. Por estas duas razões, temperaturas baixas são favoráveis para plantas aquáticas, cuja respiração poderia ser prejudicada por falta de oxigênio.

Ao passo que um litro de ar contém cerca de 210  $cm^3$  de oxigênio, o litro de água hospeda entre 5 e 10  $cm^3$ . A pobreza relativa da água em oxigênio dissolvido não afeta só as plantas aquáticas; as plantas terrestres têm as raízes no solo, cujos interstícios são mais ou menos preenchidos com água, de maneira que a parte subterrânea das plantas terrestres pode deparar com as mesmas dificuldades de respiração que as plantas aquáticas. Por isso, a aeração dos solos desempenha um papel importante, tanto para a ecologia das plantas nativas, quanto para a das culturas, assunto esse a que voltaremos no capítulo dos solos (p. 124).

A importância da respiração para o rendimento da assimilação já foi considerada quando tratamos do ponto de compensação (p. 27). Vimos que valores certos não podem ser indicados, dependendo a respiração da temperatura, como também de vários

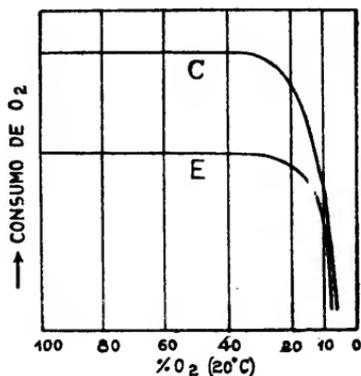


Fig. 15 — Intensidade da respiração em relação ao conteúdo de oxigênio na água. E = *Elodea crispa*; C = *Cabomba aquatica*. Seg. Gessner (16)

outros fatores, como a própria iluminação. Valores como o indicado por *Stalfelt* (56) para a aveia, de 1,1 mg de O<sub>2</sub> por dm<sup>2</sup> e por hora, a 17°C ilustram a ordem de grandeza da respiração das fôlhas. (A assimilação, em boa iluminação, nas mesmas condições, dá valores ao redor de 15 mg de CO<sub>2</sub> absorvido). Uma lista extensa de valores de respiração, registrados por vários observadores, encontra-se no trabalho de *Stocker* (57).

TABELA 14

Conteúdo de O<sub>2</sub> por um litro de água saturada de ar, a 760 mm de pressão barométrica (Seg. *Landolt e Börnstein*, 33, I, p. 766)

Temperatura	cm <sup>3</sup> de O <sub>2</sub>
0°	10,19
4°	9,14
10°	7,87
15°	7,04
20°	6,36
25°	5,78
30°	5,26

### b) — GAZ CARBÔNICO

Ao contrário do Oxigênio, o CO<sub>2</sub> existe no ar em quantidade muito pequena. O ar contém, em média, 0,03 porcentos volumétricos de CO<sub>2</sub>, o que perfaz — em pressão normal — em peso, 0,57 mg por litro. Assim, a concentração do CO<sub>2</sub> frequentemente se torna o fator limitante da assimilação e aumentando a sua concentração podemos aumentar o rendimento da fotossíntese. Isso, porém, é sem importância para a vegetação em condições naturais, pois a atmosfera normal, que rodeia a vegetação não se afasta muito, na sua composição, da média indicada. Só em condições em que a respiração do solo — ou, como veremos, talvez da própria vegetação fora da terra — é muito forte, foram observados valores maiores, como 0,06 porcentos volumétricos de CO<sub>2</sub> perto do solo, em florestas tropicais e de climas temperados (*Evans*, 13). Geralmente, as oscilações são muito menores, como ressalta especialmente das amplas investigações de *Lundegardh* (35, p. 492). Durante as horas de assimilação intensa, perto das camadas de fôlhas, o conteúdo da atmosfera diminui um pouco, para depois voltar ao normal, por troca com a atmosfera mais distante. À noite, a respiração pode contribuir também para o aumento. Os autores, diversas vezes, constataram os valores mais altos de CO<sub>2</sub>

em florestas, de manhã, já depois do levantar do sol (*Stocker*, 57 e *Evans*, 13). Talvez este fenômeno seja de explicação mais fácil do que acha *Evans* (l.c. p. 448); pode estar relacionado com a abertura matinal dos estômatos. Esta só ocorre depois do levantar do sol, pelo menos na maioria das plantas; fôlhas que ficaram durante toda a noite com os estômatos fechados, devem ter acumulado, nos seus espaços intercelulares, uma certa quantidade de  $\text{CO}_2$  de respiração, que agora, libertado, deve aumentar, passageiramente, o teor em  $\text{CO}_2$  do ar.

Como o teor em  $\text{CO}_2$  é um fator limitante, cada aumento de concentração traz consigo um acréscimo nos valores da fotossíntese. Nisso reside a possibilidade de se adubar artificialmente com  $\text{CO}_2$ , em estufas, por exemplo, onde uma atmosfera determinada pode ser mantida. O rendimento não cresce, naturalmente, "ad infinitum"; com pequenas doses acessórias de  $\text{CO}_2$  o rendimento sobe proporcionalmente, mas logo chegamos a concentrações em que a curva não mais subirá, quer dizer, em que o  $\text{CO}_2$  deixa de ser o fator limitante; outros fatores, então, externos ou internos limitam a fotossíntese. *Lundegardh* (35) obteve valores máximos com 1,22 % de  $\text{CO}_2$  no ar, para fôlhas de batatinha, tomate, etc. (l.c. p. 52). O  $\text{CO}_2$  absorvido por 50  $\text{cm}^2$  por hora foi, então, em vez dos 9,57 mg das condições normais, para batatinha 40,7 mg e para tomate subiu de 8,42 mg a 30,3 mg. *Willstaetter* e *Stoll* (61), nos seus estudos clássicos, obtiveram, no Girasol (*Helianthus annuus*, em 5 % de  $\text{CO}_2$ , uma assimilação de 8,0 g de  $\text{CO}_2$  (o que corresponde a 5,4 g de Glucose formada) por  $\text{m}^2$ , por hora, em condições em que a pressão normal de  $\text{CO}_2$  teria fornecido os valores de 0,8 g de  $\text{CO}_2$  ou seja de 0,54 g de glucose. *Warburg* (59), nas suas muito citadas experiências com a alga *Chlorella*, observou acréscimo de rendimento proporcional á concentração de  $\text{CO}_2$ , entre concentrações de 0,05 até 10 vezes o normal. Em concentrações maiores o rendimento ainda cresce e *Emerson* e *Lewis* (12) observaram, na mesma alga, o maximo na concentração de 5 %.

Nas plantas terrestres o  $\text{CO}_2$  entra pelos estômatos e o comportamento destes é da máxima importância ecológica para a fotossíntese e para a transpiração. No essencial, valem as mesmas regras para ambos os fenômenos. As observações de *Brown* e *Escombe* (6) já citadas para a difusão do vapor d'água, no capítulo da transpiração (I.<sup>a</sup> parte, p. 70), mostraram que as fôlhas, através dos seus estômatos, podem absorver cerca de metade de  $\text{CO}_2$  que a mesma superfície livre de uma solução de potassa (KOH) absorveria da mesma atmosfera, durante o mesmo tempo.

Como a intensidade da transpiração, também a rapidez da absorção do  $\text{CO}_2$  depende do estado de abertura dos estômatos. Este fato foi contestado várias vezes, do mesmo modo que para

a transpiração. *Stalfelt* (56) afastou as últimas dúvidas, determinando a grandeza da fotossíntese em aberturas diferentes dos estômatos. A Fig. 16, aqui reproduzida apresenta 6 curvas para diferentes intensidades de iluminação. Em iluminação fraca os valores sobem proporcionalmente á abertura dos estômatos, somente até que a fenda atinja mais ou menos  $1 \mu$  de largura; abertura maior não aumenta mais a fotossíntese. Isso significa que em tais condições, todo o  $\text{CO}_2$  que ao mesmo tempo pode ser aproveitado entra já por fendas de  $1 \mu$ . Em luminosidade acima de 8000 lux,

abertura maior aumenta a assimilação, porque agora mais  $\text{CO}_2$  pode ser assimilado; maior abertura aumenta portanto a difusão deste gás.

Por que causas o aspecto destas curvas difere algo do da curva da transpiração, análoga, do mesmo autor (representada

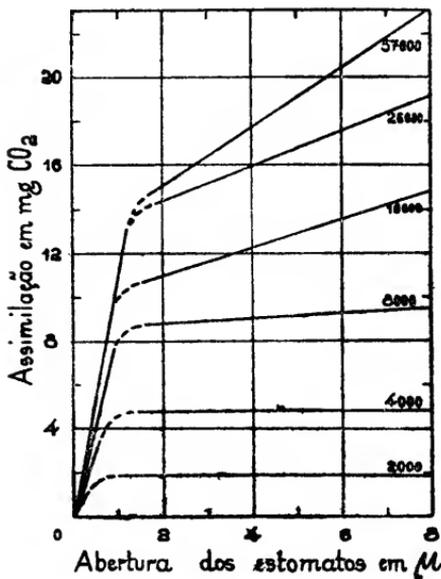


Fig. 16 — Assimilação em função da abertura dos estômatos (em  $\mu$ ). 6 curvas para 6 intensidades de luz, indicadas em "Lux". Observações em *Avena sativa*, seg. *Stalfelt* (56).

tada na I.<sup>a</sup> parte, 48, p. 69), não pode ainda ser explicado com certeza. Na transpiração forma-se um gradiente de concentração de vapor d'água, de dentro para fóra, com desenvolvimento suposto das pequenas cúpulas esquematizadas na Fig. 25 (I.<sup>a</sup> parte, 48, p. 70). Na assimilação, o gradiente se forma de fora para dentro e a concentração mais fraca de  $\text{CO}_2$  deve existir na proximidade das células assimiladoras. Tudo isso produz complicações cuja compreensão ultrapassa nossos conhecimentos atuais.

Retemos só o fato importante que a difusão atinge valores muito altos já com estômatos de abertura muito estreita. Existem plantas cujos estômatos só se abrem muito pouco, como a nossa *Cedrela fissilis* (Cedro, Vide 49). Tais estômatos podem facil e

rápido ser fechados; a pequena fenda, porém, deixa passar relativamente grandes quantidades de  $\text{CO}_2$ .

Neste estado de coisas, não é de admirar que cada ventilação do ar ambiente possa aumentar a entrada do  $\text{CO}_2$  para a folha. Na literatura citada encontramos documentação sobre o acréscimo da renda da fotossíntese em folhas expostas ao vento. Em plantas aquáticas, o movimento

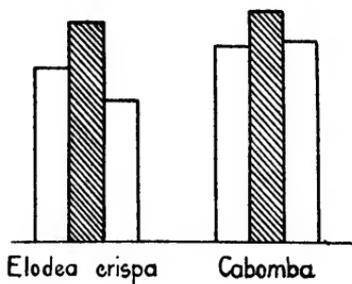


Fig. 17 — Influência do movimento da água sobre a assimilação de plantas submersas. Parte achuriada: rendimento em água movimentada. As partes brancas indicam os valores em água em repouso antes e depois da experiência. Seg. Gessner, 16.

da água tem o mesmo efeito, como se depreende da Fig. 17 (de Gessner, 16). Nas plantas terrestres podem ser — ao nosso ver — muito importantes também as pequenas oscilações do ar, que continuamente ocorrem até em atmosfera que, segundo dados meteorológicos, parece perfeitamente calma.

Esta troca continua de pequenas massas (pacotes) de ar, estudada na meteorologia desde poucos decênios, não foi considerada devidamente pelos autores em estudos sobre o rendimento da assimilação por análise de gases, mencionados à p. 31. Uma corrente de ar, conduzida artificialmente através de um recipiente, não equivale, como supõem os autores, a uma ventilação ao

ar livre. A justificação de nossa crítica repousa nas próprias observações dos autores. Todos eles mencionam sempre o aumento grande das temperaturas, que ocorre nos recipientes, em relação ao ar livre. Isso só pode significar que a ventilação nos recipientes é, de fato, muito inferior à ventilação exterior, que mantém a temperatura das folhas livres mais baixa.

Finalmente, mencionamos ainda o fato que as plantas podem formar certas reservas de  $\text{CO}_2$  de uma maneira ainda inexplicada. No escuro folhas vivas e mortas absorvem certas quantidades de  $\text{CO}_2$  (Willstaetter e Stoll, 61; Spoehr e Mc Gee, 55) e, como parece resultar dos estudos de Emerson e Lewis (12), algas unicelulares, como *Chlorella*, também são capazes de acumular reservas de  $\text{CO}_2$ .

### c) — O VENTO

Nas regiões tropicais, onde ventos regulares de grande veemência só existem excepcionalmente, sua importância para a ecologia não é tão grande como em certas regiões extratropicais.

Nestas, os ventos podem impedir o desenvolvimento normal das florestas, especialmente perto dos oceanos e do limite natural das florestas, nas altas montanhas e nas zonas árticas e antárticas (zonas de combate). Por isso, limitamo-nos, aqui, a algumas observações de caráter geral.

A transpiração cuticular e a estomatar são grandemente aumentadas pelo vento. Quando a absorção da água no solo ou a condução através de caules e troncos não pode mais acompanhar as exigências da transpiração, as plantas ou suas partes expostas ao vento sofrem, podendo murchar e até morrer. A velocidade do vento aumenta muito com a distância do solo; as árvores mais altas correm os riscos maiores. Por isso, observamos, em lugares muito expostos, deformações das árvores ou supressão total das mesmas. As plantas arbóreas tornam-se então arbustos ou ainda tipos mais baixos, aconchegados ao solo, formando tapetes característicos dessas zonas de combate.

Acrescenta-se a esses efeitos fisio-morfológicos a influência mecânica dos ventos, que quebram e arrancam folhas, galhos e ramos. A própria vegetação refreia os ventos; as copas das árvores e as plantas das margens das florestas são as mais expostas.

A vegetação por seu lado também protege os solos. Onde estes podem ser atacados livremente por ventos fortes, secam superficialmente, seguindo-se abrasão e denudação, de um lado, e formação de dunas de areia ou de depósito de loess, de outro. A Ecologia trata tais fatos especialmente no estudo do litoral e do deserto.

Finalmente, o papel dos ventos no transporte do pólen e na disseminação de sementes e frutos pode ser grande e a distribuição de certas espécies pode ser afetada pela velocidade e pela direção dos ventos da região.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — AZZI, G. — 1938 — O meio physico e a produção agricola. — Rio de Janeiro.
- 2 — BLAGOWESTSCHENSKI, W. A. — 1935 -- Ueber den Verlauf der Photosynthese im Hochgebirge des Pamirs. — *Planta*, 24, 276.
- 3 — BOERGER, A. — 1943 — Investigaciones Agronomicas, I, II, III. — Montevideo.
- 4 — BOYSEN-JENSEN, P. und MUELLER, D. — 1929 — Ueber die Kohlensaureassimilation bei Marchantia und Peltigera. — *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 70, 4.
- 5 — BOYSEN-JENSEN, P. — 1932 — Die Stoffproduktion der Pflanzen. — Jena.
- 6 — BROWN, H. T. and ESCOMBE, F. — 1900 — Static diffusion of gases and liquids in relation to the assimilation of carbon and translocation in Plants. — *Philos. Transact. of Roy. Soc. London*, V. 193, p. 223.

- 7 — CANEL, M. — 1938 — Las teorías de Lysenko y su aplicación en el Uruguay. — Rev. Assoc. Ingen. Agron., vol. 10, 1.
- 8 — COARACY, M. FRANCO — 1938 — Sobre a fisiologia dos estômas no cafeeiro *Coffea arabica* L. — An. 1.ª Reunião Sul-Amér. Bot., vol. III.
- 9 — DRAENERT, F. M. — 1901 — Das Höhenklima von Uberaba, Central Brasilien. — Meteor. Ztschr.
- 10 — EHRKE, G. — 1931 — Ueber die Wirkung der Temperatur und des Lichtes auf die Atmung und Assimilation einiger Meeres- und Süsswasseralgen. — Planta, 13.
- 11 — EMERSON, R. and LEWIS, CH. M. — 1940, 41 — The quantum efficiency of photosynthesis. — Annual report of the Chairman of the Div. of Plant Biol. — Stanford University.
- 12 — EMERSON, R. and LEWIS, CH. M. — 1941 — Carbon dioxide exchange and the measurement of the quantum yield of photosynthesis. — Am. Journ. Botany, 28, 9. — 1941.
- 13 — EVANS, G. C. — 1939 — Ecological studies on the rain forest of Southern Nigeria. — Journ. Ecology, 27, 436.
- 14 — GARNER, W. W. e ALLARD, H. A. — 1920 — Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. — Journ. Agr. Res., 18, 553.
- 15 — GARNER, D. W. — 1937 — Recent work on Photoperiodism. — Bot. Rev., 3, 5.
- 16 — GESSNER, F. — 1937 — Untersuchungen ueber Assimilation und Atmung submerser Wasserpflanzen. — Jahrb.f.wiss. Bot., 85, p. 267.
- 17 — GESSNER, F. — 1938 — Die Beziehung zwischen Lichtintensitaet und Assimilation bei submersen Wasserpflanzen. — Jahrb. f.wiss. Bot., 87, 4.
- 18 — GUTTENBERG, H. VON — 1931 — Beitrage zur Kenntniss der Laubblattassimilation in den Tropen. — Ann. Jard. Bot. Buitenzorg, XLI, Leyde.
- 19 — HANN, J. — 1908-1911 — Handbuch der Klimatologie. — 3a. ed. — Stuttgart.
- 20 — HACKBARTH, J. — 1935 — Versuche ueber Photoperiodismus bei suedamericanischen Kartoffelklonen. — Zuechter, 7, 95.
- 21 — HAMNER, K. C. and BONNER, J — 1938 — Periodism in relation to hormones as factors in floral initiation and development. — Bot. Gaz., 100, 388.
- 22 — HARDER, R. — 1923 — Bemerkungen ueber die Variationsbreite des Kompensationspunktes, etc. — Ber.d.deutsch. Bot. Ges., 47, 194.
- 23 — HARDER, R. — 1924 — Ueber die Assimilation von Kaelte- und Waermeindividuen der gleichen Pflanzenspecies. — Jahrb. wiss.Bot., 64, 169.
- 24 — HARDER, R., FILZER, P. und LORENZ, A. — 1931 — Ueber Versuche zur Bestimmung der Kohlensaere-assimilation immergruener Wuestenpflanzen waehrend der Trockenzeit in Beni Unif (algerische Sahara). — Jahrb. f. wiss. Bot., 75, 1.
- 25 — HARDER, R. — 1930, 1933 — Ueber die Assimilation der Kohlensaere bei konstanten Aussenbedingungen, I, II. — Planta, 11, 2 e 20, 4.
- 26 — HOLDHEIDE, W., HUBER, J. und STOCKER, O. — 1936 — Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Assimilationsgroesse von Landpflanzen. — Ber.d.deutsch. Bot. Ges., 54, 168.

- 27 — IMPERIAL BUREAU OF PLANT GENETICS — 1935 — Vernalization and Phasic Development of Plants. — Bull. 17. — Aberystwyth and Cambridge.
- 28 — IMPERIAL BUREAU OF PLANT GENETICS — 1936 — The South American Potatoes and their breeding value. — Aberystwyth and Cambridge.
- 29 — JOHNSTON, E. S. and MYERS, J. E. — 1943 — Photosynthesis. — Annual Review of Biochemistry, XII, p. 473.
- 30 — KOEPPEN, W. — 1931 — Grundriss der Klimakunde. — Berlin e Leipzig.
- 31 — KOSTYTSCHEW, S. und KARDO-SYSSOIEWA, H. — 1930 — Untersuchungen ueber den Tagesverlauf der Photosynthese in Zentralasien. — Planta, 11, 117.
- 32 — KRAMER, P. J. — 1936 — Effect of variation in length of day on growth and dormancy of trees. — Plant Physiol., 11, 127.
- 33 — LANDOLT-BOERNSTEIN — 1923 — Physikalisch-Chemische Tabellen., 5.ª ed., Berlin.
- 34 — LUNDEGARDH, H. — 1924 — Der Kreislauf der Kohlensaure in der Natur.
- 35 — LUNDEGARDH, H. — 1930 — Klima und Boden. — Jena.
- 36 — MAXIMOV, N. A. — 1935 — The plant in relation to water. — London.
- 37 — MAXIMOV, N. A. — 1938 — Plant Physiology. — New York and London.
- 38 — MELCHERS, G. — 1937 — Die Wirkung von Genen, tiefen Temperaturen und blühenden Pfropfpartnern auf die Blühreife von *Hyoscyamus niger* L. — Biol. Centralbl., 57, 568.
- 39 — MELCHERS, G. und LANG, A. — 1941 — Weitere Untersuchungen zur Frage der Blühormone. — Biol. Centralbl., 61, 16.
- 40 — MILANKOVITSCH, M. — 1930 — Mathematische Klimalehre. — Berlin.
- 41 — MITCHELL, J. W. — 1935 — A method of measuring respiration and carbon fixation under controlled environmental conditions. — Bot. Gaz., 97, 376.
- 42 — MOENCH, I. — 1937 — Untersuchungen ueber die Kohlensaurebilanz von Alpenpflanzen am natuerlichen Standort. — Jahrb. f. wiss. Bot., 85, 506.
- 43 — MOSCHKOV, B. S. — 1935 — Photoperiodismus und Frosthaerte ausdauernder Gewaechse. — Planta, 23, 774.
- 44 — MUELLER, D. — 1928 — Die Kohlensaureassimilation bei arktischen Pflanzen, etc. — Planta, 6, 22.
- 45 — NUTMAN, F. J. — 1937 — Studies of the Physiology of *Coffea arabica*, I e II. — Ann. Botany, 1, 3 e 4.
- 46 — RASUMOV, V. J. — 1935 — Ueber die Lokalisierung der photoperiodischen Reizwirkung. — Planta, 23, 284.
- 47 — RAWITSCHER, F. — 1940 — Introdução ao Estudo da Botanica, 1ª. Parte. — São Paulo.
- 48 — RAWITSCHER, F. — 1942 — Problemas de Fitoecologia com considerações especies sobre o Brasil meridional. Bol. Fac. Fil. Sc. e Letr. São Paulo. Botanica N.º 3.
- 49 — RAWITSCHER, F., FERRI, MARIO G. — 1942 — Observações sobre a metodologia para o estudo da transpiração cuticular em plantas brasileiras, especialmente em *Cedrela Fissilis*. — Bols. Fac. Fil. Cienc. e Letras, Botanica, 3.
- 50 — RAWITSCHER, F., FERRI, MARIO G. e RACHID, M. — 1943 — Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil meridional. — An. Acad. Bras. Cienc., XV, 4.

- 51 — ROODENBURG, J. W. M. — 1937 — Der Einfluss der Tageslaenge im Zusammenhang mit kuenstlichen Pflanzenbeleuchtung im Winter. — Ber. d. deutsch. bot. Ges., 55, 5.
- 52 — SACHS, J. — 1884 — Ein Beitrag zur Kenntniss der Ernaehrungsthaetigkeit der Blaetter. — Arb. d. Bot. Inst. in Wuerzburg, III, H. 1, p. 1.
- 53 — SCHANDERL, H. und BOSIAN, G. — 1939 — Ueber einige Verbesserungen an der CO<sub>2</sub> Bestimmungapparatur nach Holdheide-Huber-Stocker. — Ber. d. deutsch. Bot. Ges., 57, 75.
- 54 — SCHIMPER, A. F. W. — 1935 — Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. — 3a. ed. alemã completada por von Faber.
- 55 — SPOEHR, H. A. and MC GEE, I. M. — 1924 — Absorption of Carbon dioxide, the first step in photosynthesis. Science (N. Y.), 59, 513.
- 56 — STALFELT, M. G. — 1935 — Die Spaltoeffnungsweite als Assimilationsfaktor. — Planta, 23, 715.
- 57 — STOCKER, O. — 1935 — Assimilation und Atmung westjavanischer Tropenbaeume. — Planta, 24, 402.
- 58 — VAN DER PAAUW, F. — 1932 — The indirect action of external factors on photosynthesis. — Rec. d. Trav. Bot. Néerlandais, 29, 497.
- 59 — WARBURG, O. und NEGELEIN, E. — 1923 — Ueber den Einfluss der Wellenlaenge auf den Energieumsatz bei der Kohlensaureassimilation. — Zeitschr. phys. Chem., 106, 191.
- 60 — WIESNER, J. — 1907 — Der Lichtgenuss der Pflanzen. — Leipzig.
- 61 — WILLSTAETTER, R. und STOLL, A. — 1918 — Untersuchungen ueber die Assimilation der Kohlensaure. — Berlin.

## II - FATORES PEDOLOGICOS

### A) — A ORIGEM DOS SOLOS POR DECOMPOSIÇÃO

Ainda que o significado da palavra solo pareça claro, é difícil dar uma definição exata de seu conceito. *Ramann* (91) definiu-o como a camada decomposta externa da crosta sólida da terra. A Pedologia moderna procura dar definições mais nítidas, nas quais entram o dinamismo e a biologia dos solos, assuntos esses que serão esclarecidos nas páginas que se seguem. O solo considerado pelo botânico é a parte da superfície da crosta terrestre que pode hospedar as raízes das plantas e que representa assim o substrato para a vegetação terrestre.

As propriedades dos solos interessam a vegetação em varios sentidos, entre os quais se destacam: 1.º — possibilidade de fixação mecânica; 2.º — fornecimento de agua; 3.º — fornecimento de substancias minerais; 4.º — aeração. Disso se deduz que temos que considerar os solos sob o ponto de vista de sua estrutura física e de sua composição química. Física e Química dos solos, por sua vez, estão em interdependencia com a vida dos organismos que povoam o solo, constituindo-se assim um terceiro aspecto, o biológico, relacionado á fauna e flora do solo, cujas associações são chamadas edaphon 1).

Sendo os solos produtos de decomposição, é preciso conhecer-se a composição da rocha-mater. Direta ou indiretamente todas as terras derivam das rochas formadas pela solidificação do magma terrestre. Apresentamos a seguir uma relação dos elementos que compõem a parte superficial da crosta terrestre, relação esta que indica a media de varias análises de rochas eruptivas, (tabela 15).

São estas as substancias que geralmente serão encontradas nas terras, pelo menos quando provêm da decomposição de rochas primarias.

Os processos que conduzem á alteração, como metamorfismo e sedimentação, podem modificar as proporções das varias substancias, aumentando umas e diminuindo outras, até, às vezes ao seu desaparecimento completo.

Como até as rochas eruptivas podem variar bastante, acrescentamos mais alguns dados sobre o teor de dois granitos, dois foiaitos e um diabasio, apresentando desta vez só os elementos mais importantes, como de costume representados pelos seus óxidos.

---

1) *pedon* e *edaphos* (grego) = solo.

TABELA 15

Composição média das rochas eruptivas  
em % do peso

(Seg. Clarke, cit. por Heide, 41)

O .....	46,42	Ba .....	0,081
Si .....	27,59	S .....	0,080
Al .....	8,08	Cr .....	0,068
Fe .....	5,08	Zr .....	0,052
Ca .....	3,61	C .....	0,051
Na .....	2,83	V .....	0,041
K .....	2,58	Sr .....	0,034
Mg .....	2,09	Ni .....	0,031
Ti .....	0,721	F .....	0,030
P .....	0,158	Cu .....	0,010
H .....	0,130	Li .....	0,005
Mn .....	0,125	Zn .....	0,004
Cl .....	0,097	Pb .....	0,002

TABELA 16

	Granitos <sup>1)</sup>		Foiaitos <sup>2)</sup>		Diabasios <sup>3)</sup>
	I	II	I	II	
SiO <sub>2</sub>	72,6	68,6	56,20	57,88	46,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,6	14,4	22,12	18,34	16,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5	5,0	1,60	2,31	1,72
CaO	1,3	3,9	1,56	2,26	13,71
MgO	0,3	0,4	0,8	0,86	2,82
K <sub>2</sub> O	5,0	2,8	6,46	7,50	5,93
Na <sub>2</sub> O	2,3	3,4	7,72	6,36	2,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	não indicado		0,03	0,33	4,06
H <sub>2</sub> O	0,8	1,1	0,17	0,13	0,77
P.F.	—	—	1,28	0,96	0,48
					1,58

<sup>1)</sup> Seg. Girard, cit. por Benecke-Jost (5).

<sup>2)</sup> Seg. Lamego (56).

<sup>3)</sup> Seg. Backheuser (2).

A desagregação das rochas dá-se, de preferencia, por influencias climáticas: o "intemperismo". As diferenças de temperatura, expandindo e contraindo alternativamente as rochas, especialmente nas partes externas, provocam tensões que conduzem á abertura de fendas. A agua que aí penetra pode exercer uma ação química, especialmente quando carregada de ácido carbônico, nitritos ou nitratos. Quando essa agua pode congelar, arreventa fisicamente as crostas.

Em lugares bem insolados, rochas inteiras podem ser fendidas, como indica a fig. 18; essas fendas são chamadas fendas por insolação. Também a forma arredondada desses "boulders" (como os denominam os inglezes) da figura é típica para os granitos que tendem a adotar essa configuração, porque todas as extremidades de um fragmento irregular são as primeiras a ser atacadas pelos lados e pelos ângulos. A decomposição ulterior, principalmente em nosso clima, dá-se frequentemente pelo prosseguimento da alteração esferoidal. Muitos boulders, especialmente quando enterrados, mostram-se revestidos por uma serie de cascas parecidas com as escamas de uma cebola (fig. 19). A explicação provavel para o fenômeno será a infiltração de agua, que no incio se dá pelas fendas mais externas até uma certa profundidade 1). Em condições mais secas, esta agua evapora, depositando na superficie as substancias dissolvidas, substancias essas que vamos considerar mais adiante (pag. 117). A primeira casca formada por tal cimentação nunca se fechará hermeticamente, permitindo sempre novas infiltrações de agua que vão repetir esse jogo numa segunda zona e assim por diante.

No clima brasileiro, a decomposição das rochas dá-se com grande rapidez, de maneira que a camada de decomposição que reveste as rochas cristalinas atinge, pelo menos nas partes húmidas do pais, profundidades de 10 a 20 e mais metros. Assim, não é de se admirar que até as formas das montanhas mostrem em grande escala o que os boulders mostram em pequena, sendo os mamelões em forma de semi-esferas ou "meias laranjas" característicos da paisagem.

A grande profundidade que a decomposição das rochas pode atingir nas regiões quentes é de importancia cabal para toda a nossa Ecologia. Muitos ensinamentos e muitos métodos de Pedologia, usados nos países mais frios, não podem ser applicados no Brasil, especialmente por essa razão.

Como este fato nem sempre é tido na devida consideração, transcrevemos aqui algumas palavras já antigas, tiradas da meteorologia clássica de *Hann* (36), que se referem ás Americas:

---

1) *Literatura e descrição vide Branner* (11).



Fig. 18 — B'loco de granito (Boulder), mostrando fendas e casca. São Paulo.



Fig. 19 — Alteração esferoidal do granito de Pirituba. (Original de L. F. Moraes Rego (80), gentilmente cedido pelo Instituto de Pesquisas Technologicas de São Paulo).

“Já nos estados sulinos da América do Norte nota-se uma decomposição do solo que atinge camadas profundas. Ao passo que é difícil encontrar, no norte, um solo com alguns pés de profundidade, não é raro existir no sul, na Carolina do Norte, em Alabama, em cortes de estrada de ferro, em poços, etc., rochas em decomposição (granito, gneiss, feldspato, hornblenda, micachistos, etc.), numa profundidade de 10, 15 e mesmo 20 metros. Nesta região, as águas meteóricas, quentes e abundantes, carregadas de ácido carbônico, circulam livremente no solo, durante o ano todo, ao passo que no norte decresce a sua quantidade, o seu teor em ácido carbônico e a sua temperatura; por outro lado, o gelo protege a terra durante o inverno. Essas rochas, profundamente decompostas, depois são erodidas facilmente, sendo acumuladas em certos lugares; seus componentes que mais dificilmente são atacados podem ser acumulados em maior quantidade em certas jazidas. Assim se poderia explicar porque se encontram jazidas de pedras preciosas quasi só em climas quentes, fato para o qual Nordenskjöld chamou a atenção, por ocasião de sua visita a minas de pedras preciosas no Ceylão (*Hann, l.c., Vol. I, pag. 20*).

A explicação para uma decomposição tão profunda está ligada a varios fatores, cuja interpretação pela Pedologia moderna transparece bem nas linhas seguintes do trabalho fundamental de *Harrassowitz* (38):

“Os trópicos são as regiões da terra que se distinguem pela maior intensidade com que os fatores externos exercem sua influencia sobre a terra. Aqui reinam as temperaturas mais elevadas, frequentemente em uniformidade perfeita e com poucas variações estacionais. As quantidades das precipitações ultrapassam extraordinariamente as das regiões temperadas, de maneira que não só as quantidades totais alcançam um valor elevado, como também as que caem num intervalo de tempo determinado. Logo, numa parte dos trópicos, a atmosfera é muito húmida. Em regiões relativamente pobres em vegetação a irradiação solar atinge valores elevados, de modo que as temperaturas não só do ar mas também do solo são extraordinariamente altas. A dissociação eletrolítica da água é muito maior do que em outras regiões climáticas, sendo por isso a sua influencia mais intensiva. Substancias orgânicas, como humus cru, só se podem acumular em certas regiões; senão decompõem-se rapidamente; a não ser em solos de brejos e de certas regiões florestais, os produtos de decomposição de materias orgânicas não poderão desempenhar um papel de destaque.

Em consequencia de todas essas propriedades, a decomposição química atinge o seu valor mais alto nos trópicos. Isto se ve no fato de que a dependencia dos solos de decomposição para com a rocha matriz pode ser completamente obscurecida. As causas desse fenômeno repousam na ampla alteração que sofrem, na

sua estrutura, os minerais frescos. De um lado, processa-se um desdobramento perfeito das moléculas, separando-se completamente o ácido silícico e o alumínio, o que conduz á formação do laterito. De outro lado, todos os minerais, de qualquer modo solúveis, são perfeitamente destruídos, originando-se solos que, embora ricos em geles, se constroem uniformemente de quartzo e se distinguem por pobreza em substancias nutritivas. Unicamente a enorme exuberancia da vegetação, devida ao humedecimento permanente, permite, apesar disso, a existencia de solos férteis. As raízes das árvores podem penetrar até profundidades maiores, de onde retiram substancias nutritivas. A produção rápida de substancias vegetais e a sua decomposição célere depois de restituídas ao solo põem sempre novas substancias, especialmente nitrogenio, á disposição da superficie. (l.c., pag. 362). Se este trecho esclarece bem a grande intensidade dos processos de decomposição em nosso clima, é preciso salientar que não só a velocidade desses processos entra em jogo, mas também a qualidade dos produtos é alterada, como veremos a seguir.

Muitos autores atribuem ás grandes diferenças de temperatura um papel preponderante. Esta explicação sem dúvida não é satisfatória: as variações diárias, mensais e anuais da temperatura do ar fazem-se sentir sómente até pequena profundidade do solo, cuja temperatura além de poucos metros em climas tropicais — é constante. A decomposição mais importante, a da rocha viva, processa-se, entretanto, como acabamos de ver, em profundidade maior.

No entanto, também as rochas da superficie são atacadas mais intensamente nas nossas zonas, não só por agentes físicos, como também por ações químicas. Os inúmeros sulcos paralelos que deram o seu nome ás Agulhas Negras do Itatiaia e que podem ser observados frequentemente em rochas cristalinas brasileiras, são um indicio desses fenômenos. São marcas de erosão, comparaveis ás conchecidas nos calcareos e dolomitos, por exemplo nos Alpes. Lá, porem, é o ácido carbônico

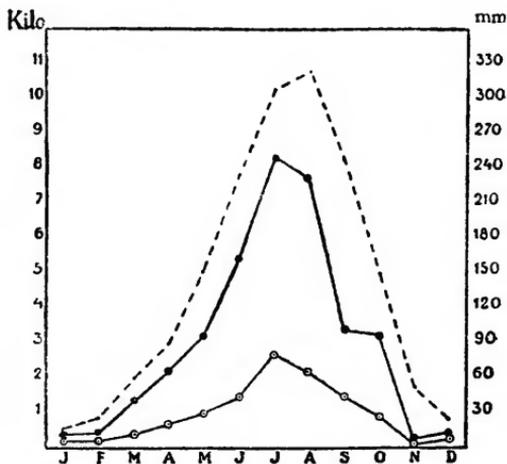


Fig. 20 — Quantidades mensais de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{NH}_3$  aduzidas pelas chuvas tropicais, na Indonésia, seg. Capus, apud Vageler (123).

dissolvido nagua que ataca os carbonatos. A ação do ácido carbônico sobre rochas cristalinas é insignificante. Por isso, nos climas frios, falta canelamento em rochas cristalinas. E' difícil explicar porque no Brasil rochas cristalinas, como os foiaitos do Itatiaia, se apresentam tão sulcadas. A temperatura nessas alturas não é tão diferente da observada em montanhas de climas temperados. Talvez possamos pensar num fato, citado por *Vageler* (123) e que distingue as regiões tropicais: nos trópicos, as águas de precipitação são relativamente ricas em ácido nítrico, devido às descargas elétricas. Ao passo que nos climas temperados se conta com 1 ou poucos kgs. de  $\text{HNO}_3$  que alcançariam deste modo o solo por ano e por hectare, nos trópicos devemos supor uma quantidade de 30 a 35 kgs., cuja distribuição anual é indicada pelo gráfico (fig. 20). Tais observações são velhas; já foram reunidas por *Branner* (11) numa tabela, que — dada a importância do fenômeno — reproduzimos aqui (Tab. 17).

TABELA 17

*Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) contido na chuva, seg. varios autores, em Branner (11, pag. 307)*

Estação	$\text{HNO}_3$ (em miligramas) por litro de agua de chuva
Caracas, Venezuela .....	2.23 (media)
Saint Denis, Ilha Bourbon..	2.67 (media)
Sourabois, Java .....	2.3 — 2.87
Lincoln, Nova Zelandia ....	0.578
Tok' o, Japão .....	0.327
Pic du Midi, Pyrineus .....	traços apenas
Rothamsted, Inglaterra ....	0.670 (media de 1 ano)
Manhattan, Kansas .....	0.702 (media de 3 anos)
Liebfrauenberg, Alsacia ....	0.180

Nitratos são oxidantes fortes. O ferro bivalente que existe em certa quantidade nas rochas cristalinas não decompostas (vide tabela 16, pag. 54) é atacado conforme a equação seguinte:



Tal oxidação deve afrouxar consideravelmente os agregados cristalinos, quer se trate de intemperismo superficial ou de profundidade.

Os sulcos afamados do Itatiaia são excelentemente ilustrados na obra de *Mauil* (70). A erosão não pode ser causada pelo



Fig. 21 — Bacias formadas na superfície do foiaito, onde a água da chuva se acumua (Itatiaia)



Fig. 22 — Bacias e sulcos formados pela água de chuva no foiaito do Itatiaia. Fotografia gentilmente cedida pelo Snr. J. Dias da Silveira.

dinamismo mecânico de agua corrente. A fig. 21 mostra bacias onde a agua estagnada inicia tais efeitos corrosivos, cuja continuação se vê na fig. 22. Formações iguais podem ser observadas tambem em granitos das praias ao nivel do mar.

A decomposição fisica ou quimica conduz finalmente á formação de fragmentos de tamanho diferente. Onde o vento ou a correnteza das aguas podem agir livremente, ai separam as particulas como nos desertos, onde o vento limpa as rochas em decomposição, amontoando as areias do lado de sotavento. As particulas mais finas, em forma de poeira, podem ser levadas para mais longe, onde se depositam em forma de loess.

Separação análoga se processa na agua doce e no mar. Nas praias marítimas, em lugares fortemente batidos pela ressaca, nada resta senão cascalhos grossos; o movimento regular deixa as areias mais finas. As menores particulas mantêm-se em suspensão e são depositadas no fundo do mar ou nas enseadas mais protegidas, onde formam o solo limoso dos manguesais.

Sem a ação seletiva do vento ou da agua, todas as particulas da terra em formação ficam no seu lugar, compondo-se, conforme as condições, de combinações variadissimas de fragmentos maiores e menores.

O tamanho das particulas que constroem um solo é da maior importancia para todas as suas qualidades. A classificação geralmente mais adotada é a escala de Atterberg.

TABELA 18

*Escala de Atterberg*

Denominação	Diâmetro das particulas
Cascalho .....	> 2 mm
Areia grossa .....	2 — 0,2 mm
Areia fina (ou limo grosso) .	0,2 — 0,02 mm
Limo (fino) .....	0,02 — 0,002 mm
Argila .....	< 0,002 mm

Os solos geralmente contêm todas as frações, mas em proporções diferentes. A Pedologia emprega para apresentação gráficos triangulares como o da fig. 23 (pag. 63).

Abstraidos os cascalhos, temos três categorias, sendo a areia fina incluída entre o limo. Solos que só contivessem argila e areia caberiam do lado esquerdo do triângulo; os só de argila e de limo, do direito, mas a maioria dos solos têm areia, argila e limo misturados, encontrando assim o seu lugar em pontos correspondentes, no interior da figura.

As qualidades dos solos dependem grandemente da superfície das partículas, que são as superfícies-limite para a adsorção de água e de soluções. Uma grama de areia média possui um total de superfícies não inferior a 4 m<sup>2</sup>. Misturando-se limo com areia, ou entrando humus, aumenta a superfície, cujos valores máximos são atingidos por argila pura. Em proporção direta com a superfície cresce a higroscopicidade, quer dizer a porcentagem de água que é retida por adsorção às superfícies mencionadas. Nos casos da tabela 19 vê-se que 4 metros de superfície ligam cerca de 1 % de água higroscópica.

TABELA 19

*Superfície (1 g em m<sup>2</sup>) e higroscopicidade*  
(Seg. Mitscherlich, cit. por Wiessmann, 135)

Solo	Superfície 1 gr. em m <sup>2</sup>	Água higroscópica em % do peso da terra seca
Areia .....	4,24	1,06
Areia limosa ...	5,60	1,40
Limo arenoso ..	8,36	2,09
Areia rica em hu- mus .....	16,80	4,20
Turfa .....	73,68	18,42
Argila .....	95,24	23,81

## B) — A NEOFORMAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS

### a) — ARGILAS

Os fragmentos que compõem as argilas são do tamanho de partículas coloidais, adotando todas as peculiaridades destas.

Compõem-se dos fragmentos mais finos, deixados pela trituração das rochas, mas além disso há formação de substâncias novas, as argilas secundárias. Como a composição e a estrutura das argilas é de cabal importância para os solos e para o abastecimento das plantas, damos um apanhado dos processos essenciais de sua formação. A matéria prima são as rochas primárias. Po-

demos considerar como constituintes essenciais, que constroem o esqueleto das rochas eruptivas, os da tabela seguinte:

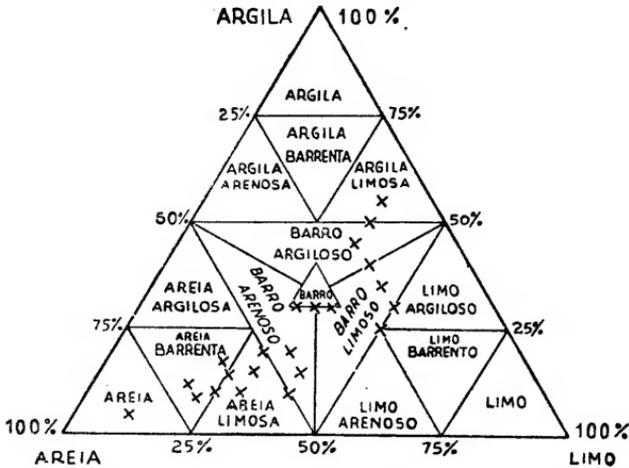


Fig. 23 — Esquema de classificação de solos de acordo com a análise mecânica. Os 22 pontos marcados indicam solos do Estado de São Paulo (Seg. graficos de Setzer, 105).

TABELA 20

Proporções médias das substâncias do “esqueleto” das rochas eruptivas, em % do peso, seg. Clarke e Washington, citados por Goldschmidt (35, pag. 887)

Anidrido silicoso . . . . .	SiO <sub>2</sub> . . . . .	59,12	
Sesquioxidos 1) . . . . .	{	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,34
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO . . . . .	6,88
Bases	{	CaO . . . . .	5,08
		MgO . . . . .	3,49
		Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,84
		K <sub>2</sub> O . . . . .	3,13

1) Sesqui, do latim: sesque (abrev. de semisquae) = 1 ½. A relação entre Oxigênio e os metais = 3 : 2.

aos quais se acrescentam:

H <sub>2</sub> O	.....	1,15
TiO <sub>2</sub>	.....	1,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.....	0,30

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comportam-se como bases fracas, podendo formar sais com o ácido silícico; associadas a elas ocorrem geralmente as quatro bases mais fortes indicadas, cujas ligações com o silício e cujas varias combinações entre si dão origem á quantidade conhecida dos minerais.

Na decomposição, são primeiro as bases mais fortes que se dissolvem, dependendo as qualidades nutritivas dos solos especialmente do teor destas bases muito soluveis e muito ativas.

Para compreender a transformação dos minerais em argilas é preciso conhecer os processos de hidratação que se dão na superficie dos reticulos cristalinos dos minerais. Na maioria são

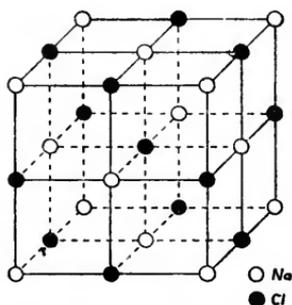


Fig. 24 — Reticulo cristalino do sal de cosinha.

insoluveis na agua, pelo menos no sentido comum da palavra. A agua ataca, porem, as superficies-limite dos fragmentos cristalinos.

Para entendermos esse processo convem lembrarmos da estrutura cristalina de um sal, apresentada na fig. 24, que mostra a disposição regular dos átomos de Na e Cl nos planos do cristal de NaCl. Os elementos existem aí em forma de íons com suas cargas elétricas que os mantêm em seus lugares. A fig. 25 apresenta um só plano cristalino de um fragmento de silicato. Os

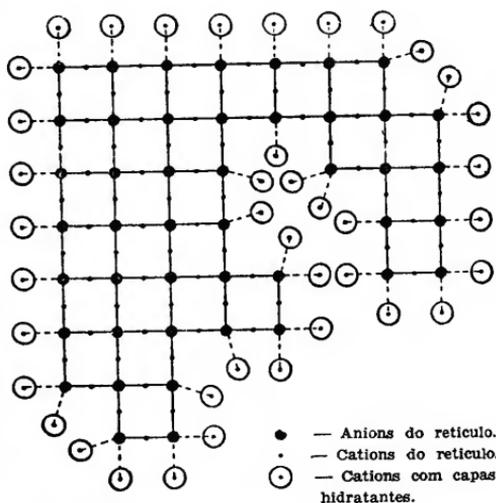


Fig. 25 — Fragmento de reticulo de um silicato em decomposição, esquematizado. Seg. Laatsch (54).

anions e os cations formam um reticulo regular. Das linhas de força que ligam os cations aos anions são apresentadas só quatro, sendo suprimidas as linhas da terceira dimensão. Nas superficies-limite e especialmente nos cantos e nas pontas dos fragmentos falta uma parte dessas linhas do reticulo: existem ai cations frouxamente ligados ao reticulo por poucas ou uma só linha de força. As cargas elétricas destes cations, não perfeitamente neutralizadas pelas forças de atração que partem do reticulo, podem se voltar para a agua ambiente.

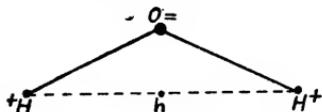


Fig. 26 — Modelo de uma molécula de água, seg. Heymann, apud Laatsch, 54  
H — ponto de gravidade das cargas positivas.

As moléculas da água, por seu lado, também são portadoras de forças elétricas, mesmo quando não dissociadas em ions. A molécula de H<sub>2</sub>O é assimétrica, sendo figurada hoje em dia em forma de um “dipol” (fig. 26), onde o atomo de O e os dois atomos de H formam um triângulo. O ponto de gravidade dos dois H<sup>+</sup> não coincide com o lugar onde supomos o O<sup>-</sup>: a molécula é polarizada e num campo elétrico toma uma orientação determinada. Em redor de um cation as moléculas da água vão adotar a disposição da fig. 27, formando uma capa da água em redor do cation agora hidratado. Estes são os cations indicados nas margens da fig. 25.

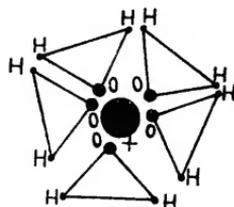


Fig. 27 — Cation hidratado, seg. Laatsch (54).

### 1) — Troca de ions

O enfraquecimento da ligação dos ions na superficie dos fragmentos de terra dá inicio ao processo da troca dos ions que podem ser substituidos por outros. A maneira como se processa essa troca explica-se pelas leis que regem a dissociação das substancias em agua.

**Ácidos e Bases** — Significando a letra R o resto de um ácido, este, quando monovalente, escreve-se HR e dissocia-se segundo o esquema  $HR \rightleftharpoons H^+ + R^-$ . A dissociação cessa quando atinge o equilibrio; este, segundo a lei da ação das massas (*Guldberg e Waage*) se estabelece, quando o produto dos ions em relação á quantidade das moléculas não dissociadas adota o valor constante k.

$$\frac{(H^+) \cdot (R^-)}{HR} = k$$

k é específico para cada substancia em dissociação, variando com a temperatura.

A mesma equação para as bases com o radical M escreve-se  $\text{MOH} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{M}^+$ , sendo a fórmula do equilíbrio:

$$\frac{(\text{M}^+) \cdot (\text{OH}^-)}{\text{MOH}} = k$$

A força de ácidos e bases depende da grandeza  $k$ . Quanto maior a dissociação, maior a atividade do ácido ou da base. Esta atividade depende só da quantidade de ions  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$ .

Sais.— Os sais formados pela união de um ácido com uma base, segundo o esquema:



de acordo com os nossos conhecimentos modernos, dissociam-se completamente em solução aquosa, segundo a fórmula:



Desta maneira, numa solução aquosa de um sal sempre haverá radicais  $\text{M}^+$  e  $\text{R}^-$ . A agua também é dissociada, embora em pequena parte, em  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ . Na solução de um sal haverá portanto a reação seguinte:



Os dois componentes  $\text{HR}$  e  $\text{MOH}$  se dissociam por sua vez, segundo as leis que regem a dissociação das bases e dos ácidos respectivos. Sendo a base fraca e o ácido forte, o ácido será muito dissociado e a base pouco: a solução aquosa de um sal, composto de ácido forte e base fraca tem assim reação ácida por prevalência dos ions  $\text{H}^+$ . Ao contrario, um sal de base forte e ácido fraco, em solução aquosa, mostra reação básica.

A dissociação da agua ( $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$ ) — já foi mencionada. Também para ela vale a equação:

$$\frac{(\text{H}^+) \cdot (\text{OH}^-)}{\text{H}_2\text{O}} = k$$

O valor de  $k$  é extremamente pequeno, sendo igual a  $10^{-14}$ . Como a quantidade de ions  $\text{H}$  é igual á dos ions  $\text{OH}$ , a concentração de cada um é de  $10^{-7}$ . Segundo a denominação de *Soeren- sen*, usa-se para exprimir as concentrações dos ions  $\text{H}$  ou  $\text{OH}$  só

o expoente negativo. O expoente negativo para os ions H escreve-se pH. Agua pura tem  $\text{pH} = 7$ .

Para concretisar o significado dos valores pH, partimos de uma soluçao normal de um ácido monovalente, como o HCl, soluçao essa que contem por litro tantas gramas de ácido quantas equivalem ao seu peso molecular (isto é  $\text{Cl} = 35,5$  e  $\text{H} = 1$ , portanto o total é 36,5). HCl é um ácido muito forte e se fosse dissociado perfeitamente na soluçao normal, teriamos uma grama de ions  $\text{H}^+$  por litro. (Na verdade, esta concentraçao permite só a dissociaçao de 0,8 g).

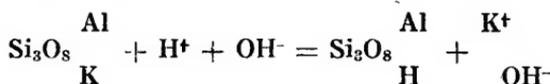
Uma soluçao que contem por litro 1/10 g de ions  $\text{H}^+$  pode ser escrita como contendo  $10^{-1}$  g, isto é, terá o  $\text{pH} = 1$ . Os pH de 0 até 10 significam, assim, os teores seguintes em gramas de ions  $\text{H}^+$  por litro:

1 g	$10^0$	pH 0
0,1 g	$10^{-1}$	1
0,01 g	$10^{-2}$	2
0,001 g	$10^{-3}$	3
0,0001 g	$10^{-4}$	4
0,00001 g	$10^{-5}$	5
0,000001 g	$10^{-6}$	6
0,0000001 g	$10^{-7}$	7
0,00000001 g	$10^{-8}$	8
0,000000001 g	$10^{-9}$	9
0,0000000001 g	$10^{-10}$	10

Um pH 7 é a reacção de agua pura e que não contem  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , logo neutra. Os valores menores do que 7 indicam acidez, os maiores alcalinidade, porque um teor menor em  $\text{H}^+$  corresponde, segundo a equaçao de dissociaçao no equilibrio, a um aumento equivalente em ions  $\text{OH}^-$ .

#### Dissociaçao de sais ou cristais insolueis, nas superficies-limite.

— O processo de hidrataçao figurado no esquema apresentado na fig. 27 (pag. 65) pode conduzir á dissociaçao dos cations (ou anions) fracamente ligados á superficie. Partindo por exemplo de um reticulo cristalino de feldspato potássico ( $\text{Si}_3\text{O}_8 \text{ K Al}$ ) teremos o processo seguinte:



O ion de K nas superficies-limite será mais facilmente hidratado e desligado sendo de base mais forte do que Al. Em seu lugar entra um ion  $H^+$ . A equação dada acima não é a de uma reação química entre as moléculas dos reagentes, mas uma reação de adsorção que só se processa nas superficies dos reticulos.

A reação porem é tão forte que a difusão dos ions  $K^+$  pode ser registrada por uma reação alcalina que ocorre na solução. (Tamm, citado por Laatsch, 54), mediu pH de 10,76 em agua pura á qual foi acrescentado feldspato potássico em particulas muito finas).

