

Descrição, análise e interpretação conceitual do sistema de classificação de climas de C. W. Thornthwaite*

EDMON NIMER
Geógrafo do IBGE

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é descrever, analisar e interpretar um dos diversos sistemas de classificação de climas: o sistema de C. W. Thornthwaite. E isto será feito simultaneamente.¹ As razões desta escolha são diversas:

1.^a) Dos sistemas modernos, este é, sem dúvida, o mais complexo. Ao contrário de alguns sistemas, como o de Köppen e o de De Martonne, o de Thornthwaite não utiliza como valores os elementos do clima em sua aparência original. Neste, os elementos temperatura e precipitação são, através de processos racionais, puramente matemáticos, transformados em mais de uma dezena de índices, que não são fáceis de serem entendidos no seu sentido mais profundo e conceitual, pois resultam de um processo de teorização altamente racional. E sem conhecer o conceito de cada índice numérico não se pode compreender o conceito

* Baseado em "An approach toward a rational classification of climate", publicado na *Geographical Review*, t. 38, 1948, p. 55-94.

1 Por diversas razões não teceremos nenhum comentário crítico acerca deste sistema. Primeiro porque não existe nenhum trabalho de aplicação do mesmo no Brasil que pudesse servir a este propósito: as aplicações deste sistema ao nosso País se restringem a algumas localidades (estações climatológicas), ou a escalas muito reduzidas. Segundo porque as imperfeições por ventura existentes neste sistema serão perfeitamente normais, pelos motivos amplamente já considerados. Terceiro, suas esperadas imperfeições poderão ser corrigidas por reajustamentos baseados na realidade climática do Brasil, e estes somente poderão ser realizados mediante pesquisa sistemática acerca das relações entre a temperatura, precipitação, evapotranspiração real e potencial e os fatores climáticos no território brasileiro, a exemplo do que fez Thornthwaite nos Estados Unidos, ao arquitetar seu sistema.

das unidades climáticas que o sistema propõe definir e muito menos julgá-los e ajustá-los às diversas regiões, se acharmos necessário assim proceder. Neste trabalho tentaremos oferecer, além da descrição completa da estrutura do sistema Thornthwaite, os conceitos de seus valores classificantes, os quais, no trabalho original, julgamos que nem sempre são acessíveis a toda gama de especialistas.

2.^a) A maior parte dos estudos que têm sido feitos baseados no sistema de Thornthwaite, inclusive no Brasil, tomam como base os princípios expostos nos seus primeiros trabalhos publicados em 1931.² Considerando muitas críticas feitas ao seu sistema, Thornthwaite desenvolveu-a com profundas modificações que resultaram em uma revisão quase geral deste sistema de classificação climática, publicado em 1948: "An approach toward a rational classification of climate".³ Aliás, muitas críticas existentes acerca do sistema de Thornthwaite se aplicam à primeira experiência que não deve ser confundida com a segunda. E é sobre a segunda que este trabalho se refere.

3.^a) Além dessas razões existem outras que por si só justificariam, acreditamos, a elaboração deste trabalho: a respeito do sistema de Thornthwaite há uma série de sínteses publicadas em livros de *climatologia geral*, editadas em diversos países e em apostilas elaboradas em universidades brasileiras que são meras caricaturas do sistema. Em algumas dessas apostilas a omissão de trechos muito importantes do texto original e a ausência absoluta de interpretação conceitual, torna o sistema de Thornthwaite parecer mais uma brincadeira de passatempo do que de um trabalho científico. Certamente que os autores de tais "sínteses" tiveram a melhor das intenções ao pretender divulgar o sistema de Thornthwaite, porém estamos certos que tais autores prestariam melhor serviço à *climatologia descritiva*, em geral, e ao sistema de Thornthwaite, em particular, se, ao invés de elaborarem tais "sínteses", eles recomendassem aos seus leitores e alunos a leitura do texto original de Thornthwaite. A pequena divulgação desse sistema de classificação de climas se deve, acreditamos, mais ao seu mau uso do que à sua própria complexidade.

4.^a) Além dos seus quatro índices determinantes das diferentes unidades climáticas (*umidade efetiva, variação sazonal da umidade efetiva, eficiência térmica média anual e concentração no verão da eficiência térmica*), o sistema de Thornthwaite possui ainda muitos outros índices climáticos mensais e anuais que podem ser utilizados independentemente do seu sistema geral, isto é, sem o propósito de classificar diferentes tipos climáticos de acordo com a sistematização geral deste sistema, tais como o índice de *evapotranspiração potencial*, o cálculo da *evapotranspiração real*, os índices de *umidade* e de *aridez*, o índice *térmico*, os índices de *excesso* ou *deficiência de água*, o índice de *escoamento superficial* e as *anomalias climáticas* expressas no maior ou menor grau de maritimidade ou de altitude.

O problema da classificação de climas parece ser, de certa forma, insolúvel, uma vez que o mesmo parece não encontrar soluções que não sejam arbitrarias e artificiais. Daí a imperfeição dos sistemas de classificação raramente adaptados às necessidades dos pesquisadores, principalmente dos que gostariam de encontrar nos trabalhos dos clima-

² *The climates of North America according to a new classification* (Geog. Rev. t. 21, outubro 1931, p. 613-635).

³ *Geogr. Rev.*, t. 38, january 1948, p. 55-94.

tologistas um quadro simples mas universal que fornecesse os meios de interpretação natural dos mais diversos fenômenos que sofrem influência do clima.

Se classificar objetos, tais como plantas ou animais, constitui uma tarefa já bem complicada, sobre a qual botânicos e zoólogos com frequência se colocam em desacordo, podemos imaginar o que significa tentar encontrar unidades no mais complexo e dinâmico dos fenômenos físicos. Com efeito, os caracteres que dariam a um clima sua individualidade não permitem definir com máxima objetividade as unidades que se gostaria de classificar.

Contudo, para se ter uma utilidade prática, um sistema de classificação não pode partir senão de dados simples, ou pelo menos facilmente acessíveis, a fim de se chegar a um quadro suficientemente geral — para permitir a comparação entre climas que possuem numerosos traços comuns — e ao mesmo tempo bastantes detalhado — para diferenciar os climas que se separam por alguns caracteres mais ou menos importantes. Conforme o ponto de vista em que se coloca o pesquisador (fitossociólogo, ecologista, higienista, pedólogo, geógrafo, economista, etc.), as nuances, sem interesse para uns, podem ser importantes para outros, e o climatologista não pode encontrar uma solução satisfatória para todas as necessidades, num só sistema, nem mesmo as suas próprias. Diante das infinitas variedades de climas que se encontram na superfície da terra, pode-se procurar reunir nos agrupamentos, tanto racionais quanto possível, os climas que têm caracteres bastante semelhantes. Porém, os princípios que guiarão este agrupamento podem variar notavelmente conforme o problema ao qual se propõe aplicar a classificação. Se sistemas diferentes conduzem a representações diferentes, para a comparação dos resultados deve sempre se ter em conta as razões utilitárias que ditou a escolha dos diversos sistemas. Assim, a crítica se dirigirá aos promotores do sistema e não à climatologia, que não será a responsável pelo uso mais ou menos perfeito, ou até mesmo imperfeito, que se faz de seus dados.

Além desses, o problema de classificar os climas apresenta outras dificuldades. Sendo o clima resultado de muitas e intrincadas relações entre a superfície da terra e a atmosfera, relações efetuadas entre os diversos fatores conhecidos como *fatores do clima*, talvez seja impossível selecionar ou combinar os elementos climatológicos mais expressivos e, ao mesmo tempo, encontrar proporcionalidade entre estes elementos que possam expressar, de modo bastante racional, o que entendemos por clima de uma certa área. Esta dificuldade é, aliás, muito natural, uma vez que o clima, por representar uma *idéia complexa e abstrata*, sem existência concreta em nenhum lugar, não pode ser medido ou equacionado em termos exatos como a temperatura, a precipitação, a umidade absoluta e relativa etc.

Desses problemas resulta um outro que, aliás, não é exclusivo das classificações climáticas, e está presente na própria essência dos estudos de Geografia regional: o problema da generalização. Um sistema de classificação de climas, ou qualquer sistema de classificação de variáveis geográficas, é função da escala em que se está estudando. Isto quer dizer que o grau de generalização que adotarmos dará a medida do tipo de diferenciação que teremos que estabelecer. Por exemplo, se estudarmos o clima do município do Rio de Janeiro devemos descer tanto quanto possível ao nível de diferenciações locais (mesoclimas). Porém, se estudarmos o clima do Sudeste do Brasil, no qual o município do Rio de Janeiro está contido, ocupando uma pequena parte, podemos

chegar freqüentemente ao nível metodológico da climatologia regional (macroclimas), e as descidas aos níveis da climatologia local podem se verificar apenas em situações muito especiais.

