

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRITÉRIO DE
BIOTEMPERATURA DE HOLDRIDGE

Tese de Grau de Magister Scientiae

Sayuri Shibata

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Ensino e Pesquisa
Departamento de Ciencias Florestais
Turrialba, Costa Rica

Março, 1970

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRITÉRIO
DE BIOTEMPERATURA DE HOLDRIDGE

Tese

Apresentada ao Conselho da Escola para Graduados
como requisito parcial para obter o grau

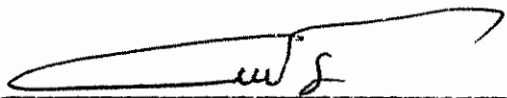
de

Magister Scientiae

no


Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA

APROVADA:



Gilberto Páez, Ph.D.

Conselheiro



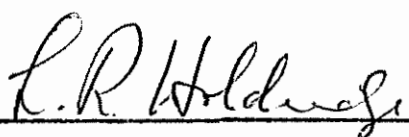
Jorge M. Montoya, Dr. S.B.

Comitê



Luis Fournier, Ph.D.

Comitê



L.R. Holdridge, Ph.D.

Comitê

Março, 1970

A

Roger Hamilton

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Gilberto Páez, Professor e Conselheiro Principal quem não somente prestou valiosa orientação, mas quem trabalhou junto a mim àrduamente na parte de programação e computação de dados.

Ao Dr. L.R. Holdridge do Tropical Science Center de San José integrante de meu Comitê Conselheiro quem incansavelmente me orientou na parte de interpretação de vegetação, bem como colocou a minha disposição todo material de trabalho.

Ao Dr. J. Tosi pelo estímulo durante a realização do trabalho e inúmeras valiosas sugestões.

Aos demais membros de Comitê, quem estiveram dispostos a conceder ajuda a qualquer momento, Dr. L. Fournier e Dr. J.M. Montoya.

Ao Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, organismo onde trabalho pelo apoio moral e financeiro concedidos para meus estudos de Pós-graduação.

Ao Dr. David Cavalcanti, chefe do Departamento de Recursos Naturais do Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, pelo estímulo que sempre me ofereceu nos prosseguimentos de meus planos de estudo.

Aos assessores do IBRA, Professor Arthur Lopes da Costa, Dr. Harold Edgard Strang e Dr. Celio Coelho das Neves pela constante e afetuosa atenção que sempre me dispensaram.

Ao National Weather Records Center de Asheville, North Carolina na pessoa de Dr. Hoggard quem me forneceu gratuitamente os da dos metereológicos dos Estados Unidos.

À Divisão Cultural do Ministério de Relações Exteriores do Brasil pelo apoio e ajuda financeira.

Ao Dr. Carlos S. Schlottfeldt e Dr. Jefferson Rangel pela compreensão e estímulo dedicados.

Aos engenheiros Alfredo Vargas e Mario Fioli do Centro de Cálculo Eletrônico da Universidade de Costa Rica.

BIOGRAFIA

A autora nasceu na cidade de São Paulo, Brasil. Coursou seus estudos primários na cidade de Taubaté, e secundários no Ginásio e Colégio Estadual de São Paulo.

Em 1.960 ingressou simultâneamente na Faculdade de Engenharia Industrial e Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Em 1964 transferiu-se para Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil onde obteve o grau de Bacharel em Ciências Biológicas e Licenciada em História Natural no ano de 1967.

De 1961 a 1963 trabalhou como assistente de pesquisa vinculada à Secretaria de Saúde no Instituto Butantan de São Paulo.

De 1965 a 1966 integrou uma equipe técnica para elaborações de projetos industriais referentes ao aproveitamento e uso de produtos florestais.

Em junho de 1967 foi contratada pelo Instituto Brasileiro de Reforma Agrária como técnica em Recursos Naturais para desenvolver programas de levantamentos de recursos naturais e inventários florestais.

Em setembro de 1968 ingressou na Departamento de Ciências Florestais da Escola de Graduados do Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da O.E.A., tendo obtido o grau de Magister Scientiae em Março de 1970.

CONTEÚDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema	5
1.2. Objetivos	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Antecedentes históricos	7
2.2. Diagrama de Holdridge e fundamentos para sua construção	10
2.3. Algumas controvérsias sobre o modelo de Hol - dridge	12
2.4. Comportamento fisiológico das plantas de acordo com o fator temperatura	14
2.5. Relação entre a produtividade e clima	22
2.6. Influência dos fatores climáticos sobre os aspec tos morfológicos da planta	30
2.7. Valores de precipitação e sua importancia na for mação vegetal	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. Localização das áreas de estudo	35
3.1.1 Estações metereológicas de Costa Rica	35
3.1.2 Estações metereológicas dos Estados Unidos	36
3.1.3 Estação metereológica de Nicarágua	37
3.2. Seleção das áreas de estudo	37
3.3. Obtenção de informações	41
3.4. Preparação dos dados para análise	42
3.5. Cálculo de biotemperatura	43
3.5.1 Biotemperatura diária	43
3.5.2 Biotemperatura mensal	45
3.5.3 Biotemperatura anual	45
3.5.4 Biotemperatura das áreas em estudo	46
3.6. Estudo da estabilidade da biotemperatura no transcurso dos tempos	46
3.7. Algumas associações entre a biotemperatura e outras formas de temperatura climática	48
4. RESULTADOS	50
4.1. Temperatura limitante superior para vegetações inscritas nas zonas de vida de Holdridge	50

4.2.	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso dos anos para regiões temperadas, subtropicais e tropicais	52
4.2.1.	Padrão de variação de biotemperatura através dos anos para regiões temperadas em dados de Washington, D.C.	53
4.2.2.	Padrão de variação de biotemperatura e temperatura climática em regiões subtropicais de acordo com os dados de Miami, Florida	59
4.2.3.	Padrão de variação da biotemperatura e temperatura climática nas regiões de transição entre as formações subtropicais e tropicais segundo os dados de Manágua	55
4.2.4.	Padrão de variação da biotemperatura e temperatura climática nas regiões tropicais baseado em dados de Turrialba, La Lola e El Coco..	56
4.3.	Variabilidade obtida através da análise de componente de variância	58
4.4.	Algumas características e propriedades das variáveis analisadas	60
4.4.1.	Médias e desvios padrões	60
4.4.2.	Correlação entre as várias formas em que foram expressas as temperaturas climáticas e biotemperatura	62
5.	DISCUSSÃO	69
6.	CONCLUSÕES	77
	RESUMO	78
	SUMMARY	81
	LITERATURA CITADA	84

ÍNDICE DE QUADROS

<u>Quadro No.</u>		<u>Página</u>
1	Análise dos componentes de variância das bio - temperaturas mensais e anuais	47
2	Biotemperaturas segundo a definição de tempera- turas efetivas para o crescimento das plantas.	51
3	Componentes de variância relativa para o trans- curso de biotemperatura mensal e anual	59
4	Média das variáveis descritas e seus respecti- vos desvios padrões	61
5	Matriz de correlação (\hat{R}) entre as temperaturas máximas absolutas, mínimas absolutas, médias máximas, médias mínimas, biotemperatura e tem- peratura climática média de Washington, D.C. .	62
6	Matriz de correlação (\hat{R}) entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 para os dados de Miami, Flá.	63
7	Matriz de correlações (\hat{R}) entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , e X_6 os dados de Manágua.	64
8	Matriz de correlação (\hat{R}) entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 para os dados de El Co- Co, C.R.	65
9	Matriz de correlação (\hat{R}) entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 para os dados de La Lo- La, C.R.	66
10	Matriz de correlação (\hat{R}) entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 para os dados de Tu - rialba	67

INDICE DE FIGURAS

<u>Figuras</u>		<u>Página</u>
1	Diagrama para a classificação de zonas de vida ou formações vegetais do mundo	11
2	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em El Coco, C.R.	38
3	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em La Lola, C.R.	38
4	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em Miami, U.S.A.	39
5	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em Turrialba, C.R.	39
6	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em Washington, U.S.A.	40
7	Distribuição da temperatura climática através dos meses do ano em Manágua, Nic.	40
8	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em Washington, D.C.	53
9	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em Miami-Florida	54
10	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em Manágua	55
11	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em Turrialba	56
12	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em La Lola	57
13	Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso do ano em El Coco	58

1. INTRODUÇÃO

Embora a importância da Ecologia venha sendo compreendida e enfatizada cada vez mais, reconhece-se que para lograr uma aplicabilidade prática é necessário a quantificação dos parâmetros envolvidos na descrição de um ecossistema.