Não só os ions  $H^+$  podem substituir os cations iniciais dos minerais; todos os outros cations contidos na solução podem desempenhar o mesmo papel.

Isso se vê na representação esquemática de

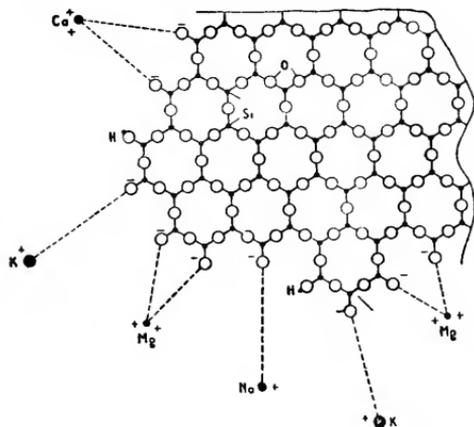


Fig. 28 — Representação esquemática da ligação dos cations trocáveis nas arestas de uma face Si — O de um cristal de mineral de argila, seg. Endell (29).

Endell (16) sobre o comportamento de um fragmento de argila. Vêm-se adsorvidos diversos cations com o  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$  e  $Na^+$ , que podem ser substituídos um a um ou por  $H^+$ .

## 2 — Argilas secundarias

Num solo muito irrigado as bases mais fortes são as primeiras a serem lavadas, restando de um feldspato, por exemplo, só o alumínio e o ácido silícico. A maioria dos outros minerais, na sua decomposição, fornecerão os mesmos produtos finais; onde ha ferro, este se acrescenta em forma de óxido ou de hidróxido. Estas substancias, a principio, são coloidais. Mas, como evidenciam pesquisas recentes com raios X, tomam novamente estrutura cristalina. Entre estes minerais novos são de importancia especialmente os do tipo da Montmorillonita ( $H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$ ) e os da Caolinita ( $2 H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$ ).

Em ambos os casos, nos cristais, os átomos são dispostos em planos ou camadas paralelas, que se superpõem. Na caolinita os espaços entre os planos são rígidos e pequenos. A Montmorillonita, ao contrario, tem as distancias, entre as camadas dos cris-

tais, maiores e variáveis, intumescendo com o aumento de humidade. Disso resulta a maior facilidade de troca de ions para a Montmorillonita; é possível porem, que nisso interfira também a estrutura íntima destes cristais, como indica *Jenny* (50). As condições tropicais e subtropicais devem favorecer a formação da caolinita; são argilas deste tipo que constituem, segundo *Camargo e Vageler* (18) os minerais essenciais destas regiões. Em climas temperados prevalecem as argilas do tipo da Montmorillonita. Argilas do primeiro tipo têm um poder de retenção de ions muito fraco e podem tornar-se muito mais inferteis do que as do segundo.

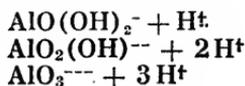
Argilas secundarias dos tipos descritos geralmente só se formam quando os solos têm uma reação neutra ou fracamente ácida. Solos alcalinos, especialmente os ricos em carbonatos de calcio, não atacam os silicatos primarios ou o fazem muito lentamente. Em geral as argilas faltam ou escasseiam em regiões calcareas.

### 3 — *Eletrolitos anfóteros e o ponto isoelétrico*

O decurso da decomposição e da transformação dos solos depende muito das cargas elétricas das partículas. Nos casos citados na pag. 67 trata-se de afastamento de cations, ficando as superficies das partículas com carga negativa. Cargas negativas das partículas do solo constituem o caso mais frequente, dando-se entretanto também o contrario, isto é desprendimento de anions e carga positiva das partículas de argila. A carga de uma partícula depende das condições do ambiente, especialmente do pH.

Tomemos, por exemplo, uma molécula de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , base muito fraca, como vimos, logo muito pouco dissociada. Numa solução ácida, os muitos ions  $\text{H}^+$  aí existentes exercem sua atividade no sentido de captar os poucos hidroxilions que foram dissociados do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Segue-se nova dissociação das moléculas  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e finalmente encontramos na solução, além das moléculas  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , também outras dissociadas  $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+ + \text{OH}^-$ ,  $(\text{AlOH})^{++} + 2 \text{OH}^-$  e  $\text{Al}^{+++} + 3 \text{OH}^-$ . O aluminio tem carga positiva.

Se, ao contrario, colocarmos os  $\text{Al}(\text{OH})_3$  numa solução alcalina, rica em ions  $\text{OH}^-$ , os OH do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  apresentam um comportamento diferente: dissociam-se agora, separando-se o ion  $\text{H}^+$ , ficando o O com carga negativa preso ao Al. Formam-se então:



A molécula que contem o aluminio tem carga negativa.

No primeiro caso deparamos com a base fraca  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Agora temos o radical de um ácido  $\text{H}_3\text{AlO}_3$ . Se o hidróxido de alumínio toma caráter básico ou ácido, isso depende só do pH. Deverá existir um certo grau de acidez em que as duas tendências de dissociação ácida ou básica se equilibrem. Neste pH a dissociação será muito fraca, desprezando-se poucos  $\text{H}^+$  e, ao mesmo tempo, poucos  $\text{OH}^-$  na mesma solução.

O  $\text{Al}(\text{OH})_3$  geralmente existe em dispersão coloidal nas soluções, quer dizer, trata-se de muitas partículas  $\text{Al}(\text{OH})_3$  unidas. Na superfície de uma dessas partículas coloidais encontramos cations  $\text{H}^+$  dissociados quando em solução básica, anions  $\text{OH}^-$  dissociados quando em solução ácida (Fig. 29).

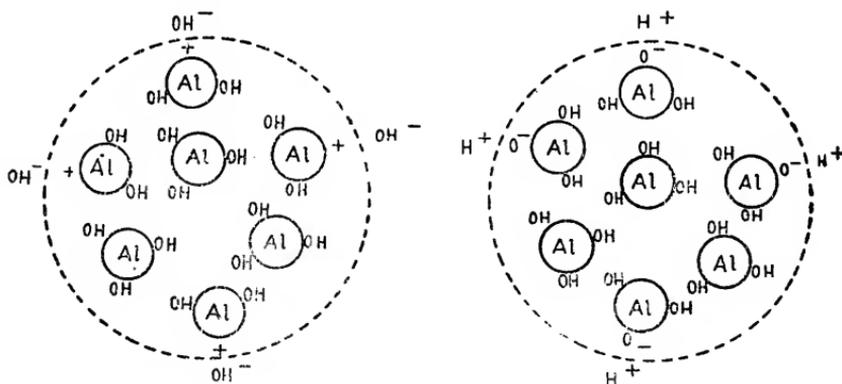


Fig. 29 — Partículas coloidais de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , à esquerda em meio ácido e à direita em meio alcalino, muito esquematizado.

O estado intermediário em que a dissociação é fraca e se processa em ambos os sentidos chama-se o ponto isoelétrico. Neste estado teremos na mesma partícula, dissociados, alguns ions  $\text{OH}^-$  e outros tantos ions  $\text{H}^+$ . As cargas na superfície da partícula serão em parte positivas, em parte negativas. Neste estado, a suspensão coloidal é instável; as partículas coloidais não têm cargas iguais que se repelem mutuamente. Neste caso aglomeram-se as partículas, formando flocos e precipitados. Nos casos apresentados na fig. 29, a suspensão mantém-se estável, porque todas as partículas têm a mesma carga. <sup>1)</sup>

Para demonstração, podemos preparar uma suspensão fina de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Partimos de uma solução aquosa de  $\text{AlCl}_3$ , acrescentando

<sup>1)</sup> Na realidade os fenômenos são mais complicados do que podem ser apresentados neste apanhado esquemático. O leitor encontra ampla discussão na obra citada de Mattson, especialmente 1930, 30, pag. 459.

tando NaOH ( $\text{AlCl}_3 + 3 \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Al(OH)}_3 + 3 \text{NaCl}$ ). Juntando cautelosamente gotas de NaOH, podemos observar coagulação e floculação do  $\text{Al(OH)}_3$  coloidal, floculação essa que atinge o seu máximo num pH = 8,1. Este é o ponto isoeletrico para  $\text{Al(OH)}_3$ . Aumentando ainda a concentração dos OH observamos diminuição da coagulação. Finalmente, ha dissolução perfeita e formação de aluminato de sodio  $\text{Na}_3\text{AlO}_3$ :



Acrescentando agora paulatinamente um ácido como HCl podemos ver o processo retroceder:



Corpos que podem adotar cargas positivas e negativas chamam-se eletrólitos anfóteros ou anfólitos. Encontram-se também nas albuminas do protoplasma; a possibilidade de adsorver e de desprender cations e anions permite em todos os casos uma rica variabilidade de reações.

Pelo comportamento do  $\text{Al(OH)}_3$  que acabamos de descrever, compreendemos que os coloides formados pela destruição dos silicatos podem manter-se em suspensão coloidal em ambiente mais ácido ou mais básico do que o que corresponde ao ponto isoeletrico das combinações respectivas. Em tal estado podem ser lavados pela agua que passa pelos solos. Se a solução do solo porer ficar próxima do ponto isoeletrico, os coloides coagulados permanecem em forma de gel, mais estaveis no solo.

Geralmente, nas particulas de argila trata-se de substancias mais compostas do que  $\text{Al(OH)}_3$  ou  $\text{Fe(OH)}_3$ . Já sabemos que estes, em soluções fracamente ácidas, reagem como bases, ligando-se, então, com o ácido silícico. Os sais assim formados também são anfólitos e o seu comportamento se torna compreensível pelo esquema muito sumario mas ilustrativo que tiramos de *Laatsch* (54), onde as bases e os ácidos fracos figuram como acidoide e basoide (fig. 30).

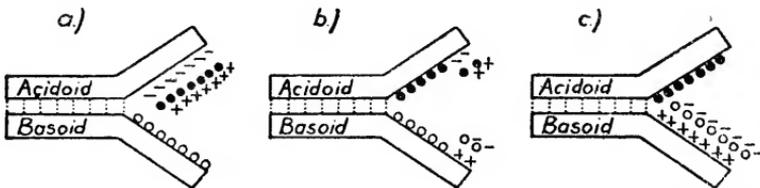


Fig. 30 — Esquema da dissociação de um coloide anfótero, em concentração crescente de ions H, seg. *Laatsch* (54).

À esquerda, numa solução alcalina vê-se dissociação e desprendimento só de cations; o mineral fica só com cargas negati-

vas da parte acidoide. No ponto isoeletrico (b) a dissociação é fraca, desta vez do mesmo grau em ambos os componentes. Tornando-se a solução mais ácida (c) desaparece a dissociação dos cations que agora ficam presos ao acidoide; o basoide, ao contrario, mostra forte dissociação e a carga da particula é positiva. Todas estas particulas atingem sua maior estabilidade nos solos, quando a solução corresponde ao ponto isoeletrico das substancias em questão. Fora deste ponto, não só se mantêm mais facilmente em suspensão — podendo ser lavados — como também podem ser atacados mais facilmente por ions livres, especialmente ions  $H^+$  e  $OH^-$ . Quando se trata de neoformação de substancias ha tendencia para a formação de compostos cujo ponto isoeletrico corresponda á solução.

### b) — HUMUS

O modo de decomposição, transformação e neoformação dos solos é grandemente influenciado pelas substancias orgânicas em decomposição. Os restos que provêm direta ou indiretamente da vegetação podem decompor-se de maneiras diferentes que podem ser divididas em tres grupos:

a) — Decomposição perfeita, sem deixar residuos apreciaveis. Os microorganismos do solo decompõem toda a materia até os produtos finais de decomposição, que são  $H_2O$ ,  $CO_2$  e  $N$  ou  $NH_3$ . Em temperatura elevada, na presença de humidade e oxigenio é este o tipo geral de decomposição observado na maioria dos solos de climas quentes. Existem sempre substancias em vias de combustão lenta, mas são poucas para dar um aspecto e um carater especial aos solos.

b) — Em climas mais frios e, em geral, em condições em que a decomposição será mais lenta, os produtos intermediarios da decomposição não desaparecem logo, acumulando-se até um certo grau e dando aos solos qualidades especiais, emprestando-lhes aspecto e qualidades peculiares. Neste caso, acumulam-se especialmente as partes do folhêdo mais resistentes á decomposição: são as membranas lignificadas. Dos corpos dos microbios que atacam as outras substancias vegetais, como o conteúdo das células e a cellulose, ficam os restos, contendo especialmente albuminas. Segundo os conhecimentos modernos, devidos especialmente a *Waksman* (124), albuminas e ligninas parecem recompor-se, formando um grupo de ácidos, denominados “humínicos”. A natureza química destes corpos não pode ser bem definida hoje em dia. Parecem ser eletrolitos anfóteros, como os seus componentes, as ligninas e albuminas. Reagem geralmente como ácidos, formando sais, os “humatos”, que com bases fortes com  $K$  e  $Na$  são facilmente soluveis, ao passo que com  $Mg$  e  $Ca$  o são difi-

cilmente. Em solos com reação ácida, por isso não se podem manter; são lavados.

Os microbios de cuja presença depende sua formação são ativos só em reação próxima do ponto neutro, ou geralmente acima de  $\text{pH} = 5$ . Tal  $\text{pH}$  é, portanto, um requisito para a formação e a manutenção destas substancias.

Os ácidos humínicos podem entrar em composição com silicatos, especialmente quando básicos. Embora existentes só em pequena porcentagem no solo, estes coloides, pela sua capacidade de conservar os cations importantes e de dar ao solo uma estrutura esmigalhadiça e porosa exercem uma influencia das mais favoráveis. A estas qualidades acrescentam-se mais outras, puramente químicas. A materia orgânica forma o substrato para a vida de bacterias uteis, especialmente as fixadoras de nitrogênio. O humus contem vitaminas estimuladoras do crescimento das raízes (vide *Went*, 132) e além disso não deve ser desprezado o papel do  $\text{CO}_2$  desprendido pela sua decomposição,  $\text{CO}_2$  esse que facilita a fotossíntese das plantas, especialmente perto do chão.

Antes de tudo, os solos pretos do chamado "tschernosom" (palavra russa que significa solo preto) são do tipo descrito. Existem não só nos terrenos afamados da Russia meridional, especialmente da Ukrania, como são também conhecidos em todas as partes do mundo, infelizmente não com muita frequencia.

c) — Em condições desfavoráveis, como quando ha falta de agua ou de oxigenio, ou quando a solução do solo se torna ácida, ou em temperaturas baixas, a decomposição é perturbada e não prosegue até o fim. Acumula-se, então, o "humus cru" que conserva até a sua estrutura. O carvão de pedra foi formado na época carboniana, em condições que se opunham á decomposição perfeita. Provavelmente originou-se em brejos, em baixadas onde havia falta de  $\text{O}_2$ , o que impediu a destruição, como a impede também hoje nos brejos mesmo no clima tropical.

A decomposição imperfeita, porem, é muito mais frequente em climas frios, onde muitas vezes, especialmente nas florestas, se acumula uma camada espessa de folhêdo. A decomposição de todos os detritos pode seguir o esquema resumido em b), sómente quando não faltam as bases para neutralisar os ácidos humínicos em formação. Na falta de tais bases, sempre ha o perigo da acídês que, como já foi mencionado, num  $\text{pH}$  inferior a 5, prejudica a atividade dos microbios. Neste caso formam-se, além ou em vez dos ácidos humínicos, outros ácidos de molécula menor, mais fortes, os ácidos fúlvicos que entram mais facilmente em solução. Pelas chuvas são arrastados para as terras sotopostas ao humus cru ou á turfa da superficie. Estes ácidos decompõem as argilas e levam os cations. Finalmente, deixam uma areia despida de todos os elementos nutritivos, solo arenoso esse, côm de cinza, o que lhe valeu o nome russo, empregado internacionalmente —

Podsol. Finalmente, a solução ácida, já enfraquecida pelas bases que encontrou, penetra em regiões mais profundas, ainda não despidas dos seus cations. Encontra, então, um pH que corresponde ao ponto iso-elétrico das soluções coloidais que carrega. Estas precipitam-se aí, cimentando as partículas do solo para formar uma lage dura de pedra, chamada Ortstein <sup>1)</sup> em alemão ou Hardpan em inglês.

Esta camada que frequentemente se encontra a pouca profundidade pode ser mais prejudicial do que o proprio podsol. As raízes das plantas muitas vezes não podem atravessá-la e, em solos deteriorados pela podsolisação, não só o reflorestamento é dificultado, como também quasi todas as culturas. Muitas vezes, trata-se de formações secundarias. Derrubadas repetidas e impiedosas das florestas, em vastas zonas da Europa boreal criaram regiões onde hoje em dia só cresce a vegetação das varzeas de urzes (*Calluna*, *Erica*, etc.).

A existencia de florestas, especialmente quando entremeadas com árvores de folhas caducas e delicadas, opõe-se á podsolisação: as raízes das árvores, em contacto com os horizontes não decompostos de terra tiram daí os cations que no outono, com as folhas, caem para a superficie, contribuindo anualmente com uma dose de cations ou de bases neutralisadoras.

A derrubada acaba com esta influencia benéfica. Sol e vento secam e solidificam a superficie antes fofa do solo. A ventilação da terra subjacente sofre, efeito esse que pode ser aumentado por excessos de humidade que antes eram transpirados pela floresta (vide pag. 121). Os animais, como minhocas, tatusinhos, larvas de insetos, roedores e outros, que trabalham, misturam e adubam o solo, somem-se, dificultando-se também a vida dos microbios. A ação lavadora das chuvas não é mais contrabalançada, a podsolisação começa. Em condições mais secas, a floresta é substituída por associações de urzes, varzeas do tipo do Callunetum ou Ericetum; em condições húmidas, as turfeiras altas do Sphagnetum dominam. O processo da deterioração parece irreversível.

Métodos modernos de cultura tentam devolver a fertilidade a tais terrenos. Os meios empregados são drenagem para tirar o excesso das aguas estagnadas, aragem muito profunda que quebra o "Ortstein" e neutralisação dos solos por meio de cal.

Entre solos do tipo Podsol e do tipo Tschernosom ha todas as transições, cujo estudo forma o assunto mais importante da Pedologia, nos climas frios e temperados.

---

1) Ort = lugar e Stein = pedra; provavelmente porque a pedra é formada no lugar.

### C) — AS RAIZES E OS MICROBIOS COMO CONSTITUINTES DO SOLO

Constituintes importantes dos solos são os seres vivos: a vegetação superior cujas raízes ocupam grande extensão do solo e também os microbios cujo metabolismo pode ter influencia sobre o mesmo.

A fig. 31 mostra a densidade das raízes de um pé de milho de 2 mezes. A grande extensão das raízes é eloquentemente ilustrada pelos algarismos muito citados de *Pavlychenko* (89).

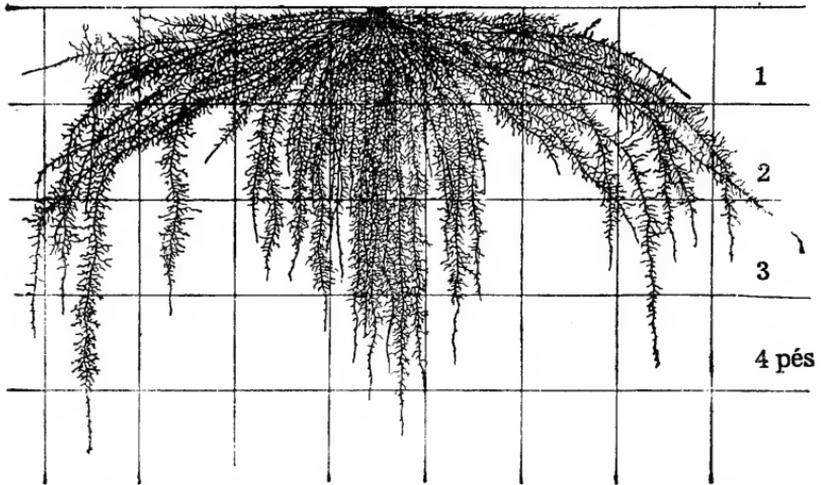


Fig. 31 — Sistema radicular de uma planta de milho de 2 mezes, seg. **Weaver and Clements** (130) com gentil autorização da casa editora McGrawHill Book Company, Inc.

TABELA 21

*Comprimento total das raízes de uma só planta*  
seg. *Pavlychenko* (89)

	Aveia ( <i>Avena sativa</i> )	Trigo ( <i>Triticum sativum</i> )	Centeio ( <i>Secale cereale</i> )
Profundidade ...	1,6	1,6	1,57
Compr. total ....	88 Km	71 Km	97.5 Km

Estes valores extraordinarios <sup>1)</sup> foram determinados para plantas isoladas, cujos sistemas radiculares ou "rizosferas" foram tirados com a terra e cautelosamente lavados. A possibilidade de valores tão altos para uma só planta se depreende de determinações como as apresentadas para o trigo (Tab. 21). Plantas semeadas mais apertadamente, em fileiras regulares, acusam profundidade de raízes de 25 % a menos e um comprimento total muito menor, apenas de cerca de 1 Km. O significado de tais valores para toda a Ecologia não pode ser superestimado. A rizosfera forma um dos constituintes mais importantes do solo, in-

TABELA 22

*Trigo: comprimento total das raízes de uma planta.  
Distância das plantas: 3 m; profundidade máxima das raízes: 1.60 m  
(seg. Pavlychenko, 89)*

Raízes formadas durante a Germinação			Raízes adventícias (crown roots) formadas no "colo" da raiz principal		
Ordem da raiz	Número de raízes	Compr. total (m)	Ordem da raiz	Número de raízes	Compr. total (m)
Raízes primárias	5	7,62	Raízes primárias	73	41,20
Raízes secundárias 1.a ordem	4.208	962	Raízes secundárias 1.a ordem	17.800	4.980
Raízes secundárias 2.a ordem	223.000	7.920	Raízes secundárias 2.a ordem	173.800	57.200
<b>Total</b>		<b>8.889,62</b>	<b>Total</b>		<b>62.221,20</b>

fluenciando muito todo o comportamento físico e químico deste. Por isso, amostras do solo sem a rizosfera, estudadas nos laboratórios dos pedólogos podem nos fornecer informações errôneas

1) *Tais valores parecem menos fantásticos, se considerarmos que o homem possui no seu corpo vasos capilares cujo comprimento total é avaliado em 100.000 Km.*

sobre certas questões essenciais, como por exemplo a permeabilidade á agua.

De outro lado com as determinações de *Pavlychenko*, adquirimos um ensinamento muito eloquente sobre a competição e concorrência das raízes no solo, luta essa de grandes consequências. Uma planta sem competição desenvolve raízes de quasi 100 Km de comprimento. Dentro das fileiras, sujeita á competição, o comprimento total atinge aproximadamente 1 Km, ou cerca de 1 %.

Os autores de climas temperados contam com uma profundidade máxima da rizosfera, para plantas cultivadas, de 1,5 até 2 m. Devemos, porem, salientar que no Brasil a maior profundidade dos solos favorece o desenvolvimento de raízes mais profundas e que o valor de 1,60 m, nos nossos solos, é ultrapassado até por Gramíneas. Raízes de cana de açúcar foram encontradas em profundidades até de mais de 5 m, e plantas lenhosas penetram frequentemente além de 10 m, nos solos brasileiros profundamente decompostos.

Todas essas superfícies das rizosferas constituem um fator importante entre as superfícies das partículas do solo empenhadas na troca de ions. Também as raízes têm as qualidades eletrolíticas indicadas para as partículas do solo: as superfícies protoplásmicas são anfólicas, podendo adsorver e desprender cations e anions.

Desde muito tempo, especialmente segundo as observações de *Hansteen-Cranner* (37), sabe-se que raízes em agua pura desprendem ácido fosfórico. Mais conhecido, porem, é o desprendimento de ácido carbônico, devido á propria respiração das raízes. Esta atividade geralmente é demonstrada pela experiencia conhecida da placa de marmore: posta em contacto com raízes ativas, estas deixam aí suas impressões devido á corrosão do carbonato de calcio pelo ácido carbônico. Substancias insolúveis, porem, podem ser atacadas por troca de cations, sendo estes substituídos pelo ion  $H^+$ , da mesma forma como foi indicado para o feldspato, na pag. 67.

A importancia deste último fator é evidente: as raízes aproveitam não só os sais dissolvidos na solução do solo, mas a fonte mais rendosa é constituída pelos ions trocáveis nas superfícies das partículas do solo. Compreende-se assim o concrecimento íntimo dos pelos absorventes com as mesmas.

Os mesmos fatos são válidos para todos os organismos da microfauna e flora do solo, onde novamente o ion  $H^+$ , desprendido em consequencia da respiração, será um fator atacante forte, na substituição e troca dos cations. Além disso, a vida microbiana não se limita a produzir o ácido carbônico que é relativamente fraco. Na falta de oxigenio, a respiração intramolecular produz ácidos mais fortes, como o ácido acético, butírico, láctico

e outros. *Feher* (30) e colaboradores mostraram, na Hungria, que nas condições anaeróbicas do inverno, quando os solos estão inundados e obturados pela água, o pH pode alcançar valores de 4,5 ao passo que o pH dos mesmos solos, no verão, indica valores alem de 7.

Se os ions  $H^+$  são importantes na substituição dos ions na superfície das particulas dos solos e se as superfícies das células vivas obedecem ás mesmas leis que regem a troca dos cations no solo, torna-se evidente que os ions  $H^+$  podem influenciar e prejudicar, por sua vez, a atividade das raízes. Já antes de ser compreendida, esta influencia foi constatada no comportamento interessante das plantas em relação ao calcio.

**Plantas calcífilas e calcífugas** — Especialmente em terrenos como os dos Alpes, onde rochas calcareas na superfície dos solos alternam muitas vezes com rochas cristalinas, evidenciou-se que a vegetação em ambos os tipos de terrenos varia grandemente. Ha plantas que só se encontram no calcareo, como o “*Edelweiss*” (*Leontopodium alpinum*) e muitas orquideas europeas. Muitas vezes, o mesmo gênero é representado por especies diferentes, ditas “vicariantes”, no calcareo e nas rochas cristalinas, como os conhecidos *Rhododendron*, entre os quais o *Rh. ferrugineum* “foge” da cal, ao passo que o *Rh. hirsutum* a “procura”. Nem todas as plantas são calcífilas ou calcífugas: a maioria das especies é indiferente e não mostra preferencias tão marcadas.

No começo pensou-se que se tratasse de uma influencia do elemento calcio. Mostrou-se depois que plantas, que não toleram o carbonato de calcio, dão-se bem em presença do gesso ou sulfato de calcio. Hoje sabemos que o fator importante é o pH do solo. O carbonato de calcio dissocia-se no solo segundo as regras mencionadas na pag. 66. Sendo sal de ácido fraco e base forte, produz reação básica no solo e neutraliza ácidos eventuais. As plantas calcífilas são as que não toleram acidês; as plantas calcífugas ou silicifilas são aquelas cujas condições de “optimum” se encontram num pH mais ácido.

Isto é bem demonstrado pelos gráficos, já clássicos, de *Olsen*, citado por *Lundegardh* (63). Vêm-se dois tipos de plantas, duas com otimo de crescimento num pH = 4, duas outras, entre as quais a cevada, com otimo próximo a pH = 6 ou 7.

O mesmo que pode ser constatado para as plantas superiores é valido para a microflora do solo. Muitas das bacterias mais importantes para a decomposição ou reconstrução das substancias orgânicas diminuem ou cessam sua atividade quando a acidês ultrapassa o pH 6 ou 5. Estão neste caso, os *Azotobacter* que fixam o nitrogenio no solo, as bacterias fixadoras do nitrogenio nas nodosidades das *Leguminosas* e a maioria das bacterias que atacam a celulose.

Se a maioria das bactérias prefere um pH próximo de 7, os fungos em geral são mais acidófilos. Os fungos que compõem as micorrizas das plantas superiores são mais frequentes em solos ácidos. Sua capacidade de decompor as substâncias húmicas complexas, num pH desfavorável para a atividade de outras plantas e microbios, pode explicar a utilidade desta simbiose para tantas plantas (Melin 75) <sup>1)</sup>.

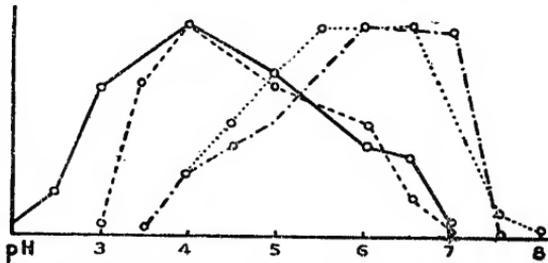


Fig. 32 — Curvas de crescimento de 4 espécies de plantas cultivadas em meios de cultura com diferentes graus de acidez (pH entre 2 e 8), Seg. Olsen apud Lundegårdh (163).

As direções diferentes que toma a decomposição das substâncias húmicas, no solo, dependem grandemente dos fatos que acabamos de resumir.

**Tamponamento dos solos e soluções** — Como mostram as observações referidas por Feher (30), o mesmo solo pode variar muito o seu pH. Esta variação, para plantas sensíveis, poderia ser perigosa. Existem, porém, solos (e também águas) tamponados. O tamponamento é provocado, como no nosso sangue, pela co-existência de um ácido fraco e um sal do mesmo ácido, porque a dissociação de todos os ácidos fracos é diminuída — e mantida em certos limites — pela presença dos seus sais. No solo os sistemas-tampão são essencialmente os ácidos carbônico e fosfórico com seus respectivos sais de cálcio. Vê-se que solos pobres em sais solúveis ou cations dissociáveis são fracamente tamponados. Partículas de argila e substâncias húmicas agem como bons tampões, quando sua superfície é munida de muitos ions trocáveis; dissociam ou fixam, conforme o ambiente, os ions  $H^+$  e  $OH^-$ .

1) A predominância de fungos em solos ácidos geralmente é considerada como consequência da acidez do solo. Merece, porém, a atenção, o ponto de vista de Romell (96) que mostra que a formação de húmus ácido também pode ser causada pelos fungos.

## D) — PERFIS E HORIZONTES

Os fatores mencionados nos parágrafos anteriores provocam muitas vezes uma certa estratificação dos solos; dizemos que o "perfil" tem varios "horizontes". Em casos típicos, como os mencionados quando apresentamos a podsolisação, temos na superfície um horizonte "eluvial" designado na Pedologia com a letra A. Por baixo segue o horizonte B, "iluvial". Sotoposta, encontramos a rocha mater muitas vezes também em decomposição, mas ainda sem grande alteração química. Este será o horizonte C. Todos estes horizontes podem ser subdivididos em sub-horizontes A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, etc.

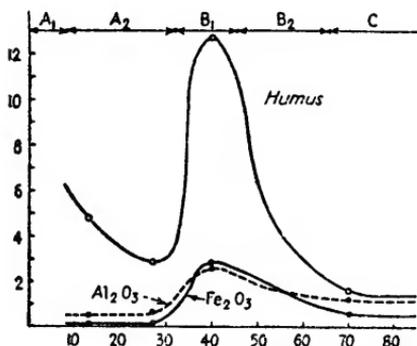


Fig. 33 — Tres curvas mostrando o teor do solo em humus,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , coloidais, em diferentes profundidades de um solo (podsol), seg. Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book Company, Inc.

As ilustrações de tais fatos contêm as figuras seguintes (33, 34 e 35), tiradas de Jenny (49). A fig. 33 indica o teor dos solos nos tres coloides importantes, humus,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ . Os primeiros 30 cms. (horizonte A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>) são pobres ou de pauperados nas substancias mencionadas. O máximo se mostra no horizonte iluvial B<sub>1</sub> até B<sub>2</sub>. Valores constantes caracterizam o horizonte C.

Nem sempre o enriquecimento se dá num só horizonte iluvial. A fig. 34 mostra, em outro solo, os coloides com o seu máximo em B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>, ao passo que os carbonatos têm o seu em B<sub>4</sub>. Finalmente, veremos (pag. 83) que também é difícil destacar um horizonte C onde não se fazem sentir os processos de iluvião e eluvião.

A estratificação dos solos é um processo que aumenta com a idade. Este processo do "envelhecimento" dos solos é ilustrado no gráfico (fig. 35) sobre podsol que se desenvolve em solos arenosos da Finlândia e cuja idade pode ser constatada. Vê-se o progresso da eluvião e da iluvião juntamente com o deslocamento desta última para cima.

Nos solos brasileiros ha processos de eluvião e iluvião que se intensificam (ou se iniciam) com a derrubada de florestas. Não deve ser difícil e seria de grande interesse estudar as alte-

rações que se dão nos horizontes dos solos em dependencia das diferentes "idades", quer dizer da época que passou desde a derubada.

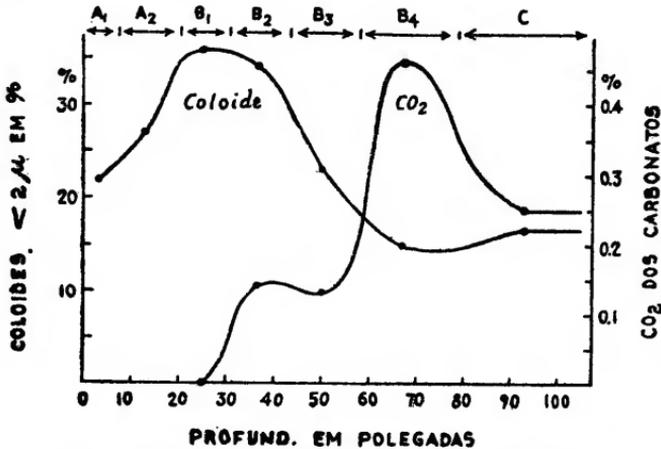


Fig. 34 — Argila coloidal e  $CO_2$  de carbonatos em função da profundidade de um solo argiloso, mostrando os maximos em horizontes diferentes, seg. Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book, Company, Inc.

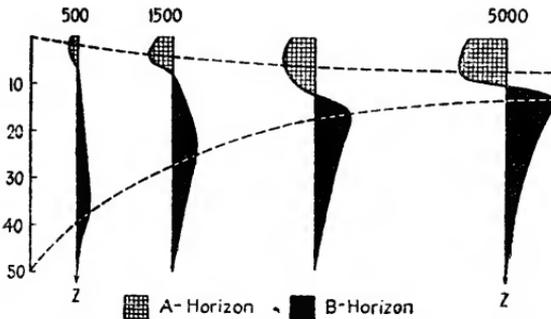


Fig. 35 — Formação de horizontes A e B de um perfil de podsol, em função da idade deste. Seg. Aaltonen e Mattson apud Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book Company, Inc.

### E) — PARTICULARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS

Nos climas quentes caracterizam-se os solos pela decomposição rápida e pela grande profundidade que esta atinge, especialmente em condições húmidas; pela menor importancia das

substancias húmicas, pelo desenvolvimento diferente das argilas que evoluem mais na direção da Caolinita e finalmente pela importancia e pela quantidade dos sesquióxidos. Entre estes, sobressaem especialmente os óxidos de ferro que dão ás terras das regiões quentes a cor vermelha característica.

O porque deste rumo diferente que toma a decomposição das rochas em condições tropicais, especialmente humidas, se delinea hoje pelos trabalhos fundamentais de *Mattson* (68). A explicação parece residir na continuação das considerações que foram expostas nas paginas 69 e seguintes. Os silicatos que restam da decomposição das rochas — decomposição essa mostrada no exemplo do feldspatho — são ácidos fracos ou “acidoides” (vide fig. 30) que entram em ligação com bases fracas ou “basoides”, como o  $Al_2O_3$  e o  $Fe_2O_3$ . Estes sesquioxidos têm, porem, as qualidades basicas só em meios ácidos; em meios neutros ou ligeiramente alcalinos tornam-se ácidos, por seu lado, e como tais não se podem mais ligar aos silicatos. Em condições alcalinas dar-se-á uma desligação completa dos dois componentes e a sílica, em estado coloidal, pode ser removida.

Como expõe *Mattson* (1932, vol. 34, p. 209) condições para tal neutralidade ou fraca alcalinidade são de se esperar, especialmente em regiões tropicais, ao passo que nas regiões mais frias prevalecem reações ácidas. “Nos tropicos, a decomposição é muito mais intensa. Quantidades de bases fortes são libertadas por hidrolise. A materia organica é rapidamente oxidada até ácido carbonico, muito fraco, e agua. A reação da solução do solo, especialmente ao chegar até a zona mais profunda da decomposição na superficie da rocha mater, permanecerá neutra ou até levemente alcalina, a despeito da forte lavagem. Em tais condições, os hidroxidos de aluminio e especialmente de ferro, possuem pouco ou nenhum poder de fixar os ácidos silicicos. Os silicatos sofrem aqui uma rapida hidrolise alcalina, cujos produtos soluveis (sílica e bases fortes) serão removidos por lavagem.

Nas regiões humidas mais frias, tal decomposição é muito mais lenta. Quantidades menores de bases fortes são libertadas num certo intervalo. A materia organica é transformada em ácidos muito mais fortes do que o ácido carbonico. Resulta uma reação mais ácida. Em tais condições o aluminio e, em grau menor, o ferro se combinará com os ácidos silicicos . . . . .” (l.c. pag. 229) .

Acrescentamos a isso que não só os produtos huminicos provenientes da materia organica existem geralmente, nos tropicos, em menor quantidade e acidez. A materia organica forma-se na superficie dos solos; a zona de decomposição, nos tropicos, fica muito afastada de sua influencia por causa da grande profundidade dos solos tropicais.

*Vageler* (123, p. 141), que parece adotar este ponto de vista, caracteriza, da maneira seguinte, os produtos da decomposição:

- 1) — Substancias em solução molecular ou coloidal:
  - a) — hidróxidos, carbonatos, cloretos, silicatos, aluminatos, nitratos e sulfatos;
  - b) — traços de sesquióxidos e talvez  $\text{SiO}_2$  em dispersão coloidal.

Esta solução tem reação nitidamente alcalina.

- 2) — Como residuo potencial:
  - a) — ao lado de material primitivo, restos dos minerais de natureza “sialítica” (Silício e Alumínio), em forma de Caolinita, não faltando minerais do tipo da Montmorilonita, em transição.
  - b) — material “alítico”, ou “alferítico”<sup>1)</sup>, quer dizer hidróxidos cristalisados ou em forma de gel, principalmente de Alumínio ou de Alumínio e Ferro;
  - c) — fosfatos de Ferro e de Alumínio.

Só em condições bastante húmidas, originam-se muitos desses minerais sialíticos ou alíticos, quer dizer argilosos. Os solos áridos e semi-áridos dos climas secos carecem das substancias coloidais, sendo leves e arenosos. Neste caso tambem a decomposição não é profunda.

Em condições húmidas, muito importa a acidês da solução. Reação mais ácida não dissolve o ácido silícico, originando-se os sialitos. Reação alcalina ou neutra arrasta o ácido silícico. Neste caso, restam só os alitos.

Na decomposição das rochas cristalinas, em condições tropicais, húmidas, o primeiro passo consiste, portanto, na libertação das bases. A reação alcalina conduz á dissolução e dispersão da sílica que finalmente é lavada para os rios. Segue-se um enriquecimento em óxidos de Al e Fe. O resultado final são os lateritos<sup>2)</sup>. O nome de laterito, como explica *Harrassowitz* (38, pag. 387) foi usado primeiro em 1807 por *Buchanan* para designar formações superficiais, usadas nas Índias para a fabricação de tijolos que secam ao ar. Muitos autores empregam esta denominação para todas as terras vermelhas, ricas em óxidos de Ferro. Segundo *Harrassowitz* (38), o termo deve ser restrito aos casos de acúmulo superficial contendo não só o Ferro, mas ainda o Alumínio.

O Alumínio e o Ferro que compõem o laterito podem existir em varias formas: o Alumínio como Monohidrato ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e

1) *Abreviado de Alumínio e Ferro.*

2) *Do latim, later = tijolo.*

Trihidrato ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), ocorrendo estas combinações na natureza em Bauxita e Hidrargilita. O ferro, além do  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , como Limonita ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), como Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e ainda provavelmente em certas combinações com o ácido silícico, combinações essas que talvez provoquem as côres vivas dessas terras lateríticas.

Os lateritos, que não retêm os cations, são nitidamente inférteis. Também fisicamente se opõem ao crescimento da vegetação pela rigidez das camadas que revestem a terra quasi como uma armadura. Tais crostas, conhecidas especialmente na África, existem também nas partes mais secas do Brasil (Canga).

Muitas vezes, porém, o óxido de Ferro concretisa-se em migalhas, até favoráveis ao arejamento, formando-se uma "pseudo-areia". Nestas condições, o Ferro é pouco solúvel em água, podendo até fixar da mesma forma o Fósforo. Segundo *Vageler* (123, pag. 67) terras desta natureza, cuja análise total revela valores grandes de P e de Fe nada disso põem á disposição da vegetação.

A grande diferença na decomposição das rochas em condições equatoriais e temperadas ressalta do seguinte dado por *Warth* (128), que muitas vezes é citado neste assunto: a decomposição de doleritos, de composição muito semelhante, dá, no clima tropical e húmido das Índias, um produto laterítico que se compõe, quasi que exclusivamente, dos oxihidratos de Alumínio e Ferro. No clima temperado, húmido, da Inglaterra, em Rowley-Regis, não só o  $\text{SiO}_2$  é conservado no produto de decomposição, como também os álcalis adsorvidos nas argilas dos climas temperados (Tab. 23).

TABELA 23  
Seg. *Warth* (128).

	Dolerito de Rowley-Regis		Dolerito de West-Ghâts	
	fresco %	decomposto %	fresco %	decomposto %
$\text{SiO}_2$ .....	49,3	47,0	50,4	0,7
$\text{TiO}_2$ .....	0,4	1,8	0,9	0,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	17,4	18,5	22,2	50,5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	2,7	14,6	9,9	23,4
$\text{FeO}$ .....	8,3	—	3,6	—
$\text{MgO}$ .....	4,7	5,2	1,5	—
$\text{CaO}$ .....	8,7	1,5	8,4	—
$\text{Na}_2\text{O}$ .....	4,0	0,3	0,9	—
$\text{K}_2\text{O}$ .....	1,8	2,5	1,8	—
$\text{P}_2\text{O}_5$ .....	0,2	0,7	—	—
$\text{H}_2\text{O}$ .....	2,9	7,2	0,9	25,0
Soma .....	100,4	99,3	100,5	100,0

Os cations e o  $\text{SiO}_2$ , que quantitativamente quasi desaparecem na decomposição dos solos tropicais, podem ser encontrados no regime fluvial dessa regiões. Para documentar este fato apresentamos <sup>1)</sup> algumas análises de aguas de rios tropicais da Guiana inglesa e de rios dos climas temperados da Europa (Tabs. 24 e 25).

TABELA 24

Rios da Guiana inglesa. Seg. Clarke (23).

Constituintes das cinzas em %	Barima	Waini	Essequibo	Demerava	Courantyne	Potaro
$\text{CO}_3$ .....	22,12	28,40	15,74	12,84	22,14	25,89
$\text{SO}_4$ .....	1,39	0,92	5,65	1,15	1,22	1,89
Cl .....	6,45	6,50	3,36	10,32	6,86	2,88
$\text{NO}_3$ .....	0,51	0,13	1,11	0,97	0,30	2,00
Ca .....	10,21	5,45	3,84	0,38	5,16	2,25
Mg .....	4,01	3,02	2,96	2,65	2,39	0,97
Na .....	2,67	12,88	6,97	10,93	8,75	18,14
K .....	0,08	1,88	0,54	1,69	2,65	1,26
$\text{SiO}_2$ .....	43,43	25,04	52,80	55,92	41,90	38,54
$(\text{Al} + \text{Fe})_2\text{O}_3$ .....	9,13	15,78	7,03	3,15	8,63	6,18

TABELA 25

Rios da Europa. Seg. Clarke (23).

Constituintes das cinzas em %	Rheno	Elba	Danubio	Weichsel	Rhodano	Duero
$\text{CO}_3$ .....	41,10	45,04	51,70	47,78	36,69	33,73
$\text{SO}_4$ .....	11,13	8,88	8,54	9,49	26,28	23,37
Cl .....	3,65	3,56	1,31	2,70	0,71	7,74
$\text{NO}_3$ .....	1,63	0,94	0,31	?	0,31	Sp
Ca .....	31,81	26,37	27,40	28,52	26,42	23,93
Mg .....	3,95	2,77	6,00	4,44	3,66	6,05
Na .....	2,08	4,02	1,12	1,57	) 3,98	
K .....	1,05	3,06	0,72	0,39		
$\text{SiO}_2$ .....	2,69	4,66	2,42	4,49	1,55	1,03
$(\text{Al} + \text{Fe})_2\text{O}_3$ .....	0,89	0,77	0,48	0,62	?	0,10

1) Agradecemos ao Dr. F. Hackemann, representante do Sindicato de Potássio em S. Paulo, que muito nos auxiliou na reunião destes dados.

A grande riqueza das águas tropicais em  $\text{SiO}_2$  é o traço mais característico e impressionante. As quantidades de cations parecem pequenas, mas, considerando-se o grande volume de águas lançado nos mares pelos rios, tomam vulto.

Para o Amazonas possuímos valores colhidos por *Katzer* (51) e dos quais apresentamos alguns na tabela 26. Os valores de  $\text{SiO}_2$  não são tão grandes como nos rios da Guiana Inglesa, mas ainda ficam em redor de 20 % do valor dos resíduos. Isso era, talvez, de esperar segundo as explicações dadas na pag. 82. A região do Amazonas é caracterizada por abundancia de substancias húmicas que até provocam a cor escura dos varios rios "pretos". Já vimos que as substancias húmicas se opõem á perfeita dissociação dos silicatos.

TABELA 26

*Substancias dissolvidas em águas amazonicas, seg. Katzer (51, p. 48)*

COMPOSTOS DISSOLVIDOS	Amazonas I (*)		Amazonas II (*)		Xingú (*)		Tapajoz (*)	
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
$\text{SiO}_2$ .....	9,4	24,3	12,2	22,4	9,6	16,8	9,2	18,2
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	3,6	9,3	6,2	11,4	3,9	6,8	2,8	5,6
$\text{CaSO}_4$ .....	1,1	2,8	1,3	2,4	6,8	11,9	4,0	7,9
$\text{CaCO}_3$ .....	11,4	29,5	14,6	26,8	12,9	22,6	13,2	26,1
$\text{MgCO}_3$ .....	2,2	5,7	1,5	2,8	6,2	10,8	4,8	9,5
KCl .....	3,0	7,7	4,0	7,3	3,0	6,3	2,6	5,1
NaCl .....	2,3	5,9	5,8	10,6	2,4	4,2	1,7	3,4
Materia organica.	5,7	14,7	8,9	16,3	11,8	20,8	12,2	24,2
Resíduos da água filtrada pela evaporação a 110° C.	39,0 (38,7)	(99,9)	54,5 (100,0)	(100,0)	57,2 (100,0)	(100,0)	50,5 (100,0)	(100,0)
Materias em suspensão .....	100,4		196,6		87,5		91,2	

(\*) — Amazonas I — perto de Obidos, a 26 m. de profundidade.

— Amazonas II — perto de Obidos, a 10,5 m. de profundidade.

— Xingú, pouco acima de Porto de Moz, a 0,5 - 1 m. de profundidade.

— Tapajoz, em Itaituba, a 0,5 - 1 m. de profundidade.

Os valores dos sais minerais parecem pequenos, mas considerando-se a grande quantidade de água despejada no Oceano pelo Amazonas, tomam vulto. A quantidade de água que passa por segundo por Obidos, rio abaixo, para o mar, é avaliada em  $120.000\text{m}^3$  por segundo, em média. Isso dá 7,2 milhões de metros cúbicos por minuto. Mas, considerando-se as grandes quantidades de água que mais para diante, rio abaixo, ainda afluem até a desembocadura, não cometeremos grande erro contando com 10 milhões despejados por minuto, o que daria 14.400 milhões por dia.

O conteúdo da água em KCl é de 3 até 4 mg. por litro. Como as matérias em suspensão, que aqui não são incluídas no cálculo, podem conter um pouco de potássio, desprezamos esta quantidade e, em compensação empregamos o valor maior de 4 mg., indicado na coluna Amazonas II; 4 mg. por litro equivalem a 0,0004 %. Chegamos, assim, a 57.600 toneladas por dia, o que dará 21.024.000 toneladas por ano de KCl que é levado da terra e transportado do continente para o mar. Esta quantidade corresponde a mais de 13.000.000 de toneladas de  $\text{K}_2\text{O}$ , valor este que é interessante, se considerarmos que a produção de  $\text{K}_2\text{O}$  da indústria mundial <sup>1)</sup> atingiu, por ano, antes da guerra, 2.000.000 de toneladas aproximadamente. Apresentamos este exemplo para documentar já, aqui, a grande importância da lavagem das terras pelas águas de chuva, assunto este ao qual voltaremos no capítulo seguinte.

---

1) Segundo dados gentilmente fornecidos pelo Dr. F. Hackemann.

## F) — O REGIME DA ÁGUA NOS SOLOS

### a) — ÁGUA APROVEITAVEL E INAPROVEITAVEL

A economia da agua no solo deve ser estudada sob o ponto de vista da estática e da dinâmica. Não se trata só de saber quanta agua existe á disposição das plantas, mas tambem quanta pode ser fornecida num lapso de tempo dado. Sob o primeiro ponto de vista é interessante saber qual a capacidade de um solo de reter agua. Esta depende da porosidade, sendo os poros o espaço que pode ser enchido. Para mostrar de que valores se trata, damos aqui alguns algarismos como a Pedologia os apresenta para varios tipos de solos.

TABELA 27

VOLUME DE POROS (seg. *Wiessmann*, 135)

Areia .....	47 %	Areia rica em humus	59 %
Areia limosa .....	50 %	Argila .....	59 %
Limo arenoso .....	56 %	Turfa .....	78 %

Teoricamente, todo este volume poderia ser de agua; o solo, porem, geralmente, não retém tudo porque, pelo próprio peso, uma parte de agua escoar, a “agua gravitativa”. A agua não gravitativa é retida pelas forças elétricas já caracterizadas quando, na pag. 65, falamos das capas de agua que envolvem os ions parcial ou completamente dissociados das superficies. Antigamente, era chamada agua capilar; hoje sabemos, especialmente pela análise de *Vageler* (120), que as forças que atraem e retém a agua nos poros do solo não são simplesmente desenvolvidas pela superficies dos fragmentos sólidos da terra: são essencialmente atrações elétricas que partem dos enxames de ions. O nome que damos ao fenômeno, porem, não importa. Tambem não nos deve preocupar se outros autores designam as mesmas forças como forças osmóticas; os ions retidos por forças elétricas perto das superficies têm efeito osmótico; immobilizados pelas atrações elétricas, comportam-se como se estivessem contidos dentro de uma película invisível.

Uma parte da capa de agua, aquela que é retida bem nas imediações das particulas, é distinguida como agua higroscópica. Um solo secado perfeitamente (a 105-110° C), quando colocado numa atmosfera húmida, absorve agua com muita avidéz, aquecendo-se com isso. A quantidade de agua assim adsorvida por um solo da-  
do depende da humidade relativa da atmosfera ambiente; de acor-

do com *Mitscherlich* emprega-se uma atmosfera de humidade relativa de 96 %, sobre ácido sulfúrico a 10 % (veja parte I, pag. 51<sup>1)</sup>). As determinações de *Mitscherlich* são fundamentais e os valores dados em seguida baseiam-se no seu método. Na literatura inglesa e americana o leitor, porem, depara com metodos um pouco diferentes. Em Rothamsted, na Inglaterra, usa-se humidade relativa de 50 % e nos Estados Unidos a de 98,2 %. Em todos estes casos o solo, quando estabelecido o equilibrio, tem a mesma força de sucção que a atmosfera do dessecador; esta, no caso de 96 % de humidade relativa equivale a cerca de 58 atmosferas.

A agua fora desta capa de agua higroscópica é retida pelas mesmas forças elétricas; mas aqui estas são menores. Também aqui se encontram os ions dissociados, só em distribuição muito menos densa. Assim as forças com as quais a agua é atraída diminuem rapidamente com a distancia da superficie das particulas. Se o manto da agua iguala 2 vezes a agua higroscópica temos na superficie deste só uma força retentiva de 6,25 atmosferas, segun-

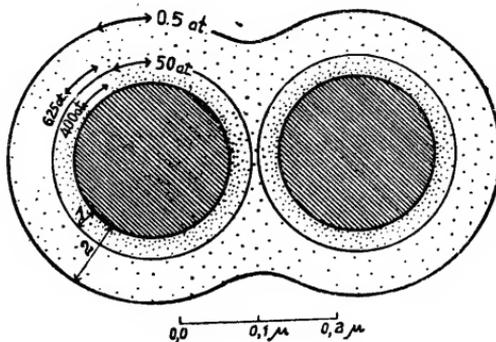


Fig. 36 — Apresentação esquemática de duas partículas coloidais com sua capa de agua adsorvida pelos enxames de ions, idealizada por *Laatsch* (54), segundo calculos de *Vageler*.

do um cálculo de *Vageler*. O triplo da higroscopicidade corresponde a uma sucção dos solos de 1,8 atmosferas e entre 4 a 5 vezes a agua higroscópica, as forças nas superficies das particulas são menores do que 1 atmosfera<sup>2)</sup>. Se, ao contrario, o solo só contem frações da agua higroscópica, a força de retenção cresce

1) 10 % em peso, não em volume; a nossa tabela citada indica volumes.

2) Os valores são aproximados, dependendo da qualidade dos ions.

extraordinariamente. O solo só com a metade de agua higroscópica desenvolveria 400 atmosferas e com 0,1 de higroscopicidade, 50 mil atmosferas, com as quais atrai e absorve agua. Isto mostra a figura bem esquemática mas ilustrativa de *Laatsch* (54).

Em numeros arredondados costuma-se attribuir a um solo que contem unicamente agua higroscópica, uma força de sucção próxima de 50 atmosferas; alem deste limite um aumento grande das forças corresponde a uma diminuição pequena da agua higroscópica.