Sendo o clima para o geógrafo e ecologista uma parte do elemento natural e abiótico que ele estuda em interação com outros elementos naturais — bióticos e abióticos — com o propósito de conhecer melhor os ambientes que o homem ocupa e fazer deles um uso mais racional, deduz-se que um sistema de classificação climática só é aceitável se ele possui o mérito de esclarecer, mesmo que parcialmente, as relações que se procura conhecer. É evidente que o sistema precisará ser aceitável do ponto de vista puramente climatológico, isto é, o sistema de classificação de climas terá que exprimir também as relações entre os diversos fatores do clima e, apenas adicionalmente, relações com outros aspectos.

Contudo, antes de se pretender classificar os climas é indispensável verificar a identidade dos indivíduos que se classifica e saber manipular os dados climatológicos. Além disto, deve-se procurar interrogar sobre o caráter representativo dos valores numéricos levados em conta para o agrupamento, isto é, procurar se inteirar profundamente dos conceitos que estes mesmos valores encerram.

Os numerosos sistemas de classificação atestam a complexidade do problema. As classificações primitivas são bastante simplistas, como as que distinguem sobre o globo cinco zonas separadas pelos dois círculos polares e pelos dois círculos dos trópicos. Por maior que seja a importância da latitude, ela não pode eclipsar os outros fatores do clima: situação em relação à maritimidade ou continentalidade, ao relevo, à circulação geral e regional da atmosfera etc. Bastante satisfatórios são também aqueles sistemas de classificação que consideram somente um elemento climatológico, tal como o de Supan (1884), que se contentava em substituir os círculos polares e dos trópicos pelas isotermas anuais de 0°C e 20°C, para definir a superfície da terra em zona quente, duas zonas temperadas e duas zonas polares frias. Para se verificar o caráter simplista desse sistema, basta observar que duas regiões embora possuindo a mesma temperatura média anual apresentam ao longo dos meses do ano divergências consideráveis que contradizem toda reconciliação entre o sistema e as macrounidades climáticas que ele estabelece, sem falar daquelas diferenças que emergem destas mesmas macrounidades, quando se faz intervir outros elementos como umidade e precipitação.

A maioria dos modernos sistemas de classificação de climas leva em conta somente elementos meteorológicos. Geralmente tais sistemas consideram pelo menos dois elementos — temperatura e precipitação — dando um papel mais importante a um do que a outro, ou colocam os dois em pé de igualdade. Alguns desses sistemas utilizam principalmente os simples dados dos elementos obtidos pelos instrumentos de medição próprios da meteorologia, como o sistema de Köppen e do De Martonne, enquanto outros consistem em fórmulas elaboradas nas quais estes elementos são combinados e transformados em índices, cujos valores numéricos servem à classificação, como o sistema de Gaussen e, principalmente, o de Thornthwaite. Dentre os numerosos sistemas de classificação de climas, uns são bastante empíricos e procuram atender a propósitos fitoclimáticos, como os de Köppen e Gaussen, outros são mais racionais e, embora resultem de especulações quase exclusivamente climatológicas, pretendem atender a propósitos mais gerais, de interesse mais físico do que biológico, como os sistemas de De Martone, Thornthwaite, Schinze, Lürke e Dinies, Haurwitz, Austin e Willet, Pône, etc.,

além de outros ensaios de classificação, como *Un système décimal de classification* de Gorczynski, *Une représentation chromatique des climats* de Curé e *L'idée d'une classification génétique des climats*. Este último tem em Alissov e Flohn, dois de seus principais defensores.

Além desses diversos sistemas de classificação de climas existem, ainda, um número muito grande de índices de propósitos mais limitados: fator de Lang, índice de secura de Transeau, cotidiano Qns de Meyer, índice de aridez de De Martonne, cotidiano pluviométrico de Emberger, índice de Zederbauer, índice de secura de Geslin e Servy, chuva normalizada de S. Hénin, índice de continentalidade de L. Gorczynsky, índice de secura de R. Portères, índice de P. Birot, índice xerotérmico de Gausson e Bagnouls etc. A enumeração dos sistemas gerais e dos índices especiais, mesmo limitada aos mais conhecidos, são suficientes para mostrar quanto a escolha pode ser variada, mas também sublinha o alcance limitado da maior parte destes sistemas e índices.⁴ Os índices especiais não foram aliás imaginados com objetivo de arquitetar classificações climáticas, mas, simplesmente, para interpretar, com ajuda de fórmulas simples, fenômenos muito complexos. A variedade de sistemas e índices climáticos indica, ainda, o cuidado que devemos ter em sua escolha, que deve ser orientada para uma aplicação determinada à qual eles poderiam servir de base.

II. DESENVOLVIMENTO: O SISTEMA DE THORNTHWAITTE

II.1 — A Idéia Central e as Primeiras Experiências

O método de classificação de climas de Thornthwaite é fundamentado na idéia de que, da água da chuva que penetra no solo, uma parte é utilizada pelas plantas, para em seguida perdê-la por transpiração e a outra parte escoar pelo lençol freático e/ou superficial, para em seguida evaporar-se ou ser em parte absorvida pelas plantas.

A idéia mais original do método de Thornthwaite consiste em comparar a quantidade de água recebida pela chuva com a quantidade perdida pela *evapotranspiração*.⁵ Dessa comparação Thornthwaite desenvolve um conceito de *evapotranspiração potencial*.

Para qualquer área da superfície terrestre é de se esperar que haja uma diferença entre a quantidade de água evapotranspirada e aquela que evapotranspiraria se houvesse água disponível, isto é, se houvesse uma renovação constante de água para o ecossistema.⁶ O primeiro valor constitui para Thornthwaite a *evapotranspiração real*; o segundo refere-se à *evapotranspiração potencial*. Esta seria o que aconteceria em um projeto de irrigação num deserto. Como a evapotranspiração real, a

4 A indicação bibliográfica dos autores das classificações e índices referidos neste trabalho pode ser encontrada em diversos livros de *climatologia geral*, especialmente em *Climatologie — Methodes et Pratiques* de H. Grisollet, B. Guilmot et R. Arléry, Paris, 1962, 401 páginas.

5 Conhecemos por *evaporação* o processo de perda direta de água da superfície do solo e das superfícies líquidas para a atmosfera, e por *transpiração* o processo de perda de água dos organismos para a atmosfera. A perda conjunta por evaporação e transpiração é denominada *evapotranspiração*. No método de Thornthwaite, este último fenômeno se refere a perda conjunta de água para a atmosfera através do primeiro processo e da transpiração das plantas.

6 Thornthwaite não emprega o termo *ecossistema*, entretanto este é, sem dúvida, o ambiente a que ele se refere.

evapotranspiração potencial é um elemento climático de grande importância. Comparando-se a evapotranspiração potencial com a precipitação podemos obter uma definição racional do índice de umidade efetiva dos diferentes tipos climáticos.

Precipitação é essencialmente um processo físico e, como tal, tem sido investigado em muitos detalhes por meteorologistas e climatologistas. Evapotranspiração, ainda que sujeito a controle biológico, é, não obstante, um fenômeno mais físico do que biológico, mas que deve ser estudado por métodos não familiares aos meteorologistas. Informações concernentes à evapotranspiração não têm procedência, principalmente, de meteorologistas, mas de biólogos. Por esta razão, para aplicar método de fisiologia das plantas é necessário fazer uso da literatura de biologia. Todavia, a evapotranspiração representa o fluxo de retorno da água para a atmosfera, sendo, assim, um importante processo meteorológico.

Sobre a evapotranspiração potencial reside a chave do sistema de classificação de Thornthwaite e a novidade desse sistema. Enquanto outros sistemas bioclimáticos partem empiricamente da vegetação para o clima, o sistema de Thornthwaite parte do clima para a vegetação; isto é, para a construção de seu sistema, Thornthwaite não fez apelo aos diferentes tipos de vegetação.

Utilizando dados de numerosas estações climatológicas em diferentes áreas desérticas com irrigação nos Estados Unidos, Thornthwaite verificou que as medidas de consumo de água e de evapotranspiração real calculada deram diferenças inferiores a 2%, sendo o consumo quase sempre um pouco maior. Baseado em tais experiências ele verificou que há uma relação entre as temperaturas mensais e os índices mensais de evapotranspiração potencial. Esta relação é expressa na equação.

$$e = ct^a \quad (1)$$

em que e é a evapotranspiração mensal em centímetros e t é a média mensal da temperatura em $^{\circ}\text{C}$.