Várias tentativas foram feitas para estabelecer bioclimas análogos no mundo; desta forma com o propósito de categorizar as unidades bioclimáticas básicas, alguns autores usaram métodos físicos e meteorológicos, estabelecendo índices de umidades ou aridez, diagramas ombrotérmicos ou precipitações e temperaturas médias anuais. Outros autores tentaram métodos biológicos tais como florísticos de classificação de plantas ou através de forma de vegetação, seja ele por formas de crescimento ou fitofisionômico. No entanto, os resultados nos tem demonstrado que todos os métodos que consideram somente um fator por vez, como o florístico e formas de crescimento e muitos outros não resultaram satisfatórios porque as áreas climaticamente análogas não apresentavam tais configurações (35).

Em 1947, Holdridge (21) propôs um sistema para classificação de zonas de vida naturais, que são unidades bioclimáticas apresentando como limites de cada zona de vida, valores bem definidos de três fatores climáticos que são: temperatura, precipitação e umidade. Os resultados obtidos na aplicação do postulado de Holdridge tem indicado validade em prosseguir com elaborações mais detalhadas. Desta forma, através de programas de levantamento de ma-

pas ecológicos com a finalidade de estimar o potencial agrícola em numerosos países tropicais do Caribe, América Central e do Sul, o modelo vem sendo aprimorado.

A analogia que apresenta as diversas zonas e a relativa facilidade de obtenção de dados para definir a zona de vida, tem permitido estudos de planejamento a nível exploratório em áreas de difícil acesso e em seguida prosseguir com estudos mais detalhados até o nível de recomendações de tipos de cultivos adequados para aquela área.

Decorrente de o fato da distribuição geográfica de espécies vegetais estarem limitados até um certo ponto pela natureza particular de cada espécie e finalmente pelos aspectos climáticos, existe uma correspondência entre o clima e vegetação (7, 13, 48). Isto torna possível a interpretação de comunidades biológicas através de dados climáticos e vice-versa.

A distribuição natural de várias espécies florestais de valor econômico e sua correlação com fatores climáticos vem sendo estudado em diversas partes dos Estados Unidos com a finalidade de lograr melhor o aproveitamento das mesmas (20, 54).

No que se refere ainda ao estudo de produtividade de bosques naturais tem-se formulado índices como o CVP, ou seja, clima, vegetação e produtividade de Paterson (43) que tem resultado em uma linha reta quando projetadas a produção de madeiras em metros cúbicos por hectare por ano com o determinado CVP.

A fim de estabelecer analogias agroclimáticas, Nuttonson (40) utilizou fatores como a latitude, temperatura media anual, temperatura média diurna e noturna, temperatura média do mes mais frio, umidade relativa anual e precipitação. Apesar de certas espécies esporadicamente se desenvolverem tão bem ou melhor em áreas não análogas ao meio de origem, a maioria se aclimata melhor em regiões de condições climáticas similares. Isto possibilita o intercâmbio de espécies úteis, bem como de resultados experimentais, acelerando o processo de desenvolvimento.