Quando a agua é retida com forças de 1 atmosfera, isso quer dizer que pode ainda contrabalançar o peso de uma coluna de agua de 10 metros de profundidade que se poderia estabelecer para o interior do solo — caso não fosse retida por outras forças. Geralmente, trata-se de distancias menores até o lençol de agua subterraneo. Quando o peso da agua é maior do que as forças retentoras, a agua desce para o fundo. Esta é a agua gravitativa.

Podemos assim distinguir:

- 1) — agua higroscópica;
- 2) — agua retida por forças menores, tambem chamada “osmótica” ou “capilar”;
- 3) — agua gravitativa.

A agua higroscópica pode ser considerada como absolutamente inaproveitavel para a planta. A agua gravitativa, enquanto ao alcance das raizes, sempre será aproveitavel — não se tratando de soluções concentradas, que por sua vez desenvolvem forças osmóticas.

Para saber qual a parte aproveitavel da agua “osmótica” ou “capilar”, olhamos primeiro para as forças de sucção das raizes. Reproduzimos aqui alguns dados reunidos por *Vageler* (120), não com o intuito de dar valores muito exatos, mas para ilustrar a ordem de grandeza de que se trata.

TABELA 28  
FORÇAS OSMÓTICAS DE RAIZES (*Vageler*, 120)

Planta	Força osmótica em atmosferas	Autor
Cevada ( <i>Hordeum</i> ) . . . . .	6.7 — 15.99	} <i>Eibl</i> <i>Pammer</i> <i>Taschdian</i> , <i>Vageler e</i> <i>Allen</i> <i>Oppenheimer</i>
Alfafa ( <i>Medicago</i> ) . . . . .	27.0 — 29.5	
Algod. egyp. ( <i>Gossypium</i> ) . . . . .	13.3 — 15.3	
Algod. americ. ( <i>Gossypium</i> ) . . . . .	5.1 — 15.6	
Fumo ( <i>Nicotiana</i> ) . . . . .	4.75 — 11.1	
Tomate ( <i>Lycopersicum</i> ) . . . . .	5.5	} <i>Vageler e</i> <i>Allen</i>
<i>Citrus nobilis</i> . . . . .	40.5 — 58.0	
<i>Citrus medica</i> . . . . .	26.0 — 47.0	
Milho egypc. ( <i>Zea</i> ) . . . . .	17.0 — 28.0	
Trigo egypc. ( <i>Triticum</i> ) . . . . .	13.0 — 28.0	

Com exceção dos valores altos dos *Citrus*, os valores mantêm-se abaixo das 50 atmosferas que correspondem à água higroscópica. Isto quer dizer que mais do que esta é água inaproveitável ou "morta". O gráfico seguinte mostra a quantidade de água

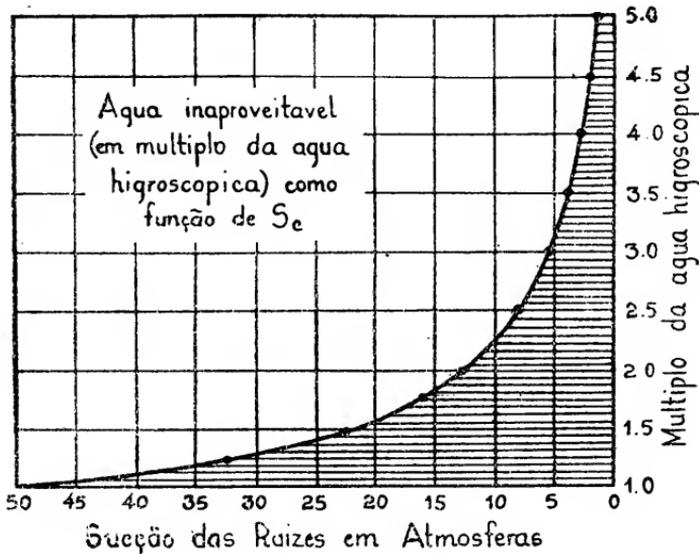


Fig. 37 — Esquema segundo Vageler (120).

inaproveitável para raízes cujas forças de sucção variam entre 50 e 0 atmosferas. Para a raiz com 50 atmosferas de força de sucção, quase toda a água que não fosse higroscópica, teoricamente, — e se não existisse o ponto de vista dinâmico, discutido na p. 94 — seria aproveitável. Com força de 12 atmosferas, a raiz aproveitará só a água que excede 2 vezes a quantidade de água higroscópica, e assim por diante.

A quantidade de água retida por higroscopicidade varia segundo os solos, como mostrou a nossa tabela 19 (p. 62). Vê-se que nas argilas e nas turfas, 18 até 24 % da água podem ser retidas higroscopicamente, sendo inacessíveis, portanto, a todas as raízes. Forças superiores a 50-60 atmosferas seriam de pouca utilidade para as raízes. No domínio da água higroscópica o movimento desta deve ser lento. Opõem-se ao movimento não só as grandes forças de retenção, mas também o pequeno contacto existente entre as partículas do solo, quando estas só mantem as capas isoladas de água higroscópica.

A água aproveitável no solo constitui as reservas prontas para o uso das plantas; a determinação destas quantidades encontra, porém, dificuldades. Já dissemos que toda a água gravitativa pode ser considerada como sendo aproveitável, enquanto estiver ao alcance das raízes. Como, porém, escoar para o lençol subterrâneo e em seguida para riachos e rios, não constitui uma reserva estável, a não ser para plantas cujas raízes se aproximam do lençol subterrâneo. Plantas com raízes menos profundas, como a maioria das cultivadas, encontram, por isso, a sua reserva mais valiosa na fração da água retida que lhes será acessível. A sua quantidade oscila entre o valor máximo que o solo pode reter, a "field capacity" dos autores e a porcentagem de água que as raízes não mais podem tirar do solo. Este limite inferior corresponde ao que geralmente se chama de "wilting point" ou ponto de murchamento <sup>1)</sup>.

A determinação de ambos os limites é sujeita a incertezas. A "field capacity" determina-se humedecendo uma certa quantidade de terra, antes dessecada, até não poder mais reter água e até escoar — durante certo espaço de tempo, que varia segundo os autores — toda a água gravitativa. Valores assim determinados no laboratório, como os representados na tabela seguinte não dão informações sobre o comportamento da água "in situ", quer dizer na posição original do solo. Não devemos esquecer que, na posição natural, os solos têm uma estrutura diferente da dos solos desagregados do laboratório, influenciando também a pressão das ca-

TABELA 29  
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA ÁGUA EM % DO PESO

(Wiessmann, 135, p. 233)

Areia .....	18.8%	Areia rica em humus	52.8%
Areia limosa .....	21.9%	Argila .....	80.9%
Limo arenoso .....	20.2%	Turfa .....	126 %

mas sobrejacentes. O essencial é que as chuvas nunca poderão encher todos os poros do solo natural como a água destilada ou de torneira o faz com os solos afogados do laboratório. No solo natural uma certa quantidade de ar não pode escapar e não pode ser substituída por água.

<sup>1)</sup> Os conceitos e as definições na *Pedologia variam*. Empregamos a "field capacity" no sentido de Veihmeyer e Hendricksen (1929) e o "wilting-point" como foi introduzido por Briggs e Shantz (1912); discussão e literatura traz Baver (4).

Para contornar tais dificuldades *Burger* e *Siegrist* tentaram introduzir métodos novos, discutidos e examinados por *Lüdi* e *Luzzato* (61), que indicam a literatura. Trata-se de tirar, mediante cilindros de aço, certo volume de terra da profundidade desejada, preservando a sua estrutura natural, e examinar a quantidade de água que pode entrar e ser retida enquanto a terra conservar o volume, a estrutura e a textura iniciais. Valores bem concordantes e satisfatórios ainda não puderam ser obtidos. Também com estes métodos, o ar que pode ser expulso e substituído por água no laboratório, pode diferir do substituído no solo "in situ". Até neste a substituição dependerá grandemente da maneira como o solo é humedecido, se por aguaceiros torrenciais ou por chuvas finas. Finalmente, a última parte da água gravitativa escoar com tanta lentidão, que a distinção entre esta e a água retida por forças osmóticas ou elétricas se torna impraticável.

Por isso, nunca poderemos indicar com certeza a quantidade máxima de água que um solo pode reter. Podemos, porém, colher

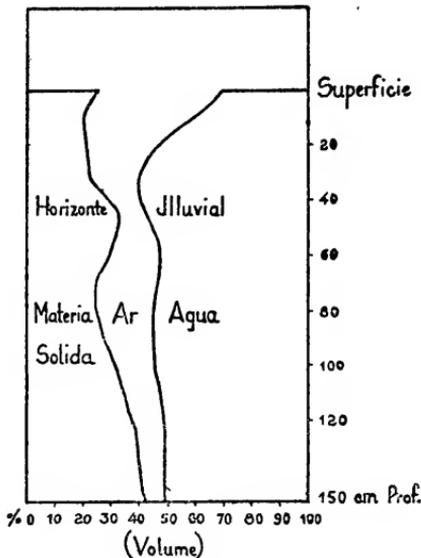


Fig. 38 — Distribuição de água, ar e substância sólida, num solo quasi neutro de floresta virgem (Seg. Vageler, 123).

dados, em varias estações e condições, sobre a distribuição de água e ar no solo. Tais dados podem ser esquematizados como no perfil (fig. 38) de *Vageler* (123), que infelizmente só apresenta os primeiros 150 cms. do solo. No Brasil os solos e a rizosfera atingem profundidades, muitas vezes, superiores a 20 metros. Neste caso, precisamos empregar outros métodos de estudo que vão ser apresentados na p. 100 e seguintes.

Dificuldades parecidas encontramos com o limite inferior das reservas, quer dizer com a determinação do ponto em que praticamente a água se torna inaproveitável para a planta. Este é o ponto do murchamento permanente ou "permanent wilting", conceito esse já mencionado á p. 92.

As plantas murcham quando a condução da água dentro ou fora delas, isto é no solo, se torna insuficiente. Este pode ser o caso quando a evaporação forte exige demais da plan-

ta. Pode falhar o sistema condutor dentro da planta, como podemos observar em muitos exemplares dos nossos jardins, cujas folhas murcham ao sol do meio dia até num solo bem regado. Pode falhar também a condução da água dentro do solo. Nestes casos teremos um murchamento transitório e a turgescência se restabelece quando a evaporação diminui. Só quando no solo faltar toda a água que pode ser conduzida às raízes, ocorrerá o murchamento permanente. Neste caso, a planta, mesmo que seja transferida com o seu vaso para uma atmosfera saturada (câmara húmida), onde cessa toda a evaporação, não poderá mais restabelecer a turgescência. O grau de saturação do solo neste estado marca o limite inferior da água aproveitável.

Muitos pesquisadores determinaram, assim, o "wilting point" usando plantas envasadas e a câmara húmida. Os resultados referidos nos tratados de Fisiologia como o de *Maximov* (71, p. 65 e segs.) e de Pedologia, como o de *Baver* (3, p. 236) indicam que o ponto do "permanent wilting" varia pouco para as raízes de diferentes espécies, dependendo antes dos tipos de solos. Como a água inaproveitável revelou-se em geral aquela que iguala 1,5 até 2 vezes a quantidade da água higroscópica.

Os resultados de tais determinações, porém, podem variar com as condições. Como mostrou *Caldwell* (16) fornecem valores concordantes para transpiração relativamente fraca. Em condições de transpiração forte aumenta a parte inaproveitável da água. As razões para isso podem ser várias: forte absorção pelas raízes poderá criar em redor destas uma zona mais seca do solo, que deveria interromper ou prejudicar toda a condução da água das partes mais afastadas do solo. Também o poder de absorção da planta depende do estado fisiológico com o qual pode resistir e se adaptar às consequências do dessecamento da terra.

O método do "wilting point" contém mais uma incerteza que, ao nosso ver, deve ser considerada: o restabelecimento das plantas na câmara húmida — podemos supor — faz-se com os estômatos fechados. Para vegetar no campo a planta precisa abrir os estômatos e então as suas necessidades de água ultrapassarão de muito as determinadas nas experiências citadas. Na verdade, o problema da água aproveitável deve ser considerado sob o ponto de vista dinâmico. Para a vegetação no campo não importa tanto se o solo ainda contém água aproveitável, mas se as plantas, na unidade de tempo, podem absorver tanta humidade quanta têm que gastar — com estômatos abertos! — nas condições do seu ambiente. Por isso, a velocidade com a qual a água pode ser conduzida no solo torna-se o problema mais importante e hoje muito ventilado. *Sekera* (103) considera que de toda a água teórica ou estaticamente aproveitável, praticamente 75 % poderão ser utilizados, devido a causas dinâmicas. Que tais valores só podem indicar uma ordem de grandeza já o indicou *Vageler* (120,

p. 271); depois do que acabamos de expor, em condições de grande transpiração, toda a água suposta por *Sekera* não poderá afluir à raiz com a velocidade necessária.

Praticamente, a vegetação no terreno já será prejudicada e paralisada antes do solo chegar ao ponto de murchamento do laboratório. O julgamento sempre dependerá de observações no próprio campo. Neste, acrescenta-se mais um fator de incerteza: a profundidade das raízes, que em plantas de cultura, às vezes, é conhecida, mas na vegetação espontânea geralmente é ignorada.

Com um pequeno aumento da profundidade aumenta muito o teor de água de solos que estão em dessecação. Quando não se trata de solos pouco espessos, a rizosfera sempre atinge camadas com teor de água diferente. Plantas de cultura com rizosferas mais ou menos conhecidas, talvez possam ser estudadas pelos métodos de laboratório. Associações naturais no campo requerem pesquisas que abranjam em conjunto todas as condições do solo "in situ" (Vide p. 100).

#### b) — O MOVIMENTO DA ÁGUA

Com as últimas observações, já tocamos na questão do movimento de água nos solos. Este movimento geralmente é mais lento do que se imagina, mesmo quando se trata de água gravitativa. Interessantes são, neste conjunto, as observações de *Rotmistroff* (97) em Odessa. As estepes estudadas por este Autor apresentam alguns caracteres que as aproximam das condições do Brasil. Também, lá, o lençol subterrâneo de água pode ser encontrado em profundidades de 20 metros. Também, lá, há uma época nitidamente seca, seca essa que atinge só as camadas mais superficiais do solo. As observações deste Autor são tão interessantes que transcrevemos aqui suas palavras: "... experiências sobre a humidade do solo, que foram feitas no campo de ensaio de Odessa mostraram que um campo de superfície condensada e sem vegetação, durante a seca, no decurso de 1 ½ a 2 meses, só perde sua água numa camada que não ultrapassa 30 cms. de profundidade, ao passo que em camadas mais profundas, desde 40 até 50 cms., não é observado decréscimo de humidade. Isso aconteceu num lapso de tempo que basta perfeitamente para se poder constatar todos os fenômenos que acompanham a seca; pois, 2 meses sem chuva dão uma seca legítima. ..."

Esta citação mostra o fato importante que a subida capilar é insignificante: as camadas superficiais ficam perfeitamente secas, ao passo que na proximidade imediata há camadas subjacentes abastecidas com água. Grande lentidão foi também constatada no movimento descendente da água gravitativa. Deixamos falar novamente *Rotmistroff*: "... todas as constatações ao meu

dispor sobre humidade no solo do campo de Odessa indicam que a agua que ultrapassou a profundidade de 40 até 50 cms. nunca mais volta á superficie, a não ser pelas raizes. Mas, a agua que não foi captada pelas raizes passa para as camadas mais profundas, progredindo anualmente 2 metros em profundidade.....”

Um movimento da agua gravitativa ou escoamento, de 2 m por ano ou 15 á 20 cms. por mez, é bastante lento. A velocidade dependerá, sem duvida, grandemente, do estado de saturação do solo, porque, como vimos, a agua gravitativa pode ter que superar pequenas forças de succção que a retêm e além disso depara com resistencia por fricção, que pode alcançar valores grandes (*Sekera* 103, conta com 5 - 10 atmosferas).

A agua gravitativa, fora e dentro do lençol subterraneo, pode mover-se tambem no sentido lateral; tudo isso o leitor encontra discutido por *Meinzer* (74).

O dessecamento só superficial é documentado tambem por pesquisas em climas mais áridos. *Birand* (8) encontrou em Ankara os valores seguintes:

TABELA 30

CONTEÚDO DE AGUA DO SOLO EM % DO PESO SECO,  
seg. *Birand* (8) em Ankara (Turquia), no ano 1936

Profundidade (cm)	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto
2-5	18,9	20,6	9,8	1,1	1,3
10	23,4	27,8	11,3	2,5	2,2
20	27,2	28,2	18,2	8,1	6,9
50	27,9	26,9	21,4	11,8	12,6
80	17,4	16,1	17,7	11,3	8,9
120	26,2	25,3	27,8	25,9	24,4

Os meses de Junho até Outubro, lá, são de seca mais pronunciada; caindo ainda os meses sem chuva no verão. A humidade relativa do ar então está tão baixa, que a superficie do solo perde quasi perfeitamente a sua agua. A seca, porem, atingiu só o primeiro metro de profundidade; infelizmente não ha observações ultteriores que provavelmente mostrariam uma penetração mais profunda. Esta aliás dependerá da existencia e da atividade de raizes em tais camadas, como acabamos de ver pelas observações de *Rotmistroff*.

Nos solos de Gezira, no Egipto, *Andrews* (1) constatou, depois de 8 meses de seca, num solo sem ou quasi sem vegetação (“dry fallow”), os valores seguintes:

TABELA 31

HUMIDADE DO SOLO EM % DEPOIS DE 8 MESES DE SECA  
 ("DRY FALLOW") no Egito, seg. *Andrews* (1)

Profund. em polegadas	Agua	Profund. em polegadas	Agua	Profund. em polegadas	Agua
0-6	7.4	24-30	20.1	48-54	23.6
6-12	10.8	30-36	21.3	54-60	23.4
12-18	15.6	36-42	22.9	60-66	22.2
18-24	17.5	42-48	23.6	66-72	21.6

Tambem aqui só os primeiros decímetros secam. Estes solos são classificados como muito argilosos; munidos portanto, provavelmente, de maior força de retenção dagua. Uma parte da agua das camadas mais baixas, porem, a que ultrapassa 20 %, deve constituir agua aproveitavel: foi constatado que acima deste valor a tiririca (*Cyperus rotundus L.*) que, como na America do Sul, tambem na Africa e na Asia constitue uma praga frequente, pode retirar agua deste solo. Isso após 8 meses de seca num clima desértico!

### c) — AS RESERVAS DE ÁGUA

Nos paragrafos antecedentes vimos a importancia das reservas de agua accessiveis á vegetação. A quantidade de agua que a natureza põe á disposição das raizes depende da quantidade das precipitações — grandeza essa que facilmente pode ser registrada. (Uma exceção fazem os casos de irrigação, que pode ser artificial ou natural, esta última quando uma região recebe agua por meio de rios provenientes de lugares mais húmidos). Nunca, porem, toda a agua de precipitação ou de irrigação pode entrar no regime da vegetação. Abstração feita das precipitações retidas na ramagem — caso esse especialmente importante nas florestas, onde pode perfazer 1/4 até 1/3 das precipitações, ao passo que nos campos é insignificante — temos que considerar a agua perdida por escoamento e a gasta por evaporação. Quanto ao escoamento, este pode ser superficial ou de profundidade; entra, em todo o caso, no sistema fluviométrico e, quando se trata do balanço de agua de regiões inteiras, pode ser medido ou avaliado; entretanto, em habitats pequenos e isolados, a sua determinação pode ser difficil.

A maior incognita, porem, é a evaporação e esta parte é de avaliação difficilima. Os dados dos meteorologistas, já por si incertos, são calculados a partir de uma superficie de agua, que, segundo as condições de ventilação e aquecimento, dá valores muito variaveis. Muito mais incertos ainda tornam-se os valores quando consideramos a evaporação que provem do solo (veja *Carmargo e Vageler*, 17, I, p. 65). Este, quando muito húmido, pode evaporar tanto e até mais do que uma superficie livre de agua. *Stalfelt* (113) encontrou na Suecia, em solos húmidos e despídos de vegetação, uma evaporação de 133 % da evaporação livre de agua. Uma camada protetora de musgos — que secam superficialmente sem conduzir agua — baixou a evaporação ao valor relativo de 53 %. Uma camada de plantas superiores, da altura media de 1 metro, aumentou a transpiração do solo até valores entre 134 e 295 %. Quanta agua pode transpirar uma vegetação alta e rica em folhagem, como as nossas florestas pluvio-tropicais, cheias de epifitas e trepadeiras, isso ainda não ousamos avaliar. De outro lado, um solo húmido mas com uma superficie seca, quando despido de vegetação, tem uma evaporação próxima de zero, como nos ensina a cultura seca ou “dry-farming” (pag. 120).

**Lisimetria.** — Quanto ás nossas incertezas sobre o que acontece com as precipitações no solo, a Ecologia moderna tenta resolve-las pelo “*lysimetro*”: para isso prepara-se numa caixa uma amostra de terra a estudar, geralmente com a superficie de 1 m<sup>2</sup> e a profundidade de 1 metro ou 1 metro e meio. Tal bloco, colocado em posição normal, no lugar de onde foi tirado, ao nivel da terra do campo, pode ser pesado isoladamente. O fundo deixa escoar a agua que pode ser colhida e medida. Conhecendo-se a quantidade das precipitações, sabemos quanta agua é conduzida para a amostra, qual a parte perdida por escoamento e quanta agua foi evaporada. A terra desse bloco deve ter, tanto quanto possivel, a estrutura e a textura da do campo; pode ficar despida ou trazer a vegetação a estudar.

Tais observações dão resultados interessantes, como mostra a fig. 39, indicando os valores 1) da precipitação total, 2) da evaporação e 3) do escoamento, durante um ano, num campo europeu. Podemos deduzir daí todo o balanço dagua: ver quando ha excesso dagua no solo, formando-se as reservas, quando, devido á evaporação, diminuem as reservas e quando ha perigo de esgotamento destas <sup>1)</sup>.

Este método, será porem, entre nós, de uso limitado. por causa da grande profundidade dos solos brasileiros. Nos climas temperados, a rizosfera geralmente não pode ser profunda, por-

---

<sup>1)</sup> A agua colhida pelo *lysimetro* contem sempre sais *lixiviados*, de maneira que o exame da *lixiviação* de um solo tambem é feito por *lisimetria*, o que explica o nome do metodo.

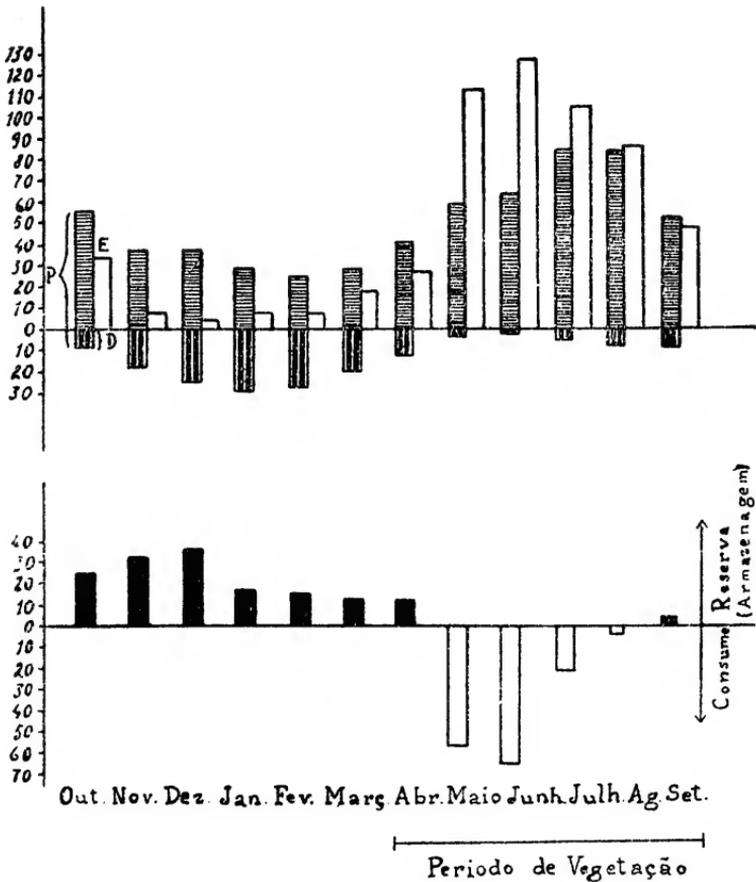


Fig. 39 — Exemplo do andamento da economia de água, num solo do baixo Elba (medias mensais, seg. Rothe apud Laatsch (54).

Diagrama superior

Retângulos abaixo da linha 0 : escoamento (D).

Retângulos estriados horizontalmente, acima da linha 0 : precipitações (P) — escoamento.

Retângulos em branco, acima da linha 0 : evaporação (E).

Diagrama inferior

Retângulos em preto, acima da linha 0 : reserva = precipitação — (escoamento + evaporação).

Retângulos em branco: consumo = excesso da evaporação sobre a diferença : precipitação — escoamento.

que lá, via de regra, não temos solos profundos. Nos climas quentes, a decomposição das rochas subjacentes é muito mais rápida e intensiva; em grande parte do Brasil, cuja superfície geológica é de granito ou de gneiss, deparamos com uma capa de decomposição de 10 até 20 e mais metros. Em solos diabásicos, calcareos, etc., a decomposição parece um pouco mais lenta, mas geralmente maior do que em climas frios — excetuando-se talvez os territórios mais secos do país.

Para a África ocidental franceza *Scaetta* (98) indica profundidades da mesma ordem de grandeza: "D'ailleurs, plus le climat est humide et chaud (bande équatoriale), plus le sol est épais: épaisseur qui peut atteindre facilement 30-40 mètres". (l.c., pag. 4). Para a Indochina franceza os valores mencionados por *Chevallier em De Martonne* (67), são, na media, de 15 até 20 metros, com um máximo de 40 e um mínimo de 1,5 até 2 metros. Na apresentação fundamental sobre os solos tropicais de *Harrassowitz* (38) tais profundidades parecem a regra para clima quente e humido.

Esta grande profundidade dos solos, geralmente só é mencionada casualmente pela ciencia; é, porem, da maior importancia para o regime dagua da vegetação do Brasil. As raizes das nossas plantas geralmente penetram até grande profundidade. Até as Gramineas, ás quais costumamos atribuir as raizes menos profundas, têm raizes que alcançam varios metros de profundidade, como, por exemplo, as da cana de açúcar, que, segundo informação verbal do *Prof. Jardel Nery* (Escola Superior de Agricultura de Viçosa, Minas Gerais) podem ser encontradas a mais de 5 metros de profundidade. Até o Kikuyo (*Pennisetum longistylum*) de apparencia tão superficial, segundo os plantadores, tem raizes e rizomas de varios metros de profundidade. As plantas dicotiledoneas podem ir muito alem.

**Estudos em poços.** — Tais profundidades exigem métodos de estudo especiais. A Pedologia moderna aconselha fazer covas e tirar das paredes destas, imediatamente depois da abertura, as provas de terra a analisar. Isso é possível quando se trata de poucos metros de profundidade. O pesquisador, em casos como o nosso, precisa penetrar até o lençol subterraneo, quer dizer, ele deve abrir o solo até talvez 20 ou mais metros. Neste caso, emprega-se a técnica dos poceiros: a cova deve ser um poço normal. Á medida que a perfuração progride, tiramos das paredes provas de terra, usando para isso cilindros que permitem a coleta de volumes certos de 50 ou 100 cm<sup>3</sup>.

Como se trata de um método novo, resumimos aqui os pormenores mais interessantes de estudos nossos em andamento (93). Estes estudos foram feitos nos campos cerrados de Emas, perto de Pirassununga (Estado de São Paulo), onde tivemos todas as facilidades devido ao auxilio e a colaboração ativa dos colegas da

Estação Experimental da Divisão de Caça e Pesca do Departamento Nacional da Produção Animal do Ministerio da Agricultura. Os campos lá são do tipo dos estudados por *Warming* em Lagoa Santa, caracterizados por uma vegetação cujos representantes mais interessantes se encontram na relação seguinte:

*Dimorphandra mollis* Benth.  
*Stryphnodendron Barbatimão* Mart. (Barbatimão)  
*Kielmeyera coriacea* Mart. (Pau Santo, Folha Santa)  
*Tocoyena brasiliensis* Mart.  
*Tocoyena formosa* Schum.  
*Palicourea rigida* H. B. K. (Herva gritadeira)  
*Andira humilis* Mart.  
*Anacardium pumilum* St. Hilaire (Cajueiro do campo)  
*Sweetia dasycarpa* Benth.  
*Connarus suberosus* Planch.  
*Aegiphila Lhotzkyana* Cham.  
*Erythroxylon tortuosum* Mart.  
*Byrsonima verbascifolia* Rich.  
*Didymopanax vinosum* E. March.  
*Cocos leiospatha* Barb. Rodr. (*Butia leiospatha* Becc.)  
*Caryocar brasiliense* Cambess. (Piqui)  
*Zeyhera montana* Mart. (Bolsa de pastor)  
*Machaerium acutifolium* Vog.  
*Copaifera Langsdorffii* Desf. (Oleo de Copaiba)

Todas estas plantas, pequenas árvores e arbustos, vegetam durante todo o ano. A cobertura de *Gramineas* compõe-se especialmente de *Echinolaena inflexa* e *Tristachya chrysothrix*. Ao passo que as plantas arboreas têm as raízes muito profundas, as *Gramineas* aproveitam os primeiros metros do solo e murcham definitivamente no apogeu da época seca, quando estas camadas não têm mais agua aproveitavel para elas. Um 3.º grupo de vegetais aparece nestes campos só na época de chuva, permanecendo, du-

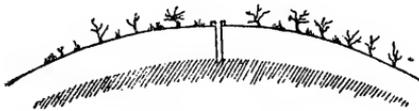


Fig. 40 — Esquema do poço estudado em Emas, no cume de um espigão, coberto de campo cerrado. Parte achuriada = lençol subterrâneo de agua .

rante a época seca, quasi invisíveis, com órgãos subterraneos como rizomas, bulbos e os “xylopodios” conhecidos desde *Lindman* (58). Os campos cerrados são consideradas as regiões mais secas do Brasil meridional. Estudos sobre o seu regime de agua são por isso indicados para esclarecer até que grau a agua nos solos pode se tornar um fator limitante.

Os dois poços por nós abertos encontram-se no cume de um espigão, como mostra o croquis (fig. 40). Assim, temos a certeza de que a agua encontrada não pode ser aduzida de outros lugares: é a agua das chuvas armazenada no local. A nossa excava-

ção permitiu-nos 1) a constatação da profundidade do lençol subterrâneo e, como o poço fica sob observação, podemos acompanhar as flutuações do nível durante as estações do ano. O exame das camadas subjacentes nos fornece 2) indicações sobre o teor da água no solo, na data da abertura do poço. Para obter dados análogos em outras épocas do ano foi preciso fazer novas excavações, pois tais dados devem ser obtidos cada vez em aberturas novas. Quando não se trata de profundidades grandes, poderiam servir os perfuradores usados na Pedologia; como no nosso caso também se impoz o estudo de raízes, preferimos recorrer a excavações mais amplas. Com isso já tocamos no 3.º grupo de informações que devemos colher com as perfurações: o estudo das raízes. Durante a abertura do poço, separamos de cada nível as raízes cujo estudo posteriormente pode permitir — é verdade, algumas vezes com grande dificuldade — a identificação das espécies às quais pertencem.

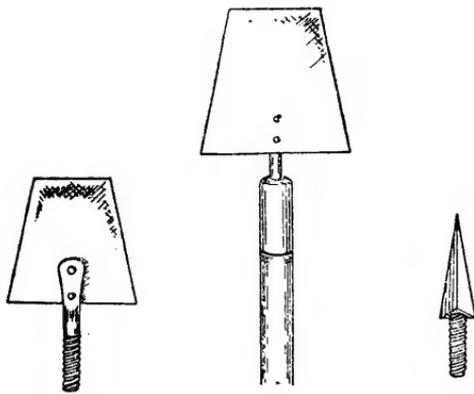


Fig. 41 — Extremidade de uma bengala munida de uma pá que pode ser removida e substituída por uma ponta.

Além disso sempre será necessário excavar com muito cuidado as raízes das plantas estudadas, nos primeiros metros. As raízes são quebradiças, de modo que um operário as destruiria. Só pode ser encarregado de abrir uma cova preliminar. O pesquisador deve ultimar o trabalho de preparação, usando com proveito uma pequena cavadeira bem afiada que pode ser parafusada a uma bengala, como mostra a fig. 41. Só isso nos dará o quadro do comportamento e da biologia da parte subterrânea da vegetação.

Os resultados nos dão um perfil como o da fig. 42. As excavações mostraram a água subterrânea a uma profundidade de cerca de 17 metros. As camadas acima possuíam as quantidades de ar e água, indicadas na fig. 42, em porcentagem volumétrica. Até na região do lençol subterrâneo o ar não desapareceu completamente — o que seria de supor dentro do lençol, — pois, no momento da excavação a água ainda não enche a cova até o nível definitivo do lençol <sup>1)</sup>. Os valores de água parecem pequenos só

1) *Sobre a lentidão do movimento lateral da água até dentro do nível do lençol subterrâneo, informa-nos Meinzer, citado à p. 96.*

no 1.º metro. A época da seca, em Julho, ainda está no seu início. De 3 m. em diante temos valores relativamente altos contínuos,

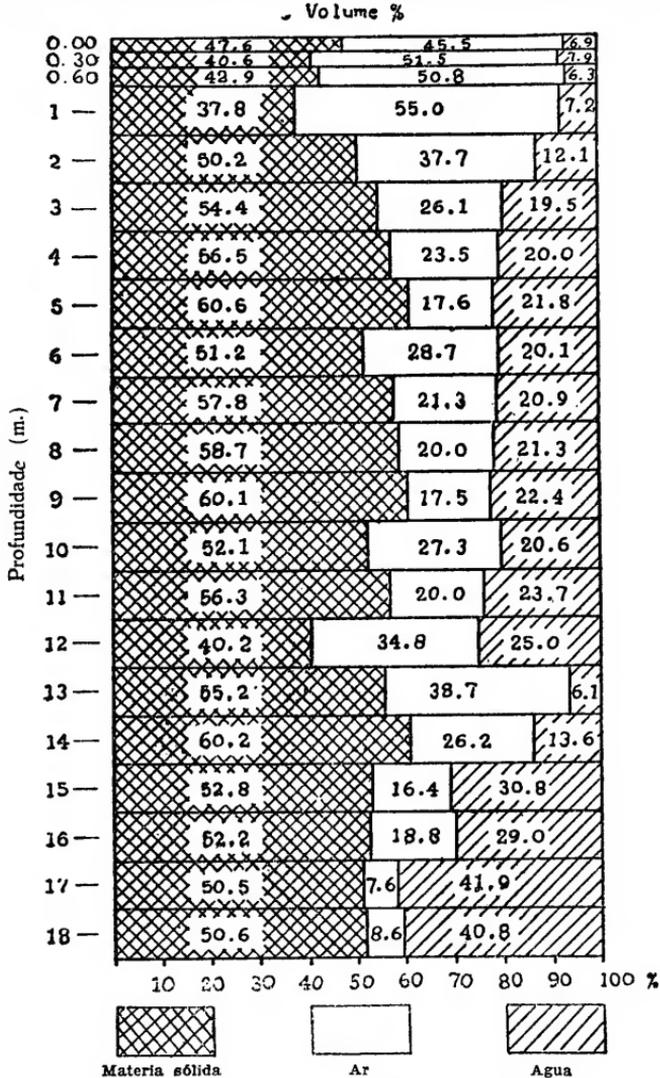


Fig. 42 — Perfil do solo no poço de Emas, mostrando a distribuição de água, ar e substancia solida em % do volume.

com uma única interrupção entre 13 e 14 metros, onde se encontrou uma camada puramente arenosa que, como sabemos, retem

muito menos agua do que as outras camadas, que são argilosas. Tais camadas observam-se frequentemente nas proximidades do nivel mais alto que o lençol subterraneo pode atingir e podem ser uma consequencia disso. Daí para baixo o conteúdo de agua torna-se muito grande.

Deste esquema podemos tirar uma conclusão muito interessante: a quantidade de agua existente (calculada para 1 m<sup>2</sup> de superficie), desde o primeiro metro cúbico mais superficial até a profundidade de 17 metros, proxima do lençol subterraneo, atinge o valor de 3.771 litros. Toda esta agua, encontrada no alto do espigão, provem das precipitações do lugar. As precipitações anuais da região podem ser avaliadas em 1200 mm. Isso quer dizer que, anualmente, são aduzidos a 1 m<sup>2</sup> de solo 1200 litros de agua. Se nenhuma gota dessa agua se perdesse por evaporação, transpiração ou escoamento, as precipitações de 3 anos seriam necessarias para proporcionar a esse reservatorio invisivel, o grau de humidade observado. Não contamos ainda o volume dagua do lençol subterraneo que se escoa em movimento não muito lento e cujo valor talvez pudesse ser calculado mediante observações fluviométricas do lugar. Não tomamos tambem em consideração as perdas anuais de agua por evaporação, que poderemos avaliar só quando dispuzermos de indicações sobre a transpiração das plantas e a evaporação do solo durante o ano.

Não entraremos em discussão sobre qual a parte higroscopica, qual a parte "osmótica" e qual a parte gravitativa, que constituem esta agua <sup>1)</sup>. Em todo o caso, existe sempre, acima do lençol subterraneo, agua gravitativa. No mesmo espigão, que se estende a grande distancia, existe, ainda no cume, mais um poço que serve a uma habitação. Deste poço é extraído diariamente 1 m<sup>3</sup> de agua. Só em casos de seca extrema pode haver diminuição do volume de agua extraída, mas nunca foi observada falta completa. Isto quer dizer que sempre ha uma certa quantidade de agua gravitativa em movimento para baixo.

Sobre as variações na altura do nivel deste lençol não possuímos ainda dados suficientes para a discussão. Os habitantes do interior, que conhecem bem os seus poços, muitas vezes informam que justamente na época seca a agua nos poços sobe. A explicação poderia ser que só então chega a agua das chuvas da época estival. Pode ser tambem que na época seca — quer dizer, para a maioria das regiões, durante o inverno — a vegetação tira menos agua do solo. Já vimos na 1.<sup>a</sup> parte (p. 89) e vamos voltar ao caso (p. 121), que a vegetação exigente pode baixar o lençol subterraneo. Que a retirada diaria de agua pela vegetação pode provocar oscilações diarias no nivel do lençol foi especialmente

---

<sup>1)</sup> *A incerteza dos métodos pedológicos nesse assunto, já salientada por nós, foi recentemente documentada por Terzaghi (116).*

mostrado por *White* (134), que registrou um máximo diário nas horas matinais e um mínimo ao anoitecer.

As observações de *White* (134) são tão significativas, que reproduzimos, aqui, uma das figuras mais eloquentes deste Autor, representando as oscilações do nível do lençol subterrâneo de água, num Alfafal (*Medicago sativa*) de Escalante Valley, Utah, U. S. A. Trata-se de uma região semi-árida, cujas reservas de água, durante o verão, aos poucos são esgotadas para serem novamente enchidas na época do repouso das plantas, no inverno. A fig. 43 mostra um período durante a descida do nível, no mez de Agosto.

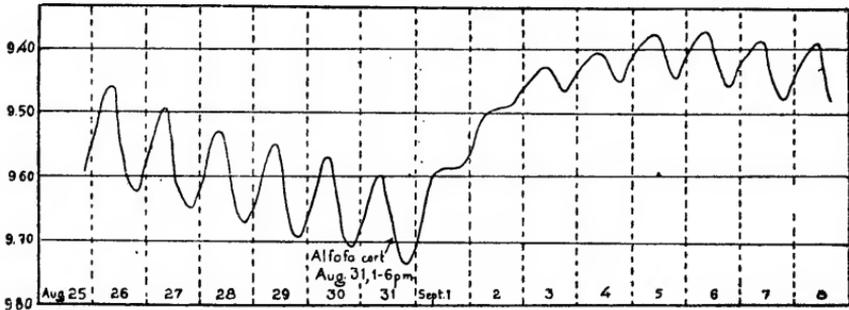


Fig. 43 — Oscilações diurnas do nível do lençol subterrâneo de água num alfafal de Escalante Valley. Depois do corte, em 31-8, desaparecem quasi por completo as oscilações e o lençol sobe (Seg. *White*, 134). (Profundidade em pés).

As oscilações diárias marcam descida durante o dia, e subida durante a noite. Nesta época as subidas noturnas, provocadas por afluxo de água subterrânea de terrenos adjacentes, não podem neutralisar as perdas do dia, resultando disso baixa geral do nível. Isso, porém, só aconteceu até o dia 31 de Agosto. Neste dia, á tarde, a Alfafa foi cortada: cessou a maior parte da transpiração, e com isso da absorção da água pelas raízes da plantação. Até 5 de Setembro o lençol subiu. Os primeiros dias depois do corte mostram oscilações pouco marcadas, e somente quando as plantas cortadas tinham restabelecido a sua folhagem, e com isso a sua transpiração, retomou a oscilação o seu vulto normal.

Assim, também no Brasil, a atividade da vegetação deve impor alterações periódicas ás reservas de água. Quando, porém, se trata de camadas tão espessas de solo, as influencias da absorção pelas raízes e do movimento da água gravitativa podem se superpor e uma interpretação exigirá observações extensas.

As variações do conteúdo de água durante as épocas do ano são muito importantes. Como os poucos dados para solos tropicais geralmente são dados em porcentagem relacionada ao peso seco do solo, damos os nossos valores da fig. 42, aqui, também em % do peso.

TABELA 32  
 CONTEÚDO DE AGUA EM % DO PESO SECO  
 Emas, 27-7-1942

Profundi- dade em m.	Agua em %	Profundi- dade em m.	Agua em %
0	5.7	8,00	14.3
0,30	7.7	9,00	14.7
0,60	5.8	10,00	15.5
1,00	7.5	11,00	16.6
2,00	9.5	12,00	24.5
3,00	14.0	13,00	4.4
4,00	14.0	14,00	8.9
5,00	14.1	15,00	23.0
6,00	15.1	16,00	21.9
7,00	14.3	17,00	32.7
		18,00	31.7

Desde 5 metros, as variações estacionais são pequenas, abrangendo talvez 3 %. Nos primeiros metros as variações são grandes, como indica a tabela seguinte:

TABELA 33  
 CONTEÚDO DE AGUA EM % DO PESO SECO EM DIVERSAS  
 ÉPOCAS DO ANO EM EMAS

Profundi- dade em m.	23-6-42	27-7-42	18-3-43	22-6-43	27-8-43	1-9-43
0. m	5.5	5.7	5.7	—	6.5	—
0,30	6.0	7.7	11.8	8.9	7.3	6.5
0,60	8.4	5.8	14.8	7.9	7.0	6.7
1,00	9.4	7.5	14.6	7.2	7.9	7.3
1,50	9.9	—	—	8.5	8.8	8.4
2,00	13.0	9.5	17.0	—	10.0	—
2,50	—	—	—	—	10.6	—
3,00	13.6	14.0	18.7	—	11.8	—
4,00	—	14.0	17.6	—	—	—
5,00	16.0	14.1	16.7	—	—	—

A superfície, se não for examinada em dias de chuva, seca logo, apresentando então valores próximos a 6, o que se aproxima do valor da água higroscópica, que para os primeiros 10 m man-

tem-se entre 4 e 6 % <sup>1)</sup>. Neste nível a evaporação direta do solo é importante. Desde 0,30 m. a evaporação deve ser suposta (vide pag. 95) como sendo só indireta, por meio das raízes. Todos os nossos valores são da época seca, com exceção dos obtidos em

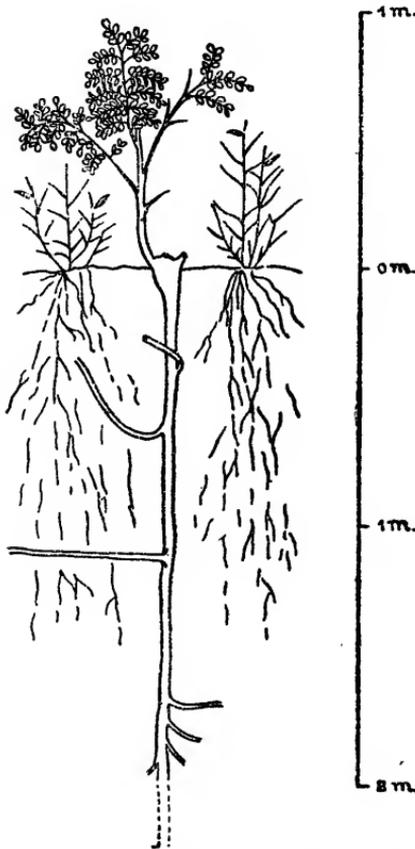


Fig. 44 — *Stryphnodendron Barbatimão*. Só com raízes grossas, sem raízes absorventes, nos primeiros 2 ms. do perfil. *Echinolaena inflexa*, Gramínea, cujas raízes absorventes enchem a camada de 0 até 1½ ms. Campos cerrados de Emas.

18-3-43, no fim da época chuvosa. Nesta, até o 1.º metro mostra valores altos que chegaram, apesar da atividade contínua das raízes até quase 15 %. No verão, ha muitas plantas com raízes pouco profundas, que absorvem ai a agua, mas esta agua logo é substituida pelas chuvas, então frequentes. Desde Maio começa o esgotamento paulatino das camadas superficiais; desaparece a maioria das plantas estivais, com exceção das Gramíneas, que continuam retirando os últimos restos da agua aproveitavel. Em 22-6-43 a grama mais frequente, *Echinolaena inflexa*, cujas raízes chegam até cerca de 1½ m, (Fig. 44) ainda mostrou transpiração forte, ao passo que em 1.º de Setembro o rico tapete de *Echinolaena* se apresentava seco e morto, com exceção de poucas folhas nas extremidades apicais, que ainda estavam turgescentes e com os estômatos abertos. Isso indica que o limite da agua aproveitavel para esta planta deve ser suposto entre 6 % e 8 % nestas terras.

Mesmo no fim de Agosto, desde 2½ m, a terra apresentou-se nitidamente húmida, fornecendo sempre

1) Segundo determinações provisórias, ainda não publicadas. feitas por M. Rachid.

água às raízes que aí penetram. Como constatou nosso colaborador *Mario G. Ferri* (32), plantas permanentes, com as raízes mais profundas, mantêm a sua transpiração elevada durante todo o dia até nas épocas mais secas do ano.

Tais estudos salientam um fato muito importante: os campos cerrados estudados por nós, distinguem-se de estepes e savanas verdadeiras — com os quais geralmente são confundidos — por uma muito maior riqueza em água aproveitável. O aspecto árido, aí, só é superficial e aparente. Se não houvesse as queimadas anuais, a vegetação poderia se fechar mais densamente, a grande reserva de água aproveitável seria realmente aproveitada e os campos cerrados de hoje cederiam lugar a uma vegetação mais densa, cujo tipo final ou estado climax só poderá ser determinado por estudos ulteriores.

Pela grande profundidade dos solos são criadas, nos trópicos, condições bem especiais, até agora pouco consideradas na Ecologia. Estas particularidades se refletem também na organização dos sistemas radiculares das plantas. A existência de uma vasta reserva de água nas profundidades, torna compreensível a existência de raízes profundas. No poço de Emas encontramos raízes até dentro do lençol de água, raízes essas que só pertenciam a uma espécie: *Andira humilis*<sup>1)</sup>. A maioria das outras plantas, como as mencionadas na lista (pag. 101) contenta-se com profundidades menores, desde que entrem nas camadas sempre húmidas. Plantas que dependem do lençol subterrâneo da água, podem ser chamadas de “phreatophytas” (*Meinzer* 73). No nosso caso, onde, entre o lençol e a superfície que pode secar, se intercala espessura tão grande de terra húmida, o “phreatophytismo” nem sempre se torna muito nítido.

A existência de raízes tão profundas não surpreende. Que árvores são capazes de formar raízes de 20 metros, indica *Rotmistroff* (97) para *Robinia pseudoacacia*. Essa essência americana é cultivada, hoje em dia, nas estepes húngaras e russas, onde se trata do reflorestamento. Na abertura do Canal de Suez, encontraram-se raízes de *Tamarix*, ainda em profundidades maiores. O “arbusto dos camelos” (*Alhagi camelorum*), segundo os autores russos, alcança o lençol subterrâneo até em profundidade de 20 metros, mantendo por isso sempre fresca a sua folhagem. A Alfafa (*Medicago sativa*) é conhecida, desde a antiguidade, pela profundidade de suas raízes. Na Argentina, segundo informação verbal do *Dr. A. Boerger*, atingem o lençol subterrâneo até a 20 m, podendo então esgotar a água até o declínio da cultura. *Meinzer* (73) cita profundidades até maiores.

Segundo informações que foram colhidas para nós por *R. Gebara*, em Avaré, raízes de árvores como a Cabreuva (*Myrocarpus*

<sup>1)</sup> A classificação exata encontra dificuldades sendo pouco segura a distinção entre *A. humilis* e *laurifolia* (vide nossa apresentação 93).

*frondosus*) e a *Peroba* (*Aspidosperma polyneuron*) são encontradas em profundidades de 13 metros, o que as aproxima do lençol subterrâneo, aí existente. Em todo o caso, onde ha água subterrânea a menos de 20 metros, sempre haverá possibilidade para certas árvores de aproveitarem essas reservas. Uma condição é um solo relativamente arejado que permita a respiração das raízes, condição essa realizada no caso de Emas, como se vê na proporção de ar indicada no perfil, p. 103. Não sendo assim, a existência de raízes como as observadas por nós em maiores profundidades estaria comprometida.

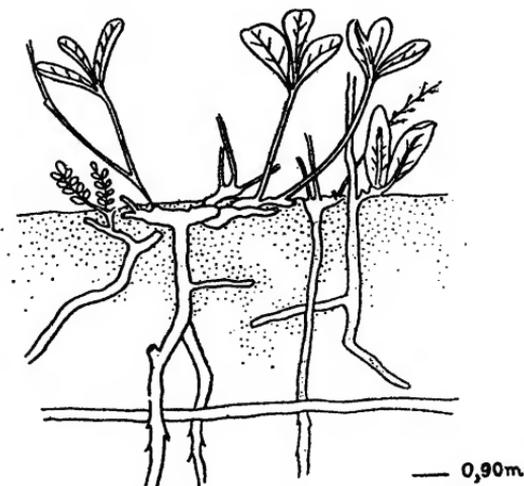


Fig. 45 — Perfil de solo em campo cerrado, mostrando a grande quantidade de raízes armazenadoras. As plantas são, da esquerda para a direita, *Andira humilis*, *Anona dioica*, *Stryphnodendron Barbatimão*, *Kielmeyera coriacea*; a raiz horizontal é de um *Machaerium acutifolium* visinho.

Tambem a existência de 1 ou 2 m de superfície que se podem tornar tão secos provoca certas adaptações. As plantas que procuram a água nas profundidades, muitas vezes, nos primeiros metros não formam ou formam poucas raízes absorventes, enchendo, porem, estas camadas com um retículo denso de raízes grossas de armazenagem. A Fig. 45 mostra uma cova aberta com os cuidados mencionados na p. 102. As raízes grossas que se vêm são muito quebradiças, embora protegidas por uma cortiça não muito grossa e con-

têm muita água (*Andira* 73 %) e muito amido. Tambem em outras regiões foi observado que entre o sistema absorvente de raízes profundas e os brotos superficiais se intercalam sistemas radiculares que só servem para condução, como foi evidenciado especialmente para certas plantas norte-americanas por *Needrow* (84). A existência de sistemas reticulares horizontais de raízes, tão frequente em nossos campos cerrados, encontra o seu paralelo, embora em escala menor, em *Convolvulus arvensis*, que infesta os campos norte-americanos (*Frazier*, 33) e cujas raízes la-

terais em 3 anos já atingiram a extensão de 5 a 6 metros produzindo, de distancia em distancia, raízes verticais até de quasi 8 m.

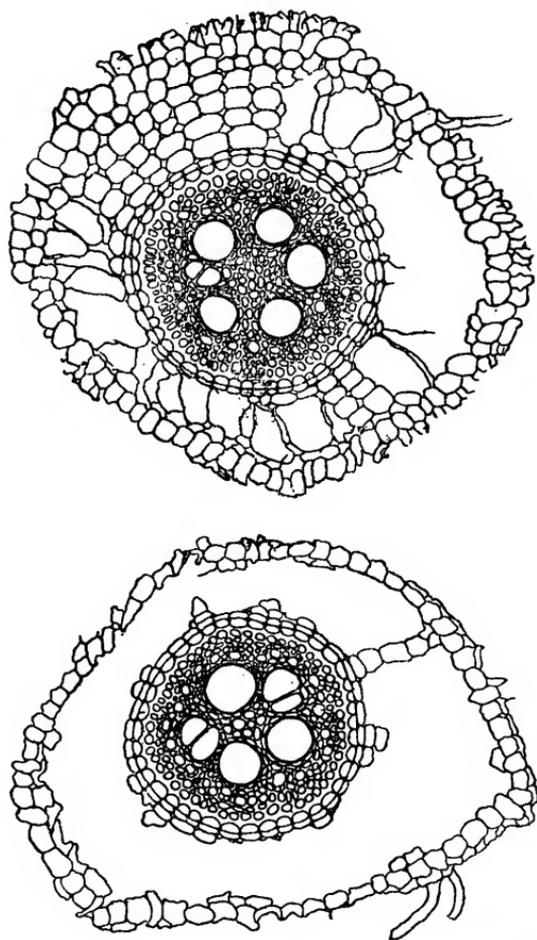


Fig. 46 — Corte transversal de duas raízes de **Panicum spectabile**. A de cima, mais nova, mostra o começo da decomposição do parenquima cortical; a de baixo, num estado mais adiantado, ficando o cylindro central numa baí-  
nha ôca, isoladora.