Em seguida Thornthwaite observou que esta relação não é simples, conforme a equação (1) porque os coeficientes c e a variam de um lugar para outro. Assim, uma equação cujos coeficientes resultaram de observações realizadas em clima quente não forneciam valores corretos de evapotranspiração potencial para uma área de clima frio e vice-versa. Onde a evapotranspiração mensal é 13,5 cm e a temperatura mensal é de $26,5^{\circ}\text{C}$, a relação temperatura/evapotranspiração potencial em diversas áreas tende a convergir. Sob temperaturas mais baixas aumenta a divergência.

Numa equação geral c e a devem variar com um fator que é pequeno nos climas frios e grande nos climas quentes. Assim sendo, a média anual da temperatura não é satisfatória porque em alguns lugares há temperaturas de congelamento. Por esta razão foi desenvolvida uma equação especial com o propósito de converter as temperaturas médias mensais em índices térmicos mensais. O índice térmico mensal é obtido pela equação.

$$i = (t/5)^{1,514} \quad (2)$$

A soma dos valores dos 12 meses dá o índice térmico anual (I). Enquanto este índice varia de 0 a 160, o expoente a da equação (1)

varia de 0 a 4,25. A relação entre os dois é estreitamente aproximada pela expressão:

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad (3)$$

O coeficiente c na equação (1) varia inversamente com I . Dessas relações a equação para a evapotranspiração potencial é transformada para

$$e = 1,6 (10t/I)^a \quad (4)$$

Posteriormente veremos que esta equação sofrerá um novo reajuste.

Sendo, portanto, a temperatura o fator mais importante na determinação da quantidade de água evapotranspirada, torna-se necessário, preliminarmente, transformá-la em medida idêntica à precipitação, isto é, em milímetros ou centímetros. Assim sendo, essas duas quantidades podem ser comparáveis e, o que é mais importante, deduzir sobre a quantidade de água que está em excesso, ou em déficit, em cada mês do ano e no total anual.

II.2 — Os Principais Índices

Com base nessas considerações Thornthwaite estabelece seu sistema que se constitui em cinco *índices principais*:

A) Primeiro Índice: Evapotranspiração Potencial (n)

Para se determinar este índice torna-se necessário:

a) Converter a temperatura média de cada mês, de °C em milímetros ou centímetros.

b) Converter as temperaturas mensais em índices térmicos mensais (i).

Esta última conversão pode ser feita através da equação (2) para cada mês do ano, e a soma dos meses nos dá o *índice térmico anual (I)*. A fórmula pode ser facilmente substituída pela *tabela I*, que o autor publica juntamente com seu artigo. Ela fornece os valores de i correspondente às médias mensais da temperatura.

c) *Determinação da Evapotranspiração Potencial*

— ainda não ajustada — PE

Conhecendo a relação entre as temperaturas médias mensais e a evapotranspiração em diversas áreas irrigadas do deserto dos Estados Unidos, Thornthwaite, como vimos, expressa essa relação na equação (4). Esta fórmula nos dá a taxa de *evapotranspiração potencial não ajustada*.

Entretanto, para simplificar esta etapa do seu sistema, Thornthwaite construiu um nomograma que nos dá os valores da evapotranspiração potencial (Fig. 1). Desde que haja uma relação linear entre o logarítmo da temperatura e o logarítmo da evapotranspiração potencial não ajustada, três linhas retas sobre o nomograma definem a relação. Todas as linhas passam através do ponto de convergência em que $t = 26,5^\circ\text{C}$, e $PE = 13,5$ cm. Neste nomograma a linha inclinada é determinada pelo índice térmico da estação. Por exemplo, o índice de Brevard, N.C., é 56,0 e a linha traçada sobre o nomograma repre-

TABELA I

T°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			.01	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.18	.20	.21	.23
2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.20	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.33
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
40	23.30									

senta a relação entre a evapotranspiração potencial e a temperatura do lugar. A uma temperatura de 10°C (50°F) a evapotranspiração potencial não ajustada é de 3,6cm. O nomograma é usado apenas quando a temperatura média é de 26,5°C ou menor. Por isso há uma tabela construída por Thornthwaite ao lado do referido nomograma que nos dá a evapotranspiração potencial correspondente a temperaturas superiores a 26,5°. A soma dos valores mensais dá o índice de evapotranspiração potencial não ajustada. Esse índice é considerado não ajustado por-

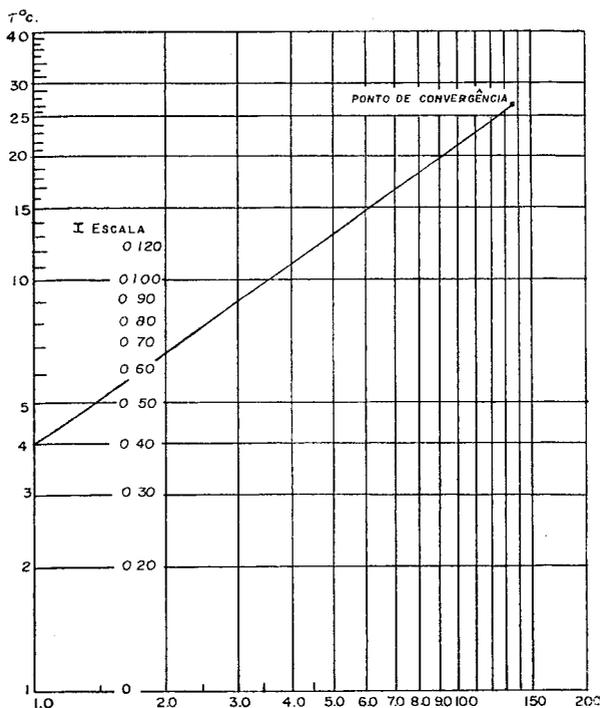


Fig. 1 — Nomograma para determinar a evapotranspiração potencial e tabela a ser usada para temperaturas mais altas (The Geographical Review, t. 38, 1948).

que seus valores referem-se a meses de 30 dias com 12 horas de luz solar cada (*sunshine*).⁷

d) *Determinação da evapotranspiração potencial ajustada.*

Finalmente essa evapotranspiração é ajustada tendo em vista a variação do número de dias do mês (de 28 a 31 dias) e do número de horas de insolação (*sunshine*) entre o nascer e o pôr do Sol, que é o período quando mais se realiza a evapotranspiração. Como se sabe, esses dois fatores variam com a latitude e com os meses do ano. Por isso a fórmula para tal ajuste foi também por Thornthwaite transformada em uma tabela para cada mês e para cada faixa de latitudes. A tabela II dá os fatores de correção. A multiplicação da evapotranspiração não ajustada de cada mês por estes fatores nos dá a *evapotranspiração potencial ajustada* de cada mês. O fator de correção para 50°N e 50°S é também usada para todas as latitudes superiores a 50°. A soma dos valores mensais fornece o índice de evapotranspiração potencial ajustada do ano.

⁷ O uso perfeito do nomograma exige cuidados especiais. Não deve ser usado na escala que é publicada no texto. Quanto maior for a escala mais precisos serão os valores estabelecidos através do nomograma. Experiências por nós realizadas com o uso do nomograma em escala 2 vezes maior do que a do texto resultou — quando comparado com os valores da evapotranspiração potencial obtidos através da equação (4) — em desvios, por vezes bastante apreciáveis. Em algumas estações climatológicas do Nordeste do Brasil os desvios foram suficientemente grandes para levar tais estações a serem classificadas em tipos climáticos de classes diferentes daquelas a que elas realmente pertencem. Contudo, a atitude mais sensata para se obter índices de evapotranspiração potencial não ajustada com inteira precisão será o emprego da equação (4) ao invés do nomograma. O trabalho será bem maior, mas será recompensado por maior precisão. Contudo, Thornthwaite observa que o Keuffel & Esser N.º 359-112 L. (logarítmico, 2 x 3 ciclos) é satisfatória, mas este papel logarítmico não é comercialmente disponível.

TABELA II

Duração Média Possível de Luz Solar nos Hemisférios Norte e Sul
Expressa em Unidades de 30 dias de 12 horas cada

N. LAT.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1:20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
S. LAT.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

(The Geog. Rev., t. 38, 1948).

B) Segundo Índice: Umidade Efetiva (Im, Moisture Index)

Até aqui Thornthwaite nos leva a admitir que não é a evapotranspiração real que deve ser comparada com a precipitação, mas sim a evapotranspiração potencial. E é a partir desta comparação, ou seja, do exame do balanço hídrico de Thornthwaite, que chegamos ao *índice de umidade efetiva (Im)*. Entretanto, para se chegar a este índice é necessário uma série de outros índices.

a) Primeiramente, os *índices de excesso*, ou *de déficit de água* de cada mês. Estes índices nos fornecem a quantidade de água que o solo pode ceder ou não à vegetação nas ocasiões em que as necessidades de água para a vegetação é superior às quantidades fornecidas pelas precipitações. Assim se define os déficits de água como também os excessos anuais.

Tais índices podem ser assim calculados: uma vez obtida a média mensal da evapotranspiração potencial ajustada e conhecidos os valores mensais da precipitação, calcula-se a diferença entre estes dois valores. Se a quantidade de precipitação é superior ao índice de evapotranspiração potencial; se a evapotranspiração potencial é superior à quantidade da precipitação significa déficit de água no solo.

Neste primeiro cálculo do balanço hídrico, para cada mês, leva-se em conta, inicialmente, apenas parte da água usada pelas plantas após ter sido retida no solo. A outra parte até então foi provisoriamente considerada excesso. Entretanto, nem toda ela deve ser considerada como perdida, uma vez que uma certa quantidade de água retida no solo é usada pelas plantas quando o fornecimento de água pela chuva é insuficiente ou falta totalmente. De fato, quando começa a estação seca, uma certa quantidade de água retida no solo, que não escoou, é usada pelas plantas. Esta quantidade de água é, em média, cerca de 10cm.

Assim, jogando-se com estes 10cm de água no solo para as plantas, o início da estação de déficit, isto é, da estação seca, é retardada para além do período onde a quantidade de precipitação é insuficiente para as necessidades das plantas. Em certas localidades essa estocagem de água no solo pode até mesmo impedir uma estação realmente seca, isto é, biologicamente seca, conforme é referida por Thornthwaite. Pelo mesmo motivo, ao iniciar a estação de excesso de água (estação úmida), o excesso deverá ser considerado somente depois do solo reter os 10cm que ele necessita para começar a reter água para as plantas. Assim o início do período de excesso, isto é, da estação úmida, é também retardado até que sejam repostos os mesmos 10cm de água no solo. Entretanto, se a estação de deficiência de água não for precedida por uma estação efetivamente úmida, o recarregamento de umidade no solo não será de 10cm, e sim uma certa quantidade que o próprio sistema Thornthwaite determina ser inferior a 10cm.⁸

Neste ponto já estão figurados todos os elementos que irão propiciar a classificação dos vários aspectos do clima de certa área: a necessidade de água pelas plantas — através da valoração da *evapotranspiração potencial* — a quantidade de água fornecida — através dos *totais mensais da precipitação* e, finalmente, o balanço entre um e outro que fornece os *déficits* e os *excessos mensais* por ventura existentes.

Nesta altura da descrição e análise do sistema de Thornthwaite desejamos ainda chamar atenção para o fato de que através das relações derivadas do processo do balanço hídrico do cientista podemos calcular a *evapotranspiração real*. Com efeito, de tais considerações derivam as seguintes relações:

$$\begin{aligned}d &= n - er \\s &= p - er\end{aligned}\quad (5)$$

em que *n* (*water need*) representa a necessidade de água expressa no valor da evapotranspiração potencial, *er* a evapotranspiração real, *d* o

8 A este respeito queremos fazer algumas observações que não foram feitas por Thornthwaite: os meses em que a precipitação é menor do que a necessidade de água, isto é, menor do que a evapotranspiração potencial, constituem a estação climatologicamente seca. Entretanto, se após jogarmos os 10 cm (ou menos), referidos no balanço hídrico, fica estabelecido um ou mais meses com deficiência de água no solo, tais meses constituem a estação ecologicamente seca, aquela que Thornthwaite se refere por biologicamente seca. A época da estação ecologicamente seca não coincide, necessariamente, com a estação climatologicamente seca. Geralmente a primeira é deslocada um ou mais meses em relação à segunda, podendo até mesmo não existir, a despeito da existência da estação climatologicamente seca.

9 O cálculo da *er* de cada mês deve ser obtido a partir do déficit de água (*d*), uma vez que nos meses de déficit efetivo (meses biologicamente secos) o cálculo da *er* a partir do excesso de água (*s*) somente será correto se adicionarmos ao resultado da equação a quantidade de água armazenada no solo no final do mês que antecede cada mês biologicamente seco.

total das deficiências mensais de água, s o total dos excedentes mensais e p o total das precipitações mensais.

O conhecimento da evapotranspiração real calculada segundo este processo pode ser de fundamental importância não apenas para a bioclimatologia e, conseqüentemente, para a ecologia das plantas, mas, sobretudo, para a agricultura. É verdade que este fenômeno pode ser medido com emprego de evapotransporímetros e que estes instrumentos podem vir a ser aperfeiçoados com medidas de evaporação e transpiração em ambientes controlados, mas os dados disponíveis desta medição direta são muitos raros. Decorre dessa situação a importância da técnica de medição indireta da evapotranspiração real. Ainda a este respeito devemos esclarecer que Thornthwaite não usa a evapotranspiração real como um elemento de decisão direta em seu sistema de classificação de tipos climáticos. O que interessa em seu sistema é conhecer a *evapotranspiração potencial*, porém a técnica de calcular este fenômeno resultou de experimentações, inicialmente mais ou menos empíricas, da relação entre a precipitação e a evapotranspiração real, medida diretamente por evapotransporímetros (evapotranspiração potencial não ajustada) e, posteriormente, por métodos racionais (evapotranspiração potencial ajustada).

b) Obtidos os valores da evapotranspiração potencial e da precipitação, por um lado, e do excesso e déficit de água para as plantas, por outro, devemos determinar se o *clima é úmido* ou *seco*, daí duas grandes categorias do sistema de classificação de Thornthwaite: quando o total de água da precipitação é maior do que o total da evapotranspiração potencial o clima é considerado *úmido*; quando o total da precipitação é menor o clima é considerado *seco*.

c) Se o clima é *úmido* a relação percentual entre excesso de água e o total da evapotranspiração nos dá o *índice de umidade*; se o clima é *seco* a relação entre o déficit e o total da evapotranspiração nos dá o *índice de aridez*; se a precipitação é exatamente igual a evapotranspiração potencial, não é nem úmido nem seco.

As duas primeiras fórmulas são as seguintes:

$$I_h = 100 \frac{s}{n} \text{ (Índice de umidade)} \quad (6)$$

$$I_a = 100 \frac{d}{n} \text{ (Índice de aridez)} \quad (7)$$

Na escala de aridez o índice mais elevado corresponde à ausência completa de precipitação e a deficiência de água é, conseqüentemente, igual à necessidade de água, tornando o I_a igual a 100%. Neste caso a er é nula. Como a precipitação e a evapotranspiração potencial são independentes uma da outra, o índice de umidade pode, pelo menos teoricamente, ultrapassar o limite onde o excesso de água é igual a necessidade de água, isto é, onde a precipitação é o dobro da evapotranspiração potencial. Neste caso o limite teórico de 100% não existe em relação ao I_h .

d) Determinados os índices de umidade e de aridez, o primeiro índice proposto é o *índice de umidade efetiva*, I_m (*moisture index*); que é a combinação das duas relações: a do índice de umidade e a do índice de aridez. Sua fórmula é a seguinte:

$$I_m = \frac{100s - 60d}{n} \quad \text{ou} \quad I_m = I_h - 0,6 I_a \quad (8)$$

Como se observa, Thornthwaite introduziu nesta equação dois fatores de correção: 100 para o excesso e 60 para o déficit. A razão desta diferenciação, explica Thornthwaite, decorre do seguinte: uma vez que na maioria dos lugares o excesso e o déficit de água ocorrem em estações diferentes, ambas devem ser computadas no índice de umidade efetiva, uma afetando positivamente e a outra negativamente. Acrescenta, ainda, que embora o excesso em uma estação não compense a deficiência em outra, há uma certa tendência à regularização pela existência de reservas mais profundas (umidade no subsolo e, eventualmente, lençóis de água subterrâneos, etc.) do que aquelas consideradas no balanço hídrico, e que minimizam, em parte, os efeitos da secura, sobretudo se a vegetação comporta plantas vivazes com sistema radicular profundo. Neste caso a transpiração continua, porém em taxas reduzidas. Por essas razões, baseado em algumas observações também empíricas, Thornthwaite admitiu que um excedente de 6 polegadas de água em uma certa estação pode amenizar ou até mesmo eliminar os efeitos da falta de água na outra estação até um total de 10 polegadas. Isto levou Thornthwaite a conceder em seu índice de umidade efetiva (ou umidade geral, ou, ainda, global), mais peso em relação ao Ih do que em relação ao Ia . Conseqüentemente, a relação do Ih com o Ia é afetada pelo coeficiente $6/10^0$ (ou 60%).

Estes dois índices, o de evapotranspiração potencial n (também chamado necessidade de água) e o da umidade efetiva, Im , constituem os índices básicos do sistema de Thornthwaite, pois os outros dois são derivados deles.