Diferentes são as adaptações das plantas que não atingem as camadas profundas. As que se escondem durante a estação

seca permanecem em forma de xilopodios (já mencionados). As *Gramineas*, que esgotam até a última porção de água acessível durante a seca, possuem um meio de proteção muito interessante, já indicado por *Goossens* (citado por *Walter*, 125) para a África do Sul. O parênquima em torno do cilindro central torna-se lacunoso; as pontes de ligação aos poucos morrem; as lacunas confluem e, finalmente, fica só uma bainha ôca cheia de ar, que isola o cilindro central. Como este caso é muito frequente nas *Gramineas* brasileiras, ilustramo-lo com a fig. 46 que apresenta o "Capim Fino", *Panicum spectabile*, planta que até não é muito adaptada à seca. *Echinolaena* e *Tristachya* dos campos cerrados formam bainhas idênticas. Nelas, porém, a parte externa do cilindro central é mais esclerosada, como mostra a Fig. 47. Isso se compreende: a bainha não resiste, por muito tempo, cabendo a proteção ulterior à parte externa do próprio cilindro central.

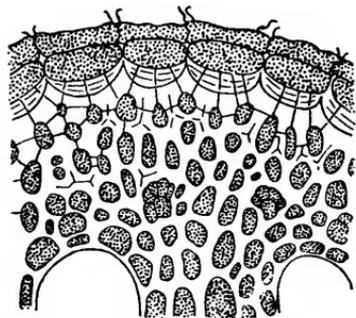


Fig. 47 — *Echinolaena inflexa*; a parte do cilindro central mostrando a grande esclerosação das camadas subjacentes à endoderme. As células desta e as exteriores são mortas.

Uma seca tão grande da superfície naturalmente não ocorrerá em regiões sombreadas, mas em campos, sejam estes naturais ou artificiais. Plantas que querem ocupar lugares despídos de vegetação têm que se haver com as dificuldades mencionadas. Conhecidos são os casos de Palmeiras, como a Indaiá (*Attalea humilis*), cujo caule, ao germinar, cresce primeiro para baixo, construindo um sistema denso de raízes fortes, mais ou menos verticais. A *Araucaria Bidwillii*, ao germinar, forma primeiro um bulbo subterrâneo, comparável a um xilopodio.

Seria interessante se tivéssemos dados sobre a rapidez da penetração das raízes de árvores durante o 1.º ano. Segundo *Coster* (citado por *Huber*, 44), a árvore *Tectona*, o "Teak" afamado das Índias, atinge no ano da germinação 4 a 5 metros. Da Alfafa sabemos que profundidades de 4 metros podem ser atingidas na primeira estação (*Meinzer*, 73). Quão desejáveis são tais dados para toda a nossa agri e silvicultura, não precisa ser salientado.

**O reservatório invisível de água.** — No caso apresentado por nós para Emas, observamos a existência de um reservatório invisível de água subterrânea. Este caso não constitui uma exceção.

Em extensões muito vastas do Brasil meridional, a água gravitativa se acumula em profundidades não muito grandes em for-

ma de um lençol subterrâneo, de modo a poder ser alcançada pelas raízes.

Sobre isso, temos informações extensas porque as populações rurais, muitas vezes, tiram a água que necessitam do lençol subterrâneo, por meio de poços. *Loefgren* (59) que já notara a importância do fato, indicou 45 até 60 palmos (1 palmo = 22 cms.) de profundidade para a água subterrânea encontrada em poços de Batatais, o que equivale a uma profundidade de 10 a 13 metros. Em Alto Alegre, também no Estado de São Paulo, menciona 60 até 80 palmos, o que colocaria o lençol subterrâneo na proximidade de 18 m. de profundidade. Valores parecidos nos foram indicados para Avaré, onde a média das profundidades será de 13 até 15 metros, existindo poços também de 20 metros. Isso concorda com observações nossas em Buri, ainda no Estado de São Paulo, e nas proximidades de Rolandia, no Norte do Paraná, onde geralmente um lençol contínuo se encontra em profundidade de 10 a 20 metros. Vê-se que a existência de um lençol subterrâneo a menos de 20 metros de profundidade aí é a regra.

Até no Nordeste seco do Brasil forma-se um lençol, conhecido especialmente pelos estudos de *Waring* (126), *Crandall* (25), *Small* (109, 110) e *Sopper* (111, 112). Muitas vezes, trata-se de terras derivadas da decomposição de granitos e gneiss; decompostas, estas rochas deixam passar a água que finalmente se represa quando atinge os horizontes ainda não atacados. Tal rocha viva foi encontrada já a 5 metros, como na Serra de São Miguel, ou só a 35 ou 36 metros, como na região de Feira de Santana da Baía. Só quando as camadas subjacentes são constituídas por formações permeáveis como arenitos, esta água escoava para profundidades maiores.

A água que forma tais lençóis é a água de chuva, acumulada e represada no sub-solo. Isto é o que evidenciam os casos em que os poços se encontram nos cumes de espigões — casos aliás frequentes, o que nos parece significativo — e onde não pode haver afluência, o que perturbaria e complicaria o caso.

Além do poço mencionado de Emas, o Autor tem em observação outros poços de posição idêntica, no alto de espigões, no Estado de S. Paulo e do Paraná. Representam por assim dizer, uma sonda que na época seca nos informa sobre a permanência das águas de chuva de verão.

A existência deste reservatório e a grande importância dos nossos solos espessos reflete-se também nos dados hidrográficos. Comparando-se, por exemplo, a periodicidade anual do nível do rio Paraíba, podemos ver que a quantidade mínima, transportada na estação seca, cai cerca de 1 mês mais tarde do que o mínimo das chuvas das regiões respectivas. E o mesmo atraso se observa com o nível mais alto. Se uma parte deste atraso pode ser atribuída ao tempo necessário para o movimento do rio — que, en-

tretanto, segundo *M. Torres* (66) não ultrapassa 3 semanas para todo o percurso, na época das cheias — o fenômeno observado em todas as estações indica claramente que a água das chuvas não vai diretamente para o rio, mas boa parte dela é armazenada e retida no solo. Esta água gravitativa, lenta mas continuamente, atravessa as camadas indicadas no nosso perfil. Nos Estados do centro e do sul do Brasil, os rios e riachos nunca deixam de correr, mesmo depois de secas prolongadas. Isto quer dizer que a água gravitativa continua ainda a descer. As tabelas e os gráficos do trabalho de *M. Torres*, do qual reproduzimos a fig. 48, mostram ainda (l.c., parte 1, desenhos 10 a 16) nitidamente que as chuvas de inverno e as primeiras precipitações de outono não fazem em geral subir o nível dos rios; esta água acumula-se no solo.

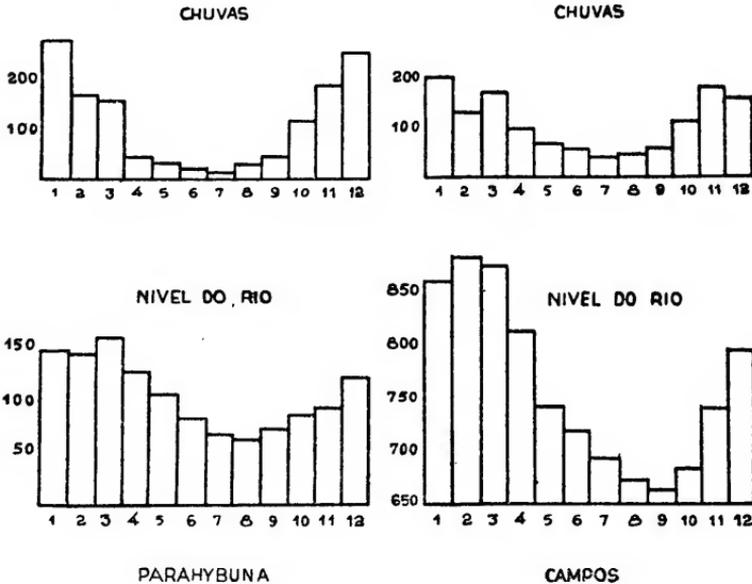


Fig. 48 — Chuvas e nível do rio — em medias mensais de 10 anos — em duas estações do rio Paraíba: Paraibuna, no curso superior e Campos, na desembocadura (Seg. dados de *Magarinos Torres*, 66).

No Nordeste seco do Brasil, o caso é bem diferente. *Waring* (126) confronta em varios gráficos ilustrativos, as precipitações e as descargas dos rios, aí intermitentes. No gráfico (fig. 49) tirado de seu trabalho, vemos como, por exemplo, o rio Piranhas em S. José (entre Cajazeiras e Triunfo) sobe quasi instantaneamente com as chuvas. Lá, como descrevem os autores, especialmente O.

Weber (cit. em *Crandall*, 25, pag. 50 e segs.), de ordinario as primeiras chuvas de Janeiro não penetram “na terra dura e ressequida pela seca prolongada, passando toda a agua por sobre ela e ajuntando-se nos lugares baixos”. Uma vez molhada a terra, as precipitações entram nela, não sendo mais arrastadas imediatamente para os rios. Então, acontece que uma chuva relativamente forte, como a representada no fim do gráfico, não entra de todo no sistema fluvial.

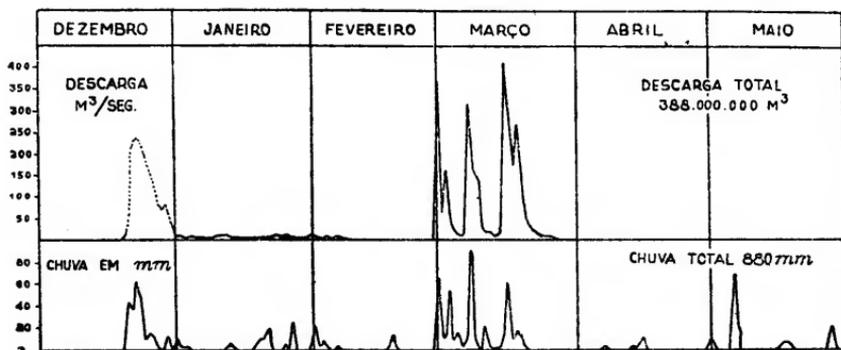


Fig. 49 — Descargas e chuvas, observadas em S. José, no vale do rio Piranhas, em 1910-1911. Seg. *Waring*, (126).

O papel regulador das camadas espessas do solo, que acabamos de apresentar, pode ser comparado á influencia das florestas, especialmente quando estas — como no caso de climas temperados — se encontram sobre solos pouco profundos. No nosso país a regulação é realizada pelos solos tambem na ausencia de florestas, sendo de valor inestimavel para todo o regime dagua.

Com todas estas observações queremos só chamar a atenção para o importante papel dessas camadas profundas de terra. Não resta dúvida que estas deveriam ser analisadas detalhadamente por pedólogos competentes, especialmente em relação á capacidade de retenção dagua, ás forças de succão desenvolvidas e ás variações durante as estações do ano. Aqui, o que importa é só a demonstração da existencia de grandes reservas dagua, que, sem dúvida, não podem ser esgotadas durante os meses secos de um ano. E' claro que a seca deve influenciar os solos de maneira diferente, segundo o clima das estações respectivas, variando com os anos. Muito influe tambem a natureza dos solos. Tudo isso deverá ser esclarecido por estudos ulteriores.

**Solos em climas húmidos e áridos.** — O desenvolvimento dos solos depende grandemente das direções do movimento dagua no seu interior. Distinguem-se, geralmente, os do tipo “húmido” e

os do tipo "árido", prevalecendo, no primeiro grupo, o movimento descendente da água, no outro o ascendente (Fig. 50).

O primeiro tipo é fácil de caracterizar. Todas as regiões, onde as precipitações excedem a evaporação possível dos solos, inclusive a transpiração da vegetação, pertencem ao tipo húmido. Sempre ha um excesso dagua, que pode formar um lençol subterraneo e que afinal de contas é conduzido por rios e riachos até o mar, a não ser que seja interceptado.

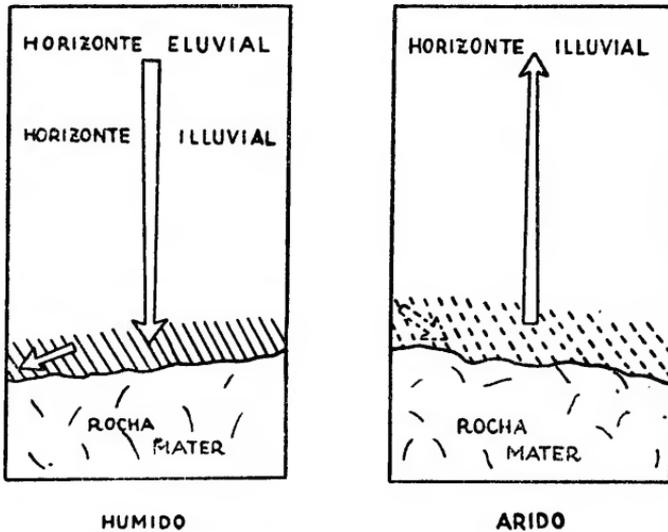


Fig. 50 — Perfis esquematicos de solo, em clima humido e arido, mostrando o movimento da agua, entre a superficie e a rocha mater. Parte achuriada = lençol subterraneo que, no caso de clima arido, só se forma excepcionalmente.

Os climas do tipo árido, ao contrario, seriam aqueles, em que a evaporação é tão forte, que pode consumir tanta agua quanta for precipitada e até mais. Embora a evaporação nunca possa abranger mais agua do que a que o solo recebe, a evaporação pode alcançar valores superiores á precipitação em regiões secas, que recebem agua de outras, mais abastecidas, como acontece no Egipto com as aguas trazidas pelo Nilo, ou na Argelia, onde aguas, muitas vezes subterraneas, correm das serras húmidas do Atlas até os oasis do deserto. Muitas vezes a irrigação artificial, conhecida já em tempos muito remotos, abriu tais regiões fertilissimas á cultura humana, como por ex. no Egipto, na Mesopotamia, na Persia e no Perú (Fig. 53, pag. 125).

Em regiões húmidas os rios drenam o solo; o lençol subterrâneo tem por isso seu nível mais alto á distancia do rio ou correço. Em regiões áridas, onde correm rios, estes irrigam o solo. O lençol subterrâneo só existe na sua proximidade; á maior distancia, baixa até desaparecer completamente (Fig. 51).

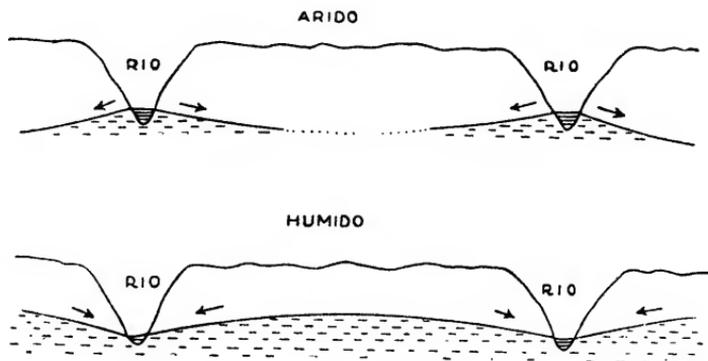


Fig. 51 — Comportamento do lençol subterrâneo em regiões áridas e húmidas; muito esquematizado.

Onde faltam tais afluencias nas regiões áridas, não pode haver agua subterranea, o que, por isso no nosso esquema da Fig. 50 foi indicado em pontilhado. Um movimento de agua para cima então só pode existir onde houver em certas épocas um movimento contrario de cima para baixo. Tal esquema refere-se por conseguinte, especialmente, ás regiões “semi-áridas” que recebem durante uma época chuvosa uma certa reserva de agua que evapora durante a época seca. Este, entre outros, é o caso do Nordeste do Brasil, cujos rios, na época chuvosa são bem abastecidos, ao passo que secam com regularidade na época seca. Existe agua gravitativa e escoamento do excesso e movimento geral descendente numa época do ano, ao passo que noutra falta escoamento e prevalece o movimento ascendente.

Talvez fosse mais facil distinguir as terras áridas e húmidas pelo prevalecimento ou falta de tal movimento ascendente. A definição muito usada do clima árido “onde o solo pode evaporar mais agua do que a que a terra recebe” é pouco segura. A evaporação da terra é um fator muito variavel e incerto, dependendo do proprio estado de humedecimento da superficie e especialmente da transpiração vegetal (Vide “dry-farming”, p. 120).

O movimento ascendente das profundidades da terra para a superficie em estado de dessecação é causado pelas forças osmóticas e elétricas já caracterisadas á p. 89. A propria capilaridade é só um caso especial e pode ser incluída entre estes fenô-

menos. Em capilares fechados, a água, porém, só pode subir de um lençol subterrâneo de água e, como expõe detalhadamente *Vageler* (120), abrangendo geralmente um espaço de poucos decímetros até, raramente, mais do que um metro. O resto do caminho a água percorre como água atraída e retida pelos enxames de cations na superfície das partículas. Outra parte da água move-se como vapor dentro dos poros. O mais importante, porém, é o movimento da água em estado líquido, formando uma solução que se concentra cada vez mais até a superfície. Assim se explicam as precipitações de laterite na superfície ou as eflorescências de sais tão conhecidas em desertos, como no Egito e no Chile. Neste caso temos o horizonte iluvial acima de horizontes que, pelo menos em parte, são eluviais.

Eflorescências salinas não faltam no nordeste seco do Brasil, aparecendo especialmente na época seca (Vide *L. J. de Moraes*, 81 e *G. M. de Araujo Oliveira*, 85). Formações de laterite provavelmente representam as "Cangas" na superfície da terra em Minas Gerais, descritas com sua vegetação característica por *Mello Barreto* (76).

Em climas sempre húmidos ou nas estações em que prevalece o movimento descendente da água, encontramos o caso já caracterizado á pag. 80. As camadas superficiais são lavadas. Pode se formar um horizonte iluvial a certa profundidade, no ponto isoeletrico para os minerais preponderantes em solução coloidal. A eluvião, porém, continua até por baixo deste horizonte; as substâncias lavadas são arrastadas para o lençol subterrâneo e pelo escoamento são transportadas pelos rios para outras regiões. Ha casos como no Nordeste do Brasil, onde a água subterrânea é tão salgada que não serve como bebida para o gado. Nos Estados meridionais do Brasil a grande reserva da água que existe nas espessas camadas do solo geralmente é boa e constitue uma das maiores riquezas do país. Deve, entretanto, conter ainda uma boa quantidade dos valiosos cations que continuamente são levados para os rios.

A lavagem continua constitue um fator empobrecedor importante das terras. Se as baixadas adubadas por inundações regulares dos rios são férteis, os adubos que depositam provêm de outros lugares lavados e que deles foram roubados. Se o Nilo fertiliza suas margens no Egito, suas nascentes tiraram a riqueza dos planaltos da alta Abissínia. Quão grandes são as quantidades anualmente transportadas pelo rio Amazonas foi mencionado á pag. 86.

Em geral podemos estabelecer que quanto maior a lavagem, maior a infertilidade. Os solos do tipo semi-árido ao contrario, costumam ser férteis, suposto que não haja o extremo da formação de horizontes lateríticos ou eflorescência de sais. Tudo o que aumenta a lavagem serve para empobrecer o paiz; tudo o que

a diminuir favorece a manutenção da fertilidade. Nisso existe um grande papel das florestas que raramente é mencionado. Sublinhamos geralmente a grande utilidade das florestas no combate à erosão. Mencionamos às vezes o papel protetor das florestas contra o vento e a poeira. Papel importante porém a floresta desempenha no quimismo dos solos.

Vimos na pg. 89 da I.<sup>a</sup> parte que as florestas baixam o lençol subterrâneo e diminuem o escoamento. Decrescendo a lavagem conservam-se mais ions trocáveis na terra. Da-se mais do que isso: as raízes que são encontradas em todas as profundidades tiram daí os sais, que ainda existem. Estes sobem na seiva ascendente até a copa. No folhêdo voltam à superfície e a agua em conjunto com a atividade da fauna do solo florestal os mistura em toda a parte. Contrario ao que figura *Vageler* na prancha 1 (123), no solo da floresta virgem ha pouca estratificação: é homogêneo e poroso.

Sua grande fertilidade é conhecida. Explica-se, não porque as florestas virgens se encontrem em regiões com boa terra; a terra é boa porque se encontra na floresta.

A observação de que solos com pouca vegetação são mais lixiviados do que os com vegetação rica não data de hoje. Desde as primeiras experiencias com lisímetros, feitas em 1857 por *Zoeller*, já o sabemos, como se depreende do artigo interessante de *Jacob* (46). O empobrecimento dos solos de culturas, muitas vezes não deriva só da colheita, mas também da maior facilidade do escoamento. As observações feitas em nossos cafezais também documentam este fato.

Apresentamos as tabelas 34 e 35 que contêm valores obtidos em Campinas por *Bolliger* e apresentados pelo relatório anual de *Vageler* (121). A primeira apresenta os valores de humus, dos elementos mais importantes e do valor pH numa floresta virgem, ao passo que a segunda dá os valores relativos à mesma terra, depois de 22 anos de cultura de café. A grande diminuição de todas as substancias esclarece bem a influencia da lixiviação. A colheita só pode ser responsável por uma pequena parte desse empobrecimento. Se pudessemos comparar, em condições idênticas, uma floresta virgem e um campo cerrado resultante da derrubada e de subsequentes queimas, poderíamos documentar tudo isso com maior nitidez. Interessante é também a transição da reação neutra ou quasi neutra da mata, para a do cafetal que é ácida. A floresta, em ação contraria à lixiviação, traz à superfície grandes quantidades de sais que neutralizam a terra. Por isso, observamos na tabela 34, nas primeiras camadas, não só maior quantidade de humus mas também uma reação menos ácida na superfície.

Como já dissemos, florestas verdadeiramente virgens apresentarão pouca estratificação, porque a atividade não só das raízes, mas também da fauna, se opõe a isto, misturando e revolvendo

TABELA 34 <sup>1)</sup>TERRA ROXA COM MATA VIRGEM, seg. *Bolliger*. ap. *Vageler*. (121)

Profundidade do solo (cm)	Humus Ton. por Hect.	N.	P.	Na	K.	Mg	Ca	Valor pH
0-30	172	669.8	249.5	61.5	39.3	144.0	586.5	7.0
30-60	48	175.5	160.9	60.3	54.3	145.8	525.9	7.0
60-90	16	85.6	178.6	60.0	57.0	138.0	555.0	6.4
90-120	16	64.2	196.4	70.2	73.5	167.1	582.0	6.4
Total....	252	995.1	785.4	252.0	224.1	594.9	2249.4	

TABELA 35 <sup>1)</sup>A MESMA TERRA DA TABELA ANTERIOR, APÓS 22 ANOS DE CULTURA DE CAFÉ, seg. *Bolliger*. ap. *Vageler*. (121)

Profundidade do solo (cm)	Humus Ton. por Hect.	N.	P.	Na.	K.	Mg	Ca	Valor pH
0-30	42	184.0	116.5	13.5	5.1	26.4	99.3	5.4
30-60	48	128.4	126.7	8.1	4.5	22.5	123.0	5.7
60-90	36	111.3	126.7	10.0	3.3	19.8	138.0	5.8
90-120	27	74.9	126.7	10.5	3.6	25.5	88.5	5.9
Total....	153	498.6	496.6	42.1	16.5	94.2	447.8	

<sup>1)</sup> A indicação dos sais é feita em quilo-equivalentes dos seus ions ativos por unidade de volume de terra. Um mili-equivalente corresponde ao número de mgs. por 100 cm<sup>3</sup>. Um quilo-equivalente indica a mesma porcentagem calculada para a superfície de 1 hectare e uma profundidade de 1 cm. Os mgs por 100 cm<sup>3</sup> são convertidos agora em kgs correspondendo á 10000 m<sup>2</sup> × 0,01 m, ou 100 m<sup>3</sup> de solo. No cálculo toma-se em consideração a valencia dos elementos. (Vide a explicação de J. Setzer, 104).

continuamente as camadas. Como este movimento deve alcançar as camadas mais profundas da rizosfera, um solo florestal, em contacto com rochas ricas, como as diabásicas, conservará toda a sua fertilidade. Mas, também em solos diferentes, a floresta sempre vai manter um nível relativamente alto de fertilidade. Reflorestada, uma terra cansada vai recuperar, ao menos parcialmente, as suas boas qualidades.

A fertilidade dos solos florestais, naturalmente, é influenciada também pelo substrato geológico sobre o qual repousam. Ha florestas pobres, sobre arenitos e outras camadas magras, com nenhuma possibilidade de chegar á grande fertilidade.

*Maack* (65), descrevendo as florestas de carater pluvial-tropical que revestem os planaltos no oeste do Estado de Paraná, entre os rios Paranapanema e Piquiri, constata que as matas são menos exuberantes na região arenosa (sobre arenitos) do que por cima do solo de decomposição das rochas eruptivas, da terra roxa. "A mata é menos exuberante na região arenosa; faltam especialmente as palmeiras *Euterpe edulis*, típicas na terra forte (terra roxa) na floresta pluvial-tropical do Norte do Paraná, bem como as Figueiras brancas, Pau d'Alho e semelhantes árvores dos solos férteis da terra roxa. Em vez disto encontra-se *Cocos Romanzoffiana Cham.* como representante mais notavel das palmeiras, e nos matagais cresce a Taquara (*Bambusa Tagoara Nees.*), a qual é típica nos pinhais (mata de Araucarias) como matas mesofíticas. Em toda parte pude observar que o limite da formidavel floresta pluvial-tropical, com os palmitais cerrados da *Euterpe*, contra o mato menos exuberante sem *Euterpe*, coincide quasi exatamente com a divisa da ocorrência do arenito".

Derrubada a floresta, a riqueza exuberante do solo permanecerá até certo tempo que varia segundo as condições, mas especialmente com o tratamento ulterior. Se o solo aparentemente pobre tem, a uma profundidade não demasiada, reservas minerais, então o reflorestamento adequado será o melhor metodo para revalorisar a terra.

**Cultura seca (dry farming).** — As relações mutuas entre a vegetação e o regime de agua, e o significado do conceito de regiões húmidas e áridas, são muito bem caracterizadas pela cultura seca ou "dry-farming". Este afamado método repousa sobre a utilização das reservas de agua. Em regiões onde as precipitações anuais não são suficientes para garantir anualmente uma colheita de plantas cultivadas, especialmente de cereais, procede-se á cultura com intervalos de dois ou até de mais anos.

Supondo que as raizes do cereal tenham esgotado, até a época da colheita do outono, todas as reservas de agua aproveitavel na rizosfera, as chuvas ou a neve derretida vão formar, até a primavera, uma nova reserva. Nas regiões em questão, essa reserva não será suficiente, em media, para a nova cultura do ano. Trata-se,

por isso, de acumular mais uma ou varias reservas de outros anos. Para consegui-lo, no primeiro ano não se semeia e trata-se de manter o solo fofo e livre de qualquer vegetação que possa usar a reserva existente.

Já sabemos que uma camada superficial seca da terra, especialmente quando mantida fôfa, é uma proteção eficaz contra a evaporação. Assim, as chuvas ou neves do inverno seguinte vão aumentar a reserva já existente e agora a cultura desejada terá sucesso. Tais metodos, já conhecidos na antiguidade, aplicam-se em medida crescente desde a mecanisação da lavoura, permitindo abrir á cultura regiões cada vez mais secas.

Se dissemos (pag. 115) que uma definição e delimitação nítida de regiões áridas encontra dificuldades — por ser a evaporação um fator que varia, especialmente com a vegetação — temos aqui uma documentação deste fato. Os lugares em que se aplica o “dry-farming” pertencem ao tipo árido quando têm vegetação, porque podem evaporar e evaporam de fato mais agua do que recebem. No estado não cultivado e despido de plantas pertencem, entretanto, ao tipo húmido: evaporam menos agua e armazenam o resto formando uma reserva subterranea!

As queimas que anualmente devastam o interior do Brasil assemelham-se, nas suas consequencias, aos efeitos da cultura seca; inibem o desenvolvimento de uma vegetação espontanea ou cultivada mais densa, diminuindo, assim, a evaporação.

As consequencias bemfazejas da queima, invocadas pelos lavradores, não podem ser de todo negadas. Destruindo, no apogeu da seca, as partes superficiais, especialmente de *Gramineas*, extinguem os últimos restos de absorção realisada por esta vegetação. O desabrochar primaveril de brotos novos e tenros, sem dúvida, será facilitado.

A influencia contraria de matas e campos, sobre o regime de agua, é salientada, entre nós, com toda a clareza, na apresentação interessante de A. da Silveira (108). A esse observador excelente não escapou a significação do fato de que no Estado de Minas, na região do rio Doce, onde ha florestas, os rios “cortam”, ficando sem agua durante a época seca. Em regiões idênticas, onde as florestas foram derrubadas, portanto em campos, os rios correm sem interrupção. Nas florestas, o mesmo clima deveria ser chamado de semi-árido; nos campos, de húmido.

A Fig. 52 apresenta o regime de agua que deve prevalecer, em condições climáticas iguais, em campos e em florestas. Nestas, a absorção da agua subterranea e a transpiração serão maiores (como indicam as setas) do que nos campos. A agua de escoamento, ao contrario, e com isso a lixiviação, são maiores nos campos.

## d) — A EROSAO DOS SOLOS

Nas páginas anteriores tínhamos observado o quanto a lixiviação dos solos é aumentada pela influencia do homem. Diminuindo a densidade da vegetação, por derrubadas, queimas, pastagens ou qualquer outra interferencia de cultura ou incultura, diminuímos a transpiração, aumentando a parte de agua de escoamento. Esta exerce não só uma dissolução química, como também arrasta materias sólidas; primeiramente particulas coloidais e depois fragmentos maiores; torna-se, portanto, uma erosão.

Se a erosão constitue um perigo grave para as nossas terras, temos que considerar que este perigo, na maioria dos casos, é provocado só pela influencia humana. Como para a lixiviação demasiada, também para a erosão — pelo menos a que é provocada pelas chuvas — podemos constatar que só se torna forte em casos de precipitações maiores. Estas, por sua vez, em regiões

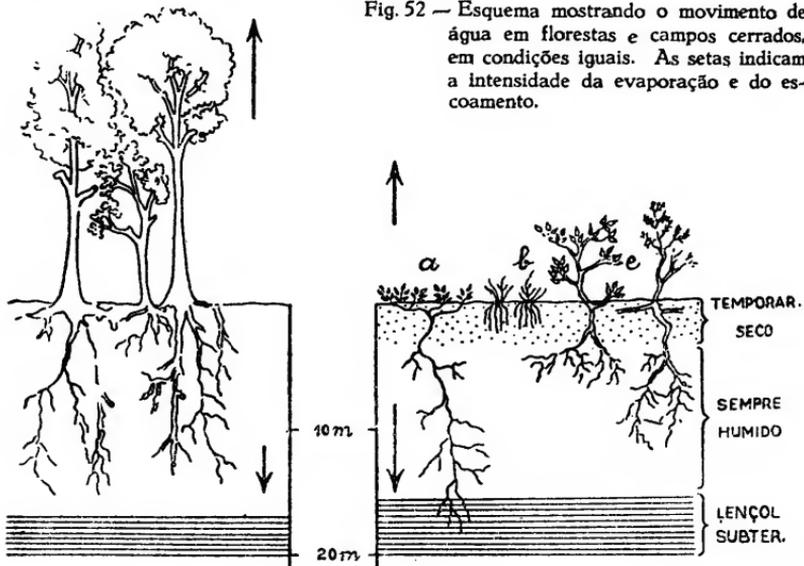


Fig. 52 — Esquema mostrando o movimento de água em florestas e campos cerrados, em condições iguais. As setas indicam a intensidade da evaporação e do escoamento.

não perturbadas e onde o solo tem bastante espessura, permitem o desenvolvimento de uma vegetação rica; uma vez estabelecido o equilíbrio e retornada a vegetação ao seu estado de "climax", não só a lixiviação será reduzida ao seu mínimo, como também a erosão. Assim, a erosão que é um fator importante na Agricultura, numa apresentação de Ecologia que trata das condições normais da vegetação, passa para um plano secundário. Para de-

monstrar isso, apresentamos uma tabela que elucida o fato eloquentemente, para os campos ou o "veld" da Africa do Sul.

TABELA 36

ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE AGUA E EROSAO NUM CAMPO PERTO DE PRETORIA (AFRICA DO SUL) — MEDIA DE 4 ANOS

seg. *Thompson* apud *Jarvis* (47)

	Campo natural	Campo já usado como pasto	Pasto queimado	Campo des- pido de to- da vegeta- ção
Agua escoada superfi- cialmente em % da precipitação total	0,5%	4,1%	9,5%	39,4%
Solo erodido em tone- ladas por "Morgen" (= 8,540 m <sup>2</sup> )	0,05	0,21	1,09	36,49

Estas regiões, que são muito acessíveis ao perigo da erosão, mostram valores muito elevados nos campos, quando lhes foi tirada toda a sua vegetação. Dessecada a superfície, acontece o que mencionamos na pag. 133: as chuvas em grande parte não entram no solo; 39,4 % escoam superficialmente, arrastando consigo uma grande parte de terra, que corresponde a mais de 36 toneladas por unidade de área, isto é por "Morgen" ou 8,540 m<sup>2</sup>. O mesmo campo, porém, deixado no seu estado natural, mostra valores perfeitamente insignificantes de agua escoada e solo erodido. O mesmo campo já usado como pasto indica perdas maiores, acrescentando-se ao estrago causado pela pastagem o prejuizo provocado pelas queimas, os valores tornam-se grandes.

Terras lavradas vão se manter, de acordo com a sua vegetação e o seu tratamento, entre os limites indicados na tabela. Não precisamos salientar que os valores dependem do declive dos campos e da composição do solo; argilas e humus solidificam a superfície. O fator mais importante, porém, é a força das precipitações e estas, como explicamos na 1.<sup>a</sup> parte (pag. 93), nos climas quentes, atingem o seu máximo. Por isso, compreendemos os perigos da aradura em regiões quentes. Terra sem vegetação, arada — "fallow" dos ingleses, "Brache" dos alemães, "friche" dos franceses e para a qual encontramos em portuguez só a palavra pouco usada de alqueive — é a mais sujeita a erosão. A repugnancia dos povos de climas quentes a usar o arado e a sua preferencia

pela cultura á enxada, tem assim a sua explicação. Em tais regiões devemos proporcionar toda a proteção possível á superficie do solo e nisso consiste uma das maiores vantagens da adubação verde.

O melhor método preventivo contra a erosão seria manter a vegetação natural. Como, porém, a Agricultura é necessaria, esta vai correr perigos tanto menores, quanto mais aproximar o estado das culturas do da vegetação natural. Onde a cultura, especialmente com o uso do arado, expõe grandes superficies á agua, ao sol e ao vento, empregam-se as medidas hoje muito aperfeiçoadas, especialmente de terraceamento. A descrição de tais práticas já ultrapassa a intenção de nossa apresentação. O país mais prejudicado pela erosão até agora foi a Republica dos Estados Unidos. Lá as suas consequências e os metodos de combate foram melhor estudados e o leitor encontra ampla informação em livros como o de *Bennett* (6). Entre nós o problema é bem discutido por varios autores, como por ex. *Cunha Freire* (26). Muitas vezes é suficiente dispor as culturas em linhas de nivel, de maneira que os sulcos do arado formem contornos horizontais e representem a agua de erosão superficial. Outras vezes, em condições de maior declive, constroem-se verdadeiros terraços, como já foram empregados desde a antiguidade, na Asia e tambem no Perú.

O perigo de erosão torna-se principalmente grave em terras arenosas, como por exemplo nos arenitos de Baurú e Botucatu. Uma vez desnudada a superficie, formam-se sulcos que logo degeneram em bossorocas, cuja profundidade pode atingir dezenas de metros, ilustradas bem nas primeiras estampas do livro de *Vageler* (123).

Uma vez afogada pelo dessecamento, a superficie torna-se acessivel á erosão eólica (abrasão) e o estado final de todo o processo é a formação de dunas de areia. Faixas de árvores, as chamadas "shelter belts" formam cinturas de proteção eficiente, sendo muito empregadas nos Estados Unidos.

### G) — A AERAÇÃO DO SOLO

O ar contido no solo é de grande importancia ecológica. As raizes precisam dele para a sua respiração e, como hoje sabemos, a absorção da agua e, especialmente, das substancias dissolvidas é função da sua atividade vital. Isso não se entende por si mesmo. A absorção da agua é apresentada modernamente, muitas vezes, como um efeito físico, sendo a sucção que parte das folhas transmitida ás raizes pelas colunas correntes que existem nos vasos e que estão muitas vezes sob uma pressão negativa. Em consequencia da Teoria da Coesão até raizes mortas deveriam absorver agua. Isso porém, se ocorre na natureza, dá-se em escala insufficiente.



Fig. 53 — Vale irrigado, em região arida; na raiz dos Andes, perto de Nazca, Perú. (Seg. Rich, 94; reprodução gentilmente autorizada pelo Dr. John L. Rich e pela American Geographical Society).



Fig. 54 — Cultura de algodão em linhas de nível contornando as encostas, como medida de combate à erosão. (Seg. Cunha Fuziere, 26, reprodução gentilmente autorizada pela Diretoria de Publicidade Agrícola do E. de São Paulo).

Como se depreende já da existencia da seca fisiológica em que a absorção da água é prejudicada por temperaturas baixas — acima de zero — ou por falta de oxigênio ou pela existencia de substancias tóxicas no solo, a atividade vital das raízes deve ser implicada em tais processos. Sobre o mecanismo destes, a Fisiologia vegetal ainda sabe pouco e, sem dúvida, as varias especies de plantas poderão diferir no seu comportamento.

A importancia do ar que nos interessa aqui evidencia-se especialmente pelo fato do poder seletivo de absorção das raízes. Estas não absorvem os sais existentes na “solução do solo” na proporção em que existem nela. Certos sais podem entrar em quantidade maior, outros em quantidade menor do que a que corresponde ás proporções da solução. Se fosse perfeitamente impermeavel aos sais, a raiz deixaria entrar só agua; mas, a raiz não só pode adquirir certa permeabilidade: as suas superficies agem, como já mencionamos (pag. 71), como anfolitos que, em certas condições, atraem e fixam certos anions e cations, por assim dizer á sua vontade propria. Mais ainda, estas substancias são transportadas da superficie exterior da camada protoplasmica até dentro da célula e daí são levadas para os pontos de consumo. Emfim, toda uma serie de atividades que requer energias, dependendo da respiração.

A quantidade de oxigênio, que é necessaria para permitir tais atividades ao sistema radicular, varia de acordo com as condições e com as especies de plantas. *Hoagland and Broyer* (43), para só citar um exemplo, constataram que raízes de trigo absorveram o potassio e ions de nitratos e halogenios, só quando aerados com uma mistura de gazes contendo pelo menos 7,5 % de  $O_2$ .

Assim se compreendem as observações citadas na Botânica aplicada, que as colheitas decrescem quando o solo é rico demais em agua, porque a agua então expulsa demais ar dos poros. Vemos na tabela seguinte como o rendimento de plantas cultivadas cresce com o conteúdo de agua no solo até um maximo, que é atingido quando a capacidade de agua chega a 60 % para o centeio e 80 % para as tres outras culturas. Com 100 % de agua, quer dizer 0 % de ar, todas as colheitas são muito pequenas.

Num solo que parece perfeitamente saturado de agua a respiração não deve parar necessariamente: sempre é possível que permaneça ar incluído nos poros, porque, como mostrou *Chapman* (21), até a maré alta não expulsa todo o ar quando cobre as terras costeiras. Mas, mesmo que todos os poros fossem ocupados por agua, esta também mantém em solução uma certa quantidade de oxigênio, — que é pequena e decresce com a temperatura, como veremos, quando tratarmos da Hidrobiologia. Se forem esgotados os últimos restos de oxigênio, ainda fica a respiração intramolecular, realisada por muitas raízes e que serve, frequentemente, aos Autores para explicação das atividades das raízes. Mais

importante, porem, é o arejamento interno das raízes e dos rizomas, através dos espaços intercelulares. Estes, especialmente em plantas aquáticas e de brejo, são bem desenvolvidos e, como *Laing* (55) ultimamente mostrou, deve haver aí, uma difusão ativa, pela qual o oxigenio passa das folhas até os mais profundos rizomas, submersos na vasa do fundo dos lagos (e, vice-versa, o CO<sub>2</sub> difunde dos rizomas para as folhas, onde serve para a fotossíntese).

TABELA 37

RENDIMENTO RELATIVO E TEOR DE AGUA, seg. *Mitscherlich*  
apud *Lundegardh* (63, pag. 181)

Rendimento das culturas seguintes	Teor de água em % da capacidade do solo				
	20%	40%	60%	80%	100%
Centeio ( <i>Secale cereale</i> ) .....	30,7	71,4	92,8	77,6	19,7
Ervilha ( <i>Pisum sativum</i> ) .....	14,1	50,3	87,4	100,0	9,3
Fava ( <i>Vicia faba</i> ) ....	16,0	48,4	63,9	100,0	33,8
Batatinha ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	15,8	48,3	89,0	100,0	62,5

De tudo isto resulta que será difícil indicar para as plantas certas quantidades-limites de ar ou de oxigenio, que devem existir no solo para permitir a vegetação de certas especies ou associações; os fatores citados variam, segundo as condições e podem trazer consigo variações na resistencia das plantas. Já a profundidade e o comprimento das raízes influem na possibilidade da sua aeração interna.

Assim, a tabela seguinte só terá valor orientador. Emprestamo-la do trabalho mais completo sobre o assunto, de *Romell* (95). Deste trabalho depreende-se tambem o fato importante de que a difusão no solo é viva, mantendo rápida a ventilação e a substituição do O<sub>2</sub> respirado. Só em solos já enxarcados observam-se valores pequenos de O<sub>2</sub> que podem atingir limites tão baixos como 0,5 % em culturas de arroz que ainda produzem. O arroz, porém, é uma planta típica dos brejos e a sua resistencia á falta de oxi-

TABELA 38

CONCENTRAÇÕES CRÍTICAS DE O<sub>2</sub> NO AR DO SOLO, ABAIXO DAS  
QUAIS COMEÇAM OS PREJUÍZOS, SEGUNDO VÁRIOS AUTORES  
INDICADOS POR *Romell* (95)

Plantas	O <sub>2</sub> — vol. %
<i>Coleus</i> .....	16
<i>Opuntia</i> .....	10
<i>Zea Mays</i> (milho) .....	6
<i>Hordeum</i> (cevada) .....	
<i>Solanum tuberosum</i> (batatinha) ..	3
<i>Pisum sativum</i> (ervilha) .....	1.5 (raízes deixam de crescer)
<i>Oryza sativa</i> (arroz) .....	0.5 (raízes crescem ainda 13 dias)
<i>Salix</i> sp. (salgueiro) .....	0 (raízes crescem normalmente sem O <sub>2</sub> no solo durante 10 semanas)

genio, recentemente foi evidenciada por *Taylor* (115). Não é, porém, necessário atribuir tal adaptação à respiração intramolecular. Deve-se tratar antes da aeração interna; senão, não poderíamos compreender o crescimento normal de salgueiros, — característicos das zonas de inundação, à margem dos rios, — até em solos onde há ausência completa de oxigênio.

Os manguesais (Mangrove) do Litoral tropical apresentam os exemplos mais eloquentes da adaptação das plantas à falta de aeração dos solos. As ricas variações existentes de raízes respiratórias, — que aumentam a ventilação interna — serão apresentadas na parte que tratará da vegetação do Litoral.

Onde escasseia o oxigênio costumam crescer os valores de CO<sub>2</sub> e onde falta o oxigênio temos, na presença de substâncias orgânicas, rica fermentação que produz substâncias tóxicas, como aliás já mencionamos quando tratamos do humus. O próprio CO<sub>2</sub>, em concentrações maiores, pode tornar-se um tóxico e a sua presença pode prejudicar o crescimento das plantas. Apresentamos novamente uma tabela de valores reunidos por *Romell* (95), indicando que a maioria das plantas superiores já sofre com va-

lores baixos. Segundo *Lundegardh* (63, pag. 298), a maioria das plantas já se resente desde 1%. Novamente o salgueiro demonstra a sua resistencia absoluta.

TABELA 39

CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE CO<sub>2</sub> ACIMA DA QUAL COMEÇAM OS PREJUÍZOS. SEGUNDO VÁRIOS AUTORES INDICADOS.  
POR *Romell* (95)

Plantas	CO <sub>2</sub> — vol. %
<i>Phaseolus</i> (feijão) .....	2-4
<i>Vicia sativa</i> .....	3
<i>Secale cereale</i> (centeio) .....	5
<i>Lupinus</i> .....	
<i>Pisum sativum</i> (ervilha) .....	
<i>Mucor stolonifer</i> (mofo) .....	10
<i>Saccharomyces</i> (levedo) .....	99.8
<i>Salix sp.</i> (salgueiro) .....	100 (raízes crescem normalmente durante 10 semanas)

A concentração do CO<sub>2</sub>, no ar dos solos pode ultrapassar 8 e mesmo 10%, nos solos até agora estudados. O método de estudo não é fácil, especialmente quando se trata de solos tão profundos como os brasileiros. Muitas vezes, porém, como indica *Romell* (95), as águas subterrâneas são bons indicadores. Num estudo de *Kleerekoper* (52) este autor mostrou a extrema riqueza em gás carbônico de uma nascente em Emas, Pirassununga (43,0 mgr. por litro), ao passo que o oxigênio dissolvido só existe em traços. A riqueza das águas subterrâneas em CO<sub>2</sub> nas regiões tropicais é um fato já muitas vezes constatado.

Os solos, até quando bem arejados e cujo ar, na sua composição, se aproxima muito do da atmosfera, podem porém ser muito heterogêneos, encontrando-se sempre "ninhos" onde ar e água não podem ser facilmente substituídos. Assim se explica a existência de bactérias anaeróbicas, como o *Bacillus tetani* que pode existir em terras fofas e bem arejadas de jardins. Citamos

o fato porque mostra a cautela que deve ser empregada nos métodos de estudo.

A importancia prática da aeração do solo é grande. Entre as plantas cultivadas existe toda uma escala de sensibilidade, desde o café e o chá que se ressentem muito da falta de aeração, até o arroz, tão resistente. Que a vida bacteriana do solo é afetada por isso, vimos no capítulo sobre o humus no solo. Na ecologia das associações de brejo, dos manguesais e da agua, vamos lembrar de quanto o oxigenio no solo pode ser um fator limitante. Se a maioria das plantas terrestres é excluída de tais lugares, isto é devido á pouca resistencia de suas raízes á falta de oxigenio.

## H) — A DETERIORAÇÃO DAS TERRAS PELA CULTURA

As considerações anteriores nos permitem compreender na sua causalidade o andamento da deterioração, á qual todos os solos cultivados estão sujeitos, especialmente em regiões quentes. Na verdade, onde ha cultura humana, nunca conhecemos com certeza o estado normal que os solos apresentavam antes da vinda do homem. Em toda a America do Sul é difícil avaliar o papel dos indigenas neste sentido. A Etnologia conta com a possibilidade de que a cultura indigena já passara pelo seu maior desenvolvimento antes da descoberta. Os Maias, na America Central, como parece, costumavam cultivar terrenos recém-abertos, de florestas só por poucos anos (*Lundell*, 64), e depois abandona-los novamente ao reflorestamento natural, sem dúvida por reconhecerem o papel saneador da floresta. Tais métodos devem ter influenciado grandes áreas de terreno, mesmo em regiões onde a população era escassa.

Por isso, a distribuição dos grandes grupos de formações, como florestas de um lado e campos de outro, que hoje encontramos em toda a America do Sul, provavelmente não será mais a primitiva, mas terá sido profundamente alterada. Esta possibilidade, da maior importancia para toda a nossa Ecologia, já tem sido muito discutida, quer se trate dos pampas argentinos ou dos campos do Brasil.

Para Lund, cujo trabalho em lingua dinamarquesa se tornou acessível por uma referata detalhada de *Warming* (127, pag. 98), todos os cerrados e campos limpos provêm das florestas secas e xerofíticas do tipo das "catanduvas", transformação essa provocada pelos incendios. *Warming* e a maioria dos autores que escreveram sobre a vegetação brasileira ou sul-americana contestaram, achando difícil atribuir a existencia dos campos, com sua vegetação tão característica, só á atividade do fogo ou de outras influencias secundarias. Isso se compreende: a diferença de aspecto fisionômico e da composição florística da vegetação dos cam-

pos e das florestas é tão grande, que o espectador se acha confrontado com duas cenas genuinamente diferentes.

Não vamos recapitular os pros e contras proferidos pelos vários pesquisadores, tão bem citados por *Frenquelli* (34) e *Ferri* (31); acrescentamos só que, hoje em dia, a opinião que atribue influencia fundamental às queimadas, em todos os continentes, está em franco progresso. Para onde olharmos nas descrições fitogeográficas modernas, encontraremos menção de queimadas devastadoras, que foram provocadas já em épocas muito primitivas, quer pelos indígenas, quer pelo homem pre-histórico.

Entre a rica bibliografia, mencionamos, por exemplo, *A. Consigny* (24), cuja publicação, tratando das colonias francezas, traz o título expressivo "L'avenir économique de nos possessions d'Ou-tre-Mer compromis par les feux de brousse, de savane et de forêt". *Lane Poole* (57, citado por *Brass*, 13) descreve, em relação à Nova Guiné, o deflorestamento extensivo por queimadas de caçadores no Monte Sarawakef; vêm-se ainda partes queimadas de florestas compostas de *Dacrydium*, *Libocedrus* e Samambaia-assús, crescendo em encostas verdejantes e surgindo de clareiras que poderiam parecer naturais. "There is no doubt in my mind" escreveu ele (l.c., pag. 180), "that except for the very marshy land and the actual cliffs and outcrops of limestone, the whole of this mountain top was under a forest of conifers and myrtles", atribuindo a devastação aos incendios feitos pelos nativos.

As idéas de *Lane Poole* são partilhadas por *Van Steenis* (114), também citado por *Brass* (13) que, em trabalho detalhado sobre a origem da flora das montanhas da Malaya, emite a opinião de que as savanas dessa região não são formadas por vegetação natural, mas o resultado de queimadas continuas.

Quanto à África, *Scaetta* (98), citado por *Michelmores* (77, pag. 301) "considera quasi todos os grasslands dos planaltos centrais da África como sendo secundários, achando que a formação daqueles indica degradação do solo, que, em casos extremos, pode tornar-se irreversível". A causa da transformação em muitos casos reside, para ele, na destruição das florestas pelo fogo, devido ao homem ou a descargas elétricas.

O mesmo rumo seguem as observações de *Scott* (102), também na África central, que mostrou que proteção contra o fogo produz já em 2 anos um espessamento evidente da vegetação de arbustos, em detrimento das *Gramineas* (l.c., pag. 227).

Finalmente, reproduzimos as palavras de *A. S. Thomas* (117), também sobre a África tropical "The influence of climate must not be allowed to obscure the importance of other factors, notably those of human influence and of soil composition, to which are due many of the local variations in plant communities. In the regions of high temperature and heavy well distributed rainfall the typical vegetation is evergreen forest, but in some places large stretches of open grassland occur. There is no doubt that these areas of grass are mainly due to the influence of man, who has burnt the forest to obtain clearings for cultivation. Some types of grassland, such as that in which *Pennisetum purpureum* is dominant, if they are protected from grazing and burning for a few years will revert to forest. But there are other cases where the exposure of the soil to tropical sun and rain has made it dete-

riorate so much that trees cannot colonise the ground. For example, when the inhabitants and the cattle on the Sese Islands in Lake Victoria were evacuated for over ten years on account of sleeping sickness, the more fertile farmlands were rapidly covered with forest but the trees encroached very little on the less fertile grasslands although there was no burning or grazing”.

Para ilustrar a grande extensão das queimadas na África citamos ainda um trecho de *Knoche* (53): “*Von Dankelman*, (27) avaliou, em 1880, a área das queimadas na África tropical meridional em 20 a 80 % da área total de 76 milhões de Km<sup>2</sup>. No Congo inferior as queimadas abrangeram 70 % da superfície do país. Um número perfeitamente compreensível, pois num incendio de floresta dos últimos anos, na região húmida e rica em Lagos de New Foundland, 60 % das florestas foram aniquiladas (*Shaw*, 107)”.

A analogia da situação na America do Norte evidencia a obra de *Weaver* e *Clements* (130) que já na pag. 2 apresenta a figura de uma floresta densa de carvalhos que se formou depois da cessação das queimadas de campina (“prairie fires”). Na pag. 48 dizem estes autores que nas reservas das Montanhas Rochosas puderam ser constatadas pelo menos 13 queimadas durante o periodo de 1707 a 1905. Quanto aos “chaparrals”, formações de aspecto muito xerofítico, acham que parte da área coberta por aqueles pode ter um clima de floresta e que aí o crescimento das árvores está sendo impedido por queimadas sucessivas.

Com respeito a Honduras Britânica, citamos *Lundell* (64): “Fires sweep most of the pinelands periodically . . . . . In some areas only treeless barrens remain; these are often referred to as dry savannahs”.

Em Surinam, *Pulle* (90) achou que as florestas pluviais que cobriam inicialmente o país foram a principio deterioradas pela lixiviação devida ás grandes chuvas. “Esta mudança deu origem á savana arborea. A savana arborea deu lugar a uma vegetação inferior mais ou menos xerofítica. Esta vegetação é mais sujeita ao dano pelo fogo. As árvores não se restabelecem tão rapidamente, após as queimadas, como as ervas; estas devem sua resistencia ao fogo, em parte aos rizomas que frequentemente possuem. Uma nova vegetação, constituída principalmente por plantas herbaceas, invade o solo. As queimadas repetidas mantêm esta vegetação como um climax provocado pelo fogo (“fire climax”).

Muito eloquentes são as palavras de *Myers* (83) sobre as savanas da Guiana inglesa: “The scattered aboriginal Indians are inveterate burners. It is almost impossible to prevent one's Indian carriers from setting light to the dry grass. They do this to signal their approach and for pure fun. I have never seen in South America a savannah however small or isolated or distant from settlement which did not show signs of more or less frequent burning. The ranchers burn to destroy the roughage and encourage young tender growth for their stock. . . . . The main savannah plants, notably *Trachypogon plumosus*, *Paepalanthus capillaceus* and *Curtella americana*, are so eminently adapted to burning, which they almost invariably survive, that we are justified in regarding the present vegetation as a fire climax (subclimax in *Clements'* terminology)”.

Quanto ás outras partes não brasileiras do nosso continente já nos referimos á discussão de *Frenquelli* (34) que considera principalmente a Argentina, onde especialmente as citações de *O. Schmieder* (101) apresentam o caso sob o aspecto aqui considerado.

Este autor se refere ás fontes históricas que mencionam a existência de bosques no pampa de hoje; á possibilidade de cultivar *Eucalyptus*, *Casuarinas*, *Ailanthus*, Durazneros, etc., e do Ombú indígena, cuja sombra protege os ranchos. Finalmente, cita vestígios prehistóricos que mostram que os indígenas usaram o fogo.

A nós parece especialmente convincente a possibilidade de cultivar árvores. E' verdade que a sua cultura requer cuidados especiais, caracterizados por *Parodi* (88, citado por *Frenquelli*, 34) da seguinte maneira: "é sempre á custa de grande trabalho durante o primeiro periodo de crescimento, devendo-se fazer uma cova adequada, remover bem a terra, dar-lhes irrigação suficiente, extirpar as *Gramíneas* invasoras, etc."

A necessidade de tais cuidados hoje em dia não comprova que a floresta não tivesse sido a vegetação primitiva. E' claro que a extinção da floresta provoca alteração tão profunda no solo, que a floresta antiga não pode novamente tomar pé por si só.

No Brasil, desde *Lund* (62) os autores não se cansam de mencionar as consequências devastadoras das queimadas, em cuja descrição concordam observadores como *Dusén* (28), *Ihering* (45), *Loefgren* (59, 60), *Hoehne* (42).

Estas citações, que facilmente poderiam ser duplicadas, falam uma linguagem eloquente. A última palavra, em cada caso especial, porém, vai ser dita só depois de estudos detalhados do balanço d'agua da vegetação, e das reservas de humidade no solo.

Em todo caso não ha dúvida que os incendios aumentaram a área dos campos á custa das florestas. Não sabemos, porém, se são só as florestas do tipo seco, como as catanduevas que são sujeitas a tais transformações, como o supoz *Lund*, ou se até florestas de tipo mais húmido são também atingidas por eles.

Alguns autores modernos têm a tendencia de generalisar muito a importancia das transformações da vegetação, devidas ás queimadas. Chegam a atribuir a existencia de todas as estepes e até dos desertos á intervenção humana. Isso por exemplo parece querer exprimir *Van Steenis* (114) quando diz: "we can say that, according to our opinion, man himself is the main factor in the origin of deserts, that deserts are of anthropogenous origin, that the flora is a selected tolerating anthropogenous vegetation, that man has disturbed his own milieu by reckless use of the soils and its original plant cover and that the climate is not the cause of but only the condition under which deserts can originate" (l.c. pág. 55).

E' verdade que, antigamente, no centro da Asia, existiam condições muito mais húmidas, como evidenciou *Sven Hedin* (40) na exploração do lago Lobnor no Tibet; lá existia, ha 1.600 anos, uma povoação com construções de madeira. Hoje, as florestas mais próximas distam desse lugar varios milhares de kilómetros. Estas informações sobre a Asia, que facilmente poderiam ser ampliadas por outras citações, têm seu paralelo no Saara (vide por ex. *J. Chavanne*, 22), onde restos de elefantes, crocodilos

e bois testemunham a existencia de florestas, em regiões que hoje só são acessíveis ao camelo.

E' difficil, porém, concordar com a idéa de que todos os desertos e as estepes sejam provenientes do deflorestamento. Sem dúvida, desertos e estepes podem existir sem intervenção humana. As plantas xerofíticas que habitam tais lugares tiveram que se desenvolver com todas as suas particularidades e adaptações ao clima seco, durante longas épocas geológicas. Entre as camadas sedimentares das épocas mais longinquas, encontramos arenitos vermelhos, sem dúvida de origem terrestre, cuja estrutura e constituição indicam proveniencia de desertos, sendo tais formações muito frequentes no Brasil, com seus arenitos triássicos, jurásicos e cretáceos.

Tambem hoje, na América do Sul, existem vastas areas cujo clima sem dúvida é hostil á floresta. E provavelmente *Warming* (127) acerta quando acha "absolutamente inadmissivel a hipótese que quer que os incendios tenham provocado essas transformações em toda a extensão imensa dos campos que cobrem o interior do Brasil" (l.c., pág. 469). O problema só pode consistir em saber quais as regiões cujo clima e solo permitem ou permitiram, sem a intervenção do homem, a existencia de florestas, e quais aquelas que as excluem.

Sem dúvida, os mapas fitogeográficos modernos que indicam a distribuição de estepes e florestas na America do Sul não representam ainda a última palavra.

Um tratado tão moderno como o de *Trewartha* (118) reproduz um mapa onde quasi todo o interior do Brasil central-meridional, com exceção das serras costeiras aparece caracterizado pelo clima de savana. O erro encontra-se explicito nos "Quadros de Vegetação do Brasil Meridional" de *Wettstein* (133), para quem "A parte interior do Brasil meridional, isto é a parte occidental dos Estados de S. Paulo e Paraná e a parte limítrofe dos Estados de Minas Gerais e Goiás pertencem á região das savanas". Para *Wettstein*, estas já começam no Alto da Serra, entre Santos e São Paulo, onde a Estrada de Ferro deixa a Serra costeira (l.c., pag. 4). Foi o aspecto árido dos campos artificiais que illudiu o botânico tão competente. O engano é tanto mais compreensivel por se basear em descrições de *Schimper* (99, 100).

Aos observadores brasileiros, os fatos reais entretanto não escaparam. Assim, *Ihering* (45, pag. 127) já salienta a insuficiencia dos mapas de *Griesebach*, *Engler*, *Schimper* e *Drude*, insuficiencia essa que até na nova edição de *Schimper*, feita por *Faber* (100) ainda subsiste. A existencia de tão amplas faixas de florestas húmidas que cobrem, em uma largura de centenas e centenas de kilômetros, a região occidental dos Estados de São Paulo e do Paraná — as últimas recentemente descritas por *Maack* (65)

e fotografadas de avião por Rich (94) — basta para nos informar sobre o “Clima de floresta” desses Estados. Caracterizadas por Maack como “florestas pluvio-tropicais”, estas matas cobrem tanto as regiões de diabasio, como as formadas por arenitos. Como estes fornecem os solos mais magros, seria de se esperar — se houvesse razões de ordem edáfica que excluíssem aí as florestas — que não existissem em tais lugares. Provavelmente, porém, uma vez eliminadas as florestas, estas se reconstituem mais facilmente em terras cuja decomposição dá solos barrentos, do que nas areias subsistentes dos arenitos. Teremos de esperar, então, que, em regiões uma vez alteradas pelo homem, haja campos de preferencia em solos arenosos e pouco férteis, e não nos solos mais barrentos e mais férteis.

\* \* \*

O que acabamos de expor torna claro que deve existir toda uma serie de deterioração que começa com a floresta e vai até a areia esteril. Tal transformação pode dar-se com relativa rapidez. Um trabalho detalhado de Olmsted (87) mostra que em Connecticut nos Estados Unidos, a vegetação de planícies hoje arenosas e quasi estereis com dunas incipientes, não é formação primitiva. Das memorias históricas ressalta que aí antes da vinda do homem branco o índio conservou suas areas de caça, mantendo-as limpas pelo fogo, e que o homem branco (1750) cultivou e abandonou sucessivamente as suas terras. Da mesma leitura depreende-se tambem que ainda devem existir queimas ocasionais. O solo, porém, contem bastante humidade para permitir o desenvolvimento de árvores florestais, como carvalhos (*Quercus velutina*) e pinheiros (*Pinus rigida*). Impedida toda e qualquer perturbação, um climax de floresta sem dúvida será restabelecido.

Nas restingas da Kurlandia, existem hoje em dia vastas áreas de dunas movediças que até enterraram habitações e uma igreja. Ha menos de dois séculos, existia nessa região uma floresta principalmente de *Pinus*, cujo corte promoveu esta deterioração radical. Em casos como o da devastação das florestas do Mediterraneo, o vento pode erodir toda a terra, permanecendo apenas as rochas nuas das montanhas. Em tais casos, o reflorestamento torna-se um problema dos mais difíceis. Onde a terra ou a areia podem conservar agua, uma restauração da floresta antiga sempre será possível, embora seja difícil e demorada.

## I) — ALGUMAS OBSERVAÇÕES SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS BRASILEIROS

Os tipos de solos costumam ser apresentados em mapas, mas parece que para o Brasil ainda não podemos estabelecer, com

muita confiança, tais mapas sobre vastas extensões. Os que existem, como o de *Matthei* (69), para a America do Sul, encontram acolhida reservada pelos conhecedores, como *Camargo* e *Vageler* (17, I) e um simples olhar para a última sinopse de *Hardy* (39) nos mostra quão poucos elementos temos para o julgamento dos fatos.

Como se depreende das nossas considerações sobre a deterioração dos solos, todos os solos expostos direta ou indiretamente à influencia do homem se encontram num estado de deterioração, deterioração essa que depende do grau e do tempo de duração de tais influencias. Para fins ecológicos importa primeiro conhecer os solos nas suas condições naturais, quer dizer, quando cobertos ainda pela vegetação primitiva. Como foi exposto, muitas vezes não sabemos com exatidão qual seria esta vegetação primitiva.

As vegetações, depois de uma perturbação, tendem a restabelecer o seu estado primitivo ou seja natural, estado esse que corresponde melhor ás condições do clima e do solo. Este estado original — e final — na Sociologia botânica, é chamado, como veremos na 3.<sup>a</sup> parte, de “climax”. Como já mostramos, a vegetação, especialmente nos nossos climas, exerce uma influencia profunda sobre o desenvolvimento dos solos. Podemos, então, estabelecer um fato fundamental: ao estado de climax da vegetação deve corresponder tambem um estado de climax do solo. Se quisermos compreender o estado de deterioração dos solos, precisamos conhecer o seu estado normal, ou de climax. Para a vegetação, além do equilibrio do climax, estabeleceram-se outros equilibrios secundarios, equilibrios estes que aparecem quando continua uma certa perturbação dada. Por exemplo, existe um climax dos campos queimados, que podemos chamar com *Weaver* e *Clements* (130) de “climax de queima” (fire-climax). Provavelmente, o solo sob um tal climax secundario, vai tambem tender a estabelecer o seu “fire-climax”, da mesma forma.

Como solos naturais, em nosso país, só conhecemos com certeza os das matas virgens; a caracterização dos demais requer estudos consecutivos, tais como os começados nas análises de Campinas citadas na pag. 119. Em tal estado de coisas, todos os levantamentos pedológicos só terão valor ecológico, quando pudermos comparar grandes séries não só no espaço, mas tambem no tempo. Para a Agricultura, naturalmente, têm o seu valor imediato, informando-nos sobre as medidas de tratamento de todas as terras para fins práticos. O leitor encontrará muitos dados valiosos sobre isso, especialmente nas publicações do Instituto Agromômico de Campinas, desde a sua fundação por *Dafert* até hoje (literatura em *Camargo* e *Vageler* — 18, 17, 122 e *Setzer*. 106); aqui deixamos esta parte do assunto de lado, limitando-nos a considerações gerais de ordem ecológica.

A sorte dos solos depende da base geológica, do clima e da vegetação: estes três fatores modelam o solo. A configuração geológica desempenha, entre os três fatores, o papel de menor importância. Especialmente em condições húmidas, a influencia da vegetação e da água transformam a superfície tão profundamente que, finalmente, pouco resta da sua estrutura e composição iniciais. Até a grande distinção entre os solos formados de calcáreos e solos de rochas cristalinas, oblitera-se em condições pouco perturbadas, tanto que nos Alpes pôde ser constatada, na camada de decomposição, sobre calcáreos, uma vegetação nitidamente calcifuga (*Braun-Blanquet e Jenny* — 14). Da mesma forma, a terra vermelha e finalmente o laterito constituem o estado final do desenvolvimento dos solos em climas tropicais, húmidos.

“No clima tropical húmido, toda a rocha e toda a vegetação pôde e deve dar origem à terra vermelha e finalmente ao laterito, a não ser que a vegetação seja tão exuberante que, pela sua decomposição, se produza reação ácida no solo, o que, por sua vez, altera os processos do intemperismo” — (*Vageler*, cit. por *Blanck* 9, pag. 194).

Embora em solos tão profundos como os brasileiros, a importância da Geologia do subsolo tenda mais ainda a desaparecer, está longe de ser pouco significativa. Até em solos não perturbados, como nas matas virgens do Paraná (pag. 120), *Maack* (65) constatou solos menos férteis sobre arenitos. Estes, na verdade, onde existem, são inconfundíveis em sua influencia sobre a vegetação.

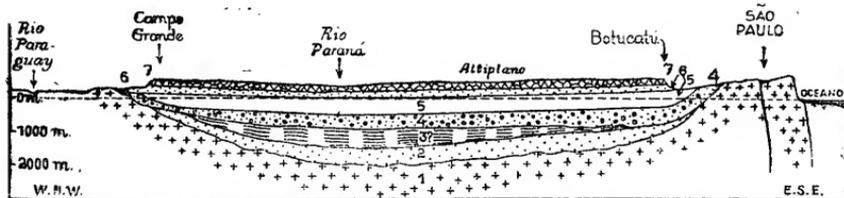


Fig. 55 — Corte muito esquemático através do E. de São Paulo de E.S.E. para W. N.W. Seg. Washburne, 129.

- 1 — massiço cristalino subjacente;  
2 a 7 — camadas sedimentares que cobrem a leve sinclinal, cujo centro coincide aproximadamente com o leito do rio Paraná.

Na fig. 55 apresentamos um corte muito esquemático através do Estado de S. Paulo, feito por *Washburne* (129). O esquema mostra, em traços muito gerais, a base de rochas cristalinas que forma o bloco brasileiro e sobre a qual se encontram depositados os sedimentos que formam uma sinclinal pouco inclinada, sendo

a parte mais baixa o leito do rio Paraná. A grande maioria das camadas sedimentares é constituída por formações continentais, compostas de arenitos; calcareos se encontram com pouca frequência, especialmente no arqueano.

A superposição dos sedimentos sobre a base cristalina é apresentada mais detalhadamente num corte esquemático tirado de *Moraes Rego* (78) (Fig. 56).

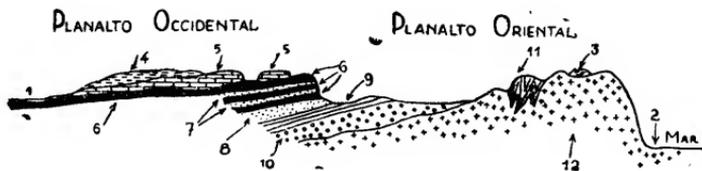


Fig. 56 — Seção esquemática generalizada no E. de São Paulo de SE a NW, Seg. *Moraes Rego*, (78).

- 1 — Quaternário fluvial
- 2 — Quaternário marinho
- 3 — Terciário de S. Paulo
- 4 — Terciário do Planalto ocidental
- 5 — Arenito de Baurú
- 6 — Eruptivas da serie de S. Bento
- 7 — Arenito de Botucatú
- 8 — Arenito de Piramboia
- 9 — Serie Passa-Dois
- 10 — Serie Itararé-Tubarão
- 11 — Rochas cristalofílinas da serie de S. Roque
- 12 — Rochas granitizadas, granito e gneiss.

Como a grande extensão dos arenitos nos sedimentos sugere a ideia de uma relativa infertilidade dos solos, mencionamos já a existencia de vastos lençóis de massas eruptivas diabásicas que atravessam os sedimentos, especialmente os da serie de São Bento, geralmente colocada no início do Jurássico. A terra roxa, famosa pela sua fertilidade, origina-se dos produtos de decomposição destes lençóis.

Mas, antes de encararmos isso, salientamos outro fato importante: a parte interior da região, coberta por sedimentos, constitue um altiplano, que foi pouco perturbado, como parece, em épocas geológicas mais modernas. A penneplanisação é adiantada, e as elevações e os vales são suaves. As regiões costeiras, ao contrario, oferecem traços de perturbação muito recente. Todo o aspecto das costas brasileiras, a forma do litoral do Rio de Janeiro, a Serra dos Orgãos, deixam ver isso eloquentemente. As encostas são muito íngremes, os rios não terminaram ainda a modelação dos seus leitos. Embora a interpretação da geomorfologia dessas partes do país seja discutida, as apresentações de *Maull* (70) e

as fotografias e observações de *Rich* (94) não deixam muita dúvida. Partes da costa, recentemente submersas com seus vales afogados alternam com outras partes que parecem recentemente levantadas. Levantamentos bem recentes demonstram, nas praias rochosas, os buracos feitos por ouriços do mar que, sem dúvida, não ha muitos anos atrás, estavam por baixo do mar, e que agora se encontram até a 2 m acima do nível medio. Tais ocorrências já foram mencionadas por *Branner* (11, pag. 60) para os traquitos de Pernambuco. O paulista os pode ver facilmente, em Guarujá. O levantamento assim documentado é só de poucos metros, mas muito recente. Se se tratasse de movimento muito maior, os buracos não poderiam mais demonstra-lo, pois a rapida destruição da superficie das rochas não deixa subsistir por muito tempo tais traços.

Tambem *Alberto Betim* (7) supõe movimentos recentes: "Mais adiante, rumo a S. Paulo, outra massa granítica, parece ter surgido em época recente, entre Jacarehy e Mogy das Cruzes, que teria dividido em duas a lagoa terciaria, que iria de Barra Mansa a S. Paulo, promovendo a captura do rio Parahyba" (7, pag. 147).

Tais fatos são interessantes para a Ecologia, porque nestes casos deve se tratar de solos que ainda não tiveram tempo para chegar ao seu desenvolvimento final. Ai a lixiviação pode ser contrariada por exposição cada vez nova de rochas a serem decompostas. No altiplano do interior, porem, as condições parecem estabilisadas.

**As terras roxas.** — Uma posição de destaque ocupam as terras roxas formadas sobre os magmas basálticos do sul do Brasil. Estes ocupam, como diz *Euzebio de Oliveira* (86): "intensas áreas nos Estados de Minas Gerais (Triangulo Mineiro), São Paulo, Paraná, Sta. Catarina e Rio Grande do Sul, extendendo-se nas Republicas visinhas do Uruguai, Argentina e Paraguai, e tambem nos Estados de Mato Grosso e Goiás.

As rochas originadas desse enorme derrame apresentam-se com textura bastante variada, devido as condições fisico-químicas em que se fez o resfriamento, seguido da consolidação. Não obstante isso, a composição química das variedades é bastante uniforme, podendo ser aceita a seguinte composição media:

SiO <sub>2</sub>	.....	49.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	11.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	6.42
FeO	.....	9.16
CaO	.....	8.66
MgO	.....	4.84
Na <sub>2</sub> O	.....	2.55
K <sub>2</sub> O	.....	1.71

H <sub>2</sub> O	.....	1.03
TiO <sub>2</sub>	.....	2.66
CO <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O comb.	.....	1.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.....	0.42
MnO	.....	0.15
		99.56"

A esta citação acrescentamos que os diabásios existem em vários lençóis que, quasi horizontalmente, ou seja, com pequena inclinação, atravessam os arenitos da serie de São Bento (Fig. 56).

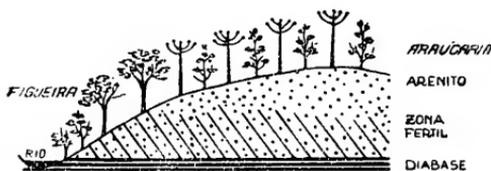


Fig. 57 — Corte esquemático em terras percorridas por lages de diabásio. Onde as raízes da floresta alcançam o diabásio, a terra mantém-se fértil (associação da Figueira). Perdido aquele contacto, a terra, geralmente arenito, torna-se estéril por lixiviação, trazendo a associação da Araucaria.

São camadas relativamente duras, de decomposição lenta, que muitas vezes formam capas acima dos arenitos mais facilmente erodidos. Os arenitos na sua vizinhança participam de sua fertilidade e para ilustrar as condições peculiares criadas por este entrelaçamento, damos o esquema da Fig. 57, tirado de observa-

ções no alto Paraná. A estrada de ferro, que liga o Alto Paraná com o Estado de São Paulo, corta desde Ourinhos regiões onde muitas vezes se vêm aflorar á superfície os diabásios. Perto de Rolandia, onde pudemos fazer observações detalhadas, encontramos geralmente o diabásio perto da superfície, ou pelo menos ainda ao alcance das raízes das árvores. Num poço que mantemos em observação, encontramos a água subterranea a 10 m e o diabásio a 12 m de profundidade. Neste lugar, a floresta é rica, indicando na superfície um pH = 7 e entre as árvores não faltam os padrões de terra fértil, como Figueira branca e Pau d'Alho. Existem, porem, na mesma região, espigões com uma vegetação, que indica menos fertilidade, caracterizada por *Araucaria*, *Vochysia* e rico desenvolvimento de *Pteridium aquilinum*, correspondendo este aspecto ás florestas mais pobres descritas por Maack (65). Uma perfuração num tal lugar perto de Orle revelou o lençol de diabásio mais proximo, a uma profundidade de cerca de 27 m. As encostas do espigão em maior proximidade do diabásio, não têm mais vegetação de *Araucaria*, mas sim a vegetação mais rica, já indicada. No *Aracaurietum* não pudemos fazer mui-

tas análises nem colher material suficiente para analisar. posteriormente. Só pudemos constatar que o pH no *Araucarietum* era próximo a 5. O solo era ácido. Nas partes mais baixas, férteis, manteve-se próximo do ponto neutro.

A explicação é simples: onde as raízes das árvores podem chegar perto do diabasio, tiram dele as substâncias nutritivas que, com as folhas caem sobre a superfície do solo, que o fertilizam e mantêm o pH próximo a 7. Onde as raízes não mais alcançam o diabasio, as árvores não podem mais impedir a lixiviação e, com a perda das bases, inicia-se a acidificação. Em tais regiões, tudo o que diminua a atividade de raízes profundas acelera o empobrecimento das camadas. Culturas com plantas de raízes profundas, como alfafa, podem porem substituir, ao menos em parte, o papel das raízes profundas de árvores, trazendo à tona as substâncias da profundidade. Provavelmente, estudos ulteriores vão evidenciar muitos fatos de importancia para a compreensão do desenvolvimento destes solos.

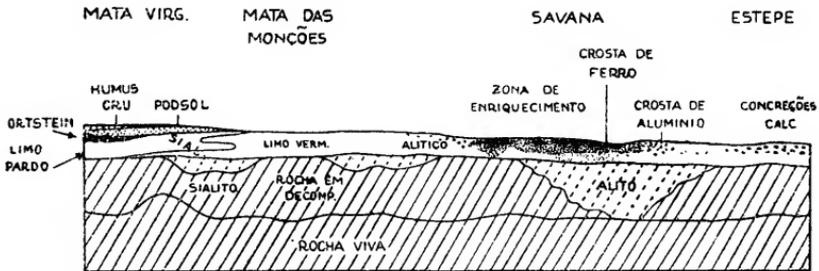


Fig. 58 — Esquema de solos tropicais segundo Harrassowitz, em grau de humidade decrescente, da esquerda para a direita.

Grandes áreas do Estado de São Paulo possuem, a pouca profundidade, idênticos lençóis de diabasio. O deflorestamento e a lixiviação subsequente tornaram a superfície esteril. As culturas atualmente existentes já perderam o contacto com as camadas férteis. A fertilidade da superfície, porém, poderia ser restabelecida por medidas adequadas.

**Esquema geral dos solos tropicais.** — Apresentamos, finalmente, um esquema no qual Harrassowitz (38) indica a distribuição dos 4 tipos mais importantes de solos tropicais (Fig. 58). Este esquema que reflete também as ideias de Vageler (Harrassowitz, 38, pag. 366) pode ser considerado como a concretização das ideias mais recentes da Pedologia. À esquerda aparece a floresta virgem com formação de humus cru, de podsol, de hardpan (Ortstein) sobre limos pardos. Se tais matas virgens, no Brasil meridional, existem em grande extensão, não o sabemos. Nas regiões húmi-

das do Amazonas parece que não faltam. As numerosas aguas pretas, afluentes do Amazonas, parecem derivar de tais solos. As florestas do sul do Brasil parecem corresponder mais ao tipo das florestas indicadas como "de monções". Estão sobre uma terra moderadamente vermelha e de teor de argila, ou areia, variavel. Mais para a direita, indicado como "savana" temos terras com uma zona de enriquecimento, aparecendo uma crosta de Ferro até, um pouco acima de outra, mais rica em Alumínio. O subsolo parece alítico e não mais sialítico, como nos casos antecedentes. Tais regiões parecem raras no Brasil meridional. Onde ha Cangas, como no norte de Minas (vide pag. 117), podem ser esperadas, mas o autor não conhece uma análise e descrição de tais occurrencias. O último tipo, denominado "estepe", indica concreções de cal. Tais concreções, muito descritas nas estepes norte-americanas só podem se formar onde falta lixiviação e onde não ha escoamento para um lençol subterraneo de agua. Na nossa região não podemos citar exemplos.

Todos estes 4 tipos dependem da humidade e os pedólogos tentam explica-los pela quantidade das precipitações, entrando nos seus cálculos o "fator das chuvas". A questão não é, porém, só de ordem climatológica, como sempre aparece nas apresentações dos pedólogos; depende, principalmente, da propria vegetação, que dispõe das chuvas como foi demonstrado, aqui, detalhadamente. Da vegetação tambem depende o grau de lixiviação.

O tipo das "matas virgens" da fig. 58, sem duvida, é o tipo que corresponde em condições naturais á lixiviação máxima. A floresta é incapaz de neutralisar os seus efeitos, as camadas superficiais perdem todas as bases, sendo podsolizadas. Mencionamos já (pag. 86) a grande quantidade de bases que anualmente o Amazonas carrega para o mar. Se a formação do Ortstein no subsolo é um fenomeno muito geral aí, só o futuro esclarecerá. O outro extremo é constituido pelas "estepes". Nas estepes verdadeiras não ha lixiviação para o exterior, falta o lençol subterraneo de agua e a pouca humidade que o solo contem tem movimento "interno". No limite inferior — que é o da rizosfera das Gramineas, etc. — acumula-se o calcareo, que destas regiões nunca é afastado por lixiviação. Tais coisas foram bem estudadas nas regiões áridas da America do Norte e o leitor encontra a literatura e um esquema eloquente em *Jenny* (50, pag. 210).

Os casos de matas "de monções" e de "savana" são intermediarios. As florestas do nosso interior são do tipo das primeiras, mas não dependem de monções e a humidade pode lhes ser trazida no verão ou — como acontece no sul — no inverno ou em qualquer estação. Ao empregar este nome, *Harrassowitz* pensou nas condições das Indias e das Indias Neerlandezas (l.c., pag. 363), não nas florestas do nosso clima. O essencial é que estas, como as das monções, não manifestam estratificação. Aqui, as

florestas neutralizam a lixiviação. Às vezes, como foi mostrado por *A. da Silveira* (108) esgotam, na época seca, toda a água, secando, então os rios. No nosso caso, longe de ser podsolizada, a superfície mostra-se ligeiramente mais rica em bases, como o revelam as análises citadas na pag. 119; o subsolo, sempre misturado e afogado pela fauna e flora, mantém-se homogêneo.

O tipo mais duvidoso é formado pelo denominado de "savana" dos autores citados. Segundo *Harrassowitz* (38, pag. 362) e *Vageler* (123) forma-se, em condições húmidas; a formação de laterito presuppõe forte lixiviação anterior da sílica, lixiviação esta que exige grande movimento e escoamento de água. De outro lado a concreção das crostas superficiais depende da falta de vegetação rica e que dá sombra. Provavelmente, como já mencionamos, tais condições ocorrem só em regiões deterioradas, influenciadas pelo homem, que removeu ou estragou a vegetação primitiva. Condições deste tipo determinaram na Palestina e na Mesopotâmia a formação de grandes crostas calcáreas, superficiais (Veja *Blanck*, 10). Uma vez formadas, tais crostas podem representar uma deterioração irremediável. As crostas não deixam mais entrar as águas de chuva.

Que as devastações pelo homem tiveram influência muito mais extensa do que geralmente supomos, foi documentado na vasta literatura resumida nas pags. 131-133. A deterioração pode ser comprovada pela existência, no solo, de água aproveitável mas não aproveitada, como no caso estudado por nós, à pag. 100. Que até em desertos de hoje podem ser encontradas águas subterâneas, pode-se ver na descrição de *Mortensen* (82).

## CONCLUSÃO

Uma sinópse do que aprendemos sobre os solos nos proporciona a compreensão da gênese dos solos tropicais, compreensão essa que não deixa de ter conseqüências práticas. Vimos que a deterioração tão rápida dos solos em climas quentes e húmidos tem as suas causas principais no seguinte:

1) — A grande profundidade dos solos distancia a rizosfera das plantas da rocha mater. Esta, geralmente abastecida de todos os elementos necessários à planta, muitas vezes não é mais atingida pelas raízes, de maneira que estes sais nem entram no regime da planta, nem voltam para a superfície da terra. Em tais condições, a forte lavagem das terras, pelas grandes precipitações, pôde-se efetuar livremente, arrastando aos poucos tudo que restou dos sais minerais na superfície, para as profundidades de onde finalmente são escoados.

2) — Esta lixiviação, em climas quentes, encontra menos resistência do que em temperados, visto a diferença das qualida-

des dos solos. Como vimos, o poder adsorvente das argilas tropicais é muito fraco, sendo também escassas as substâncias húmicas; cations e anions são retidos com pouca força.

Só depois de conhecer as causas da deterioração de nossos solos, poderemos combatê-las eficientemente.

O método primitivo consistia em cultivar os campos poucos anos depois da derrubada da mata, para abandoná-los ao reflorestamento natural, quando começassem a perder a fertilidade inicial. A densidade crescente da povoação nos impõe a escolha de outros métodos.

Restituir ao solo a sua fertilidade perdida por meio de adubação é um remédio que se recomenda só em certas ocasiões. Em culturas de pequena duração, com raízes pouco profundas, a adubação artificial será indicada especialmente em lugares próximos de centros de consumo, onde o preço de venda compense as despesas de adubação. Em outros casos, a lixiviação rápida e a profundidade da rizosfera podem tornar a eficiência da adubação duvidosa. O tratamento hoje em dia mais recomendado é a adubação verde, mediante plantas, de preferência Leguminosas, cultivadas em redor da cultura principal. A adubação verde tem a vantagem de proteger a superfície da terra contra a erosão e também contra a lixiviação. As raízes mantêm a terra fôfa e os restos orgânicos que provêm finalmente da sua decomposição agem no mesmo sentido, fornecendo ainda substâncias húmicas.

A estas vantagens sempre citadas, podemos acrescentar mais uma que pôde ser de importância cabal: plantas usadas para conservar e melhorar os solos podem ser muito eficientes, especialmente em condições tropicais, se tiverem raízes muito profundas. A alfafa (*Medicago sativa*), por exemplo, manda — como vimos á pag. 108 — as suas raízes para profundidades muito grandes. Autores francezes atribuem a esta planta o poder de enriquecer o solo em fósforo, o que provavelmente se explica por esta razão. A alfafa só pôde ser plantada em solos que não sejam ácidos. Sua cultura em tais condições no Brasil meridional, felizmente, aumenta de ano em ano. Provavelmente, não seria difícil encontrar para os solos ácidos também plantas com raízes muito profundas, entre as espécies que poderiam servir como adubo verde.

Os capítulos anteriores não foram escritos com a intenção de se fazer um resumo pedológico, resumo este que o leitor encontrará melhor nos proprios livros de Pedologia. Aqui, quizemos salientar os traços mais importantes do papel que os solos desempenham na Fitoecologia, papel esse encarado do modo como se apresenta aos olhos de um botânico.

Os pedólogos, quando orientados ecologicamente, apresentam os solos como uma condição de vida para as plantas. A vegeta-

ção — ou a falta desta — pode ser, entretanto, muitas vezes, a condição para a existência de certos tipos de solo.

\* \* \*

Ao terminar a 2.<sup>a</sup> parte e, com esta, a apresentação geral dos fatores ecológicos, desejamos repetir os nossos agradecimentos a todos que nos prestaram o seu valioso auxílio, especialmente aos Srs. Drs. Theodureto de Camargo, F. Hackemann, C. Silberschmidt e Luciano J. de Moraes que nos auxiliaram com indicações e fornecimento de bibliografia, e ao Sr. Dr. Mario G. Ferri, D. Mercedes Rachid e D. Maria Ignez da Rocha e Silva, que dedicadamente colaboraram na preparação do texto.

Não queremos esquecer as Casas Editoras indicadas no texto, que nos forneceram material de ilustração e, finalmente, a Tipografia que não se cansou em atender aos nossos desejos.

## RESUMO

Este trabalho é o segundo da série iniciada no Boletim anterior (1943) com o fim de reunir os fatos ecológicos mais importantes que influem sobre a vegetação em regiões tropicais e subtropicais como as do Brasil. Como as apresentações existentes de Ecologia se baseiam geralmente em observações de climas temperados, o autor teve a intenção de documentar detalhadamente os vários aspectos que distinguem a ecologia tropical, ao passo que os pontos já conhecidos foram brevemente resumidos.

Os primeiros capítulos apresentados neste Boletim terminam a 1.<sup>a</sup> parte correspondente aos Fatores climatológicos. No capítulo *Luz* foram salientadas as particularidades da iluminação solar nos trópicos e os seus efeitos sobre a assimilação e a periodicidade (fotoperiodismo) da vegetação.

Os outros fatores climáticos ( $O_2$ ,  $CO_2$ , vento) foram tratados resumidamente, faltando-nos dados distintivos importantes para a nossa vegetação.

A parte II apresenta as condições dos solos tropicais como o Botânico deve encará-las. Para a Ecologia tropical importa, de um lado, a grande rapidez com a qual se processa a decomposição da rocha mater, produzindo solos muito profundos. De outro lado, a decomposição origina solos que também qualitativamente diferem muito dos solos em climas temperados.

O lado qualitativo do problema foi estudado nos primeiros capítulos da parte II. Os últimos capítulos desta segunda parte dedicam-se principalmente ao comportamento da água, que, pela grande profundidade dos solos nos trópicos, toma uma feição especial. Foram apresentados dados para mostrar que as chuvas estivais podem ser armazenadas em grande quantidade. Os reservatórios invisíveis de água, assim formados, são da maior

importância para a vegetação, cujo comportamento aliás só pôde ser compreendido mediante estudos sobre a rizosfera das plantas. Tais estudos, feitos por este Departamento nas regiões consideradas como as mais sêcas do País (campos cerrados), mostram que a vegetação aí, tida geralmente como xerofítica, não carece de água no apogeu da sêca, desde que suas raízes possam atravessar os dois ou três primeiros metros de solo, que são os únicos atingidos pela sêca.

A possibilidade de acúmulo de tantas reservas de água pôde ser de grande importância em todas as regiões tropicais úmidas; no Brasil meridional a existência de tanta umidade acessível às plantas na profundidade dos solos de campos aparentemente áridos comprova que a vegetação atualmente existente não corresponde às condições naturais e não representa o climax para a região. A escassez da vegetação, deve-se, não á falta de água, mas ás queimadas anuais. E' difícil pronunciarmo-nos agora sobre qual seria aí o verdadeiro estado climax da vegetação, por não dispormos ainda de observações e experiencias neste sentido.

Como conclusão pratica mais importante foi salientado que a deterioração dos solos de climas quentes e úmidos se deve principalmente a duas causas: 1.º — a profundidade dos solos é tão grande que, muitas vezes, o contacto entre a rizosfera e a rocha mater é interrompido; como consequência disso, a lixiviação grande não é mais contrariada pela ação das plantas; 2.º — a qualidade das argilas formadas em regiões quentes e úmidas, caracterizadas pelo seu fraco poder adsorvente, bem como a escassez do humus, não permitem retenção dos ions dos sais necessários.

Como consequência prática vê-se que o melhor meio de combate á deterioração das terras seria a adubação verde; esta não só protege os solos contra a erosão e a lixiviação, mas, se aplicada com plantas de raízes profundas, pôde restituir ás camadas superficiais os sais retirados da profundidade.

## SUMMARY

This paper is the second of a series initiated in the preceding Bulletin (N.º 3, 1943), trying to assemble the most important ecological facts related with tropical and subtropical vegetation like that of Brasil. As the existent presentations of Ecology generally are based on observations and experiences of temperate climates, it was our purpose to give a detailed account of the various aspects that distinguish the tropical ecology. Facts already well known were briefly dealt with.

The first chapters of the present article finish up the I. part, concerned with the climatological factors. In the chapter on light were emphasized the peculiarities of the distribution of light in the tropics and its effects on assimilation and periodicity (pho-

toperiodism) of plants. The other climatic factors ( $O_2$ ,  $CO_2$ , wind) were considered briefly, on account of the lack of distinctive data on tropical vegetation.

Part II presents the conditions of tropical soils as a botanist sees them. In tropical ecology, on one side, the great rapidity of decomposition of bed rock, is important, developing soil layers of great depth. On the other hand the decomposition creates soils that qualitatively too, are much different from soils in temperate climate. The qualitative aspect of the problem was considered in the first chapters of part II.

The last chapters deal specially with water behavior which, due to the depth of the tropical soils, shows special features. New observations given by the author show that the summer rains can be stored in great quantities. Thus is formed an invisible water reserve of the greatest importance for the vegetation; the role of this water can be understood only by researches on the root systems of the plants. Such studies were undertaken by this Department in the regions considered as the driest of the country (campos cerrados). They show that the vegetation there, generally called xerofitic, does not lack water even in the climax of the dry season, provided that the roots pass through the first two or three meters of the soil, which are the only ones affected by the drought.

The possibility of such a great storage of water can be very important in all the humid tropical regions. In southern Brasil the existence of so much water accessible to the plants, in the deep layers of soils of apparently arid fields proves that the vegetation encountered does not correspond to the natural conditions and does not represent the regional climax. The scarcity of the vegetation does not result from scarcity of water, but is a consequence of the annual burning off of these lands. What should be the real climax of the vegetation can not yet be predicted, in view of the lack of data and observations on the subject.

The chapters on soil allow the important conclusion that the rapid deterioration of the soil in hot and humid climates is due principally to two causes: 1) — the depth of soils is so great that frequently the contact between the root systems and the bed rock is interrupted; in consequence of this, the great leaching is not counteracted by the activity of the plants; 2) — the clays formed in these hot and humid climates are characterized by a very poor adsorption power, which does not allow the retention of the ions of the necessary minerals. Scarcity of humus acts in the same way.

As a practical consequence it results that the best way to control soil deterioration would be green manure; this would not only protect the soils against erosion and leaching, but if plants are chosen with deep root systems, these could return to the superficial layers the minerals absorbed from greater depth.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — ANDREWS, F. W. — 1940 — A study of nutt grass (*Cyperus rotundus* L.) in the cotton soil of Gezira. — *Annals of Botany*, N. S., vol. IV, 13.
- 2 — BACKHEUSER — 1926 — Breve noticia sobre a geologia do Distrito Federal. *An. Estatística Cid. Rio de Janeiro*, Vol. 5, 1.
- 3 — BAVER, L. D. — 1940 — Soil physics — New York.
- 4 — BAVER, L. D. — 1942 — Retention and movement of soil moisture — *Hydrology*, p. 364.
- 5 — BENECKE, W. und JOST, L. — *Pflanzenphysiologie*, I, 4a. ed. — Jena.
- 6 — BENNET, H. H. — 1939 — Soil conservation. New York.
- 7 — BETIM, A. — 1930 — O tectonismo da Serra do Mar. — *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2, p. 147.
- 8 — BIRAND, H. A. — 1938 — Untersuchungen zur Wasseroekologie der Steppenpflanzen bei Ankara. — *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 87, 1, p. 93.
- 9 — BLANCK, E. — 1930 — Die Mediterranroterde (terra rossa). *in* Blank, E. — *Handbuch der Bodenlehre*, III, p. 194 — Berlin.
- 10 — BLANCK, E. — 1930 — Krustenboden, *in* Blanck, E. — *Handbuch d. Bodenlehre*, III, p. 352.
- 11 — BRANNER, J. C. — 1896 — Decomposition of rocks. — *Bull. Geolog. Soc. America*, 7, 255.
- 12 — BRANNER, J. C. — 1902 — Geology of the North-east coast of Brazil. — *Bull. Geolog. Soc. America*, 13, 41.
- 13 — BRASS, L. J. — 1941 — The 1938/39 expedition on the snow mountains, of Netherlands' New Guinea. — *Journ. Arnold Arboret.*, XXII, 3.
- 14 — BRAUN-BLANQUET, J. und JENNY, H. — 1926 — Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. — *Neue Denkschrift Schweiz. Naturf. Ges.* 63, 175.
- 15 — BRIGGS, L. J. and SHANTZ, H. L. — 1912 — The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. — *U. S. Dept. Bur. Plant Industry, Bull.* 230.
- 16 — CALDWELL, I. S. — 1913 — The relation of environmental conditions to the phenomenon of permanent wilting in plants. — *Physiol. Res.* 1, 1.
- 17 — CAMARGO, T. e VAGELER, P. — 1936/37 — Analyse de solos, I e II — *Bols. Técnicos ns. 24 e 31 do Inst. Agron. de Campinas.*
- 18 — CAMARGO, T. e VAGELER, P. — 1938/40 — Os solos do Estado de São Paulo. I, II, III — *Bols. Técnicos ns. 31, 40 e 70 do Inst. Agron. de Campinas.*
- 19 — CAMARGO, T. e CORREA DE MELLO, P. — 1928 — Vergleichsstudium ueber Saturationszustand und die austauschbaren Basen der roten Erde im Urzustand und in 30 jaehriger Kaffeekultur. — *Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, pag. 189. Berlin.
- 20 — CAVALCANTI, J. — 1941 — Geografia urbana e sua influênciã sobre o saneamento das cidades. — *Rev. Bras. Geografia*, III, n.º 1.

- 21 — CHAPMAN, V. J. — 1938 — Studies in salt marsh-ecology. *Ecology*, 26, 144.
- 22 — CHAVANNE, J. — 1879 — Die Sahara — Viena.
- 23 — CLARKE, F. — 1920 — The data of Geochemistry. — United States Geological Survey, Bull. 695, 4a. ed..
- 24 — CONSIGNY, A. — 1937 — L'avenir économique de nos possessions d'Outre-Mer compromis par les feux de brousses, de savane et de forêt. — *Rev. de Bot. Appliquée et d'Agriculture tropicale*, 17, n. 187.
- 25 — CRANDALL, R. — 1923 — Geografia, geologia, suprimento d'água, transportes e açudagem. — Publicação n. 4, Série I.D.E. — Insp. Fed. Obras contra Secas. — Ministério da Viação.
- 26 — CUNHA FREIRE, S. L. — 1941 — A erosão dos solos. — São Paulo. Diretoria de Publicidade Agrícola — Secretaria da Agricultura. São Paulo.
- 27 — DANKELMAN, von — 1884 — Die Bewoelkungsverhaeltnisse des suedwestlichen Afrikas. — *Meteorol. Zeitschrift*, 1884, p. 301.
- 28 — DUSEN, P. — 1909 — Beitrage zur Flora des Itatiaya. — *Ark. f. Bot.*, vol. 8, n.º 7.
- 29 — ENDELL, K. — 1937 — Pesquisa radioscópica de argilas e sua importância técnico-econômica. — *Bol. techn. n.º 31 do Inst. Agronom. de Campinas*.
- 30 — FEHER, D. — 1938 — Untersuchungen ueber die biodynamischen Grundlagen der Bodenatmung. — *Zeitschrift für Forst und Jagdwesen*, Jahrg. LXX, H-2.
- 31 — FERRI, M. G. — 1943 — Observações sobre Lagoa Santa. — *Ceres*, 4, n.º 21 — Viçosa.
- 32 — FERRI, M. G. — 1944 — Transpiração de plantas permanentes dos "Cerrados". — *Bols. Fac. Fil. Cienc. e Letras, Botânica*, n.º 4.
- 33 — FRAZIER, J. W. — 1943 — Nature and rate of development of root system of *Convolvulus arvensis*. — *Bot. Gaz.* 104, nr. 3, p. 417.
- 34 — FRENGUELLI, J. — 1940 — Fitogeografia argentina. — *Publicaciones del Museo de La Plata*, n.º 2. La Plata.
- 35 — GOLDSCHMIDT, V. M. — 1934 — Geochemie, in *Handwoerterbuch der Naturwissenschaften.*, IV, 868. 2a. ed.
- 36 — HANN, J. — 1898-1911 — *Handbuch der Klimatologie*, 3a. ed. Stuttgart.
- 37 — HANSTEEN CRANNER, B. — 1922 — Zur Biochemie u. Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen. *Meld. fr. Norges Landbrukshoiskole*, 2.
- 38 — HARRASSOWITZ, H. — 1930 — Boeden der tropischen Regionen — in E. Blanck, *Handbuch d. Bodenlehre*, III. — Berlin.
- 39 — HARDY, F. — 1942 — The soils of South America. — *Chron. Bot.* VII, 5, pag. 211.
- 40 — HEDIN, S. — 1909 — Transhimalaja, I, II. — Leipzig.
- 41 — HEIDE, F. — 1933 — Eruptivgesteine, pneumatolytische Gesteine. *Handw. der Naturwissenschaften*, III, pag. 809. 2a. ed.
- 42 — HOEHNE, F. C. — 1930 — Araucarilandia. — *Dir. Publicidade da Secretaria da Agricultura de São Paulo*.
- 43 — HOAGLAND, D. R. and BROYER, T. L. — 1934 — Symposium of the American Association for the Advancement of Science. — Berkeley, California.
- 44 — HUBER, B. — 1934 — Wasserumsatz und Stoffbewegungen. — *Fortschr. der Bot.*, 3, p. 95.

- 45 — IHERING, H. von — 1907 — A distribuição de campos e matas no Brasil. — Rev. Museu Paulista, vol. 7, 125.
- 46 — JACOB, A. — 1932 — Der Basenhaushalt des Ackerbodens — Journal f. Landwirtschaft, 80, H. 4.
- 47 — JARVIS, C. S. — 1942 — Floods — in Hydrology, pag. 531, New York and London.
- 48 — JENNY, H. — 1929 — Relation of temperature to the amount of nitrogen in soils. — Soil Sci., 27, nr. 3, 168.
- 49 — JENNY, H. — 1941 — Factors of soil formation. — New York and London.
- 50 — JENNY, H. — 1942 — Base exchange in soils and in disperse systems. — Chronica Bot., VII, n.º 2, p. 67.
- 51 — KATZER, F. — 1933 — Geologia do Est. do Pará — Bol. Museu Goeldi, IX, 1.
- 52 — KLEEREKOPER, H. — 1941 — Estudo limnológico da bacia do rio Mogi-Guaçu, I. — Div. Caça e Pesca. Ministério da Agricultura.
- 53 — KNOCHE, W. — 1937 — Der Einfluss von Vegetationsbränden auf die Witterung. — Meteorol. Zeitschrift, H. 7.
- 54 — LAATSCH, W. — 1938 — Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. — Dresden.
- 55 — LAING, H. E. — 1940 — The composition of the internal atmosphere of Nuphar Advenum and other water plants. — Am Journ. Bot. 27, 861.
- 56 — LAMEGO, A. R. — 1936 — O maço do Itatiaia e regiões circundantes. Serv. Geol. e Mineralógico, Bol. 88.
- 57 — LANE POOLE — 1925 — Forest resources of Papua and New Guinea, 65, 66.
- 58 — LINDMAN, C. A. M. — 1906 — A vegetação no Rio Grande do Sul — Porto Alegre.
- 59 — LOEFGREN, A. — 1890 — Contribuições para a botânica paulista Região campestre. — Bol. Com. Geogr. e Geolog. do Est. de São Paulo, n.º 5.
- 60 — LOEFGREN, A. — 1898 — Ensáio para uma distribuição dos vegetais dos diversos grupos florísticos no Est. de São Paulo. Bol. Com. Geogr. e Geolog. do Est. de São Paulo, n.º 11.
- 61 — LÜDI, W. und LUZZATO, G. — 1934 — Vergleichende Untersuchung zweier Methoden zur Physikalischen Bodenanalyse. Ber. u. d. Geobot. Forschungsinstitut Ruebel in Zurich, f. d. Jahr. 1934.
- 62 — LUND, P. W. — 1835 — Bemaerkingen over Vegetationen paa de indre Hogsletter af Brasilien, især i plantehistorisk Henseende Kgl. Danske Videnskab Selsk. Skrifter, VI, p. 145.
- 63 — LUNDEGARDH, H. — 1930 — Klima und Boden. — 2.a ed. Jena.
- 64 — LUNDELL, C. L. — 1942 — The vegetation and natural resources of British Honduras. — Chronica Bot., 7, H. 4, 169.
- 65 — MAACK, R. — 1941 — Algumas observações a respeito da existência e da extensão do arenito superior São Bento ou Caiu no Estado do Paraná. — Arquivos do Museu Paranaense. Vol. 1.
- 66 — MAGARINOS TORRES, F. E. — 1936 — Contribuição para o Estudo Hydrométrico do rio Parahyba do Sul (Parte I e II. — Diretoria de Estatística da Produção, Minist. Agricultura.
- 67 — MARTONNE de, E. — 1909 — Traité de Géographie Physique.
- 68 — MATTSON, S. — desde 1929 — The laws of soil colloidal behavior Soil Science, 28, 179 e segs.

- 69 — MATTHEI, A. — 1935 — Uebersichtskarte der Bodentypen Brasiliens. — *Ern. d. Pfl.* 31 pag. 75.
- 70 — MAULL, O. — 1930 — Vom Itatiaya zum Paraguay — Leipzig.
- 71 — MAXIMOV, N. A. — 1935 — The plant in relation to water. — Londres, 2a. ed.
- 72 — MAXIMOV, N. A. — 1938 — Plant Physiology. — New York e Londres.
- 73 — MEINZER, O. E. — 1927 — Plants as indicators of ground water. — U. S. Geol. Survey, Water Supply Paper 577.
- 74 — MEINZER, O. E. — 1942 — Ground water — Hydrology, II, p. 385.
- 75 — MELIN, E. — 1925 — Untersuchungen ueber die Bedeutung der Baummykorrhiza. — Jena.
- 76 — MELLO BARRETO, H. L. — A flora do Canga na Serra do Rola Moça (trab. apres. ao IX Congresso de Geografia em Florianópolis em 1940, em vias de publicação).
- 77 — MICHELMORE, A. P. G. — 1939 — Observations on tropical African Grasslands. — *Journ. Ecology*, 27, 282.
- 78 — MORAES REGO, L. F. — 1935 — Considerações preliminares sobre a gênese e a distribuição dos solos no Est. de São Paulo. *Geografia* — ano I, n.º 1, pag. 10.
- 79 — MORAES REGO, L. F. — A Geologia do Estado de São Paulo. *Boletim D.E.R.*, S. Paulo, III, 2 e segs.
- 80 — MORAES REGO, L. F. — 1938 — Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira. — *Bol. 18 do Inst. Pesq. Technol. de São Paulo*.
- 81 — MORAES, L. J. de, — 1924 — Serras e Montanhas do Nordeste. *Publ. n.º 58, Serie I. D. Insp. Fed. de Obras Contra as Secas. Minist. Viação*.
- 82 — MORTENSEN, H. — 1930 — Die Wuestenboeden — *in* Blanck, E. — *Handbuch der Bodenlehre*, vol. 3, p. 352.
- 83 — MYERS, J. G. — 1936 — Savannah and forest vegetation of the interior Guiana plateau. — *Journ. Ecology*, 24, 162.
- 84 — NEEDROW, W. W. — 1937 — Studies on ecology of roots. *Ecology*, 18, 27.
- 85 — OLIVEIRA, G. M. de A. — 1940 — Salitre no Piauí — *Bol. 47, Dep. Nacional da Prod. Mineral — Minist. Agricultura*.
- 86 — OLIVEIRA, E. — 1930 — Solos — *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2, pag. 227.
- 87 — OLMSTED, CH. E. — 1937 — Vegetation of certain sand plains of Connecticut. — *Bot. Gaz.* 99, 2, pag. 209.
- 88 — PARODI, L. R. — 1939 — Pourquoi ne existen Bosques naturales en la llanura bonaerense si los arboles crescen en ella cuando se los cultiva? — *La Prensa de Buenos Aires*, 18 de Junio, 1939, cit. por Frenguelli.
- 89 — PAVLICHENKO, T. K. — 1937 — Quantitative study of the entire root systems of weed and crop plants under field conditions. *Ecology*, 18, 1.
- 90 — PULLE, A. A. — 1938 — Exploração Botânica de Surinam — *An. 1.º Congr. Sul-Am. Bot.* I, p. 239.
- 91 — RAMANN, E. — 1911 — *Bodenkunde*, 3a. ed. Berlin.
- 92 — RAWITSCHER, F. — 1942 — Problemas de Fitoecologia com considerações especiais sobre o Brasil Meridional. — *Bols. Fac. Fil. Cienc. e Letras, Botânica* n.º 3.
- 93 — RAWITSCHER, F., FERRI, M. G. e RACHID, M. — 1943 — Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil Meridional. — *An. Acad. Bras. Cienc.*, XV.
- 94 — RICH, J. L. — 1942 — The face of South America. — New York.