Em relação ao Im os valores acima de zero designam *clima úmido*, isto é onde o Ih é maior do que o Ia e onde o s é maior do que o d . As classes de valores superiores a zero, aumentando de 20 em 20, classificam diferentes tipos climáticos do grupo de climas úmidos, e decrescendo, os de climas secos. Cada um destes tipos é designado por uma letra maiúscula, a primeira da fórmula que caracteriza o sistema de Thornthwaite. Os vários tipos climáticos com seus limites são os seguintes:

TIPO	IND. UMIDADE EFETIVA
Superúmido	A Superior a 100
Úmido	B ₄ Compreendido entre 80 e 100
	B ₃ " " 60 e 80
	B ₂ " " 40 e 60
	B ₁ " " 20 e 40
Subúmido úmido	C ₂ " " 0 e 20
Subúmido seco	C ₁ " " -20 e 0
Semi-árido	D " " -40 e -20
Árido	E " " -60 e -40

O limite básico de 100 para os climas superúmidos parece ser bastante justificável, uma vez que representa uma quantidade de excesso de água muito grande, superior a 100% além das necessidades das plantas. Igualmente justificável é o valor -60 como limite mais baixo, uma vez que é coerente ao peso inferior atribuído ao Ia na relação entre este índice e o Ih na razão de $6/10^0$.

Os valores -60, 0 e 100 deste índice são limites de regiões de umidade inteiramente racionais, e são estabelecidos em termos unica-

mente da relação entre a evapotranspiração potencial e a precipitação. Os limites intermediários, sendo estabelecidos em função dos três índices acima referidos, são igualmente racionais.

A figura 2 mostra como os tipos climáticos estão separados em função do índice de umidade efetiva, Im e como eles são relacionados com o excesso e a deficiência de água.

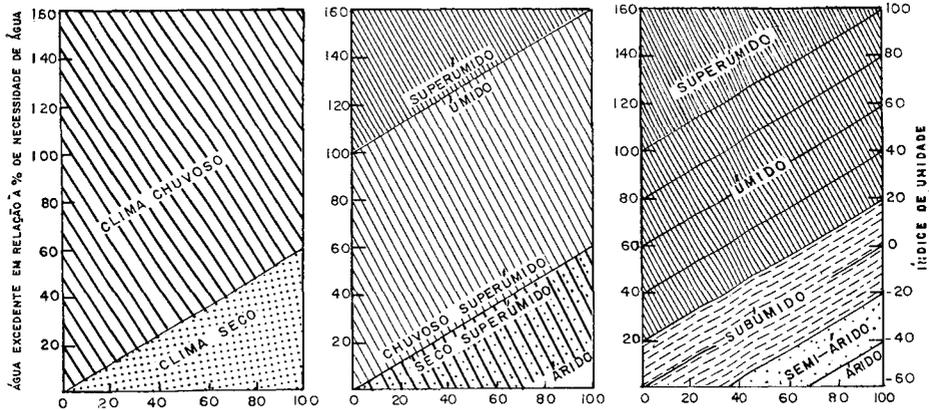


Fig. 2 — Delimitação de regiões por umidade com base no excesso e deficiência de água (The Geog. Rev. t. 38, 1948).

A partir desta última relação é possível converter o índice de umidade efetiva, Im , para o índice $P - N$ por meio da seguinte equação:

$$P - N = .8Im + 48 \quad (9)$$

C) Terceiro Índice: Variação Sazonária da Umidade Efetiva

Este índice é destinado a marcar o traço dominante da *variação sazonal da umidade efetiva*. Aqui Thornthwaite introduz uma noção de certa forma nova que consiste em procurar saber: nos climas úmidos, quando há uma estação seca, qual a sua intensidade e, nos climas secos, quando há uma estação úmida e qual a intensidade desta umidade.¹⁰

A introdução dessa noção resulta do fato de que o índice — anual — da umidade efetiva dá apenas a classificação de úmido ou seco, sem fornecer o detalhe do regime anual da umidade e da aridez.

De acordo com essa norma determina-se *dez classes*: cinco para os climas úmidos (Im superior a 0), considerando o valor do índice de aridez (Ia) juntamente com a importância do déficit de água e a estação durante a qual se apresenta este último; e cinco para os climas secos (Im inferior a 0), considerando, ao contrário, o valor do índice de umidade (Ih), a importância do excedente de água e a estação durante a qual se apresenta este excedente.

¹⁰ O sistema bioclimático de Gaussen e Bagnouls inclui a verificação, quer nos climas úmidos quer nos climas secos, da existência ou não de estação seca, sua duração e intensidade. O sistema de Thornthwaite, além desse procedimento em relação aos seus climas úmidos e secos, inclui outro: verificar nos climas úmidos a existência ou não de estação seca e qual a intensidade da aridez; e nos climas secos, a existência ou não de estação úmida e qual a intensidade da umidade.

Portanto, as subdivisões climáticas são definidas em termos dos índices de umidade e de aridez como segue:

<i>Climas Úmidos (A, B, C₂)</i>	<i>Índice de Aridez</i>
<i>r</i> pouco ou nenhum déficit de água	0 — 16,7
<i>s</i> moderada deficiência de água no verão	16,7 — 33,3
<i>w</i> moderada deficiência de água no inverno	16,7 — 33,9
<i>s₂</i> grande deficiência de água no verão	≤ 33,3
<i>w₂</i> grande deficiência de água no inverno	≤ 33,3

<i>Climas Secos (C₁, D, E)</i>	<i>Índice de Umidade</i>
<i>d</i> pouco ou nenhum excesso de água	0 — 10
<i>s</i> moderado excesso de água no inverno	10 — 20
<i>w</i> moderado excesso de água no verão	10 — 20
<i>s₂</i> grande excesso de água no inverno	≤ 20
<i>w₂</i> grande excesso de água no verão	≤ 20

Os símbolos *s*, *s₂*, *w* e *w₂* têm o mesmo significado tanto para os climas úmidos como para os climas secos, embora eles sejam definidos diferentemente. Eles se referem à estação em que há mais deficiência de precipitação. Em muitas áreas a necessidade de água e a precipitação caminham juntas — são áreas de máximo de precipitação de verão. Entretanto, como a necessidade de água no verão é naturalmente maior do que no inverno, o máximo de precipitação no verão não significa, necessariamente, que em qualquer desses lugares haja excesso de água no verão e deficiência no inverno. Por exemplo, em Nanking, China, observa Thornthwaite, a média de precipitação dos três meses de verão é de 55,0cm e nos três meses de inverno é de apenas 12,0cm, porém como a necessidade de água é muito maior no verão do que no inverno, o clima desta localidade não é do tipo *w*, com excesso de água no verão; o excesso ocorre justamente no fim do inverno e primavera, sendo portanto do tipo *s*.

D) Quarto Índice: Eficiência Térmica

Este índice encerra um valor para o crescimento das plantas. Ele se baseia numa série de estudos realizados por diversos pesquisadores acerca do comportamento fisiológico das plantas e animais em relação à temperatura, além das realizadas pelo próprio Thornthwaite.

Muitos estudos têm sido realizados com objetivo não somente de demonstrar mas, também, quantificar a relação entre a temperatura e o crescimento de seres vivos. Alguns investigadores têm medido o crescimento de folhas, caules e raízes sob o efeito de temperaturas controladas. Outros têm determinado o aumento do tamanho de folhas e do peso seco de plantas em função da variação de temperatura. Sob temperaturas controladas tem sido determinada a taxa de desenvolvimento de vários insetos. Há sempre um ótimo térmico no qual a taxa de crescimento é mais alta. Abaixo ou acima deste ótimo térmico o crescimento é mais lento. A temperatura de crescimento mais rápido varia com o objeto de estudo e com o tempo de exposição do mesmo objeto a determinadas temperaturas, porém é sempre próxima de 30°C (86°F).

Wadely (1936) verificou que a taxa de maior crescimento do perceijo verde (*green bug*) se dava em 30°C. Similarmente há uma temperatura mínima e uma temperatura máxima além das quais cessa o crescimento. Estes limites são muito variáveis, porém o mínimo está próximo de 0°C, e o máximo acima de 40°C. Van't Hoff (1884) propôs um princípio segundo o qual a velocidade da reação química dobra ou triplica com o aumento de temperatura de 10°C, resultando na seguinte equação:

$$v = ca^t \quad (10)$$

em que a tem o valor de 1,0718 quando a velocidade v dobra e o valor de 1,1161 quando v triplica.

Lehenbauer (1914), utilizando plantas jovens de milho obteve o mais rápido crescimento para um período de 3 horas a 29°C e para 9-12 horas a 32°C; observou também que para um período de 3 horas, ou mais, a taxa de maior crescimento ocorria em temperaturas de 29° a 32°C. Desta mesma investigação resultou a seguinte tabela de coeficientes térmicos para 12 horas de taxa de crescimento de folhas jovens de milho, correspondentes a variação de 10° de temperatura:

Temperatura, 0°C	12-32	13-23	15-25	18-28	20-30	21-21	22-32	25-35	32-42	33-43
Taxa de Cresc., 0,01mm.	9-39	10-64	20-75	28-98	45-108	53-109	59-111	75-86	111-11	101-6
Coefficiente	9.56	6.40	3.75	3.50	2.40	2.06	1.88	1.15	0.09	0.06

Verificou-se daí que o coeficiente de Van't Hoff ($a = 1,0718$) é apenas válido onde a temperatura varia de 20° a 30°C. Em virtude da constatação das imperfeições da então considerada lei de Van't Hoff a equação de crescimento sofreu profundas modificações, transformando-se em:

$$v = a \frac{bce^{ct}}{(e^{ct} + b)^2} \quad (11)$$

Em que a e c são constantes e e é a base do sistema de logaritmos Neperiano. Nesta equação o numerador representa o fator estimulante de crescimento e o denominador o fator inibidor de crescimento. O ótimo térmico para o crescimento está onde o numerador e o denominador são iguais. Ajustando esta equação às séries de observações de Lehenbauer sobre o crescimento de plantas jovens de milho, Thornthwaite obteve os seguintes:

$a = 1764,9$, $b = 1118,8$, $c = ,24$. A equação dá v como uma percentagem do ótimo da taxa de crescimento. Os dados de Lehenbauer e a curva de crescimento derivada desta equação dão os seguintes valores de v para um período de 3 horas.

°C	0	5	10	15	20	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60
v.	0,36	1,19	3,88	12,33	35,52	78,30	98,27	99,69	90,30	64,56	26,32	8,76	2,72	0,83	0,25

Dentro desta escala, de 0° a 60°C, a velocidade da taxa de crescimento cresce na razão direta da temperatura até 30°C, e decresce na razão inversa de 30 a 60.

Não obstante suas limitações, tais princípios mostram claramente que há um fator de inibição de crescimento que é direta ou indireta-

mente proporcional à temperatura; que o fator inibidor decresce grandemente de importância entre 20° e 30°C e torna a ser mais importante que o fator estimulante acima de 30°C.¹¹

Infelizmente, observa Thornthwaite, não há experimentos controlados acerca da relação entre a transpiração e a temperatura comparáveis aos de crescimento com a temperatura. A maioria dos mensuramentos avaliáveis de transpiração e evaporação juntas são para períodos de tempo muito longos. E quando apenas totais mensais ou anuais de evapotranspiração são avaliáveis, a relação entre este fenômeno e a temperatura não pode ser determinada precisamente. Entretanto, como já vimos, Thornthwaite observou que a evapotranspiração é alta nas regiões meridionais dos Estados Unidos e baixa nas regiões setentrionais. A partir destas observações e dos conhecimentos obtidos por ele mesmo, através de métodos experimentais já descritos, Thornthwaite verificou que a relação da evapotranspiração é diretamente proporcional à temperatura, e que o mensuramento dessa relação, quando ajustado à variação do comprimento do dia de radiação direta (*sunlight*) permite mensurar a relação entre as médias mensais de temperatura e a evapotranspiração potencial de cada mês. Deste estudo resultou a fórmula que permite a computação da evapotranspiração potencial ajustada de qualquer lugar, desde que seja conhecida sua latitude e calculada a média de sua temperatura. Esta fórmula já foi dada e seu uso já descrito no item dedicado ao índice de evatranspiração potencial.

Baseado nestas verificações Thornthwaite estabelece em seu sistema o *índice de eficiência térmica*. Neste índice Thornthwaite introduz uma medida da importância não apenas das temperaturas médias mensais para o crescimento das plantas e, conseqüentemente, para sua distribuição geográfica, mas também o tempo de duração de sua radiação, que depende principalmente do posicionamento latitudinal de cada localidade considerada. *Para isso Thornthwaite lança mão, mais uma vez, dos índices de evapotranspiração potencial ajustada.*

Ora, tratando-se de um índice que ele chama de *eficiência térmica*, por que não utilizar tão simplesmente os índices térmicos estabelecidos em seu próprio sistema? Basta que lembremos os conceitos de evapotranspiração potencial e o de índice térmico de seu sistema, bem como a observação de Thornthwaite a respeito da ausência de investigação acerca da variação da evapotranspiração sob efeito de temperaturas controladas, para encontrarmos as razões da omissão de Thornthwaite em não dar explicação especial de sua escolha. De fato, Thornthwaite não tinha razões para usar os índices térmicos, uma vez que estes não são influenciados, necessariamente, pela variação latitudinal do comprimento do dia de luz solar. Se assim procedesse ele estaria incluindo no índice de eficiência térmica apenas a influência da temperatura e estaria excluindo a influência do outro fator de crescimento vegetativo que ele mesmo propôs — o tempo de exposição à radiação. Ao contrário, a evapotranspiração potencial, tal como Thornthwaite a concebeu, possui a virtude de ser uma expressão não apenas da temperatura mas também do comprimento do dia solar; justamente os dois fatores cuja ação simultânea sobre as plantas influem na velocidade do crescimento das mesmas, e que, neste particular, consistiram nos únicos fatores de interesse para Thornthwaite. No seu sistema, a evapotranspiração potencial, além de ser um índice de necessidade de água

11 A partir da década de 50 muitas pesquisas no campo da biologia vieram confirmar a relação entre temperatura ambiental e a taxa de crescimento de seres vivos. Neste artigo limitamo-nos às citações de Thornthwaite (*Geog. Rev.*, t. 38, 1948, pp. 55-94).

para o crescimento das plantas, é ainda um índice que varia na razão direta daqueles dois outros fatores de crescimento vegetativo — pelo menos até 30°C — isto é, temperatura e duração da radiação de calor solar. Os vários tipos climáticos com seus limites são os seguintes:

ÍNDICE DE ET (N EM CM)	SÍMBOLO DE THORNTHWAITTE	TIPO DE CLIMA
Inferior	a 14.2 E'	de Gelo
Entre	14.2 e 28,5 D'	de Tundra
»	28.5 e 42.7 C' ₁	Microtérnico
»	42.7 e 57.0 C' ₂	Microtérnico
»	57.0 e 71.2 B' ₁	Mesotérnico
»	71.2 e 85.5 B' ₂	Mesotérnico
»	85.5 e 99.7 B' ₃	Mesotérnico
»	99.7 e 114.0 B' ₄	Mesotérnico
Superior	a 114.0 A'	Megatérnico

As localidades sobre o equador apresentam em muitos meses médias de temperatura cerca de 23°C, não há variação do comprimento do dia solar; o potencial de evapotranspiração é de 114cm. Por isso, nas regiões equatoriais a média mensal de temperatura (cerca de 23°C) não varia muito através dos anos. Isto levou Thornthwaite a estabelecer como limite entre os climas megatérmicos e mesotérmicos a evapotranspiração potencial de 114,0cm, pois este valor corresponde muito aproximadamente à média anual de 23°C. Os demais descem em progressão geométrica.

Distante do equador, onde há uma variação sazonal apreciável, o limite superior da média anual é de 21,5°C. Nessas regiões a redução do crescimento vegetativo e da necessidade de água no inverno são mais do que compensados pelo crescimento vegetativo acelerado e pelo aumento da necessidade de água no verão.

Nos Estados Unidos os climas *mesotérmicos* (B) tem uma distribuição muito extensa. Os *microtérmicos* (C') ocorrem ao longo da fronteira do Canadá, e se estendem para o sul ao longo das Montanhas Rochosas em uma contínua faixa até o Novo México. Existem três áreas de clima *megatérnico* (A'): sul da Flórida, sul do Texas e nas áreas áridas do sul da Califórnia e sudoeste do Arizona. Entretanto, os climas *megatérmicos* dos Estados Unidos são diferentes dos climas *megatérmicos* das regiões equatoriais. A temperatura e o comprimento do dia solar agindo simultaneamente criam uma considerável variação sazonal da evapotranspiração potencial ou da eficiência térmica, tornando os dias de verão dos climas *megatérmicos* dos Estados Unidos bem mais longos e mais quentes, e os dias de inverno bem mais curtos e mais frios, o que não ocorre nas regiões de clima *megatérnico* das baixas latitudes equatoriais. Enquanto em Belém, Brasil, a variação sazonal da evapotranspiração potencial oscila entre 10,3 e 13,1, em Miami, Estados Unidos, oscila entre 5,2 e 17,8cm. Nos Estados Unidos, na fronteira desse clima megatérnico com o *mesotérnico*, a média mensal do mês mais

frio desce, em algumas estações climatológicas, abaixo de 10°C, e costuma ocorrer temperaturas de congelamento quase que anualmente, enquanto que nas estações equatoriais este fenômeno é inteiramente desconhecido. Por estas razões, certas plantas comumente associadas a climas tropicais não crescem nos *climas megatérmicos* dos Estados Unidos, entretanto crescem, embora em taxas reduzidas, fora do inverno.