- 95 — ROMELL, L. G. — 1922 — A ventilação do solo como fator ecológico (em sueco, com resumo extenso em alemão). Meddelanden Fran Statens Skogsforsörksanstalt, H. 19, n.º 2.
- 96 — ROMELL, L. G. — 1935 — Ecological problems of the humus layer in the forest. Cornell University Agric. Exp. Stat. Memoir. 170.
- 97 — ROTMISTROFF, W. G. — 1926 — Das Wesen der Duerre. — Dresden.
- 98 — SCAETTA, H. — 1936 — La genèse climatique des sols montagnards de l'Afrique Centrale. Les formations végétales qui en caractérisent les stades de dégradation. — Mém. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Scienc. Nat. et Méd. Coll. in 4.º, 5, fasc. 1.
- 99 — SCHIMPER, A. F. W. — 1898 — Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. — Jena. Ed. inglesa, Oxford, 1903.
- 100 — SCHIMPER, A. F. W. — 1935 — Idem, idem — 3.a ed. alemã, por Faber. — Jena.
- 101 — SCHMIEDER, O. — 1927 — The pampa, a natural or culturally induced grassland? Univ. Calif. Public. in Geography, II, 8, 255, cit. por Frenguelli.
- 102 — SCOTT, J. D. — 1934 — Ecology of certain plant-communities of the central province, Tanganyika Territory. — Journ. Ecology, 22, 177.
- 103 — SEKERA, F. — 1932 — Die Nutzbarkeit des Bodenwassers f.d. Pflanze. — Zeitschr. f. Pflanzen Ernaehrung u. Duengung, A 26, 27.
- 104 — SETZER, J. — 1941 — Os famosos milliequivalentes. — Rev. Agr., XVI, ns. 5-6.
- 105 — SETZER, J. — 1941 — As características dos principais solos do Est. de São Paulo. — Bragantia, I, 4.
- 106 — SETZER, J. — 1941 — Levantamento Agro-Geologico do Est. de São Paulo.
- 107 — SHAW, E. B. — 1936 — The New Foundland Forest Fire of August 1935. — Monthly Weather Review, 1936, p. 171.
- 108 — SILVEIRA, A. A. da — 1923 — Fontes, chuvas e florestas. Belo Horizonte.
- 109 — SMALL, H. L. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Piauhy e parte do Ceará. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 32, Serie I. D., Minist. Viação.
- 110 — SMALL, H. L. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Ceará e parte do Piauhy. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 25, Serie I. D., Minist. Viação.
- 111 — SOPPER, R. H. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Rio Grande do Norte e Parahyba. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 26, Serie I. D., Minist. Viação.
- 112 — SOPPER, R. H. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea em Sergipe e no Nordeste da Bahia. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 34, Serie I. D., Minist. Viação.
- 113 — STALFELT, M. G. — 1937 — Die Bedeutung der Vegetation im Wasserhaushalt des Bodens (Svenska Skogsvardsfoer. Tidskr. 161) — referido em Fortschritte der Botanik, 7, 255, 1937/38.
- 114 — STEENIS, van, C. G. G. J. — 1936 — Cycles of Drought and Reafforestation in the U. S. A. seen in the light of a new bo-

- tanical hypothesis on the origin of deserts in general. — *Bull. Jard. Bot. Buitenzorg*, III, 14, 50.
- 115 — TAYLOR, L. D. — 1942 — Influence of oxygen tension on respiration, fermentation and growth in wheat and rice. — *Am. Journ. Bot.*, 29, 721.
- 116 — TERZAGHI, K. — 1942 — Groundwater and soil moisture — *Hydrology*, p. 331.
- 117 — THOMAS, A. S. — 1942 — Ecological factors and indicator plants in tropical Africa. — *Chronica Botanica*, VII, 71.
- 118 — TREWARTHA, G. T. — 1937 — An introduction to Weather and Climate. — New York.
- 119 — VAGELER, P. and ALTEN, F. — 1931 — Boeden des Nil und Gash, — *Zeitschr. f. Pflanzenernaer.*, Duengung u. Bodenkunde, 21
- 120 — VAGELER, P. — 1932 — Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens. — Berlin.
- 121 — VAGELER, P. — 1936 — Relatório anual de 1935 da Seção de Solos do Inst. Agronom. de Campinas.
- 122 — VAGELER, P. — 1938 — Pontos de vista fundamentais para o levantamento agro-geológico do Est. de São Paulo.
- 123 — VAGELER, P. — 1938 — Grundriss der Tropischen und Subtropischen Bodenkunde, 2a. e. — Berlin.
- 124 — WAKSMAN, S. A. and IYER, K. R. N. — 1932 — Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of humus, I, II. — *Soil Science*, 34, pags. 43 e 71.
- 125 — WALTER, H. — 1939 — Grasland, Savanne und Busch der ariden Teile Afrikas in ihrer oekologischen Bedingtheit. — *Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik*, 87, H. 5, p. 95.
- 126 — WARING, G. A. — 1912 — Supprimento dagua no Nordeste Brasileiro. — *Publ.* 23, Serie I. D., Insp. Fed. Obras contra as Secas. — Minist. Viação.
- 127 — WARMING, E. — 1909 — Lagoa Santa (trad. por Loefgren, A.). — Belo Horizonte.
- 128 — WARTH, H. — 1905 — *Geol. Mag.*, in Meigen, W. — *Geol. Rdsch.* 2, 202, 1911.
- 129 — WASHBURNE, Ch. W. — 1930 — Petroleum Geology of the State of São Paulo. — *Bol.* 22, Com. Geografica e Geol. do Est. de São Paulo. (Trad. para o portuguez em 1939).
- 130 — WEAVER, J. E. and CLEMENTS, F. E. — 1938 — *Plant Ecology*. — 2a. ed., New York e Londres.
- 131 — WEINSCHEK, E. — 1924 — *Petrographisches Vademekum*. — Freiburg.
- 132 — WENT, F. W. — 1943 — The regulation of plant growth. — *American Scientist*, 31, 3.
- 133 — WETTSTEIN, R. R. v. — 1904 — *Vegetationsbilder aus Suedbrasilien*. — Leipzig e Viena.
- 134 — WHITE, W. N. — 1932 — A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. — U. S. Survey, Water-Supply Paper 659-A.
- 135 — WIESSMANN, H. — 1926 — *Agrikulturchemisches Praktikum*. — Berlin.



TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS PERMANENTES  
DOS

“CERRADOS”

(Tese de doutoramento)

por

*Mario Guimarães Ferri*



*À minha esposa*

*A meus pais e irmãos*

*A meus mestres e amigos*



## INDICE

	<i>Pág.</i>
Introdução .....	161
O clima de Emas .....	163
A vegetação do cerrado de Emas .....	169
O método empregado para o estudo da transpiração .....	172
Pesagem rápida .....	172
Infiltração .....	175
Marcha diária da transpiração .....	176
Comportamento dos estômatos nas folhas "in situ" .....	207
Deficit de saturação .....	211
Transpiração cuticular .....	212
Conclusões .....	214
Resumo .....	219
Summary .....	220
Bibliografia .....	222



## TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS PERMANENTES DOS "CERRADOS"

### 1) — *Introdução*

A necessidade de estudos ecológicos que nos esclareçam sobre o comportamento das plantas brasileiras em relação ao fator água, de ha muito se faz sentir e foi salientada recentemente por Rawitscher (31). Tais estudos, e especialmente êles, poderão projetar alguma luz sobre velhos problemas de Fitoecologia que bem de perto interessam ao Brasil, como por exemplo a tão controversa, mas ainda não solucionada questão da origem dos campos cerrados.

Muitos autores pensam que êsses campos existem graças a causas naturais, climáticas ou edáficas. Em oposição outros acham que os campos, pelo menos muitos dêles, têm a sua existência condicionada por causas acidentais, direta ou indiretamente ligadas à atividade humana, como derrubadas, queimadas, etc.

Ampla discussão sobre o assunto se encontra referida por Frenguelli (6) e pelo autor (5) que apresentam os prós e os contras sobre as idéias emitidas pelos vários autores.

Problemas como êsse, além do enorme interesse teórico que apresentam, ligam-se a questões de ordem econômico-social muito importantes: se ficar demonstrado, por exemplo, que a existência de campos cerrados é freqüentemente devida a causas acidentais, será possível obter reflorestamento espontâneo de zonas muito extensas do nosso País com o simples afastamento dessas causas.

O balanço ou economia d'água em relação à planta, abrange várias etapas, a saber: a entrada da água para a planta (absorção); o seu transporte para as regiões de consumo (condução) e a sua devolução para o meio (transpiração). Todos êstes assuntos são amplamente considerados em modernos compêndios, como os de Maximov (25) e Weaver e Clements (47). Rawitscher (32) discute especialmente os assuntos que mais de perto interessam ao Brasil meridional.

O estudo da economia d'água apresenta inúmeros problemas, iniciando-se com a determinação das reservas existentes nas diversas camadas de solo onde se encontrem raízes. Isso só, porém, não basta, pois que nem toda a água contida no solo pode ser

retirada pelas raízes. Quando as reservas de água descem abaixo de um certo limite, as partículas de solo as mantêm com forças tão grandes, que mesmo os maiores valores osmóticos encontrados nos pêlos absorventes são incapazes de vencer. É necessário, por conseguinte, convenecer, as frações de água do solo que podem ser aproveitadas pelas diferentes espécies vegetais.

Outra questão é verificar se a água absorvida é eficazmente conduzida.

Quando a absorção ou a condução são pouco eficientes, as quantidades de água aduzidas às folhas são insuficientes para compensar as perdas pela transpiração (balanço negativo). A planta, neste caso, ou limita a sua transpiração fechando os estômatos, ou, quando não pode reduzi-la suficientemente, apresenta um deficit na sua saturação que se manifesta pela perda de turgescência das folhas (murchamento). Quando tal deficit ultrapassa um certo limite, variável para cada espécie, o vegetal morre.

Se a planta transpira com nenhuma ou pouca restrição, durante todo o dia, sem apresentar um grande deficit de saturação, isso nos indica claramente, não só que no solo ha água, mas ainda que esta é absorvida e conduzida eficazmente.

Stocker (43) que modelarmente estudou a economia d'água de plantas das estepes húngaras, obteve resultados muito interessantes. Sob as mesmas condições, ao mesmo tempo, plantas diferentes podem apresentar comportamento bem diverso: umas podem transpirar livremente, sem nenhuma restrição, mesmo nas épocas e nas horas mais sêcas. A curva de transpiração destas plantas acompanha perfeitamente a curva da evaporação de uma superfície líquida, livre. Outras espécies, nas horas críticas, fecham seus estômatos, ficando somente com a transpiração cuticular ou, pelo menos, diminuem muito a transpiração, quando o fechamento dos estômatos não é completo. A curva de transpiração dêste 2.º tipo de plantas sobe paralelamente à curva da evaporação, até quando os estômatos comecem a se fechar, momento em que ela desce, embora a curva de evaporação continue subindo. O fechamento dos estômatos permite um reabastecimento de água e agora êles podem novamente se abrir afim de que a planta, aproveitando a luz ainda existente, realize a fotossíntese. Essa reabertura dos estômatos explica um segundo máximo que a curva de transpiração pode apresentar em tais casos, antes de descer definitivamente, à tardinha, quando também a evaporação livre decresce. Em condições mais severas de sêca, estas plantas finalmente não mais abrem os estômatos durante dias inteiros e até semanas, ao passo que as do primeiro tipo continuam com transpiração forte.

A explicação para a existência destes dois tipos tão diferentes de comportamento de plantas da mesma região e sob as mesmas condições, em relação ao fator água, reside no seguinte: as

primeiras possuem raízes muito profundas que exploram as camadas do solo que pouco ou nada são afetadas pela seca; as outras só possuem raízes superficiais, de sorte que nas horas de transpiração muito intensa a água falta, sobrevindo então o fechamento dos estômatos.

\* \* \*

Nossos estudos foram feitos nos campos cerrados de Emas, perto de Pirassununga e numa pequena comunicação preliminar (34) já salientamos alguns dos fatos mais interessantes: o solo tem uma profundidade de aproximadamente 18 ms. onde se encontra o lençol freático. Dêstes 18 ms. secam somente os 2 ou 3 ms. mais superficiais. A maioria das plantas tem suas raízes mais profundas, penetrando as de *Andira humilis* até o lençol. A transpiração destas plantas está em conformidade com as reservas de água existentes: os estômatos ficam, durante todo o dia, grandemente abertos, transpirando livremente, não sendo constatado um grande deficit de saturação, mesmo nas horas e nos dias mais secos.

O presente trabalho apresenta mais detalhadamente as questões relacionadas com a transpiração. Abrange duas séries de experiências realizadas, a primeira no começo (17 de Junho a 3 de Julho, 1943) e a segunda no fim (27 de Agosto a 1.º de Setembro, 1943) da estação seca. Sua realização só foi possível porque contamos com a colaboração de vários Institutos e pessoas. Os "Fundos Universitários de Pesquisas" contribuíram financeiramente para o desenvolvimento deste trabalho e por isso somos gratos aos seus dirigentes. Os Drs. Alcibiades Marques, Almir Peracio e Otto Schubart, respectivamente, diretor, ex-diretor e zoólogo da Estação Experimental de Caça e Pesca de Emas, proporcionaram-nos todas as facilidades que solicitamos. O Snr. Joaquim Franco de Toledo, do Departamento de Botânica do Estado, auxiliou-nos na classificação de várias espécies. A todos expressamos aqui o nosso reconhecimento. Queremos também agradecer aos diversos funcionários do Departamento de Botânica da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, o auxílio que nos prestaram. E, por fim, a nossa maior gratidão a quem orientou todo o desenvolvimento deste trabalho: o Prof. Felix Rawitscher.

## 2) — O Clima de Emas

Emas, perto de Pirassununga (Estado de São Paulo), com uma altitude de cêrca de 575 ms., encontra-se a 4º 11' de longitude W do meridiano do Rio de Janeiro e a 21º 56' de latitude S. Desde poucos anos somente, conta com um posto meteorológico, de sorte que ainda não possui longas séries de observações. Emas, porém, tem um clima que pouco difere do de várias cidades circunvizinhas que possuem dados climatológicos mais extensos, como Ri-



Fig. 1: Em cima, vista do cerrado de Emas e situação do nosso laboratório; em baixo, vista mais detalhada do mesmo.

beirão Preto, Rio Claro, Piracicaba e Araras. Todas estas cidades, aliás, têm o clima que caracteriza, de um modo geral, todo o interior do Estado de São Paulo e que, com exceção de invernos um pouco mais frios, não difere muito do clima descrito por Warming (46) para Lagoa Santa, mais ao norte.

Sobre os detalhes do andamento diurno dos fatores climatológicos no interior do estado, possuímos, porém, poucos dados. No entretanto, como esses são dados de grande significação para o presente estudo, apresentamos aqui, em alguns gráficos, os mais importantes obtidos no decurso dos nossos trabalhos.

Todas as observações que fizemos, diariamente, foram realizadas no campo em estudo, servindo como abrigo e para sombreamento dos aparelhos, um telhado feito com o fim de proteger o poço de que nos servimos para as observações da água subterrânea (Fig. 1).

Os nossos dados referem-se, por conseguinte, às condições de sombra onde também foram feitas as observações sobre a transpiração.

A temperatura e a humidade relativa foram determinadas mediante os termômetros seco e húmido. Dispensamos as observações sobre o vento, pois é sabido que dentro da vegetação tais dados se tornam muito variáveis e incertos.

O fator mais importante é a evaporação cujos valores foram determinados com o evaporímetro de Piche. O disco de papel mata-borrão verde do nosso aparelho tinha uma superfície de 36, 30 cms.<sup>2</sup>, contando-se ambas as faces evaporantes. Como explicou Rawitscher (31), o andamento da evaporação, assim determinado, não pode ser comparado diretamente com a transpiração de uma fôlha, influindo muito na ventilação, a posição e a mobilidade das superfícies evaporantes. Os valores obtidos, porém, apesar de relativos, refletem perfeitamente as condições gerais da evaporação no campo estudado, à sombra, durante as horas dos dias e durante os dias dos períodos que nos interessam. Esses valores são expressos, em nossos gráficos, em miligramas de água evaporada por minuto.

Simple observações da humidade relativa ou do deficit de saturação não seriam suficientes, uma vez que a evaporação depende também de outros fatores, especialmente dos movimentos do ar.

Nosso gráfico 1 — escolhido entre os que foram estabelecidos diariamente — apresenta o andamento da temperatura, da humidade relativa e da evaporação num dia típico de inverno. Trata-se de um dia do início do inverno, que nesta região coincide com o período da sêca.

A temperatura apresenta inicialmente valores muito baixos que crescem, a princípio lentamente, depois com maior rapidez, sendo o máximo valor desse dia, 24,6° C., atingido às 15 horas.

Esta é a hora em que, geralmente, a temperatura culmina; o máximo pode ser um pouco superior ao indicado neste gráfico e o maior por nós observado neste período, foi de 27,4° C., às 15 horas do dia 30-6-1943. Às 17 horas, a temperatura é ainda bastante elevada (23° C). O que nosso gráfico, porém, não mostra é que, deste momento em diante, a temperatura cai rapidamente, podendo, durante a noite, ser constatados valores bem próximos (acima ou abaixo) de zero.

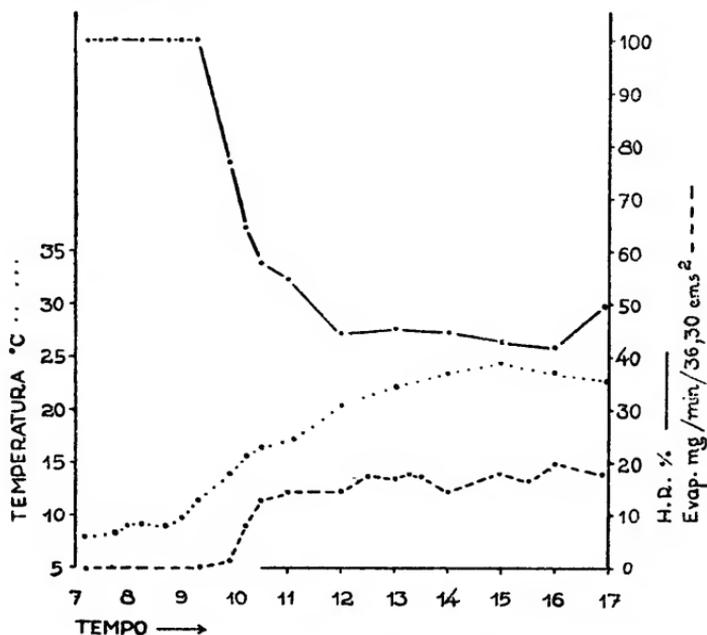


Gráfico 1: Andamento da temperatura, humidade relativa e evaporação, num dia do início da época seca (Emas, 28-6-1943).

A humidade relativa, nas primeiras horas desse dia, ficou no ponto de saturação. O nevoeiro atrasou o aparecimento do sol e o campo esteve coberto de orvalho até bem tarde: 9 1/2 horas aproximadamente. A partir de então, a humidade relativa começa a decrescer, sendo sua curva inversa à da temperatura. A menor humidade relativa, nesse dia, foi de 42 %, às 16 horas. Humidades relativas muito menores foram constatadas por nós: 21 %, por exemplo, às 16 horas do dia 26-6-1943. Deste momento em diante, a humidade começa novamente a crescer, ficando a

atmosfera, durante toda a noite, geralmente saturada ou muito perto desse estado.

A terceira curva do nosso gráfico mostra o andamento da evaporação. Enquanto a humidade relativa é de 100 %, nenhuma evaporação existe. Logo que aparece um deficit de saturação na atmosfera, inicia-se a evaporação. À medida que esse deficit se acentua e que a temperatura sobe, a evaporação se intensifica. Frequentemente, constata-se grandes oscilações dos valores da evaporação. Tais oscilações, especialmente observadas entre 11 e 16 horas aproximadamente, são ocasionadas pelo vento intenso que, de um modo intermitente, se apresenta com certa regularidade nesse periodo. A partir de 16 horas, geralmente, a evaporação assume valores cada vez menores, para ser nula, ou quasi nula, durante toda a noite. Vemos, assim, que o periodo de eva-

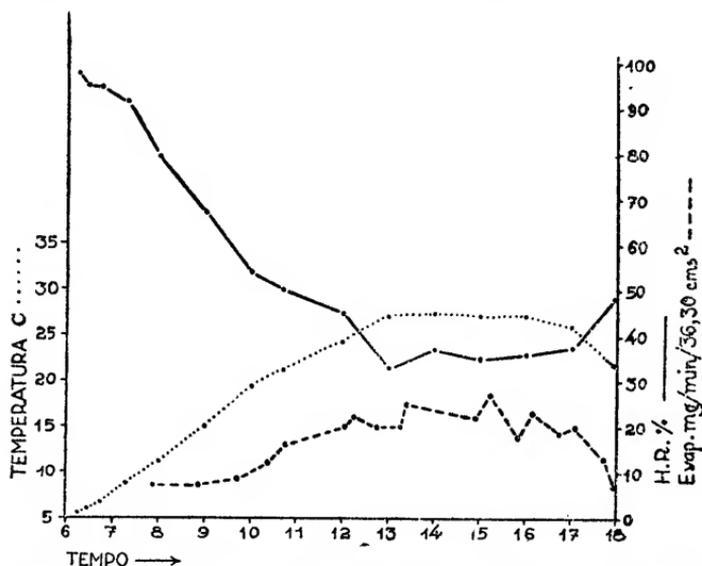


Gráfico 2: Andamento da temperatura, humidade relativa e evaporação, num dia do fim da estação seca (Emas, 31-8-1943).

poração é restrito a poucas horas do dia (7-8 horas) e, como já foi mencionado na publicação anterior citada (34), isto contrasta com o que se observa nas regiões secas até agora mais estudadas, da América do Norte, do Mediterrâneo, da Húngria e da Rússia meridional, onde a evaporação se processa durante um periodo de tempo duplo, na época seca que nestas regiões coincide com a estação estival.

Confrontemos os dados acima apresentados com os correspondentes obtidos num dia do fim da época sêca e reunidos no gráfico 2.

A temperatura, que apresenta mais cedo valores mais elevados, sobe com maior rapidez — devido à falta de nevoeiro — e o máximo de  $27,6^{\circ}\text{C}$  é atingido, geralmente, um pouco antes (cêrca das 14 horas). Esses valores máximos são agora um pouco superiores, o maior observado por nós, neste período, tendo sido de  $31,8^{\circ}\text{C}$ , às 15 horas do dia 27-8-1943. As noites também não são tão frias como na época anterior; não foram anotados por nós valores menores que  $4^{\circ}\text{C}$ .

A humidade relativa, às 6 horas e 15 minutos, no nosso gráfico, já aparece um pouco abaixo do ponto de saturação (97 %).

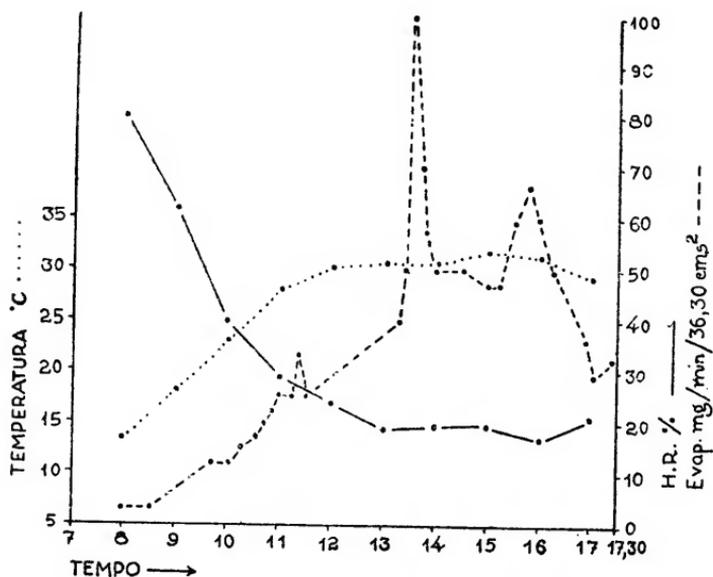


Gráfico 3: Andamento da temperatura, humidade relativa e evaporação, num dia do fim da sêca (Emas, 27-8-1943).

As grandes oscilações na curva da evaporação são devidas aos ventos.

As 8 horas, quando, por causas técnicas, geralmente começamos nossas observações, os valores oscilam entre 70 e 80 %. Decrescem rapidamente — neste dia até 33 % — e o menor valor que constatamos, nesta época, às 15 horas do dia 30-8-1943, foi de 17,5 %, um pouco menos do que o mínimo observado no começo

da sêca. Não observamos em nenhum dia formação de nevoeiro. Durante a noite a humidade relativa deve aos poucos se aproximar do ponto de saturação. A única determinação de noite que pudemos fazer, no dia 31-8-1943, às 21,30 horas, indicou uma humidade relativa de 68 %. Trata-se, como vemos, de um valor bastante baixo, levando-se em consideração que foi observado durante a noite e que a temperatura lida nessa ocasião não era muito elevada: 15,8° C. Esta é mais uma observação que demonstra que este segundo período dos nossos trabalhos coincidiu com uma sêca muito mais pronunciada, se lembrarmos que no período anterior, durante a noite, sempre tivemos a atmosfera saturada, prolongando-se esta saturação pelas primeiras horas da manhã.

A evaporação começa agora mais cedo e termina mais tarde. Seus valores, nesta época, podem ser, como mostra nosso gráfico 3, em certos dias, muito superiores aos maiores valores observados no começo.

Quanto ao regime das chuvas em Emas (vide 34, pág. 275), só queremos salientar aqui que, durante a sêca, caem geralmente apenas chuvas rápidas e escassas que são absorvidas pelas camadas superficiais do solo.

### 3) — A Vegetação do Cerrado de Emas

Os campos cerrados de Emas cobrem uma extensão de vários alqueires (1 alqueire paulista vale 24.200 ms<sup>2</sup>) e sua fisionomia bem como sua composição florística pouco difere da dos demais cerrados que se encontram cobrindo imensas regiões do Estado de São Paulo e de outros estados do Brasil.

Podemos assim aplicar, com pequenas modificações apenas, aos cerrados de Emas, as listas de plantas organizadas por Warming (46) para os cerrados de Lagoa Santa que êle tão cuidadosamente estudou.

Em Emas, no inverno, o solo apresenta um manto de *Gramineae* (especialmente *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase e *Tristachya chrysothrix* Nees.) e relativamente poucas *Cyperaceae*. Este tapete herbáceo é interrompido, aqui e ali, por grupos mais ou menos densos de sub-arbustos, arbustos e árvores. Os sub-arbustos e arbustos, depois das plantas herbáceas, são as formas mais freqüentes e tornam o cerrado, por vezes, muito denso, mas, se o cerrado tem uma fisionomia característica, esta deve ser atribuída às formas arbóreas que quasi sempre se apresentam com os ramos contorcidos e recobertos de espesso suber. Como além da obra fundamental de Warming (46), vários autores, como Mello Barreto (28), Rawitscher-Ferri-Rachid (34), Hoehne (12) e Ferri (5), já publicaram extensas listas das espécies que crescem no cerrado, limitamo-nos aqui a citar apenas algumas, dentre as

permanentes mais freqüentes e características do cerrado de Emas:

*Leguminosae* { *Dimorphandra mollis* Benth. (Barbatimão de fôlha miuda)  
*Stryphnodendron Barbatimão* Mart. (Barbatimão)  
*Andira humilis* Mart. <sup>1)</sup>  
*Sweetia dasycarpa* Benth.  
*Machaerium acutifolium* Vog. (Jacarandá)  
*Dalbergia sp.* (Cabiuna)  
*Copaifera Langsdorfii* Desf. (Óleo de Copaiba)

*Ternstroemiaceae*: *Kielmeyera coriacea* Mart. (Pau Santo)

*Rubiaceae* { *Tocoyena formosa* Schum. *T. brasiliensis* Mart.  
*Palicourea rigida* H.B.K. (Gritadeira, Douradinha)  
*Alibertia sessilis* Schum. (Marmelinho)

*Anacardiaceae*: *Anacardium pumilum* St. Hil. (Cajueiro do campo)

*Connaraceae*: *Connarus suberosus* Planch.

*Malpighiaceae*: *Byrsonima coccolobifolia* Kth.,  
*B. verbascifolia* Rich.

*Erythroxylaceae*: *Erythroxylum suberosum* St. Hil.,  
*E. tortuosum* Mart.

*Araliaceae*: *Didymopanax vinosum* E. March.

*Verbenaceae*: *Aegiphila Lhotzkyana* Cham., *A. verticillata* Vell.

*Palmae*: *Butia leiospatha* (Barb. Rodr.) Becc. = (*Cocos leiospatha* Barb. Rodr.) <sup>2)</sup>

*Vochysiaceae*: *Qualea grandiflora* Mart. (Pau terra)

*Caryocaraceae*: *Caryocar brasiliense* Cambess. (Piqui)

<sup>1)</sup> A sistemática das *Andiras* que crescem nos campos é dificultada, como já foi mencionado num trabalho anterior (34), pelas alterações morfológicas provocadas pelas queimadas. Depois de termos podido estudar as flores e fazer a comparação com o material do herbário do Depto. de Botânica do Estado, preferimos a denominação de *Andira humilis*. Continua, porém, aberta, a necessidade de revisão das espécies. As dificuldades de identificação seriam afastadas por experiências de cultura dessas plantas. O mesmo é válido para várias espécies dos gêneros *Anacardium*, *Ouratea*, etc.

<sup>2)</sup> Na publicação preliminar (34) empregamos a denominação de *Cocos leiospatha*, mais conhecida.

**Ochnaceae:** *Ouratea spectabilis* (Mart.) Engl. <sup>1)</sup>

**Anonaceae:** *Anona coriacea* Mart., *A. dioica* St. Hil., *Duguetia furfuracea* (St. Hil.) Benth. et Hook. Fil. <sup>2)</sup>

**Bignoniaceae:** *Zeyhera montana* Mart. (Bolsa de pastor);  
*Tecoma Caraiba* Mart.

**Myrtaceae** }  
**Compositae** } várias ainda não classificadas.

Devemos salientar ainda que entre as espécies vegetais que crescem no cerrado, podemos distinguir três tipos bem diferentes, pelo seu comportamento: o 1.º é constituído por formas que só vegetam na época das chuvas. Muitas entre elas permanecem, no período da seca, subterraneamente, sob forma de xilopódios. Estes tubérculos subterrâneos foram descritos pela primeira vez no Brasil por Lindman (19); os autores ingleses empregam a denominação de "lignotubers". O 2.º tipo reúne as formas permanentes, isto é, as que vegetam durante todo o ano, conservando geralmente a sua folhagem mesmo no período da seca. Estas são as plantas que nos interessa estudar, pois como as primeiras vegetam somente no período de abundância de água, nada nos poderão dizer sobre as reservas de água do solo na época da seca. O 3.º tipo é formado pelas *Gramineas* que vivem, como o 1.º, da água da superfície, mas que vegetam até o esgotamento desta, durante a seca.

Como já vimos, o estudo isolado das reservas de água do solo pouco nos pode esclarecer, pois a determinação da água realmente aproveitável de um solo, constitui um problema dos mais complicados (vide 31, pág. 30). Se, ao contrário, estudarmos como as plantas gastam ou economizam as reservas do solo, teremos elementos imediatos para a compreensão do nosso problema.

<sup>1)</sup> Vide rodapé da pág. anterior. Não podemos distinguir claramente entre *Ouratea spectabilis* e *O. humilis*. A principal diferença entre estas duas espécies, assinalada pelos autores (vide diagnoses de Engler em Flora Brasil. de Martius, 23, pág. 330-331) diz respeito ao porte da planta que em *Ouratea humilis* não ultrapassaria a altura de 1 m. Trata-se, porém, de um caráter fenotípico que pode ser profundamente modificado pelas condições ambientes.

<sup>2)</sup> Esta planta que figura na Flora Brasiliensis (24) como *Anona furfuracea* St. Hil., foi descrita por Fries (7) como *Aberemoa furfuracea* (St. Hil.) Baill. Mais tarde o mesmo Fries identificou-a para o herbário do Depto. de Botânica do Estado como *Duguetia furfuracea* (St. Hil.) Benth. et Hook. Fil.

4) — *O Método empregado para o Estudo da Transpiração*

Em recente publicação, Rawitscher (32) expôs os vários métodos que podem servir para o estudo da transpiração, apresentando detalhadamente as vantagens e os inconvenientes do emprego de cada um.

*Pesagem rápida*

Para as nossas pesquisas servimo-nos especialmente do método da pesagem rápida <sup>1)</sup>, empregando uma balança de torção. Esta balança permite pesar rápida e exatamente. No campo as pesagens exatas são dificultadas pelo vento. Por isso precisamos colocar a balança — como geralmente os autores o fazem, no campo — numa caixa cujas faces, com exceção da anterior, são todas de vidro ou celofane. No momento da pesagem, até a face anterior precisa ser protegida, o que se pode fazer com uma toalha. Dêste modo podemos colher uma fôlha, pendurá-la na balança e obter seu pêso. Depois de um curto lapso de tempo, durante o qual a fôlha continua pendurada na balança, efetuamos a segunda pesagem. A diferença entre o 1.º e o 2.º valores obtidos, relacionada com o tempo, nos dá a grandeza da transpiração.

Estas determinações podem ser feitas com dois propósitos diferentes. Primeiro, podemos procurar informações sôbre a grandeza da água gasta pela planta no campo. Para tal fim, teríamos, como muitos autores o fazem, que colocar as fôlhas, durante o lapso de tempo entre as duas pesagens, no mesmo lugar de onde foram tiradas. Integrando os valores obtidos, teríamos a grandeza real da transpiração no campo. Tais estudos ainda não foram iniciados por nós. Foi nossa intenção determinar o grau de abertura dos estômatos no decorrer do dia. Como os outros métodos usados, por exemplo o de infiltração, porometria, etc., oferecem dados não muito satisfatórios (vide 32) recorreremos, para essas determinações, especialmente à balança. Os valores obtidos, nas condições mencionadas, ao abrigo, são comparáveis entre si. Nossas curvas mostram se ha ou não paralelismo entre o andamento da transpiração e o da evaporação. Devemos salientar, porém, que as caixas de proteção devem diminuir os valores extremos que seriam muito maiores em lugares expostos do campo.

Para ilustrar de que modo a balança nos indica o estado de abertura dos estômatos, serve ôtimamente uma observação que fizemos com *Andira humilis* e que vamos expor à pág. 178.

---

<sup>1)</sup> De que modo a perda d'água de uma fôlha recém-cortada, de minuto em minuto reflete o estado de abertura dos estômatos, já foi várias vezes explicado (31, 32, 33); dispensamos aqui, por êsse motivo, maiores detalhes.

Os intervalos entre as duas pesagens devem ser muito curtos, uma vez que certas plantas fecham os estômatos muito rapidamente. Seybold (39, cit. por Maximov, 26, pág. 275) empregou um intervalo de 15 mins. que sem dúvida, é muito grande.

Henrici (11), estudando a transpiração de várias plantas em regiões secas da África do Sul, servindo-se também do método da pesagem rápida, usou como intervalo entre as duas pesagens, 3 minutos. Outros autores empregaram intervalos ainda menores, como por exemplo Vasiljev (44), que no deserto Kara-Kum, no Turquestão, executou suas pesagens com um intervalo de apenas 1 minuto.

Intervalos muito pequenos revelaram-se inadequados para o nosso caso devido ao vento que até dentro da caixa de proteção da balança, permitia uma leitura certa, às vezes, só depois de 5 mins. Este foi, por isso, o intervalo que usamos para todas as nossas determinações. O fato de não termos podido empregar um intervalo menor não constitui um prejuízo grave, porém, porque quasi todas as plantas que estudamos fecham muito lentamente seus estômatos, como se constata pela nossa tabela 1.

Os valores dessa tabela foram determinados numa época em que as plantas apresentavam folhas novas, com estômatos que deveriam poder reagir rapidamente. No entanto, apenas *Byrsonima coccolobifolia* e *Didymopanax vinosum* apresentaram tal comportamento e, desse modo, os valores obtidos para essas plantas são mais baixos que os das folhas "in situ". Permitem ainda, porém, verificar se os estômatos estão abertos ou não.

Para que os valores obtidos na balança possam ser interpretados e comparados entre si, devem se referir ou ao peso ou à superfície das folhas; ambos os sistemas de referência são usados (vide 32). Como a transpiração é uma função direta da superfície, preferimos sempre que possível relacionar nossos valores a ela.

Estes valores de transpiração, agora transferidos para uma superfície unitária (100 cms<sup>2</sup>), são os dados que aparecem nas curvas que apresentamos. Nos nossos gráficos figura, além da curva de transpiração, a de evaporação, traçada com os valores indicados pelo evaporímetro, somente nos momentos das determinações da transpiração. Temos, desse modo, curvas bem simples que facilmente podem ser comparadas com as de transpiração.

De cada espécie estudada traçamos uma curva de transpiração no começo da seca. Esta curva foi obtida determinando a transpiração de folhas colhidas com certo intervalo, sempre da mesma planta e, tanto quanto possível, comparáveis, não só quanto à idade, mas também quanto à situação na planta. Isto é im-

TABELA 1 — 9-12-1943

<i>Erythroxylum suberosum</i>			<i>Erythroxylum tortuosum</i>			<i>Anona coriacea</i>		
Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.	Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.	Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.
8 51	531	2	8 46	773	4,5	9 01	1114	8
53	527	2	48	764	4,8	03	1098	7
55	519	3,08	56	725	4,5	06	1077	7,5
9 52	343	2,2	9 50	473	3,2	29 54	903 736	6,6
57	332		55	457				
<i>Kielmeyera coriacea</i>			<i>Byrsonima coccolobifolia</i>			<i>Didymopanax vinosum</i>		
Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.	Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.	Tempo	Pêso mg.	Perda mg/min.
15 21	1214	16	15 24	937	10,5	15 29	1088	8
23	1182	13,6	26	916	4,5	31	1072	1,9
52	785	10,5	55	776	3,3	59	1015	
54	764	8,6						1,3
16 09	634		16 11	722	3,2	16		
			28	667		31	973	

portante considerar, pois, sabe-se pelas pesquisas de vários autores (Bartholomew 1, Huber 13, Keller 16) que as fôlhas de uma mesma planta, especialmente quando inseridas em diferentes posições, podem apresentar valores de transpiração muito diferentes. Assim, o comportamento de uma fôlha, num instante dado, pode não representar o comportamento médio de todas as fôlhas de uma árvore, mas somente o dessa fôlha em particular.

Para evitar este erro possível, diversos pesquisadores, entre eles Oppenheimer-Mendel (29), determinam a transpiração de várias folhas e tiram um valor médio. Parece-nos que este não é o melhor método para pesquisas num campo cerrado onde as condições de temperatura, humidade, agitação do ar, iluminação, podem oscilar muito num curto lapso de tempo. Para colher uma folha, colocá-la na balança, pesá-la e repesá-la depois de um certo intervalo, consomem-se vários minutos. A operação tem que ser repetida com várias folhas, de sorte que as últimas podem se encontrar em condições bem diferentes das primeiras.

Parece-nos mais acertado — no nosso caso — traçar várias curvas, num mesmo dia, para cada espécie. Se essas curvas concordam no seu aspecto geral, é claro que representam o comportamento geral da planta.

Por esse motivo, na segunda fase das nossas pesquisas, a mais importante por coincidir com as condições mais extremas da seca, traçamos, para cada espécie, pelo menos, duas curvas diárias de transpiração.

Além disso, como nossas conclusões gerais só são tiradas da análise em conjunto, de todas as curvas e em combinação com os demais dados, cremos que as causas de erro ficam anuladas.

### Infiltração

Outro método de que nos servimos para a determinação da abertura dos estômatos, foi o de infiltração. Este consiste em colocar, delicadamente, sobre a superfície da folha, uma gota de xilol, benzol, éter de petróleo ou ainda outros líquidos. Se os estômatos estiverem abertos, o líquido penetrará, formando-se, então, manchas bem distintas do resto da superfície folhear.

Ha líquidos que só penetram quando as fendas estomáticas são bem grandes, outros que se infiltram através de aberturas mínimas. Em vista disto, alguns autores (Dietrich 4, Schorn 38) organizaram séries de diferentes líquidos para avaliação do grau de abertura dos estômatos. Essas escalas têm sido empregadas por diversos autores (Pisek e Cartellieri 30, Oppenheimer-Mendel 29), às vezes com pequenas alterações.

Sabe-se hoje que o método de infiltração só deve ser usado para obtenção de dados aproximados, provisórios. Se certos líquidos não penetram quando outros ainda o fazem, o resultado lógico que se pode esperar é que a infiltração, mesmo com os líquidos mais penetrantes, deve parar antes do fechamento perfeito dos estômatos. Este resultado foi obtido por nós (33) em *Cedrela fissilis*.

Maior confiança podemos ter quando a infiltração é positiva: se o líquido penetra, isso indica que os estômatos estão abertos. Até neste caso, porém, precisamos ter muita cautela: simples fen-

das existentes na cutícula podem permitir a infiltração mesmo que os estômatos estejam fechados.

Assim, desde que possuímos métodos mais precisos (balança) para avaliação do estado de abertura dos estômatos, devemos limitar o uso da infiltração, reservando-a só para a obtenção de dados preliminares. Neste sentido, tal método pode nos prestar um ótimo auxílio; no campo, passeando entre as plantas, êle nos permite formar rapidamente uma idéia geral sôbre o comportamento dos estômatos das diferentes espécies nas diversas horas do dia. Como, porém, essas observações devem, posteriormente,

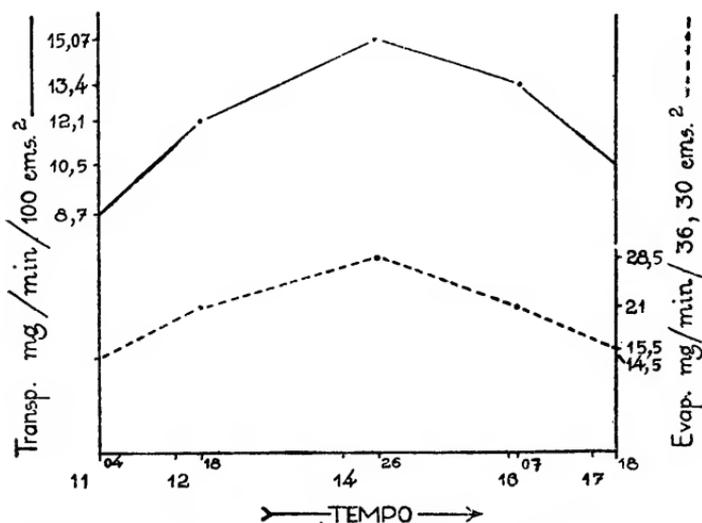


Gráfico 4: Marcha diária da transpiração de *Andira humilis*, no início da época seca (27-6-1943).

ser controladas e completadas, cuidadosamente, por um método mais seguro, não se recomenda, hoje em dia, o emprego de grandes "séries de infiltração". Para a obtenção de informações preliminares, basta usar um ou dois líquidos. Isso fizemos, empregando sempre xilol e mais raramente benzol e éter de petróleo.

##### 5) — Marcha diária da transpiração

###### *Andira humilis*

Apresentamos no gráfico 4 o andamento da transpiração de *Andira humilis* num dia do início da estação seca. Os valores anotados caminham paralelamente aos valores da evaporação livre:

durante todo o dia a planta transpirou sem economia. A infiltração com xilol e benzol deu sempre resultados positivos, não podendo ser constatada uma diminuição na abertura dos estômatos.

No fim da época seca, a situação não se alterou: a transpiração desta planta se processou de um modo irrestrito, durante todo o dia (gráfico 5).

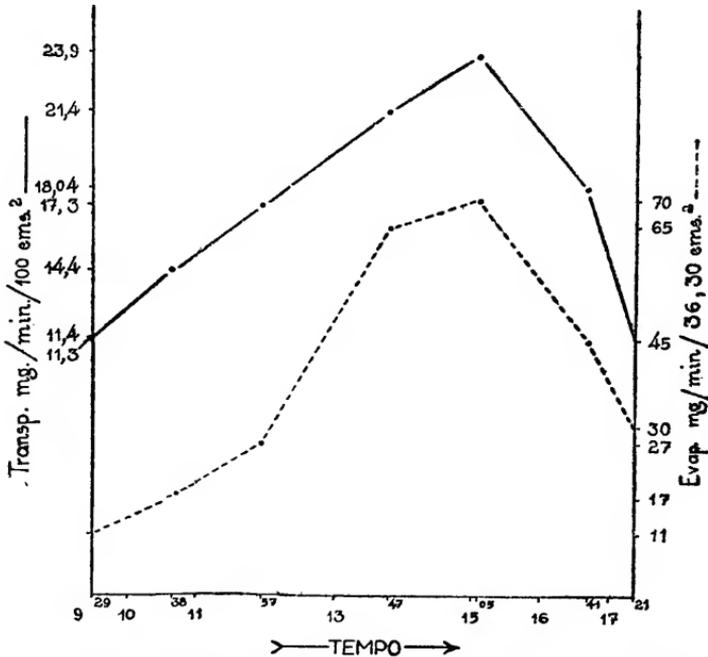


Gráfico 5: Marcha diária da transpiração de *Andira humilis*, no fim da seca (28-8-1943).

A explicação para a possibilidade d'êste consumo d'água sem economia, reside no seguinte: *Andira humilis*, uma das plantas mais interessantes do nosso cerrado, tem a sua parte aérea de pequeno porte, formada quasi exclusivamente pelas fôlhas penadas que pouco se afastam da superfície do solo. Abrindo-se a terra encontra-se, todavia, um vasto sistema de ramos pouco profundos, muito grossos e desenvolvidos, dos quais partem as raízes que penetram no solo até a profundidade de 18 ms. onde se encontra o lençol subterrâneo de água que nunca seca perfeitamente (34). Dêste modo, sempre existe água ao alcance das raízes dessa planta.

A estrutura de suas folhas é esquematizada na Fig. 2: uma cutícula muito espessa reveste a epiderme superior que não apresenta estômatos. Sob esta epiderme desenvolve-se um tecido clorofiliano paliádico constituído por várias camadas de células, entre as quais só se encontram escassos e pouco desenvolvidos espaços de arejamento. Disseminados pelo

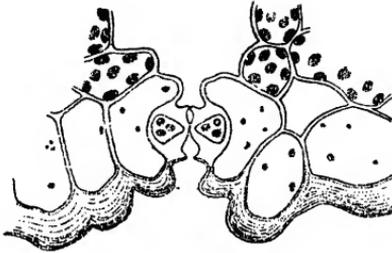
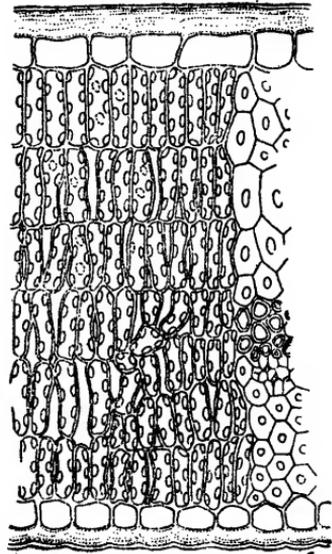


Fig. 2: Esquema mostrando a estrutura da folha de *Andira humilis* (corte transv.).

Fig. 3: Estômato de *Andira humilis*, em perfil.



parênquima, os feixes são acompanhados por relativamente poucos elementos esclerenquimáticos. Inferiormente a folha se reveste de uma epiderme protegida por uma cutícula bem forte, mas não tanto quanto a superior. Nesta cutícula, em pequenas excavações, alojam-se os estômatos (Fig. 3).

Poderíamos supor que estes estômatos fossem incapazes de movimento, o que explicaria a não restrição da perda de água. Este, porém, não é o caso: uma folha colhida e pendurada na balança reduz, gradativa, embora lentamente, a transpiração. Como, porém, a infiltração continua dando resultados positivos, poder-se-ia supor que tal diminuição fosse devida ao "incipiente drying" (Livingston and Brown, 20).

Que este não é o caso, mostrou-nos a observação que tivemos ensejo de fazer e que expomos a seguir: acompanhamos durante todo um dia a transpiração das folhas de um exemplar de *Andira*, do qual, parte do sistema subterrâneo foi desenterrada por nós (gráfico 6). Pela própria transpiração, estes ramos e raízes postos a descoberto e não protegidos contra a evaporação, perderam uma certa quantidade de água, o que resultou num abastecimento insuficiente da folhagem. As folhas, agora, restringiram a trans-

piração, reduzindo a abertura dos estômatos. Houve realmente um fechamento parcial dos estômatos como nos mostrou a infiltração que se fez, então, de um modo muito menos nítido do que nas fôlhas de plantas intactas.

O fechamento dos estômatos permitiu um reabastecimento de água, o que explica a reabertura dos ostíolos responsável pelo segundo máximo observado às 15 horas, antes que a transpiração declinasse definitivamente, á tardinha.

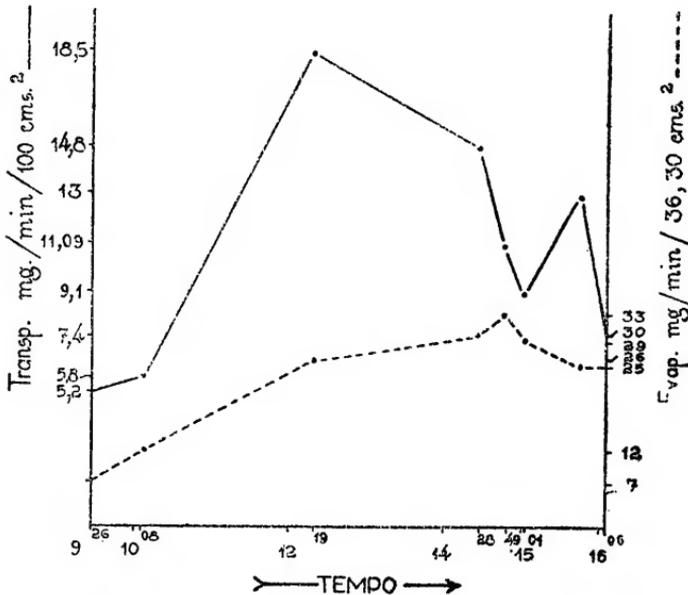


Gráfico 6: Marcha diária da transpiração de um exemplar de *Andira humilis*, cujo sistema subterrâneo foi parcialmente descoberto (24-6-1943).

A experiência acima exposta parece-nos muito interessante porque é mais uma observação que se opõe à idéia defendida e divulgada por diversos autores modernos que acham, como por exemplo Loomis and Shull (22), que "the earlier idea that the opening and closing of the stomates were important factors in controlling the transpiration rate has proved to be unfounded..." (l.c. pág. 42).

Essa opinião tem por base especialmente as experiências de Lloyd (21) as quais já foram, aliás, suficientemente criticadas por O. Renner (35). Stafelt (41) elaborou detalhadamente a dependência da transpiração da abertura dos estômatos, mostrando que essa dependência é tanto maior quanto mais perto do fechamento estejam os estômatos (vide também Oppenheimer-Mendel 29, pág. 76). Insistimos aqui sobre este fato porque observadores modernos como Henrici (11, pág. 16) conti-

nuam ainda inclinados a aceitar a não regulação estomatar da transpiração.

### *Kielmeyera coriacea*

Comportamento análogo ao de *Andira humilis* apresenta o Pau Santo, *Kielmeyera coriacea*. Trata-se de uma espécie com porte arbóreo, mostrando seus ramos espesso suber.

Suas folhas erectas possuem uma estrutura extremamente interessante (Fig. 4): a epiderme, tanto inferior como superior, apresenta estômatos muito grandes que confinam com amplas câmaras subjacentes. As células companheiras das estomáticas formam uma grande saliência para dentro da câmara aerífera subjacente e uma saliência pouco nítida para o meio exterior, colocando os estômatos numa depressão, aliás pouco pronunciada (Fig. 5). A cutícula, em ambas as faces, reveste-se de cera. Por baixo das células epidérmicas superiores ficam grandes células clorofilianas (muitas vezes com o formato dos ossos das falanges) entre as quais se encontram lacunas; em outros pontos essas células ficam mais unidas. Na região mediana, as células clorofilianas são menos regulares e entre elas as lacunas são mais freqüentes. Na parte inferior, logo abaixo da epiderme, fica um tecido incolor, formado por células muito grandes e de forma bastante variável, entre as quais se encontram, de novo, grandes câmaras de ar. Estas células mostram, muitas vezes, pequenos e pouco numerosos cloroplastos; em suas paredes podemos ver, às vezes, poros. Os feixes são acompanhados por algumas células grandes, incolores, em cujas paredes encontramos novamente poros (em nossa fig. 4 uma dessas células mostra os poros vistos de cima). Entre essas células encontram-se freqüentemente drusas de oxalato de cálcio. Não foram representados, em nossa figura, os numerosos tubos lactíferos que percorrem a folha. Elementos mecânicos são muito escassos.

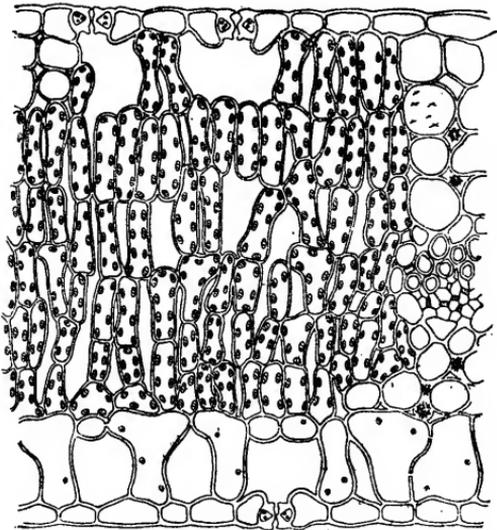


Fig. 4: Corte transv. da folha de *Kielmeyera coriacea*.

A estrutura aqui esboçada explica o fato da infiltração se fazer com rapidez muito grande: apenas colocada uma gota de

xilol, benzol, éter de petróleo, etc., sobre a epiderme superior ou a inferior, imediatamente o líquido atravessa toda a fôlha, aparecendo do lado oposto.

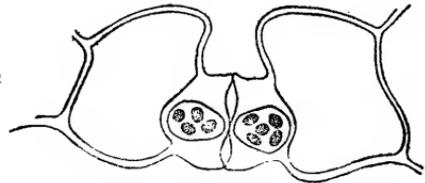


Fig. 5: Estômato de *Kielmeyera coriacea*, em perfil.

Durante todo o dia, as fôlhas adultas de *Kielmeyera* foram encontradas com os estômatos amplamente abertos. Os valores de transpiração, obtidos pela balança, acompanham perfeitamente a marcha da evaporação, no início como no fim da sêca (gráficos 7 e 8). Que as quantidades de água transpirada podem ser muito

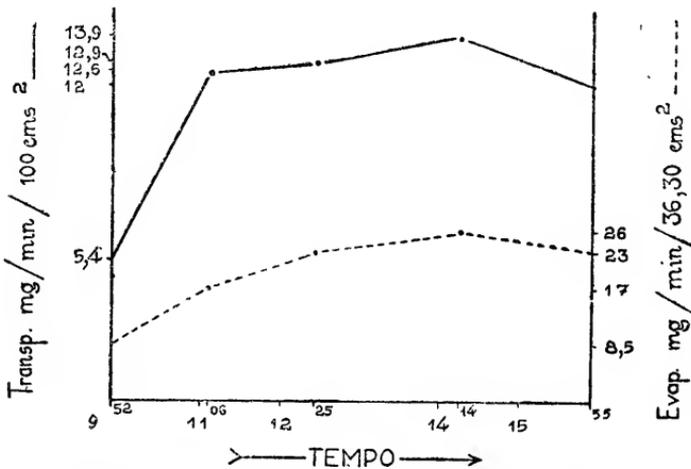


Gráfico 7: Marcha diária da transpiração de *Kielmeyera coriacea*, no início da sêca (23-6-1943).

grandes <sup>1)</sup> mostram os nossos gráficos, nos quais também se observa como a transpiração, do mesmo modo que a evaporação, apresenta, no fim da época sêca, uma grandeza em muito superior à encontrada no início.

Uma planta com fôlhas novas, porém, apresentou, durante todo o dia, valores baixos de transpiração. Seus estômatos não se abriram muito e a infiltração deu sempre resultados negativos.

1) Fora da caixa, no campo livre, tais valores serão maiores. Determinações dos valores absolutos de transpiração, ainda não foram feitas por nós.

Infiltração negativa, porém, como já mencionamos, não significa sempre estômatos absolutamente fechados. Podem os ostíolos estar abertos, mas essa abertura ser insuficiente para permitir a passagem do líquido usado (vide Rawitscher-Ferri 33, pág.

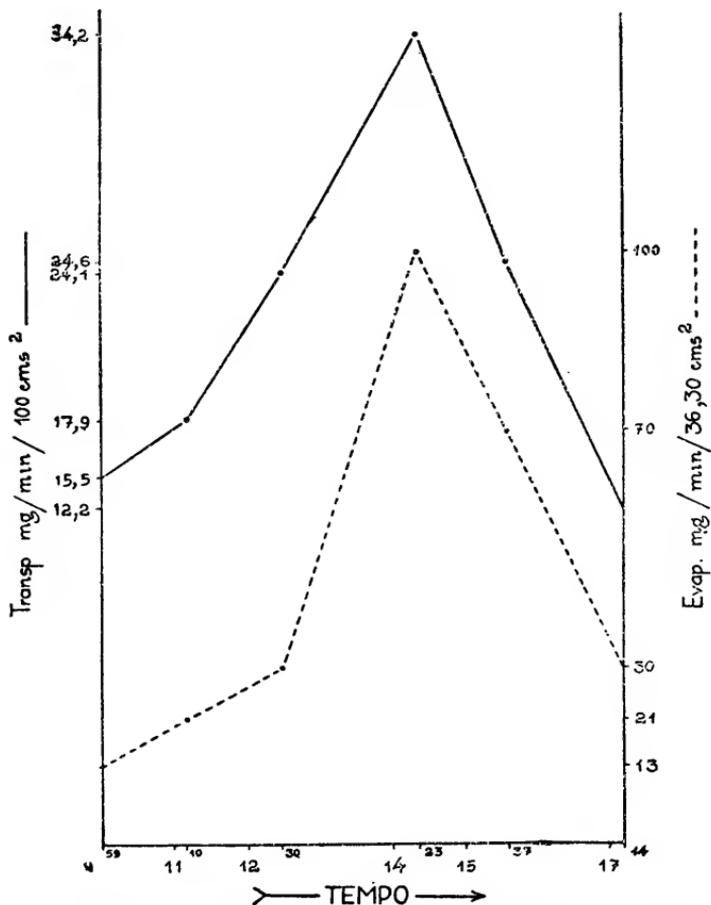


Gráfico 8: Marcha da transpiração de *Kielmeyera coriacea*, num dia do fim da época seca (28-8-1943).

120-121). Nesses casos em que a infiltração dá resultados duvidosos, a balança decide sobre o estado em que se encontram os estômatos. Nosso gráfico 9 mostra, na curva de transpiração dessa folha nova de *Kielmeyera*, uma pequena depressão culminando às

13 horas aproximadamente, quando a evaporação ainda sobe. Essa queda indica um movimento dos estômatos no sentido de diminuir sua abertura. Depois esta abertura se ampliou novamente, o que determinou um aumento dos valores de transpiração antes da queda definitiva. A infiltração não indicou, no entanto, o movimento dos estômatos, dando sempre resultados negativos.

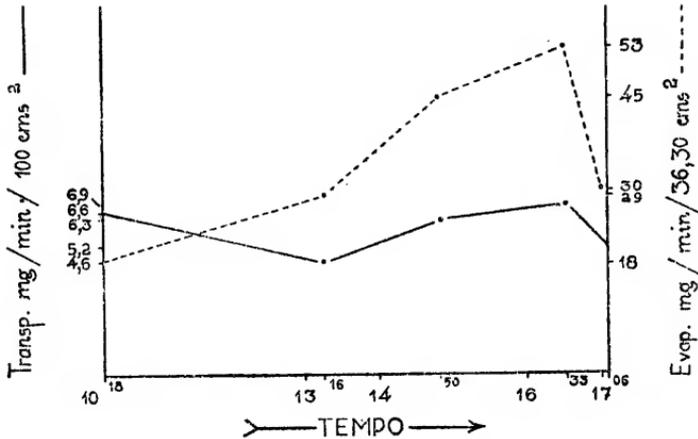


Gráfico 9: Transpiração de um exemplar de *Kielmeyera coriacea* com folhas bem novas, no fim da seca (29-8-1943).

Como todas as árvores ou arbustos estudados aqui, *Kielmeyera* tem raízes profundas que atravessam os primeiros 2-3 ms. do solo. Sobre a profundidade máxima alcançada não temos ainda dados seguros. Que elas devem suprir suficientemente a copa com água, já nos diz o aspecto da planta: durante todo o dia as folhas mostram-se turgescentes, sem nenhum sinal de murchamento. Arrancando-se uma folha, ela murcha, entretanto, em poucos minutos.

Esta observação confirma os resultados das nossas experiências: nunca vimos as folhas adultas de *Kielmeyera* limitar a transpiração, o que indica não haver escassês d'água no solo da sua rizosfera. Uma certa economia no consumo da água, constatamos uma única vez, justamente no caso da folha nova acima mencionado.

### *Erythroxylum suberosum*

Nos gráficos 10 e 11 apresentamos agora as curvas de transpiração de *Erythroxylum suberosum* no início e no fim da época seca, respectivamente. No 1.º, constata-se uma franca subida dos

valores de transpiração, paralelamente ao crescimento dos valores de evaporação, até cerca de 12 ½ horas. O segmento da curva

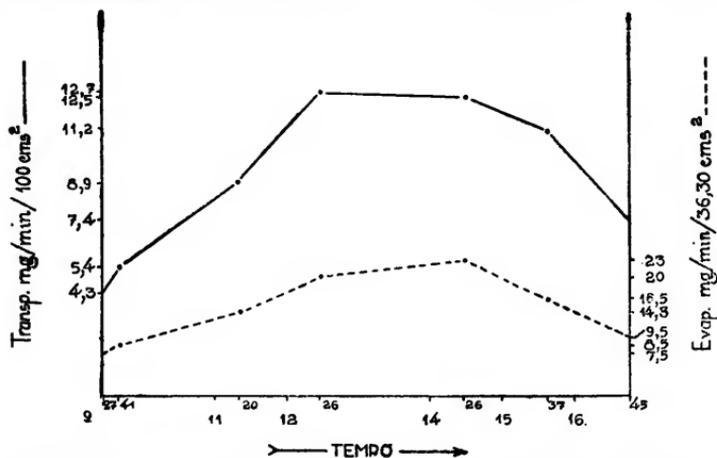


Gráfico 10: Marcha diária da transpiração de *Erythroxylum suberosum*, no início da seca (20-6-1943).

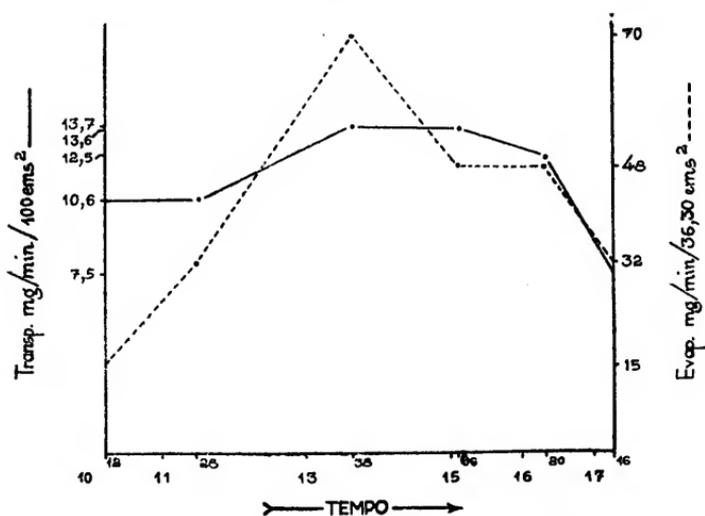


Gráfico 11: Marcha diária da transpiração de *Erythroxylum suberosum*, no fim da estação seca (27-8-1943).

de transpiração, deste momento até 14 ½ horas aproximadamente, indica um ligeiro declínio (a perda d'água caiu do valor de

12,7 mg/min. para o de 12,5 mg/min.), enquanto que o segmento correspondente, da curva de evaporação mostra ainda um fraco aumento (de 20 mg/min. às 12<sup>26</sup> passou a 23 mg/min. às 14<sup>26</sup> horas). De então em diante, transpiração e evaporação decrescem francamente. No gráfico 11 começamos a anotar os valores um pouco tarde, quando êles já eram relativamente altos. Vê-se, porém, que o andamento da transpiração acompanha, durante todo o dia, o da evaporação. Um declínio nítido da transpiração nas horas críticas, não foi por nós constatado também nesta época.

*Erythroxylum suberosum* é uma planta muito freqüente no nosso cerrado.

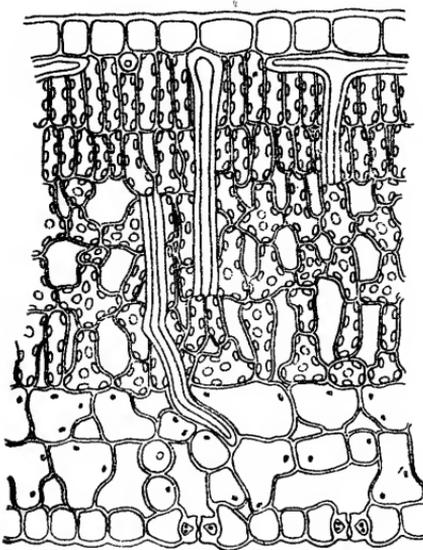


Fig. 6: Fôlha de *Erythroxylum suberosum*, vista em corte transversal.

Suas fôlhas apresentam uma estrutura muito interessante. Nossa fig. 6 mostra, esquematicamente, a epiderme superior desprovida de estômatos e suportada, em inúmeros pontos, por escleritos que descem depois por entre as células do parênquima limitado pelas duas epidermes, podendo chegar até a epiderme inferior. O parênquima clorofiliano, logo abaixo da epiderme superior, é formado por paliçadas não muito desenvolvidas, que se continuam por um amplo tecido lacunoso. Este repousa sobre 2-3 camadas de células quasi sem cloroplastos, às vezes pequenas, outras muito grandes e de forma muito irregular. Entre estas células encontram-se, além de outras grandes lacunas, as câmaras sub-estomáticas. Este tecido que encontramos em várias das plantas estudadas e que pelo aspecto parece ser um aerênquima aquifero, é, finalmente, revestido pela epiderme inferior onde se localizam os estômatos.

Um fato interessante, relacionado com o comportamento dos estômatos, é o que ilustramos com a tabela 2 (vide o mesmo fato na tabela 1, pág. 174): uma fôlha de *Erythroxylum* colhida e posta na balança apresenta, inicialmente, um declínio na razão da perda d'água; depois de um certo tempo, porém, a perda d'água pode se tornar até mais forte do que no primeiro momento e, finalmente, decrescer definitivamente. Como se vê em nossa tabela, várias outras plantas também podem apresentar fôlhas com êste comportamento.

TABELA 2

<i>Erythroxylum suberosum</i> 20-6-1943		<i>Anona coriacea</i> 21-6-1943		<i>Erythroxylum tortuosum</i> 22-6-1943		<i>Andira humilis</i> 23-6-1943	
Tempo	Perda d'água mg/min. Pêso inic. 526 mg.	Tempo	Perda d'água mg/min. Pêso inic. 1.733 mg.	Tempo	Perda d'água mg/min. Pêso inic. 1.333 mg.	Tempo	Perda d'água mg/min. Pêso inic. 790 mg.
11 <sup>20</sup>		14 <sup>40</sup>		10 <sup>52</sup>		15 <sup>45</sup>	
	3,5		9		12		9
22		41		54		47	
	3		7,5		8		7,6
24		43		57		50	
	3,5		6		10,4		9,8
26		45					
	—		8,1				
28				11 <sup>36</sup>		16 <sup>01</sup>	
	3,5				7,2		6
30		16 <sup>02</sup>		41		06	
	4,2		3,8				
12 <sup>04</sup>		07					
	3,4						
09							

Antes de tentarmos explicar êsse fenômeno, devemos adiantar que não se trata aqui do efeito que, segundo Iwanoff (14) poderia se apresentar ao cortarmos uma fôlha: em geral, em condições de evaporação intensa, o parênquima e os vasos estão sob pressão negativa, o que se demonstra cortando-se um caule ou uma fôlha sob mercúrio. Êste, rãpidamente absorvido, entra até a profundidade que os vasos permitirem. Num corte ao ar é êste que entra neutralizando a pressão negativa e uma porção da água antes retida nos vasos, pode agora caminhar mais livremente para as fôlhas cuja reserva de água seria, assim, momentãneamente aumentada. Isto determinaria um aumento imediato da transpiração. Pesquisas ulteriores de diversos autores não puderam confirmar a existência dêste efeito (31).

No nosso caso, já mencionado, aliã, na literatura (Darwin 3, e outros cit. por Maximov 25, p. 191), o "efeito de Iwanoff" fica excluído por não ser imediato. Parece, antes, tratar-se de um dêsses fenômenos descritos como consequência do "incipient wilting" e a explicação dada para o fato, que, aliã, necessita mais amplo estudo (vide 25, p. 191) será a seguinte: á medida que a

fôlha perde água, a diminuição da turgescência determina um movimento de fechamento dos estômatos e, então, decrescem os valores de transpiração; como, porém, a fôlha perde água e murcha muito rapidamente, podem existir casos em que os estômatos não podem mais continuar o fechamento, tornando-se, pelo contrário, até mais abertos, por serem arrastados pelas células epidérmicas confins, na sua contração. Isto ocasionaria os valores mais elevados. Depois, com o "incipient drying" a transpiração declina definitivamente.

Na verdade, êste problema várias vezes discutido (lit. em Seybold 40, p. 622 e em Maximov 25, p. 191), não tem ainda sua solução definitiva.

### *Erythroxyllum tortuosum*

*Erythroxyllum tortuosum*, uma dessas formas com fôlhas muito grandes, foi também estudada por nós.

A estrutura de suas fôlhas, esquematicamente representada na fig. 7, é diferente da da espécie anteriormente apresentada. A epiderme superior,

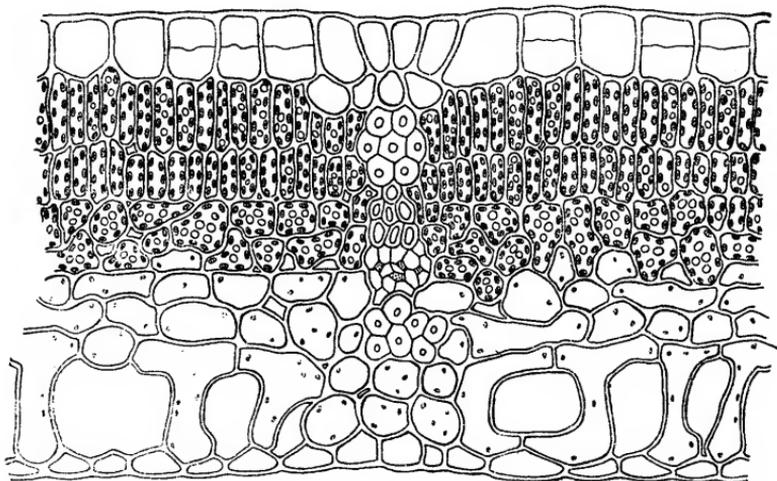


Fig. 7: Fôlha de *Erythroxyllum tortuosum* (corte transv.).

também desprovida de estômatos, é formada por células muito grandes, às vezes subdivididas por um tabique paralelo à cutícula. Abaixo dessa epiderme fica um parênquima clorofiliano não muito desenvolvido cuja parte superior é formada por células alongadas, quasi sem espaços entre si. Mais para baixo êsse parênquima torna-se irregular e os espaços intercelulares são um pouco mais freqüentes e maiores. Este tecido confina

com um tecido incolor, do qual a camada vizinha da epiderme é constituída por células enormes, muito irregulares, entre as quais ficam câmaras de ar extremamente grandes. Na epiderme inferior cujas células são muito menores que as da superior, encontram-se os estômatos. Suas células companheiras projetam-se muito para o interior da câmara substomática e também para o meio exterior, de sorte a colocar os estômatos numa pequena concavidade, como se vê na fig. 8.

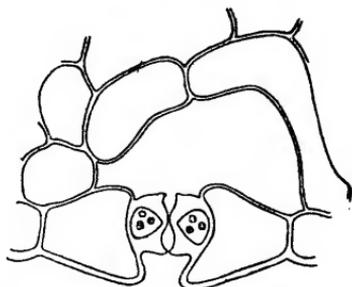


Fig. 8: Estômato de *Erythroxyllum tortuosum*, visto de perfil.

Para as raízes desta espécie, bem como para as da espécie anterior vale o que foi dito para as de *Kielmeyera* (pág. 183).

No início da sêca, a transpiração d'êste *Erythroxyllum* se fez do modo indicado no gráfico 12: os valores de evaporação atin-

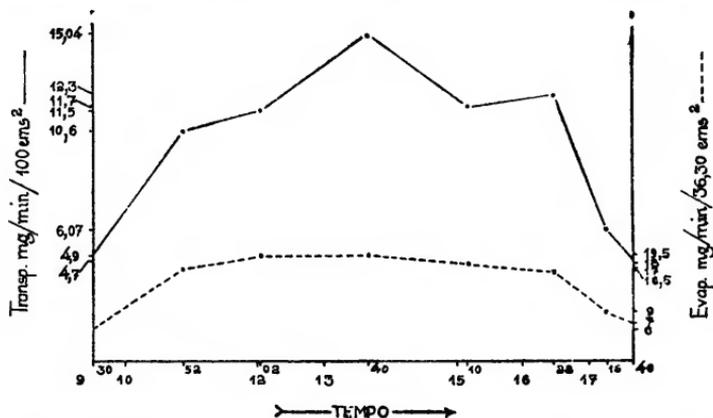


Gráfico 12: Marcha diária da transpiração de *Erythroxyllum tortuosum*, no início da sêca (22-6-1943).

gem o máximo às 12 horas, não baixando senão a partir de 13 horas e 40 minutos. Nêste momento encontramos o maior valor da transpiração que agora começa a decrescer. Um pequeno aumento foi verificado cêrca de 16 ½ horas, caindo depois os valores, definitivamente. Êste segundo máximo coincidiu com o decrêscimo da evaporação. Durante todo o dia, a infiltração com xilol deu valores positivos.

No fim da estação sêca esta planta estava destituida de sua folhagem, não sendo assim possível estudar sua transpiração.

*Byrsonima coccolobifolia*

Com o gráfico 13 ilustramos agora o andamento da transpiração de *Byrsonima coccolobifolia* num dia do início da estação sêca. Do mesmo modo que nos casos até agora apresentados, também nesta planta, no início da sêca, não pudemos constatar uma economia no consumo da água. Durante todo o dia os estômatos mantiveram-se abertos, oscilando a transpiração, paralelamente à evaporação livre.

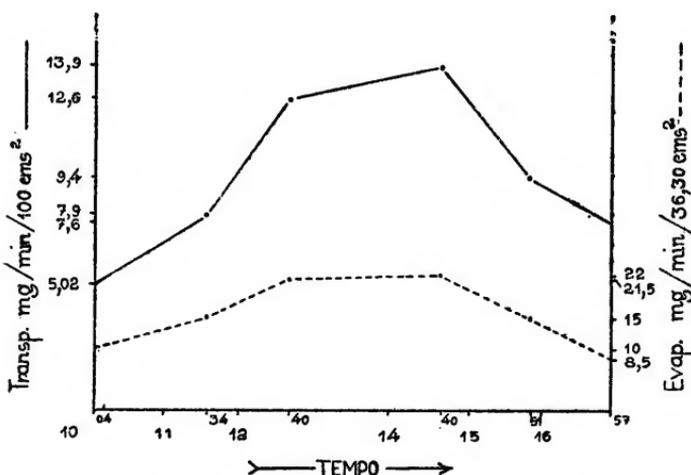


Gráfico 13: Marcha diária da transpiração de *Byrsonima coccolobifolia*, no início da sêca (20-6-1943).

No fim da época sêca, porém, a situação mudou para *Byrsonima coccolobifolia*: ou as reservas de água contidas nas camadas de solo atingidas pelas suas raízes eram insuficientes, ou a absorção ou a condução foram incapazes de substituir as quantidades de água transpirada. Do que não se duvida é que tenha havido necessidade de economizar o gasto de água; esta economia constata-se na curva de transpiração do nosso gráfico 14: os valores medidos às 13<sup>04</sup> e 14<sup>27</sup> horas são muito mais baixos que os anotados às 10<sup>55</sup> e 15<sup>47</sup> horas, o que indica ter havido um movimento de fechamento dos estômatos, seguido por uma reabertura que ocasionou um segundo valor máximo de transpiração. Este segundo máximo foi anotado na mesma ocasião em que também a evaporação mostrou seu máximo valor. De então em diante, evaporação e transpiração declinaram paralelamente.

*Byrsonima coccolobifolia* é um arbusto relativamente freqüente nos nossos cerrados. Suas raízes — também profundas — não foram estudadas detalhadamente por nós.

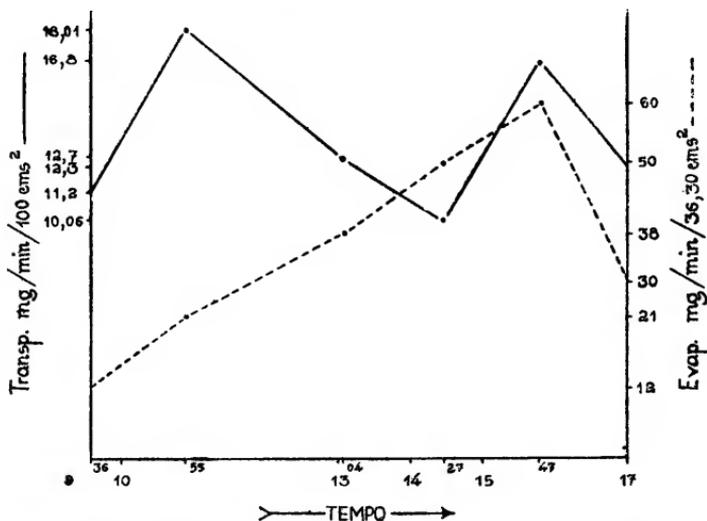


Gráfico 14: Transpiração de *Byrsonima coccolobifolia*, num dia do fim da época seca (27-8-1943).

Suas folhas têm a estrutura que esquematizamos na fig. 9: na face superior, abaixo da epiderme desprovida de estômatos, encontramos um parênquima clorofiliano paliádico constituído por 3 camadas de células. A terceira camada, formada por células menos alongadas que as anteriores, prolonga-se por um parênquima ainda clorofiliano, mas agora lacunoso, que se estende até a epiderme inferior onde se encontram os estômatos pouco protegidos. Elementos mecânicos, somente encontramos poucos, envolvendo os feixes. Na região da nervura mediana por onde passou o nosso corte, entre as epidermes e o feixe de vasos, encontra-se um conjunto de células incolores que muitas vezes incluem cristais. Ainda queremos mencionar que nesta região as células epidérmicas apresentam, em ambas as faces, um desenvolvimento bem menor.

### *Anona coriacea*

As plantas até agora apresentadas não mostraram, no início da seca, um declínio nítido da transpiração e somente em poucos casos houve uma certa economia no consumo d'água, nas horas críticas do fim da estação. Com *Anona coriacea* a situação é outra. Para esta espécie, já no começo da seca, a água é escassa e suas folhas limitam a transpiração relativamente cedo, quando a eva-

poração apresenta ainda valores francamente ascendentes. Essa restrição é indicada no nosso gráfico 15, onde se constata tam-

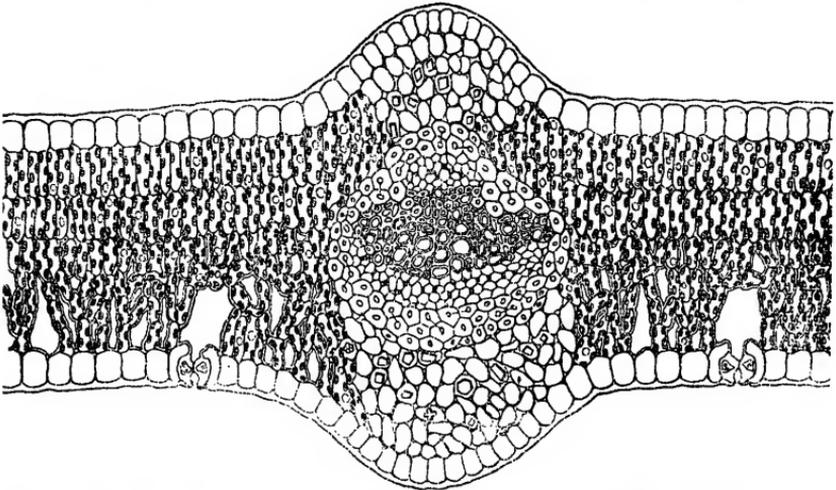


Fig. 9: Estrutura da fôlha de *Byrsonima coccolobifolia* (corte transv. passando pela nervura principal).

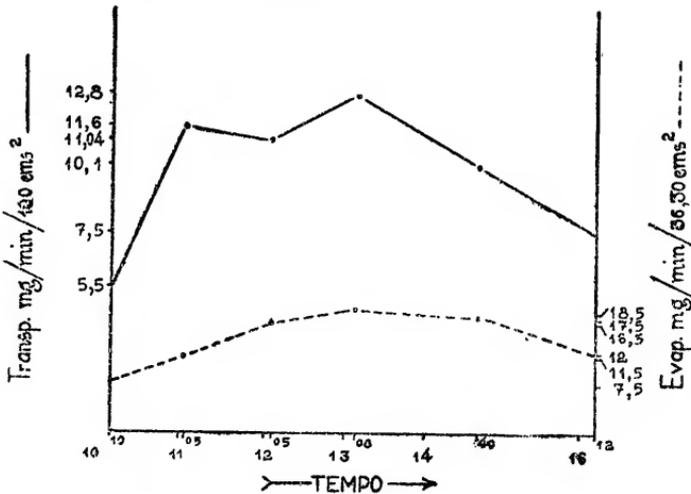


Gráfico 15: Andamento da transpiração de *Anona coriacea*, num dia do início da sêca (21-6-1943).

bém a existência de um segundo máximo que coincide com o máximo da evaporação. No gráfico 16 em que apresentamos a trans-

piração de *Anona coriacea* no fim da época sêca, vê-se, novamente, uma restrição do consumo d'água e a seguir uma reabertura dos estômatos. Que essa reabertura não é obrigatória e que pode não ocorrer em casos em que, provavelmente, a situação da fôlha na planta não permite um bom reabastecimento de água, mostramos o gráfico 17 obtido no mesmo dia, com fôlhas do mesmo in-

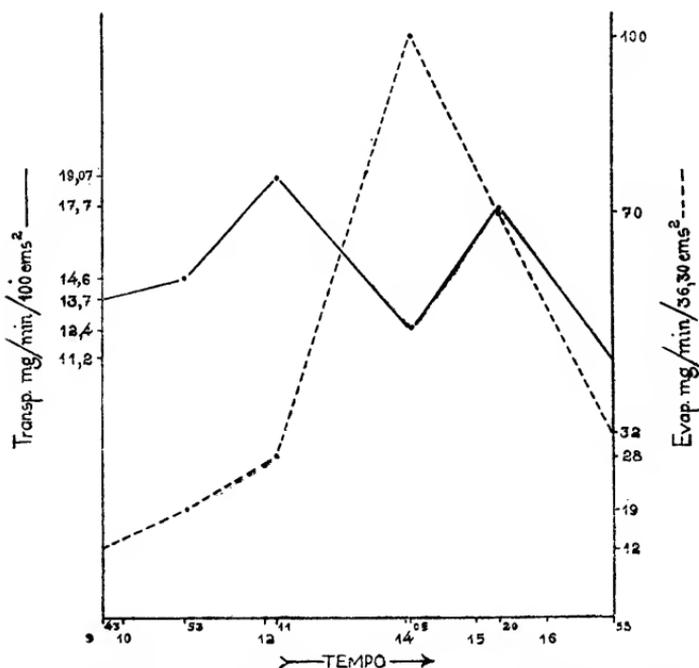


Gráfico 16: Marcha diária da transpiração de *Anona coriacea*, no fim da sêca (28-8-1943). Observe-se a existência de um segundo máximo.

divíduo: o decréscimo da transpiração foi observado à mesma hora que no caso anterior, mas, agora, o declínio é definitivo.

A estrutura da fôlha de *Anona coriacea* (Fig. 10) é uma das mais interessantes que pudemos observar, por causa da presença de grande número de escleritos, que, em todas as direções, percorrem a fôlha por entre as células do parênquima clorofiliano. Este parênquima, paliçádico logo abaixo da epiderme superior desprovida de estômatos e revestida por uma cutícula muito espessa, torna-se depois muito lacunoso. As paliçadas ocupam cerca de 1/3 do espaço compreendido entre as duas epidermes, sendo os 2/3 restantes preenchidos pelo tecido lacunoso que confina com a epiderme inferior. Inúmeros feixes circundados por fibras esclerenquimáticas

ficam disseminados entre as células do clorênquima. Na epiderme inferior encontram-se os estômatos, alojados no fundo de pequenas excavações da cutícula espessa. Frequentemente, como mostra

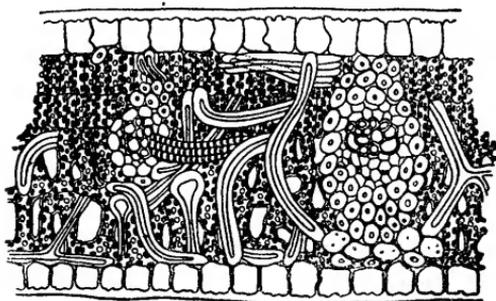


Fig. 10: Estrutura da folha de *Anona coriacea*.

na nossa Fig. 11, nas vizinhanças das células estomáticas encontram-se escleritos que, de início, correm paralelamente à epiderme, suportando-a, e, depois enviam ramos que atravessam o parênquima folhear, podendo atingir a epiderme oposta.

A presença de tão grande quantidade de elementos mecânicos explica o fato das folhas desta planta não se dobrarem mesmo

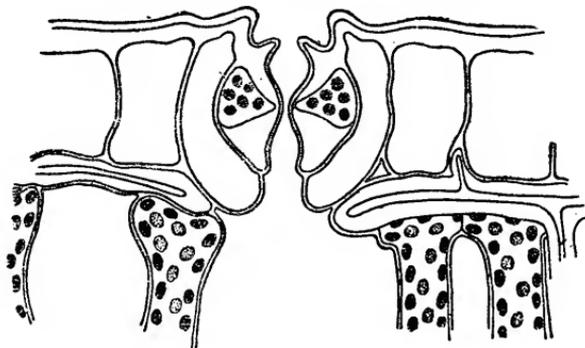


Fig. 11: Estômato de *Anona coriacea*, visto de perfil.

depois da perda de grandes quantidades d'água. Quando isto acontece, a cutícula, que na folha turgesciente apresenta um brilho intenso, torna-se opaca e apresenta, já a olho nu, muitas fendas. Chamamos a atenção para o fato de que esta é uma das plantas que encontramos com um aumento dos valores de perda d'água, depois de um certo tempo em que êsses valores declinaram normalmente (Tab. 2, pág. 186). A explicação para êsse aumento poderia residir, justamente, na formação de tais fendas, que, depois, com uma perda maior ainda do conteúdo d'água, são comprimidas pela retração de todas as membranas, o que explicaria o novo de-

crésimo, agora definitivo, dos valores. Infiltração com xilol deu em geral valores positivos, mostrando que a regulação não foi até o fechamento completo dos estômatos (vide tab. 3, pág. 209).

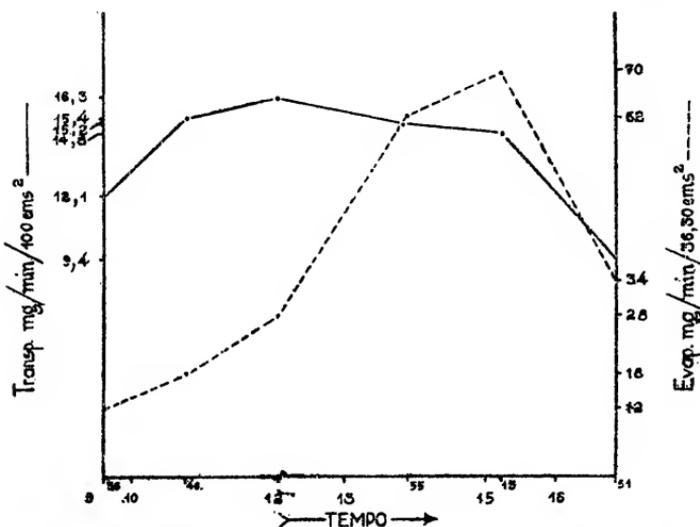


Gráfico 17: Marcha diária da transpiração de *Anona coriacea*, no fim da sêca (28-8-1943).

### *Duguetia furfuracea*

Estudamos também o comportamento de *Duguetia furfuracea*, uma planta muito comum nos nossos cerrados. Apresenta-se como um arbusto que nunca vimos com altura muito superior a 1 m. Suas raízes, no entanto, podem atingir, como supomos, profundidades consideráveis: numa excavação que fizemos, a raiz principal, a 2 ms. de profundidade, apresentava quasi o mesmo diâmetro que logo abaixo da superfície, o que nos faz admitir que essa raiz deve se aprofundar ainda muito.

As folhas de *Duguetia furfuracea* são revestidas, superiormente, por pêlos epidérmicos muito ramificados. O revestimento da epiderme inferior é formado por pêlos "em escudo" muito parecidos com os de *Elaeagnus angustifolia* figurados por Kerner (17). Essas "escamas" (Fig. 12) formam um feltro protetor dos estômatos que só se encontram na epiderme inferior, em pequenas depressões. Abaixo da epiderme superior, em nossa Fig. 13, vemos um parênquima clorofiliano paliácido, de 2 camadas, sendo a primeira formada por células muito altas, enquanto que as células da segunda camada são mais curtas e menos apertadas. Na região mediana, encontra-se um mesófilo clorofiliano constituído por células quasi sempre um pouco arredondadas. Este tecido, bastante lacunoso, confina

com mais uma camada de paliçadas que atingem a epiderme inferior. Desta, partem, como se pode constatar em nossa figura, os pêlos com seus "escudos" superpostos no exterior. Do mesmo modo que as "escamas", os

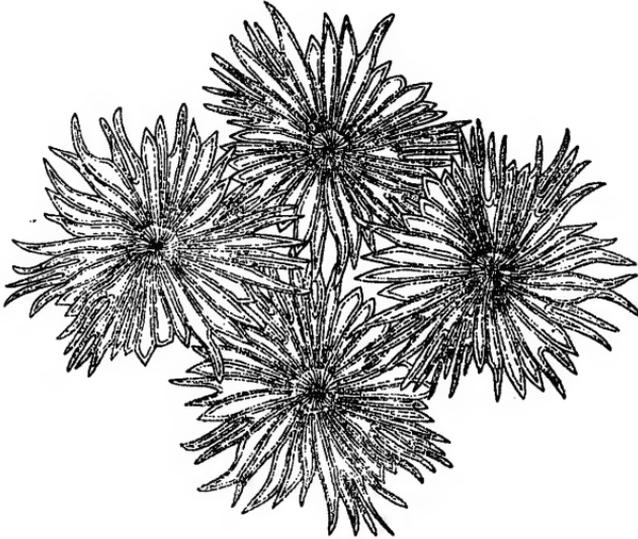


Fig. 12: Pêlos estrelados de *Duguetia furfuracea*, vistos de frente.

pêlos da epiderme superior aparecem em nossa figura, cortados: uns ramos, transversal, outros longitudinalmente.

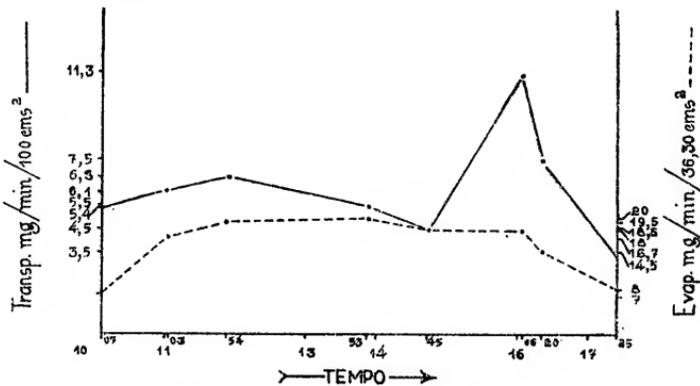


Gráfico 18: Marcha diária da transpiração de *Duguetia furfuracea*, no início da sêca (22-6-1943).

Apezar de ter raízes profundas, *Duguetia furfuracea* foi obrigada, do mesmo modo que *Anona coriacea*, a limitar o consumo d'água, já no início da estação sêca (gráfico 18).

No gráfico 19 que apresenta a transpiração de *Duguetia furfuracea* no fim da sêca, vê-se a mesma situação: primeiramente uma subida dos valores, depois um declínio, a seguir nova subida e queda final.

Em várias outras curvas que não publicamos, pudemos constatar a restrição, mas não o segundo máximo, que, realmente, como já foi mencionado, pode não ocorrer.

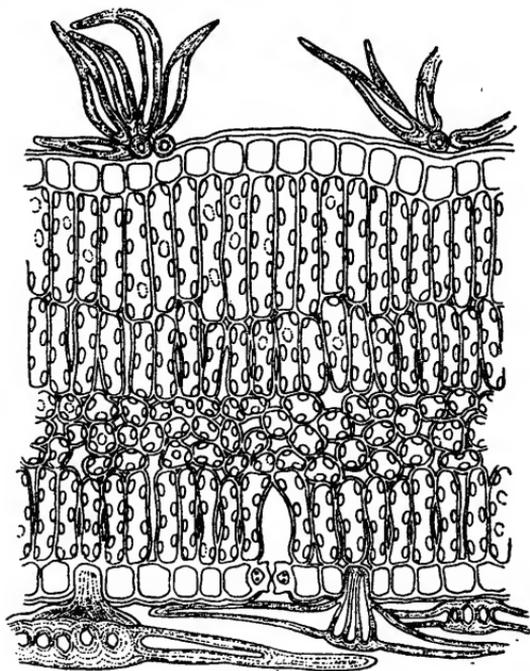


Fig. 13: Estrutura da fôlha de *Duguetia furfuracea*.

Apezar de ter raízes profundas que estão em contacto com camadas de solo que nunca são afetadas pela sêca, *Duguetia furfuracea* é obrigada a fechar os estômatos, o que significa, também, restrição da atividade fotossintética. Isto mostra que o abastecimento da copa não é perfeito, quer por deficiência da absorção, quer da condução, ou mesmo de ambas.

*Butia leiospatha*

Vamos apresentar agora o comportamento de uma palmeira, *Butia leiospatha*. Como, em geral as *Monocotiledôneas* não formam raízes muito profundas, era de se esperar que esta planta fosse obrigada a restringir seu consumo d'água, antes das demais espécies estudadas. Isso, porém, não se deu: a infiltração com xi-

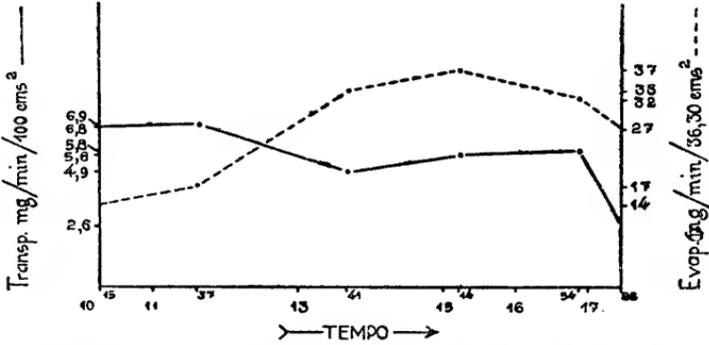


Gráfico 19: Transpiração de *Duguetia furfuracea*, num dia do fim da sêca (30-8-1943).

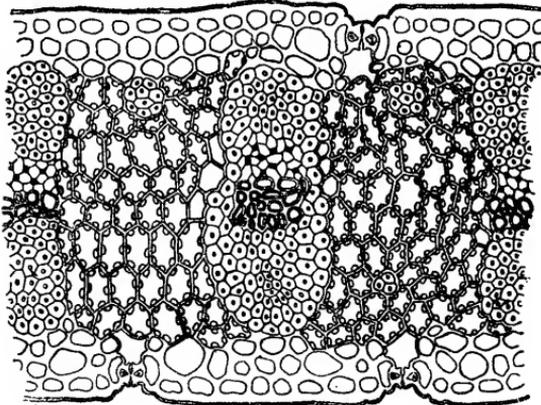


Fig. 14: Fólha de *Butia leiospatha* (corte transv.).

lol sempre deu resultados positivos e como se vê no gráfico 20, obtido no começo da sêca, durante todo o dia, a planta manteve seus estômatos abertos, transpirando livremente. Lembramos que

das plantas já apresentadas, certas, como por exemplo *Anona coriacea*, foram obrigadas, já nessa época, a economizar o gasto de água nas horas críticas. Sòmente no fim da sêca (gráfico 21) *Butia leiospatha* sentiu necessidade de economia, justamente como outras plantas antes apresentadas. A restrição verificada após a subida inicial dos valores, levou a um segundo máximo. Em nossa curva não aparece a queda final da transpiração nem a da evaporação porque nêsse dia tivemos que interromper nossas observações mais cedo.

*Butia leiospatha* é uma das poucas palmeiras que crescem no cerrado, formando fôlhas penadas um pouco cinzentas.

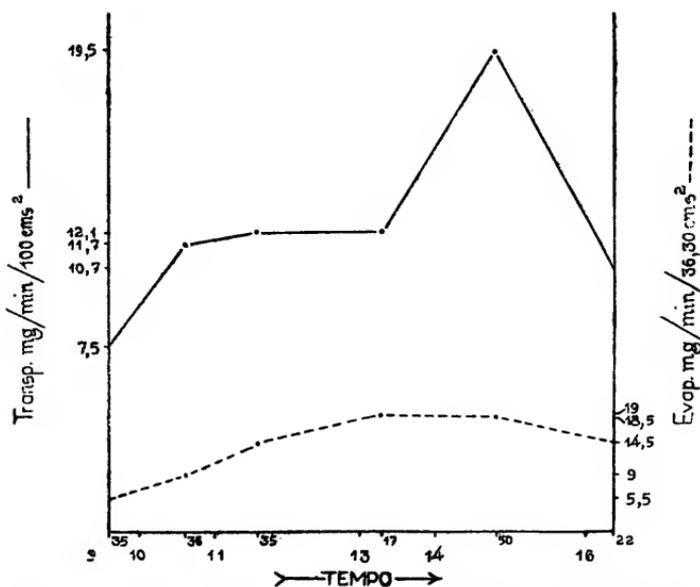


Gráfico 20: Transpiração de *Butia leiospatha*, no início da época sêca (21-6-1943).

Os folíolos erectos apresentam a estrutura que esquematizamos em nossa Fig. 14 e que lembra a dos esclerófilos do Linho da Nova Zelândia (*Phormium tenax*). Abaixo da epiderme encontra-se um tecido hipodérmico em ambas as faces. Esta hipoderme inclui o parênquima clorofiliano que se distribue em zonas interrompidas por faixas muito fortes de esclerênquima que acompanha os feixes. Além dessas faixas algumas fibras esclerênquimáticas se encontram em grupos isolados dispersos no meio do clorênquima. Por fora do esclerênquima, na região mediana ficam umas poucas células incolores, provavelmente para reserva de água. A epiderme é revestida por forte cutícula. Os estômatos que se encontram em ambas as faces, ficam no fundo de pequenas depressões epidérmicas (Fig. 15). Es-

sas depressões apresentam-se cheias de cera, que impossibilita a vista de frente, dos estômatos, antes de sua remoção.

### *Didymopanax vinosum*

Outra planta que estudamos, *Didymopanax vinosum*, comportou-se como mostram os gráficos 22 e 23 obtidos, respectivamente, no início e no fim da estação sêca. No primeiro gráfico constatamos uma queda dos valores de transpiração quando a evaporação é ainda francamente ascendente. Como tivemos que interromper nossas observações bem cedo, nesse dia, não pudemos apreciar a descida dos valores da evaporação.

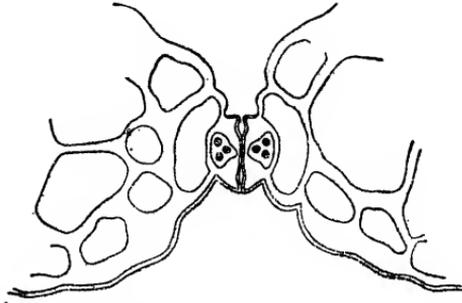


Fig. 15: Estômato de *Butia leiospatha* (perfil).

No fim da sêca (gráfico 23) a mesma restrição no consumo d'água pela planta foi observada após a subida inicial dos valores. Um pequeno segundo máximo coincidindo com o máximo da evaporação foi anotado.

*Didymopanax* é uma planta relativamente freqüente nos nossos cerrados e suas fôlhas palmadas apresentam a superfície superior com uma côr verde intensa enquanto que a face inferior mostra uma coloração ferrugínea.

A estrutura dessas fôlhas está esquematizada em nossa Fig. 16. A epiderme superior reveste-se de uma cutícula muito forte. Sob a camada epidérmica encontra-se uma hipoderme uni-estratificada cujas células possuem paredes muito espessas. Abaixo da hipoderme ficam duas camadas clorofilianas paliçádicas formadas por células muito altas e bem unidas umas às outras. Vem, a seguir, uma terceira camada de células, ainda altas, mas irregulares, entre as quais já se encontram muitas lacunas. Esta camada confina com um parênquima lacunoso muito desenvolvido, cujas células, irregulares na forma e nas dimensões, limitam câmaras de ar bem amplas. Nossa figura inclui quatro destas câmaras, duas das quais mostrando suas paredes posteriores. Encontra-se finalmente a epiderme inferior, muito rica em pêlos. Somente esta epiderme forma estômatos (Fig. 17) muito bem protegidos, não só por dobras da epiderme e da cutícula, como também pelos próprios pêlos epidérmicos.

### *Ouratea spectabilis*

Como, no fim da estação, algumas das plantas que havíamos estudado no início, se apresentassem sêcas e mortas, como as *Gra-*

*míneas*, ou sem fôlhas, como *Erythroxylum tortuosum* cujo comportamento já apresentamos, pudemos estudar, em substituição, algumas novas espécies.

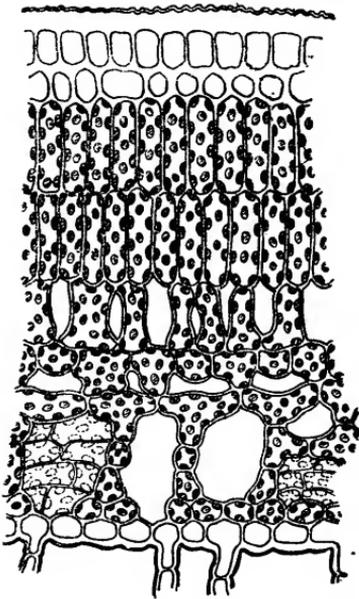


Fig. 16: Estrutura da fôlha de *Didymopanax vinosum*.

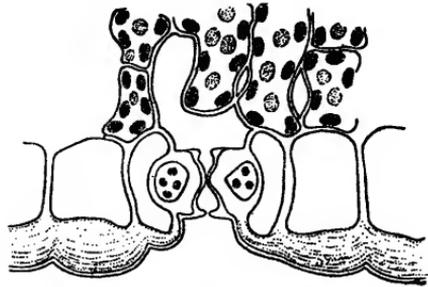


Fig. 17: Estômato de *Didymopanax vinosum*, visto de perfil.

Começaremos apresentando o comportamento de *Ouratea spectabilis*, muito freqüente no nosso cerrado e que em fins de Agosto estava em plena floração. Esta floração durante o período da seca, observada também em muitas outras espécies como *Andira humilis*, *Anacardium pumilum*, *Tecoma caraiba*, *Salacia campestris*, *Bombax gracilipes*, *Alibertia sessilis*, etc., e já mencionada por Warming (46) indi-

ca, positivamente, que ha água no solo e que esta é aproveitada pela vegetação.

As fôlhas de *Ouratea* são muito rígidas e sua estrutura esquematizada em nossa Fig. 18 explica bem essa rigidês.

A epiderme apresenta estômatos em ambas as faces e é revestida por uma cutícula bem reforçada. Abaixo da epiderme, do lado superior, acha-se uma camada de parênquima clorofiliano paliçádico entre cujas células ficam somente pequenos espaços, salvo nas regiões onde se encontram estômatos, onde se abrem, então, grandes lacunas subjacentes. Por baixo desta camada paliçádica, encontra-se outra, de transição para o parênquima lacunoso. Suas células são menos altas, às vezes um pouco irregulares, apresentando lacunas maiores e mais freqüentes. Na região mediana o clorênquima torna-se tipicamente lacunoso e é formado por várias camadas que confinam com uma última constituída por células altas, mas irregulares que deixam entre si muitos espaços aeríferos além das câmaras estomáticas. Este tecido é, finalmente, revestido pela epiderme. De permeio com as células do parênquima clorofiliano, encontram-se numerosos escleritos de forma muito variavel que correm, ora paralelamente às epidermes, ora perpendicular ou obliquamente a elas. Além dos escleritos existem

muitas fibras esclerenquimáticas acompanhando os feixes. Todo este amplo tecido mecânico explica a rigidez acima mencionada. Por fora do esclerenquima encontram-se muitos canais glandulares.

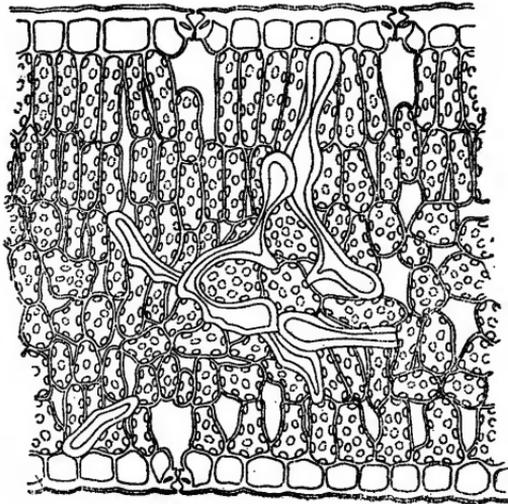


Fig. 18: Corte transv. da folha de *Ouratea spectabilis*.

Os estômatos de *Ouratea* são muito interessantes. Sua morfologia é comparável a dos de *Cedrela fissilis* descritos por nós (33) e muito seme-

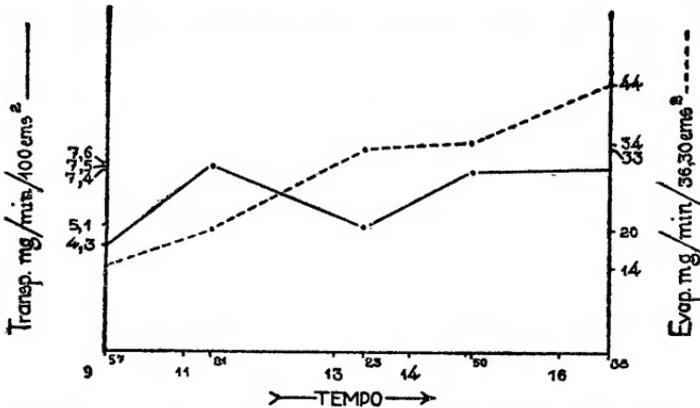


Gráfico 21: Andamento da transpiração de *Butia leiospatha*, num dia do fim da seca (30-8-1943).

lhante a dos estômatos das *Gramíneas*. Em nossa Fig. 19, em A, vemos um tal estômato em corte longitudinal: a região mediana apresenta as pare-

des muito reforçadas e o lume estreito; nas extremidades as paredes são delgadas e o lume se amplia. Em B e C vêem-se os cortes transversais passando, respectivamente, pela extremidade e pela região mediana do estômato.

Nossas observações permitiram-nos constatar que estes estômatos estão, durante todo o dia, mais ou menos abertos e que a transpiração, nos dias menos rigorosos se processa livremente, como se vê no gráfico 24. Nos dias em que a evaporação foi mais intensa, o que indica maior rigor das condições ambientes, houve

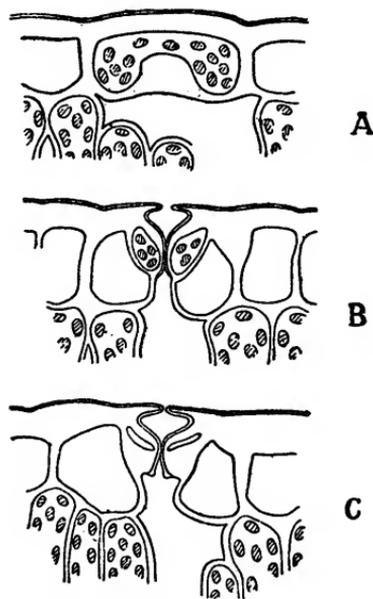


Fig. 19: Estômatos de *Oraea spectabilis*; em A, corte long. de uma célula estomática; em B e C, cortes transversais passando, respectivamente, pela extremidade e pela região mediana do estômato.