O *clima de tundra* (D') ocorre apenas nas áreas mais altas das serras da Califórnia, no norte das Rochosas de Wyoming e Montana, e nas Rochosas Centrais do Colorado. Quanto ao *clima de gelo* (E'), não existindo registros instrumentais nos níveis mais altos das montanhas, sua ocorrência ou ausência não pode ser verificada.

O último limite desta escala de classificação (14,2cm de evapotranspiração potencial) corresponde à fronteira do *clima de tundra* (D') com o *clima de gelo* (E'). No *clima de gelo* as temperaturas não necessitam permanecer continuamente abaixo do ponto de congelamento. Embora o gelo impeça o crescimento da vegetação, bem como de sua transpiração, alguma quantidade de água passa para a atmosfera pela evaporação e sublimação. É evidente que até mesmo no *clima de gelo* é importante a diferenciação de umidade, porque se a precipitação excede a evapotranspiração potencial, o gelo acumulará e a glaciação se desenvolverá. Se, ao contrário, a precipitação é menor do que a evapotranspiração potencial, a acumulação de gelo é impossível. Por isso, nem todos os lugares cuja constância de temperaturas de congelamento favorece a ocorrência de clima E' tem, necessariamente, um verdadeiro *clima de gelo* (gelo perpétuo). Por outro lado, a linha de neve ou de glaciares não indica, necessariamente, *clima de gelo*.

E) Quinto índice: Concentração da Eficiência Térmica no Verão

Para a determinação deste índice, Thornthwaite parte do princípio de que sobre o equador o comprimento do dia solar é igual durante todo ano, que a temperatura é também uniforme e, conseqüentemente, a variação sazonal da evapotranspiração será muito pequena. Como não há variação, nenhuma estação pode ser chamada de verão, e a evapotranspiração potencial de qualquer trimestre constituirá 25% do total anual. Por outro lado, nas regiões polares a estação de crescimento vegetativo se confina inteiramente nos meses de verão. E a evapotranspiração desses meses se constituirá em 100% do total. Entre esses extremos a evapotranspiração cai dos *climas megatérmicos* para os *climas de gelo*, e sua concentração no verão cresce de 25% para 100%. Este crescimento resulta de um crescente aumento da duração dos dias no verão e das noites no inverno com o aumento da latitude.

Baseado em numerosos dados de estações climatológicas das planícies centrais dos Estados Unidos, Thornthwaite verificou que há uma relação entre o índice de eficiência térmica (evapotranspiração potencial) do verão e o índice anual. A concentração no verão parece ser inversamente proporcional ao logaritmo do índice anual. Esta relação é descrita pela equação:

$$s = 157,76 - 66,44 \log ET \quad (12)$$

em que s é a percentagem da concentração no verão e ET é o índice total do ano da eficiência térmica.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (cm)	TIPO DE EF. TÉRMICA	CONCENTRAÇÃO NO VERÃO (%)	CONCENTRAÇÃO NO VERÃO (TIPO)
114.0	A'	48.0	a'
99.7	B' ₄	51.9	b' ₄
85.5	B' ₃	56.3	b' ₃
71.2	B' ₂	61.6	b' ₂
57.0	B' ₁	68.0	b' ₁
42.7	C' ₂	76.3	c' ₂
28.5	C' ₁	88.0	c' ₁
14.2	D'		d'
	E'		

Porém há um certo número de situações nas quais a relação é modificada ou alterada, criando o que Thornthwaite denomina de *anomalias (abnormals)*. Com efeito, em pequenas ilhas oceânicas e litorais, com constantes ventos nas médias e altas latitudes, as temperaturas de verão são menos mornas e as do inverno menos frias do que em outros lugares nessas mesmas latitudes. Igualmente, nas montanhas há uma redução mais ou menos uniforme da temperatura através de todo ano. Os índices de eficiência no verão e do ano são ambos reduzidos, porém em proporções desiguais. Nestas situações a concentração da eficiência térmica no verão é também anormalmente baixa. Ao contrário, em algumas regiões a marcha sazonal da temperatura é exagerada. As temperaturas de verão são aumentadas pela advecção de ar quente tropical e as temperaturas do inverno são diminuídas pela advecção de ar frio polar. Nessas regiões a concentração da eficiência térmica no verão é anormalmente alta.

Para Thornthwaite tais inequações servem como medidas dessas anomalias climáticas. Isto quer dizer que os desvios da relação entre a concentração da eficiência térmica no verão com a eficiência térmica anual, expressa na equação¹², não deve significar inadequação desta equação — ou seja, desta relação — mas sim a existência de climas anormais em relação aos climas de outros lugares na mesma latitude. São Francisco, por exemplo, tem um potencial de evapotranspiração de 68,80 como total anual, e uma concentração no verão de 33,3%. Assim é que, pela concentração no verão (*a'*) este índice está compreendido na classe dos climas de tipo *megatérmico (A')*, entretanto, pelo total anual da eficiência térmica ele está compreendido na classe dos climas de tipo *mesotérmico (B'₁'a')* com grande grau de anormalidade, uma vez que nesta localidade o tipo *B'₁'* não é acompanhado pelo seu normal correspondente *b'₁'*. São Francisco é um exemplo do chamado clima marítimo. Deste modo, o deslocamento do índice de concentração no

¹² Garanhuns, situada a 927 metros de altitude, no Estado de Pernambuco, oferece um exemplo de *anomalia* resultante dos efeitos da altitude. Com evapotranspiração potencial anual de 93,6, esta localidade, pelo total anual da eficiência térmica, está compreendida na classe dos climas *megatérmicos do tipo B'₃'*. Porém sua concentração no verão, de 27,8, não permite que este tipo climático seja acompanhado de seu correspondente normalmente esperado *b'₃'*, mas sim de seu anormal *a'*. Neste caso, o grau de anormalidade não é devido à baixa concentração térmica no verão, uma vez que, para sua latitude de 08°53', esta reduzida concentração é perfeitamente normal. O que parece ser anormal é a reduzida eficiência térmica anual, isto é, o total anual da evapotranspiração potencial que, em tal latitude, deveria ser, se fosse reduzido ao nível do mar, bem superior ao que realmente se verifica.

verão em relação à sua zona normalmente correspondente é, no sistema de Thornthwaite, uma medida de maritimidade ou continentalidade (12).

Conforme reconhece Thornthwaite, o critério de anormalidade climática, baseado na percentagem da concentração no verão da eficiência térmica, merece um estudo especial baseado não apenas nos estudos realizados sobre seu comportamento nos Estados Unidos mas em todo o mundo.

III. SUGESTÕES E ESCLARECIMENTOS COMPLEMENTARES

Estes são os cinco índices mais importantes do sistema de classificação de Thornthwaite.

No seu trabalho Thornthwaite faz algumas sugestões práticas àqueles que se interessam na aplicação de seu sistema, bem como alguns esclarecimentos que tentaremos resumir.

Os diversos tipos climáticos e suas divisões possuem nomes específicos, porém podem ser referidos apenas pelos símbolos correspondentes, e estes devem obedecer à seguinte ordem, da esquerda para a direita: primeiro símbolo — refere-se ao índice de *umidade efetiva* (Im); segundo símbolo — destina-se aos traços dominantes da *variação sazonal da umidade efetiva*; terceiro símbolo — indica a *eficiência térmica anual*; quarto símbolo — traduz a *concentração da eficiência térmica no verão*.

Podemos dizer: primeiro, segundo, terceiro ou quarto *úmido*, bem como, primeiro, segundo, terceiro ou quarto *mesotérmico*. O clima de Brevard, N.C. ($AB'2 r b'4$), é superúmido, segundo mesotérmico, sem deficiência de água em qualquer estação, e o regime de eficiência térmica é normal para o quarto mesotérmico. São Francisco, Califórnia ($C_1 B_1' s_2 a'$), é subúmido seco, primeiro mesotérmico, com grande excesso de água no inverno e o regime de eficiência térmica é normal para megatérmico. Juntos, os quatro símbolos usados dão uma completa descrição de um clima.

Sugere, ainda, Thornthwaite que os dados necessários para classificar as estações climatológicas podem fazer parte de uma tabela, construída especialmente com esse propósito. Nessa teríamos, da esquerda para a direita, ao lado de cada estação climatológica selecionada, a medida anual dos seguintes elementos: necessidade de água (n), percentual da necessidade de água no verão, precipitação, excesso de água, deficiência de água, percentual do excesso de água em relação à necessidade, percentual de deficiência de água em relação à necessidade e índice de umidade efetiva (Im) e, finalmente, os tipos climáticos representados pelos seus quatro símbolos.

O presente sistema de classificação climática de Thornthwaite¹³ é ligeiramente semelhante ao do seu predecessor.¹⁴ Porém, fundamentalmente são bastante diferentes. No primeiro, os tipos climáticos eram identificados e seus limites eram determinados empiricamente através da distribuição da vegetação, solos, características da drenagem etc. No presente sistema os tipos climáticos são definidos racionalmente, e seus limites são determinados pelos dados.

13 Op. cit., 1948.

14 Op. cit., 1931.

A diferença pode ser ilustrada pela mudança do ponto de vista a respeito da vegetação. No primeiro estudo Thornthwaite adotou a mesma posição do Köppen, na qual a vegetação é tratada como um instrumento meteorológico, o que a colocava dentre os vários fatores do clima, e que, com experiência, pode ser lida como se lê um termômetro ou um pluviômetro. No presente estudo a vegetação é olhada como um mecanismo físico por meio do qual a água é transportada do solo para a atmosfera, assim como o processo de evaporação e formação de nuvens é o mecanismo da precipitação.

As subdivisões climáticas do seu primeiro sistema foram criticadas por considerar — como muitos autores de métodos de classificação climática — que os diferentes tipos de vegetação sejam determinados, unicamente, pelo clima. Neste sistema os limites climáticos são determinados racionalmente e por isso não estão expostos a estas críticas. Eles resultam de um estudo dos dados climáticos em si mesmo, e não de um estudo de vegetação.

Observa Thornthwaite que este sistema de classificação pode ser aperfeiçoado. Para isso é necessário, como primeiro passo, desenvolver melhores meios de determinar a evapotranspiração potencial. Acredita que com algumas observações relativas, particularmente, às latitudes baixas e altas, a presente fórmula da evapotranspiração potencial possa ser revisada ou, talvez, uma nova e mais racional fórmula possa ser imaginada. Um método realmente racional de delimitar regiões pela eficiência térmica ainda não foi desenvolvido, e a relação entre o fator temperatura e o fator umidade efetiva deverá fornecer as bases racionais dessa relação. Porém, até o momento, afirma Thornthwaite, a descoberta desta relação está longe de ser realizada.

De qualquer forma, o sistema deste autor, tal como ele se nos apresenta hoje, constitui uma perspectiva estimulante de classificação climática, uma vez que é desenvolvido independentemente de outros fatores geográficos, como a vegetação, os solos, o uso da terra, etc., e pode, assim, fornecer uma chave de suas distribuições geográficas. Com efeito, os processos de formação de solo são relacionados aos excessos e deficiências de água, bem como os regimes hidrológicos e os padrões de drenagens. O problema da origem das pradarias pode encontrar uma solução através de uma análise da frequência anual da deficiência e excesso de água. Muita coisa pode ser elucidada a respeito da produtividade do solo e do uso da terra através do estudo da magnitude e frequência da deficiência de água. Finalmente, acredita Thornthwaite, a aplicação deste sistema de pesquisa climatológica nos dará uma melhor compreensão acerca das qualidades de um clima, principalmente por nos tornar capazes de comparar a evapotranspiração potencial com a precipitação através do ano.

SUMMARY

Most of the works of climatic classification that follow Thornthwaite's principles are based on the first studies presented by that author and published in 1931. This article, however, is connected to later points of view, developed by himself in 1942: "*An approach toward a rational classification of climate*".

C. W. Thornthwaite's most original idea consists in comparing the quantity of precipitated water with the quantity of lost water under various thermal conditions, the result of which is the *evapotranspiration* phenomenon, that is, the quantity of water lost by evaporation from the soil surface or from the ground waters and by the vegetation transpiration. That phenomenon (a characteristic of the atmosphere adjacent to the soil), which varies in accordance with the temperature and the water quantity available in the soil, led Thornthwaite to wonder how much water would be evapotranspired under the best environmental conditions, that is, the continuous availability of water to the evapotranspirant surfaces (soil or vegetation).

In this way, Thornthwaite defines the *potential evapotranspiration* as the one that would become actual if the evapotranspirable water were continuously renewed. Thus, the calculation of the potential evapotranspiration represents a generally satisfactory approximation on the necessities of water in a given place.

However, different from what might be expected, Thornthwaite's classification system doesn't consider the vegetation type. The key of the system consists in calculating two indexes that together express an annual mean of aridity and humidity degrees of the region. By comparing, on one side, the potential evapotranspiration with the actual evapotranspiration and, on the other side, the precipitation with that actual evapotranspiration, we can obtain the water quantity the soil can return to the vegetation, when its necessity of water is superior to the quantity provided by precipitations. In this way, *the annual water deficits and surpluses* are determined.

From the percentual relation between deficits and surpluses, the *humidity and aridity indexes* are obtained. From the relation between those indexes, altered by the 6/10 coefficient for the humidity index, *the effective humidity indexes* are obtained. Those indexes, grouped in different classes, establishes the regions that are climatically delimited in terms of humidity degree.

The seasonal variation of the effective humidity determines ten classes: five for the humid climates (effective humidity index above zero) and five for the dry climates (effective humidity index below zero).

Another important index for the climatic classification in Thornthwaite's system refers to the *thermal efficiency*. This index is established in accordance with the same values of potential evapotranspiration expressed in millimeters and determines nine climatic groups, varying from the icy type (potential evapotranspiration below 142mm) to the megathermal type (potential evapotranspiration above 1140mm).

Lastly, it is presented the index of *summer concentration of thermal efficiency*, with a hypothetical 25 to 100% variation, from the equator to the pole, which establishes eight classes of climatic types.

RÉSUMÉ

La plupart des travaux de classification climatique d'après les principes de Thornthwaite se sont basés sur les premiers études présentés par cet auteur et publiés en 1931. Cependant, cet article s'attache à ses points de vue plus récents, développés par lui-même en 1942: "*An approach toward a rational classification of climate.*"

L'idée la plus originale de C. W. Thornthwaite consiste en comparer la quantité d'eau précipitée avec la quantité d'eau perdue sous des conditions thermiques variées, en produisant le phénomène d'*évapotranspiration*, c'est à dire, la quantité d'eau perdue à travers l'évaporation de la superficie du sol et des nappes d'eau et à travers la transpiration végétale. Ce phénomène (un caractère propre de l'atmosphère auprès du sol) qui varie selon la température et la quantité d'eau disponible dans le sol, a motivé Thornthwaite à imaginer quelle quantité d'eau serait évapotranspirée sous les meilleures conditions ambiantes, c'est à dire, si les superficies évapotranspirantes (sol ou végétal) pussent toujours disposer de l'eau. De cette façon, Thornthwaite définit l'*évapotranspiration potentielle* comme laquelle qui arriverait si l'eau évapotranspirable fût constamment renouvelée. Ainsi, le calcul de l'évapotranspiration potentielle constitue une approximation, généralement satisfaisant, des nécessités d'eau d'un endroit déterminé.

Mais, au contraire de ce qu'on pourrait espérer, le système de classification de Thornthwaite ne considère pas le type de végétation. La clef du système consiste en calculer deux indices qui expriment ensemble une moyenne annuelle du degré de sécheresse et d'humidité de la région. Si on compare l'évapotranspiration potentielle avec l'évapotranspiration réelle, d'une part, et la précipitation avec cette évapotranspiration réelle, d'une autre part, on obtient la quantité d'eau que le sol peut restituer à la végétation quand la nécessité d'eau des plantes soit supérieure à la quantité fournie par les précipitations. De cette façon, les *déficits* et les *surplus annuels d'eau* sont définis.

À travers la relation de pourcentage entre les déficits et les surplus on obtient les *indices d'humidité* et les *indices de sécheresse*. De la relation entre les deux, affectée par le coefficient de 6/10 en faveur de l'index d'humidité, les indices d'*humidité effective* sont obtenus. Ces indices groupés par classes, définissent les régions qui sont climatiquement délimitées selon le degré d'humidité.

La variation saisonnière de l'humidité effective détermine dix classes: cinq pour les climats humides (index d'humidité effective supérieur à zero) et cinq pour les climats secs (index d'humidité effective inférieur à zero).

Un autre index important pour la classification climatique dans le système de Thornthwaite se rapporte à l'*efficacité thermique*. Cet index est établi selon les valeurs de l'évapotranspiration potentielle exprimée en millimètres et définit neuf groupes de climat qui varient d'un type glacial (évapotranspiration potentielle inférieure à 142 mm) à un type mégathermique (évapotranspiration potentielle supérieure à 1140 mm).

Pour en finir, on a aussi l'*index de concentration de l'efficacité thermique* en été, dont la variation hypothétique de 25 à 100%, de l'équateur vers le pôle, établit huit classes de types climatiques.