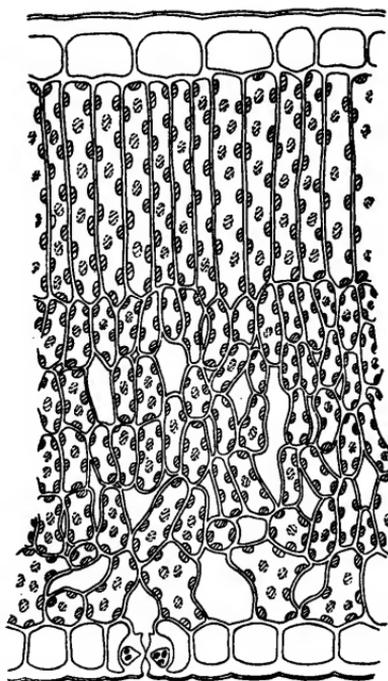


Fig. 20: Fôlha de *Alibertia sessilis* (corte transv.).

uma certa economia no consumo de água, nas horas críticas, sendo também constatada, em certos casos, a possibilidade de um novo aumento da abertura dos estômatos ocasionando um segundo máximo de transpiração (gráfico 25).

*Alibertia sessilis*

Apresentamos, agora, o comportamento de mais uma planta que estudamos, também somente no fim da época seca. Trata-se

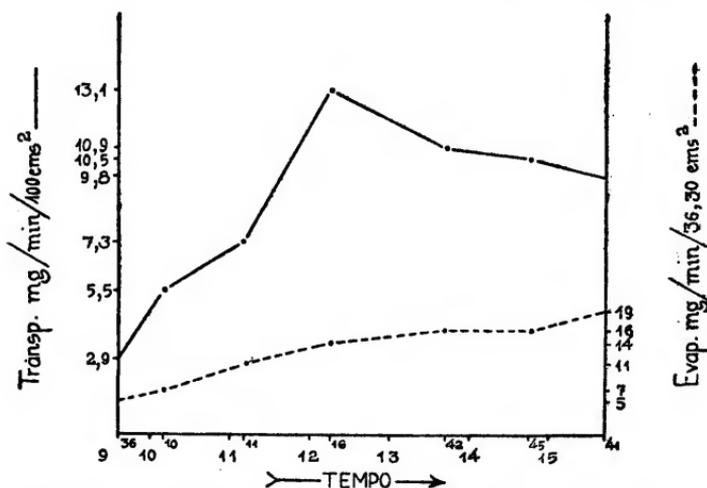


Gráfico 22: Marcha diária da transpiração de *Didymopanax vinosum*, no início da seca (19-6-1943).

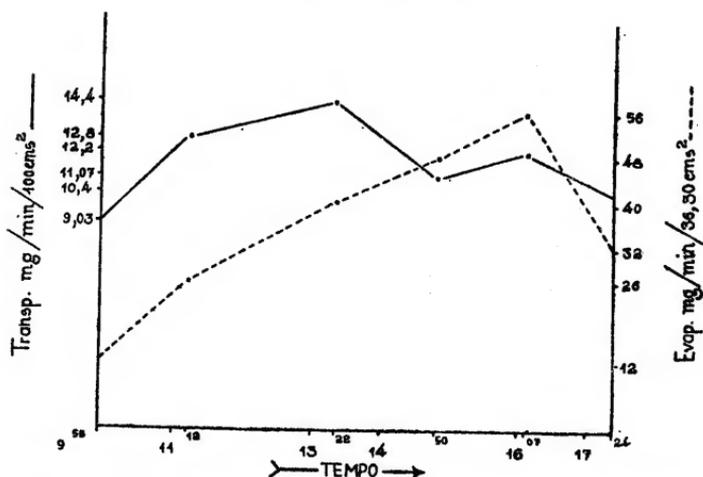


Gráfico 23: Marcha diária da transpiração de *Didymopanax vinosum*, no fim da seca (27-8-1943).

de *Alibertia sessilis* cujas fôlhas têm uma estrutura tipicamente dorsi-ventral como mostra nossa Fig. 20:

A epiderme superior desprovida de estômatos é muito bem protegida por uma espessa cutícula. Por baixo dessa epiderme encontra-se uma camada paliádica, formada por células extremamente altas entre as quais não aparecem lacunas. A seguir, o parênquima torna-se cada vez mais lacunoso e sua última camada, em contacto com a epiderme inferior, é constituída por células grandes, de forma bastante irregular. Na epiderme inferior localizam-se os estômatos que nada apresentam de especial em sua organização.

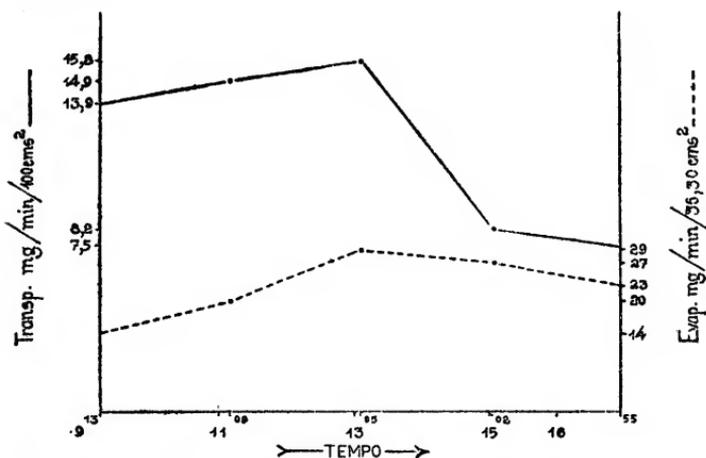


Gráfico 24: Marcha diária da transpiração de *Ouratea spectabilis*, no fim da sêca (1-9-1943).

Nosso gráfico 26 mostra uma queda seguida de nova ascensão dos valores de transpiração. Tivemos que interromper nossas observações antes de podermos anotar a queda definitiva dos valores.

### *Echinolaena inflexa*

Estudamos também o comportamento de uma *Gramínea*, *Echinolaena inflexa*. De um modo geral, nossos resultados concordam com os obtidos por Henrici (10), na África do Sul. Segundo esta autora, lá, "the only plants which keep the stomata open when the temperature is high, the relative humidity and the soil moisture low, are the grasses" (l. c., p. 685). Estes resultados foram posteriormente confirmados por Mes e Aymer-Ainslie (1935; cit. em Fort.d.Bot., vol. VI, pág. 252).

Nossos gráficos 27 e 28, obtidos no início da estação sêca, mostram que uma restrição nítida da transpiração destas plantas não

existe. Durante todo o dia, a infiltração com xilol se dá com a mesma facilidade. Nas horas do meio dia, no entanto, a balança

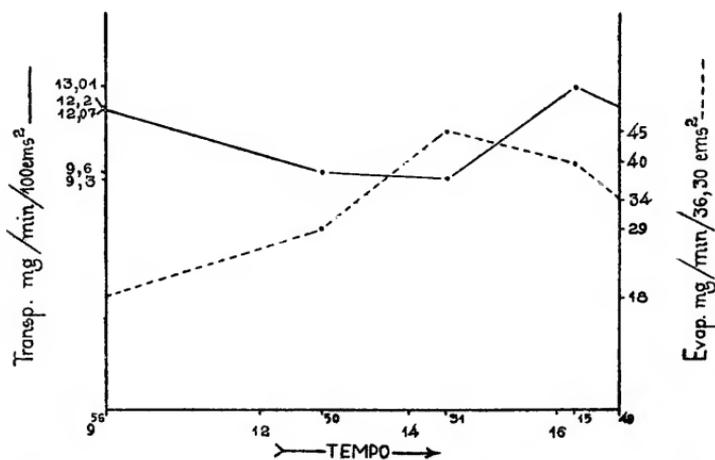


Gráfico 25: Marcha da transpiração de *Ouratea spectabilis*, no fim da sêca (29-8-1943).

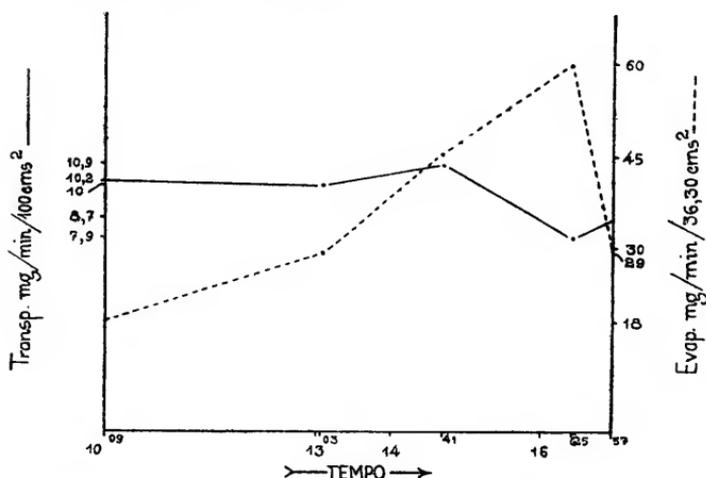


Gráfico 26: Transpiração de *Alibertia sessilis*, num dia do fim da época sêca (29-8-1943).

parece indicar um pequeno movimento de fechamento dos estômatos.

Henrici afirma ter encontrado "at noon a relatively large fall ..." que ela acredita, "corresponds to "the incipient drying" of American authors" (l.c., p. 674).

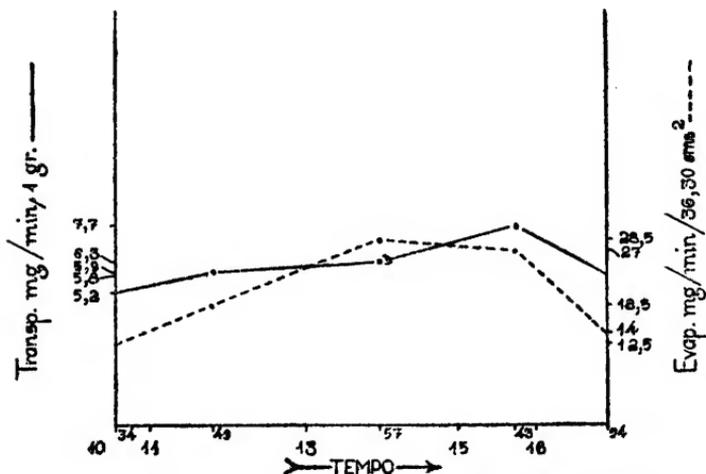


Gráfico 27: Marcha diária da transpiração de *Echinolaena inflexa*, no início da época seca (27-6-1943).

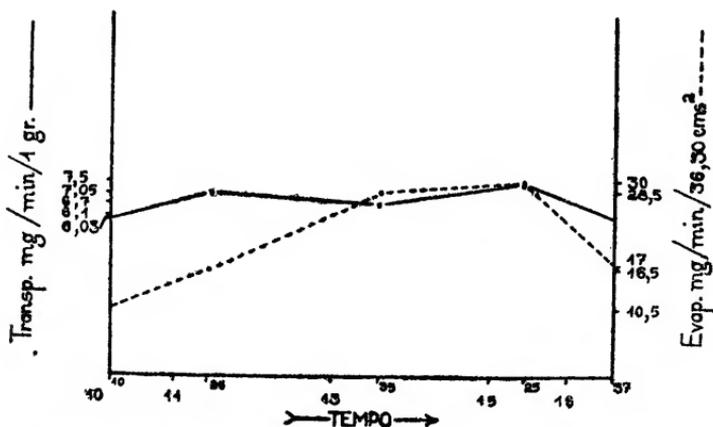


Gráfico 28: Transpiração de *Echinolaena inflexa* num dia do início da época seca (27-6-1943).

Só pudemos constatar, como mostram nossos gráficos, uma pequena queda e, isso mesmo, apenas em alguns casos. Em segundo lugar, essa pequena depressão por nós encontrada, às vezes, não deve ser atribuída, a nosso ver, ao "incipient drying", pois, como veremos detalhadamente num capítulo ulterior, um grande deficit de saturação não foi observado por nós, mesmo nas horas mais rigorosas do início da sêca. Provavelmente, nesta planta, os estômatos reagem, porém fracamente.

No fim da estação, estas *Gramíneas* se apresentaram sêcas com exceção de uma única fôlha apical que, em cada planta, ainda permaneceu verde. Foi, por isso, praticamente impossível estudar a transpiração de *Echinolaena*, neste período: para reunir um número de fôlhas verdes suficiente para cada pesagem, seria necessário empregar um lapso de tempo relativamente grande, de sorte que as primeiras folhinhas colhidas já estariam bem murchas e os resultados obtidos não seriam dignos de confiança.

O aspecto dessas *Gramíneas*, porém, em geral pardas e mortas, indica-nos por si só, que nesta época a água das camadas de solo onde se encontram suas raízes, não é suficiente para permitir sua manutenção.

\* \* \*

Do comportamento de outras plantas estudadas, como *Palicourea rigida*, *Anacardium pumilum*, *Solanum lycocarpum*, etc. damos só uma síntese <sup>1)</sup>: *Palicourea rigida*, no início da sêca, transpirou livremente, sendo obrigada a restringir o consumo d'água apenas no fim da estação. Após a restrição do meio dia, foi observado um segundo máximo dos valores. *Anacardium pumilum*, desde o início da época sêca foi obrigada a limitar o consumo d'água. Seus estômatos parecem ter uma reação muito lenta de sorte que a restrição só pôde ser constatada sempre mais tarde e o segundo máximo se estabeleceu, em geral, quando a evaporação já declinava. *Solanum lycocarpum*, estudada somente no fim da estação, nenhuma restrição mostrou no consumo d'água.

#### 6) — *Comportamento dos estômatos nas fôlhas "in situ"*

Ao mesmo tempo que fazíamos nossas determinações com a balança, aproveitávamos os intervalos entre as pesagens para estudar, com a infiltração, o comportamento dos estômatos nas fôlhas não afastadas das plantas.

De um modo geral, podemos dizer que, sempre que tentamos a infiltração, os resultados foram positivos, o que vale dizer que, encontramos os estômatos, geralmente, abertos, durante as várias

<sup>1)</sup> Agradecemos à D. Mercedes Rachid o ter-nos autorizado a mencionar aqui estes resultados que obteve e que concordam perfeitamente com as nossas próprias observações.

horas dos diversos dias do início e do fim da estação sêca, em que fizemos nossas observações.

Na pág. 175 já tivemos ensejo de adiantar que o método de infiltração deve ser usado com muita cautela, só servindo para a obtenção de dados provisórios, sem grande precisão. Podemos agora reforçar essa opinião, dizendo que, mesmo em casos em que a balança acusou uma diminuição dos valores de transpiração, não pudemos constatar, com a infiltração, o movimento dos estômatos. Somente quando a diminuição dos valores foi muito pronunciada, a infiltração se fez com maior dificuldade e apenas em muito poucos casos ela foi completamente obstada.

Tanto no início como no fim da estação sêca, os estômatos, não só das plantas cujo comportamento estudamos mais detalhadamente, com a balança, mas ainda os de muitas outras, como *Salacia campestris*, *Copaifera Langsdorfii*, *Casearia sp.*, *Bombax gracilipes*, etc., que só observamos com a infiltração, mantiveram-se abertos durante todo o dia. Até durante a noite, algumas observações que fizemos, mostraram que a maioria das plantas (*Kielmeyera coriacea*, *Andira humilis*, *Palicourea rigida*, *Anacardium pumilum*, *Stryphnodendron Barbatimão* e muitas outras) mantinham seus estômatos abertos.

Este é um fato digno de menção, porque é idéia corrente que, à noite, os estômatos das plantas terrestres estão, geralmente, fechados. Isto foi confirmado por Wenzl (48) que excetuou apenas as folhas muito novas e as moribundas, as primeiras com estômatos que ainda não se abrem, as outras com estômatos que não mais se fecham. Maximov (27, p. 308) cita o fato de que "in some (plants) <sup>1)</sup> like the potato, cabbage, beet, etc. they (the stomata) <sup>1)</sup> are usually open, and under optimum conditions of water supply they tend to remain so, throughout the day and night". Observações nossas (33) mostraram que também em *Cedrela fissilis* os estômatos não estão perfeitamente fechados até 22 ½ horas. Nossas atuais constatações com as plantas do cerrado são mais exceções a essa regra que, como vemos, não é tão geral como se costuma supôr.

Com a Tab. 3 <sup>2)</sup> ilustramos o comportamento dos estômatos de algumas de nossas plantas. Nessa tabela só indicamos se houve ou não infiltração, sem entrarmos em considerações sobre o grau de abertura dos estômatos, uma vez que essas considerações são, a nosso ver, muito subjetivas. Os dados que apresentamos em nossa tabela, obtidos no fim da estação sêca, refletem também a situação encontrada no início.

1) Parênteses do autor.

2) Os dados desta tabela foram obtidos em conjunto com o Prof. F. Rawitscher e D. Mercedes Rachid, aos quais agradecemos a autorização para publicá-los aqui.

TABELA 3 — 30/31-8-1943

Infiltração: Xilol (X) e Éter de petróleo (E)

Planta	T e m p o													
	6.30		7.30		9.40		10.30		15.30		17.45		21.30	
	X	E	X	E	X	E	X	E	X	E	X	E	X	E
<i>Ouratea spectabilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Butia leiospatha</i>	+	+	+	+	+	+	+				?	?		
<i>Echinolaena inflexa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Kielmeyera coriacea</i>			+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Andira humilis</i>	+	+			+	+	+	+			+	+	+	+
<i>Anona coriacea</i>	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	o	?
<i>Palicourea rigida</i>	?	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Anacardium pumilum</i>	+	+	+	+			+	+	+	+			+	+
<i>Alibertia sessilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Stryphnodendron Barbatimão</i>	?	?	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+

Nota: com as frações indicamos a infiltração nas faces superior e inferior quando as folhas têm estômatos em ambas.

+ = infiltração nitida; ? = resultado duvidoso; o = não houve infiltração.

Outro fato bastante interessante, relativo ao comportamento dos estômatos das plantas que estudamos, é que estes se fecham muito lentamente (quando se fecham!) depois que as folhas são destacadas das plantas. Muitas dessas folhas murcham perfeitamente sem fechar seus estômatos e a infiltração pode continuar

TABELA 4 — DEFICIT DE SATURAÇÃO — 28-6-1943

Planta	Hora	Deficit em % do pêso saturado
<i>Didymopanax vinosum</i> .....	10 <sup>07</sup> 15 <sup>00</sup>	3,1 3,8
<i>Dimorphandra mollis</i> .....	10 <sup>11</sup> 15 <sup>08</sup>	3,4 2,1
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> .....	10 <sup>16</sup> 15 <sup>05</sup>	1,7 0,5
<i>Erythroxylum suberosum</i> .....	10 <sup>21</sup> 15 <sup>08</sup>	1,8 2,1
<i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	10 <sup>24</sup> 15 <sup>11</sup>	4,7 5,3
<i>Andira humilis</i> .....	10 <sup>30</sup> 15 <sup>15</sup>	? 1,4 **
<i>Echinolaena inflexa</i> .....	10 <sup>56</sup> 15 <sup>20</sup>	1,07 4,2
<i>Butia leiospatha</i> .....	10 <sup>40</sup> 15 <sup>23</sup>	1,8 2,3
<i>Anona coriacea</i> .....	10 <sup>45</sup> 15 <sup>25</sup>	0,2 ?
<i>Duguetia furfuracea</i> .....	10 <sup>47</sup> 15 <sup>28</sup>	4,2 4,7
<i>Kielmeyera coriacea</i> .....	10 <sup>52</sup> 15 <sup>40</sup>	1,1 ? ***

\* — A presença de pêlos que podem reter água torna êste valor de pequena confiança.

\*\* — A fôlha é rasteira e sempre mantem um pouco de terra que pode cair prejudicando o resultado.

\*\*\* — Houve diminuição de pêso, na câmara húmida, pela perda de latex.

a fazer-se livremente. Este fato não é novo e na literatura (vide por ex. Maximov, 25, p. 190) já se encontram referências a êle. Tais referências, porém, dizem respeito a plantas higrofiticas. E' muito significativo o fato de termos encontrado êsse comportamento em plantas do cerrado, tido, comumente, como uma formação xerofitica.

### 7) — *Deficit de saturação*

Num trabalho anterior (34) já mencionamos o fato de que no início da estação sêca, conquanto mantivessem os estômatos abertos, transpirando livremente durante todo o dia, as plantas do cerrado não apresentavam em suas fôlhas, grandes deficits de saturação.

A Tab. 4, que agora publicamos, apresenta maior número de dados que ilustram êsse fato. Salientamos, novamente, que os deficits determinados nas fôlhas colhidas á tarde, isto é, nas fôlhas que atravessaram um longo periodo de transpiração, não são maiores que os encontrados pela manhã.

Isto indica que o abastecimento da copa é bastante eficiente e que as reservas de água existentes nas camadas de solo em que se encontram as raízes dessas plantas, são suficientes para suprir suas necessidades.

No fim da estação, os deficits encontrados foram um pouco maiores, mas não tão grandes como se poderia esperar. Em condições realmente xerofiticas a perda de água seria de 15-50 % (42). Os dados que obtivemos concordam com as nossas observações sôbre a transpiração: nesta época, foi maior o número das plantas que tiveram que limitar um pouco a transpiração. Mas, do mesmo modo que uma grande restrição do consumo de água nunca foi encontrada, também um grande deficit de saturação nunca foi constatado, como comprova a Tab. 5. Em geral, os valores desta tabela são da mesma ordem de grandeza dos da anterior.

Os dados que apresentamos não foram determinados em função do máximo conteúdo de água das fôlhas (vide Stocker, 42); para isso seria preciso determinar o pêso a sêco de todas as fôlhas estudadas que deveriam ser, então, conservadas durante vários dias e transportadas, depois, para o nosso laboratório, em São Paulo. Limitamo-nos a determinar os deficits de saturação em % dos pêsos das fôlhas saturadas. Como o pêso a sêco des-

nas fôlhas é, em geral, muito pequeno, os valores constantes de nossas tabelas não deixam dúvida sôbre a pequenez dos deficits constatados.

TABELA 5 — DEFICIT DE SATURAÇÃO — 29-8-1943

Planta	Hora	Deficit em % do pêso saturado
<i>Anona coriacea</i> .....	9 <sup>10</sup>	1,2
	15 <sup>38</sup>	1,6
<i>Kielmeyera coriacea</i> .....	9 <sup>15</sup>	?
	15 <sup>43</sup>	1,5 *
<i>Erythroxylum suberosum</i> .....	9 <sup>18</sup>	4,4
	15 <sup>46</sup>	5,1
<i>Andira humilis</i> .....	9 <sup>28</sup>	1,8
	15 <sup>48</sup>	1,9
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> .....	9 <sup>30</sup>	2,9
	15 <sup>50</sup>	3,8
<i>Bulia teiospatha</i> .....	9 <sup>35</sup>	1,7
	15 <sup>55</sup>	1,8
<i>Didymopanax vinosum</i> .....	9 <sup>37</sup>	6,5 **
	15 <sup>58</sup>	4,2 **
<i>Alibertia sessilis</i> .....	9 <sup>46</sup>	4,6
	16 <sup>07</sup>	5,3
<i>Ouratea spectabilis</i> .....	9 <sup>44</sup>	1,3
	16 <sup>05</sup>	0 (?)
(outra determinação, 31-8-943) .....	16 <sup>40</sup>	0,8

\* — Houve diminuição do pêso pela perda de latex.  
 \*\* — Valor de pouca confiança por causa dos pêlos da superfície.

8) — *Transpiração cuticular*

Apenas para formarmos uma idéia sôbre a ordem de grandeza dos valores de transpiração cuticular das plantas do cerrado, fizemos umas determinações que apresentamos na tabela 6.

TABELA 6 <sup>1)</sup> — TRANSPIRAÇÃO CUTICULAR

P l a n t a	Tr. cut.	Tr. cut.
	Tr. t. %	Ev. %
<i>Andira humilis</i> (4 fôlhas) .....	32,1	10
	35	8,2
	28	10,2
	37	13,7
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> .....	15,4	5,7
<i>Palicourea rigida</i> .....	36,5	11,2
<i>Anona coriacea</i> (2 fôlhas) .....	1,9	0,9
	2,5	1,02

Tr. cut. = transpiração cuticular; Tr. t. = transpiração total;  
Ev. = evaporação de um molde da fôlha, de papel mata-borrão verde, nas mesmas condições.

*Nota:* todas estas plantas só têm estômatos na face inferior.

Êstes valores só são aproximados. Foram obtidos em fôlhas hipoestomáticas, revestindo-se sua face inferior com uma camada de vaselina. Não foram levadas em consideração as quantidades d'água que a vaselina deixa passar. Essas quantidades são, na verdade, pequenas, mas quando se desejam valores muito exatos devem ser levadas em conta (vide 33).

Muitas das plantas do cerrado apresentam estômatos em ambas as faces o que dificulta a determinação dos valores de transpiração cuticular, porque nem sempre é possível saber-se, com certeza, se os estômatos estão perfeitamente fechados. Como, no momento, tínhamos interesse em obter apenas uns valores que nos permitissem avaliar a ordem de grandeza da transpiração cuticular, deixamos de lado essas plantas.

Nossa tabela mostra que êsses valores podem ser muito grandes, o que é um pouco surpreendente, pois como já foi exposto, essas plantas possuem, com exceção de *Palicourea rigida*, uma cutícula muito espessa. *Anona coriacea*, entre as demais aqui

<sup>1)</sup> Alguns dados desta tabela já foram apresentados por nós numa publicação anterior (34).

apresentadas, é a que tem menor transpiração cuticular e no entanto não é a que tem a cutícula mais forte. *Andira humilis*, ao contrário, tem uma cutícula das mais espessas e apresenta, apesar disso, alta transpiração cuticular. Vemos, assim, que não ha uma correlação muito estreita entre a espessura da cutícula e a proteção que ela exerce. Isto concorda com observações de outros autores (Kamp, 15).

Parece-nos significativa a coincidência de que *Anona coriacea*, com a melhor eficiência de proteção cuticular constatada por nós, seja também uma das poucas plantas que encontramos, já no início da sêca, com uma restrição no consumo de água. De outro lado, *Andira humilis*, sempre bem suprida de água, pode manter seus estômatos abertos até nas horas de sêca mais intensa e apresentar uma proteção cuticular menos eficiente.

### 9) — Conclusões

Resumindo nossos resultados em conjunto, podemos constatar que as plantas estudadas por nós não têm absolutamente o comportamento de xerófitas. Isto, diante dos vários trabalhos realizados anteriormente no nosso Departamento (5,34), era de se esperar, embora esteja em discordância com as idéias geralmente emitidas sôbre os nossos campos cerrados.

Assim Warming, o melhor conhecedor dos campos brasileiros, quando na sua obra fundamental (45) trata dêste problema, coloca os campos cerrados entre as associações xerofíticas, onde aparecem entre as estepes de *Gramíneas* da Rússia, as "prairies" e os pampas americanos, de um lado e as estepes rochosas do Mediterrâneo e da Ásia, o "sage brush" da América do Norte e os planaltos do Texas e do México, do outro.

Schimper (36) o outro fundador da Ecologia contemporânea, não só compartilhou dêsse ponto de vista, mas acentuou-o até, de tal modo, que provavelmente não teria tido o apoio do próprio Warming. Como esta sua opinião prevalece ainda hoje nos conceitos emitidos pela Ecologia e pela Fitogeografia atuais, citamos literalmente um trecho que, colocado na primeira edição de sua obra, foi mantido por Von Faber (37) até a última (1935):

"Só a serra costeira do Brasil meridional possui ainda tanta humidade que permite o desenvolvimento de uma floresta pluvial.

A diferença entre o clima das florestas (Gehoelzklima) e o das campinas (Grassflurklima) apresenta-se muito instrutivamente ao transpormos esta serra do Mar sul-brasileira que dirigida do norte para o sul, subtrai aos ventos marítimos tanta humidade que êstes se tornam ventos assás mais sêcos quando so-

pram por cima do planalto brasileiro até os Andes cuja muralha formidável condensa o restante da humidade.

A leste da Serra do Mar estende-se, sempre verde, a grandiosa floresta costeira do Brasil, mostrando interrupções quasi só provocadas pela cultura; ao oeste predomina a savana. A floresta retira-se até as margens dos rios (Galeriewald) ou reveste, freqüentemente, como floresta rala e baixa de savana, às vezes também como floresta alta, as encostas orientais das montanhas que são expostas aos ventos marítimos, encontrando-se ainda em bacias do solo, onde a água subterrânea se acumula.

Só as fraldas dos Andes são novamente cobertas por verdadeiras e sempre verdes florestas pluviais, porque subtraem dos ventos, devido a sua formidável altura, o resto de sua humidade.

Quem aporta, por ex., em Santos, na provincia de São Paulo, reconhece no porte conspicio de árvores sempre verdes, na existência em massa de epífitas e trepadeiras vigorosas, que se encontra na região da floresta alta, embora esta, perto da cidade, seja derrubada. Santos, com efeito, tem 233 cms. anuais de chuva.

Raiz da Serra, ao pé da Serra (21 ms. acima do mar), apresenta uma quantidade de chuvas ainda maior que o pôrto de Santos, com 280 cms. e Alto da Serra (800 ms. acima do mar), situado na própria Serra, possui mesmo 370 cms. Uma vez ultrapassada a crista da montanha, a quantidade das chuvas torna-se inferior ao necessário para floresta alta; não é, porém, floresta baixa, mas sim savana, que domina" (l.c. p. 414).

A improcedência desta apresentação torna-se evidente pela existência de inúmeras e contínuas florestas do tipo pluvial que revestem o interior ocidental do Estado de São Paulo, já mencionadas por Rawitscher (31).

Tais florestas, porém, são quasi inacessíveis e pouco conhecidas: as partes alcançadas pelas estradas de ferro e de rodagem já perderam a vegetação inicial. Assim, não surpreende que Wettstein (49) tenha aceito quasi literalmente o ponto de vista de Schimper.

Nessas florestas do interior não caem, porém, precipitações mais abundantes que nos planaltos cobertos por cerrados, de sorte que, a falta de água, não pode ser o único fator para explicar o aspecto sêco dessa vegetação.

Não é de estranhar a falta de tipos xeromorfos nos cerrados, fato êste já assinalado por Warming (46). Na sua época, no entanto, o julgamento baseava-se no aspecto exterior. Hoje, porém, sabemos que nem sempre a morfologia revela o xerotismo; é necessário estudar fisiologicamente o balanço d'água. Nos últimos anos foram realizados estudos dêste tipo em várias partes da terra. Onde se encontrou vegetação verdadeiramente xerofítica, constatou-se sempre um comportamento bem diverso

do encontrado por nós: diminuição forte da transpiração na época seca.

Isso se depreende dos trabalhos, entre outros, de Guttenberg e Buhr (8) para as "Macchias" da Córsega, dos de Birand (2) para a Ásia Menor e dos de Henrici (11) para os "velds" da África do Sul.

Existem, porém, alguns casos excepcionais: na Ásia Central, quasi no deserto, encontra-se o "arbusto dos camelos" (*Alhagi camelorum*), descrito por Kostytschew (18): "Essa planta é uma das maravilhas do deserto limoso da Ásia Central. Vegeta em condições que impedem a existência das outras plantas do deserto, quer pela ausência absoluta das precipitações, quer pelo conteúdo excessivo de sal. Isso pode ser explicado pela estrutura especial desta planta. A parte aérea do *Alhagi camelorum* forma um pé com muitos espinhos compridos e apresenta um desenvolvimento insignificante de fôlhas; a parte subterrânea, no entanto, apresenta uma coluna de lenho não raramente da grossura de um braço que se aprofunda verticalmente, atravessando, muitas vezes, camadas de loess de 20 ms. para chegar sempre, finalmente, ao lençol d'água. Desta maneira, a planta é sempre suprida com excesso de água. Mecanismos para diminuir a transpiração não existem" (l.c. p. 117).

Quem não assimilaria tal caso ao da nossa *Andira humilis*?

Até no deserto do Saara, Harder e seus colaboradores (9) encontraram plantas com transpiração ininterrupta, durante a seca. Esse comportamento, a nosso ver, pressupõe a existência não observada — e não procurada — pelos autores, de reservas d'água em camadas mais profundas do solo.

*Smyrnovia turkestanica*, estudada por Vasiljev (44) parece pertencer à mesma categoria.

Todos estes são, porém, casos excepcionais. Nos nossos cerrados, o aproveitamento de grandes reservas de água de profundidades menores, torna-se o caso geral. Exceptuadas são, somente, as plantas que dependem da água dos 2 ms. mais superficiais do solo. As outras estudadas por nós, pelo comportamento de seus estômatos que muitas vezes até não podem se fechar, lembram mais plantas de brejo.

Na realidade poderíamos assimilar as condições dos nossos cerrados às de um brejo que fosse separado da superfície por uma camada de terra que anualmente pode secar até 2-3 ms., como mostra a tabela 7, reproduzida de nossa publicação preliminar (34). Nessa publicação já mostramos que a água desse grande reservatório subterrâneo provém somente das chuvas estívais, água essa que não é esgotada, na época seca, pela vegetação escassa do cerrado. O excesso se escoia continuamente, durante a seca como durante a época das chuvas, para os riachos e rios que nunca secam.

TABELA 7

CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO EM % DO PESO DA TERRA SÊCA

Profundi- dade (m.)	23-6-1942 %	27-7-1942 %	18-3-1943 %	22/23-6-943 %
0,00	5,5	5,7	5,7	—
0,50	6,0	7,7	11,8	7,9
0,60	8,4	5,8	14,8	7,9
1,00	9,4	7,5	14,6	7,2
1,50	9,9	—	—	—
1,60	—	—	—	7,5
2,00	13,0	9,5	17,0	—
3,00	13,6	14,0	18,7	—
4,00	—	14,0	17,6	—
5,00	16,0	14,1	16,7	—

O esquema que reproduzimos adiante (Fig. 21) ilustra o modo pelo qual são distribuídas as raízes das plantas do cerrado: as *Gramíneas* limitam suas raízes à parte superficial que pode ser afetada pela sêca; por êsse motivo tais plantas secam, depois que as reservas de água dessa camada se esgotam, no nosso caso, quando a terra contem cêrca de 6 % de água; as árvores e arbustos podem alcançar, com suas raízes, profundidades muito maiores onde formam, de preferência, seu sistema absorvente.

Isto explica porque essas plantas podem vegetar permanentemente: servem-se da água, que nunca escasseia, das camadas mais profundas.

Além de todas as observações já mencionadas, inúmeras outras que se fazem "in loco", conduzem à conclusão de que os nossos cerrados não são um tipo xerofítico de vegetação. Duas, entre as mais, parecem-nos de grande significação: em pleno cerrado, nas vizinhanças das habitações, não raramente nos cumes dos espigões, sempre se encontram culturas de várias plantas (mangueira, laranjeira, bananeira, etc.) em franca produção. Essas culturas não contam com outra água que a que lhes fornece a natureza através das chuvas da região, porque as próprias casas só dispõem da água de poços, água essa que, sem ser escassa, ape-

nas chega para o consumo doméstico. A segunda observação, aliás já mencionada em páginas anteriores, refere-se à possibilidade de floração e de frutificação de plantas do cerrado, em plena seca. Para o desenvolvimento de flores e frutos, a planta necessita de grandes quantidades de água. Esta água só pode sair do solo. Nêste mesmo sentido, tivemos ensejo de fazer uma observação muito sugestiva: na primeira fase dos nossos trabalhos, em Emas, deixamos expostos, sem nenhuma proteção contra a evaporação, plantas como *Andira humilis* e *Anacardium pumilum*, com as partes subterrâneas descobertas até quasi 2 m. Dois meses depois, quando voltamos para a continuação de nossas pesquisas, encontramos várias plantas em flor, e, entre elas, êsses mesmos exemplares cujos ramos ficaram, durante êsse longo período — quasi sem chuva — sem a menor proteção, sujeitos aos rigores do tempo! É' claro que os ramos e raízes expostos, não só não puderam absorver água, mas, ainda, perderam muita por sua própria transpiração; apesar disso, a água aduzida aos pontos vegetativos foi suficiente para permitir a formação de novas fôlhas, de flores e o desenvolvimento de frutos.

Em face de todo êste amplo material de observações que agora possuímos, podemos reafirmar nossa opinião já enunciada em trabalhos anteriores (5,34) de que nos campos cerrados, pelo menos nos do tipo do estudado em Emas, não falta água para uma vegetação mais exigente. Esta não se desenvolve por causa das queimas anuais. A vegetação estudada não corresponde, pois, ao estado final ou climax de seu desenvolvimento. A perturbação contínua fá-la parar no estado de sub-climax que corresponde ao sub-climax de fogo dos autores americanos.

Qual seria a associação climax que se estabeleceria se as causas que impedem o desenvolvimento do cerrado — derrubadas,

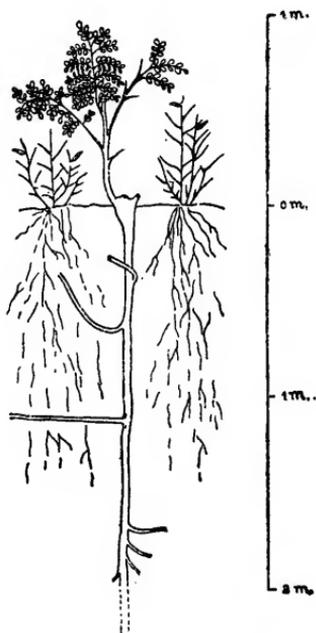


Fig. 21: Esquema da distribuição das raízes de plantas do cerrado: *Stryphnodendron Barbatimão* sem raízes absorventes nos 2 primeiros ms; *Echinolaena inflexa* cujas raízes são limitadas às camadas mais superficiais (Original de F. Rawitscher).

queimadas — fossem afastadas, não podemos precisar, por não dispormos ainda, para isso, de elementos suficientes.

Esperamos poder desenvolver neste sentido os nossos estudos, agora que — além da colaboração da Estação de Emas — contamos com o apoio dos "Fundos Universitários de Pesquisas".

### Resumo

Continuando o estudo da vegetação dos campos cerrados, sobre o qual já foi feita uma publicação preliminar (34), este trabalho refere-se, especialmente, ao comportamento das plantas permanentes do cerrado, em relação ao fator água.

Depois de uma introdução em que são considerados os vários aspectos do problema do balanço d'água em relação à planta, o clima da região (Einas, próxima de Pirassununga, Estado de São Paulo) onde os trabalhos foram realizados, é caracterizado nos seus traços gerais. Em 3 gráficos apresentam-se os dados mais significativos (temperatura, humidade relativa e evaporação) obtidos nos períodos em que as pesquisas foram feitas (início — 17/6 a 3/7/1943 — e fim — 27/8 a 1/9/1943 — da estação seca que nessa região coincide com o inverno). A temperatura e a humidade relativa foram determinadas com os termômetros seco e húmido e a evaporação com um evaporímetro de Piche.

A vegetação do cerrado em estudo é dividida em três tipos: 1.º - das plantas — com ou sem xilopódios — que só vegetam na época das chuvas (verão); 2.º - das plantas permanentemente verdes; 3.º - das plantas (*Gramineae*) que vegetam até o esgotamento total das reservas de água das camadas de solo atingidas por suas raízes. No presente trabalho são estudadas especialmente as plantas do 2.º tipo, as únicas que podem fornecer dados sobre a economia d'água na estação seca. Uma lista das espécies permanentes mais características do cerrado é apresentada às págs. 170-171.

O método empregado para o estudo da transpiração foi especialmente o da pesagem rápida. As pesagens foram realizadas com uma balança de torsão e o intervalo usado entre as duas primeiras determinações foi, em geral, de 5 minutos. Intervalo menor não foi aconselhável por causa dos ventos, nem foi necessário porque as plantas estudadas fecham os estômatos muito lentamente, quando os fecham (Tab. 1). Foram feitas observações sobre o comportamento dos estômatos nas folhas "in situ" com o método da infiltração com xilol, benzol e éter de petróleo.

A marcha diária da transpiração de 12 plantas é apresentada em 25 gráficos que, ao lado da curva de transpiração, trazem a da evaporação. Os resultados obtidos po-

dem ser resumidos do seguinte modo: a maioria das plantas transpira sem restrição, durante todo o dia, no início como no fim da época sêca; algumas diminuem a transpiração nas horas mais rigorosas do fim da sêca, podendo ou não aumentá-la, mais tarde, novamente; muito poucas limitam o consumo d'água já no início da estação sêca. A estrutura das fôlhas e dos estômatos das plantas estudadas é representada esquematicamente em 19 figuras.

O comportamento dos estômatos nas fôlhas "in situ" foi acompanhado com a infiltração que deu, durante todo o dia, valores positivos; algumas determinações feitas (21 ½ horas) tanto no início como no fim da sêca, mostraram estômatos abertos durante a noite (Tab. 3).

O deficit de saturação das fôlhas foi, em geral, muito pequeno — apesar dos estômatos estarem sempre abertos — mesmo nas fôlhas colhidas à tarde. Também os valores determinados no fim da sêca não foram maiores que os obtidos no início (Tabs. 4 e 5).

A transpiração cuticular deu, em geral, valores muito altos (Tab. 6) o que não é típico de plantas xerofíticas.

Como conclusão mais importante impõe-se a confirmação das nossas considerações anteriores (5,34) de que o cerrado estudado não é um tipo primário de vegetação e que deve sua existência a fatores contingentes (derrubadas, queimadas). Afastados êstes, o campo transformar-se-ia numa forma mais exuberante de vegetação, cujo tipo ainda não pode ser determinado com precisão.

### *Summary*

Proceeding with the studies on the vegetation of "campos cerrados", on which we have already made a preliminary publication (34), this paper deals specially with the behaviour of permanent plants of the "cerrado" in relation to water.

After an introduction — in which the question of the water balance in relation to the plant is considered in its several aspects — the Climate of the region (Emaç, near Pirassununga, State of S. Paulo, Brasil) where the work was done, is characterized in its main lines. Three graphs show the more significant data (temperature, relative humidity and evaporation) obtained during the periods of experiences (June 17 to July 3, and August 27 to September 1st, 1943; dry season, which, in this region, coincides with winter). Temperature and relative humidity were determined with the dry and moist thermometers and evaporation was measured with Piche's evaporimeter.

The vegetation of the studied "cerrado" can be divided into three types: 1) - plants with or without xylo-podes, which vegetate only during the rain period (summer);

2) - ever-green plants; 3) - plants (*Gramineae*) which vegetate until the complete exhaustion of the water reserves in the soil layers reached by their roots. This paper deals particularly with plants of the second group, the only ones which can give us some data on the water balance during the dry season. A list of the more characteristic permanent species of the "cerrado" is given on pages 170 and 171.

The method used in the study of transpiration was specially that of rapid weighing. Weighings were made on a torsion balance and the two first determinations were generally made with intervals of 5 minutes. Shorter intervals were not advisable on account of the wind, and were not necessary as the plants under study close their stomata very slowly, if they close them at all (Table 1). The behaviour of stomata "in situ" was studied by means of the infiltration method with xylol, benzol and petrol ether.

The daily march of transpiration of 12 plants is presented in 25 graphs which show the transpiration curve compared with that of evaporation. The results obtained may be resumed as follows: the majority of plants transpire with no restriction during the whole day, at the beginning as well as at the end of the dry season; some plants lower their transpiration during the more severe hours at the end of the dry season, being sometimes able to increase it again, later on; there are only a few which limitate their water loss from the beginning of the dry season. The structure of the leaves and of the stomata of the studied plants is given in 19 figures.

The behaviour of the stomata on the leaves "in situ" gave, with the infiltration method, positive values all the day long; some determinations made during the night (9 p.m.), at the beginning as well as at the end of the dry period, have shown open stomata (Table 3).

The saturation deficit of the leaves was usually very low — though the stomata were always open — even on leaves picked in the afternoon. The values determined at the end of the dry season were not higher than those obtained at the beginning (Tables 4 and 5).

The cuticular transpiration gave usually very high values (Table 6), a fact not typical for plants which grow in dry conditions.

Thus, the plants studied do not show any feature of xerophytic behaviour; they use freely great quantities of water even during the driest periods. The explanation lies upon the great amounts of water stored in the deeper layers of the soil and in the depth of the root system of the studied plants. In consequence, it is not the lack of water that causes the existence of the apparently dry "campos cerrados". As the "campos" are burned every year, the

vegetation may be that of a fire sub-climax. If these camp-fires were eliminated the region should be able to cover itself with a richer — forest-like — vegetation, the type of which should be determined by further studies.

### Bibliografia

- 1 — BARTHOLOMEW, E. T. — 1931 — Certain phases in Citrus leaf transpiration. — Amer. Journ. of Bot., 18, p. 765-783.
- 2 — BIRAND, H. AHMET — 1938 — Untersuchungen zur Wasseroekologie der Steppenpflanzen bei Ankara. — Jahrb.f.wiss. Bot., 87, p. 93.
- 3 — DARWIN, F. — 1898 — Observations on stomata. — Phil. Trans. Roy. Soc. London, 190 B, p. 531-621.
- 4 — DIETRICH, M. — 1926 — Transpiration von Schatten - und Sonnenpflanzen usw. — Jahrb.f.wiss. Bot., 65.
- 5 — FERRI, M. G. — 1943 — Observações sobre Lagoa Santa — Ceres, vol. IV, n.º 21. — Esc. Sup. Agric. Viçosa — Minas Gerais.
- 6 — FRENGUELLI, J. — 1940 — Rasgos principales de Fitogeografía Argentina. — Publicaciones del Museo de La Plata, n.º 2 — La Plata.
- 7 — FRIES, ROB. E. — 1905 — Die Anonaceen der zweiten Regnell'schen Reise. — Arkiv för Botanik, 4, 19, p. 9.
- 8 — GUTTENBERG, H. VON e BUHR, H. — 1935 — Studien ueber die Assimilation und Atmung Mediterraner Macchiapflanzen waehrend der Regen - und Trockenzeit. — Planta, 24, 2, p. 163.
- 9 — HARDER, R., FILZER, P. und LORENZ, A. — 1931 — Ueber Versuche zur Bestimmung der Kohlensaure-assimilation immergruener Wuestenpflanzen waehrend der Trockenzeit in Beni Unif (algerische Sahara). — Jahrb.f.wiss. Bot., 75, 1.
- 10 — HENRICI, M. — 1927 — Physiological plant studies in South Africa, part II — Transpiration of Grasses and other plants under arid conditions. — Department of Agriculture, Union of South Africa.
- 11 — HENRICI, M. — 1940 — The transpiration of different plant associations in South Africa. — Part I — Transpiration of Karoo bushes. — Science Bulletin nr. 185. — Department of Agriculture and Forestry, Union of South Africa.
- 12 — HOEHNE, F. C. — Observações gerais e continuação do estudo da flora e fitofisionomia do Brasil, III — Excursões 1927 (Relatório sem data).
- 13 — HUBER, B. — 1923 — Transpiration in verschiedener Stammhoehe. — Ztschr.f. Bot., 15, p. 465-601.
- 14 — IWANOFF, L. — 1928 — Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. — Ber.d.Deutsch.Bot.Ges., 46, p. 306.
- 15 — KAMP, H. — 1930 — Untersuchungen ueber Kutikularbau und kutikulaere Transpiration von Blaettern. — Jahrb.f.wiss.Bot., 72, 3.
- 16 — KELLER, BORIS — 1930 — Die Methoden zur Erforschung der Oekologie der Steppen — und Wuestenpflanzen — Handb. d.biol.Arbeitsmethoden — Lief. 335, Abt. XI, T. 6, H. 1.

- 17 — KERNER, A. VON MARILAUN und HANSEN, A. — 1913 — Pflanzenleben, Bd. I. — Leipzig e Viena.
- 18 — KOSTYTSCHEW, S. und KARDO-SYSSOIEWA — 1930 — Untersuchungen ueber den Tagesverlauf der Photosynthese in Zentralasien. — *Planta*, 11, p. 117.
- 19 — LINDMAN, C. A. M. — 1906 — A vegetação no Rio Grande do Sul (trad. por Loefgren, A.) — Porto Alegre.
- 20 — LIVINGSTON, B. E. and BROWN, W. H. — 1912 — Relation of the daily march of transpiration to variations in the water content of foliage leaves. — *Bot. Gaz.*, 53, 309-330.
- 21 — LLOYD, F. E. — 1908 — The physiology of stomata. — *Carnegie Inst. Washington Publ.* 82, 1-142.
- 22 — LOOMIS, W. E. and SHULL, C. A. — 1937 — Methods in plant physiology — London and New York.
- 23 — MARTIUS, C. F. PH. — 1872-1877 — *Flora Brasiliensis*, vol. XII-2, p. 330-331 (*Ochnaceae* : Engler).
- 24 — MARTIUS, C. F. PH. — 1841-1872 — *Flora Brasiliensis*, vol. XIII-1, p. 8-9 (*Anonaceae* : Martius).
- 25 — MAXIMOV, N. A. — (1929) 1935 — The plant in relation to water. — London.
- 26 — MAXIMOV, N. A. — 1931 — The physiological significance of the xeromorphic structure of plants. — *Journ. of Ecology*, XIX, 2.
- 27 — MAXIMOV, N. A. — 1938 — *Plant Physiology* — New York and London.
- 28 — MELLO BARRETO, H. L. — 1942 — Regiões Fitogeográficas de Minas Gerais. — Bol. 4 do Depart. Geográfico do E. de Minas Gerais — Belo Horizonte.
- 29 — OPPENHEIMER, H. R. and MENDEL, K. — 1939 — Orange leaf transpiration under orchard conditions. — *Agricultural Research Station, Rehovot, Bull.* 25.
- 30 — PISEK, A. und CARTELLIERI, E. — 1931 — Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. I — Sonnenpflanzen. — *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 75, 2.
- 31 — RAWITSCHER, F. — 1942 — Algumas noções sobre a transpiração e o balanço d'agua de plantas brasileiras. — *An. Acad. Bras. Cienc.*, T. XIV, n.º 1.
- 32 — RAWITSCHER, F. — 1942-44 — Problemas de Fitoecologia com considerações especiais sobre o Brasil meridional. — *Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letras — Botânica*, ns. 3 e 4.
- 33 — RAWITSCHER, F. K. e FERRI, MARIO G. — 1942 — Observações sobre a metodologia para o estudo da transpiração cuticular em plantas brasileiras, especialmente em *Cedrela fissilis*. — *Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letras, Botânica*, n.º 3.
- 34 — RAWITSCHER, F., FERRI, M. G., RACHID, M. — 1943 — Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil meridional. — *An. Acad. Bras. Ciênc.*, T. XV, n.º 4.
- 35 — RENNER, O. — 1910 — Beitrage zur Physik der Transpiration. — *Flora*, 100, 451-547.
- 36 — SCHIMPER, A. F. W. — 1898 — *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage*. — Jena.
- 37 — SCHIMPER, A. F. W. — 1935 — Idem, Idem. — 3.ª ed. revista e aumentada por F. C. von Faber. — Jena.
- 38 — SCHORN, M. — 1929 — Untersuchungen ueber die Verwendbarkeit der Alkoholfixierung und der Infiltrationsmethode zur Messung von Spaltoeffnungsweiten. — *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 71, H. 5.

- 39 — SEYBOLD, A. — 1929 — Untersuchungen ueber die Transpirationswiderstaende und ueber die Temperatur aegyptisch-arabischer Wuestenpflanzen. — *Planta*, Bd. 9, 270-314.
- 40 — SEYBOLD, A. — 1930 — Die Pflanzliche Transpiration. — *Ergebnisse der Biologie*, Bd. 6, p. 559.
- 41 — STALFELT, M. G. — 1932 — Der stomataere Regulator der pflanzlichen Transpiration. — *Planta*, 17, 22-85.
- 42 — STOCKER, O. — 1929 — Das Wasserdefizit von Gefaesspflanzen in verschiedenen Klimazonen. — *Planta*, 7, 2/3.
- 43 — STOCKER, O. — 1933 — Transpiration und Wasserhaushalt in verschiedenen Klimazonen, II — Untersuchungen in der ungarischen Alkalistepe. — *Jahrb.f.wiss. Bot.*, 78, 751.
- 44 — VASILJEV, I. M. — 1931 — Ueber den Wasserhaushalt von Pflanzen der Sandwueste im Suedoestlichen Kara-Kum. — *Planta*, 14, 2, 225.
- 45 — WARMING, E. — 1902 — Lehrbuch der Oekologischen Pflanzengeographie. — 2a. ed. — Berlin.
- 46 — WARMING, E. — 1908 — Lagoa Santa (trad. por Loefgren, A.). Belo Horizonte.
- 47 — WEAVER, J. E. and CLEMENTS, F. E. — 1938 — *Plant Ecology*, 2a. ed., New York and London.
- 48 — WENZL, H. — 1939 — Das Verhalten der Spaltoeffnungen von Wasser und Sumpfpflanzen. — *Jahrb.f.wiss. Bot.*, 88, 1.
- 49 — WETTSTEIN, R. R. VON — 1904 — Vegetationsbilder aus Suedbrasilien. — Leipzig e Viena.

BOLETINS PUBLICADOS PELO DEPARTAMENTO  
DE BOTANICA

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 limnológico da Represa de Santo Amaro em São Paulo.

N.º 3 — 1942:

*Rawitscher, F. K.* — Problemas de Fitoecologia com Considerações Especiais sobre o Brasil Meridional.

*Rawitscher, F. K.* e *Ferri, M. G.* — Observações sobre a Metodologia para o Estudo da Transpiração Cuticular em Plantas Brasileiras, especialmente em *Cedrela Fissilis*.



Este livro foi composto e impresso  
nas oficinas de José Magalhães.  
Rua Quirino de Andrade, 59 - 67.  
São Paulo — Julho 1944