O conceito de biotemperatura introduzido por Holdridge (22) relaciona em última análise a produtividade em biomassa de uma comunidade vegetal com a temperatura ambiente. A temperatura do ar influencia no conteúdo de energia ou a temperatura da planta, através da convecção de energia da planta para o atmosfera ou vice-versa. Esta transferência de energia é decorrente do gradiente de temperatura existente entre a temperatura do ar e da planta (17). Os processos fisiológicos são dependentes diretamente da temperatura do órgão onde a atividade se processa e indiretamente da temperatura do meio ambiente. Desta forma o conteúdo de energia da planta é a resultante última da ação de vários fatores tais como os climáticos em geral e fatores intrínsecos de cada espécie como por exemplo as características morfo-fisiológicas. Tais fatos permite em primeira aproximação admitir que a produção de uma planta relaciona-se proporcionalmente ao conteúdo de energia da planta e que

a produtividade de uma comunidade apresenta relação com a temperatura ambiente.

A resposta de todos os indivíduos que compõem a comunidade, expressa pela biomassa estável para um certo período considerado, é referente a uma certa temperatura média para o mesmo período que é capaz de manter em equilíbrio tal biomassa. A comunidade considerada para este tipo de análise deve ser a climax, pois se supõe que a comunidade climax se instala em uma determinada região por encontrar condições edáficas favoráveis para as espécies já selecionadas pelo meio, apresentando a produtividade no seu limite superior controlada por fatores climáticos. No entanto o conceito de biotemperatura se estende talvez a qualquer tipo de vegetação onde seus componentes encontrem condições para crescimento.

O sistema de Holdridge apresenta muitas vantagens como a facilidade de aplicação, obtenção rápida de dados, no entanto requer um número maior de testes. Para este sistema a zona de vida foi considerada como a maior divisão do meio ambiente climático que exerce uma influência dominante sobre o ecossistema. Os fatores climáticos considerados foram; biotemperatura, precipitação e umidade relativa que ao atuarem integradamente são consideradas variáveis causais e os fatores bióticos manifestados em conjunto na fisionomia, complexidade e formas biológicas da comunidade natural são variáveis de resposta.

1.1. Problema

No campo da Ecologia muitos pesquisadores tendem a aceitar ou rejeitar modelos propostos para mapeamentos ecológicos segundo critérios subjetivos, havendo geralmente uma falta de análise quantitativa. Esta situação surge da complexidade e dificuldade de construir modelos funcionais e de aplicabilidade prática. A limitação dos trabalhos relacionados com modelos de mapas ecológicos que sejam de fácil e correta aplicação, faz com que seja necessário o prosseguimento de estudos neste setor. Nos últimos tempos é bastante notória a importância que se vem dando a ecologia quantitativa através de técnicas de simulações, considerações teóricas, inferência de modelos matemáticos, etc. com o propósito de encontrar explicações plausíveis para muitos fenômenos que ocorrem na natureza.

Holdridge observou que o sistema proposto por êle apresentava limitações quando aplicado para separar zonas de vida na região subtropical e tropical. Dessas observações Holdridge propôs uma modificação no cálculo de biotemperatura, já que, se fossem consideradas as temperaturas climáticas horárias, a separação entre duas zonas de vida observadas no campo não concordavam com o diagrama para as referidas regiões latitudinais.

1.2. Objetivos

Os objetivos do presente estudo são:

- 1) Estabelecer o limite da temperatura climática para o cálculo da biotemperatura.
- 2) Estudar a estabilidade da biotemperatura através dos meses do ano e entre os diferentes anos para todas as estações consideradas.
- 3) Estabelecer correlações entre a biotemperatura e outros fatores climáticos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Antecedentes históricos

Desde há muito tempo vem-se tentando estabelecer unidades ecológicas sobre a superfície da terra, sendo que a maioria das vezes baseando-se na fisionomia da vegetação natural, que seria a resultante de ações dos fatores ambientais: climáticos, edáficos e bióticos.

No início do século XIX Schouw (46) publicou um tratado de formulação de leis para explicar os efeitos da luz, temperatura e umidades para a distribuição de vegetação, posteriormente em 1878 De Candolle (15) publica estudos similares dando porém, maior ênfase na temperatura, dividindo as plantas em aquelas que necessitam de uma média anual de mais de 30°C, outras que requerem uma média de 20 - 30°C, e as que necessitam de muito pouco calor. Em suma, este autor apresenta uma classificação de tipo de plantas segundo a temperatura média anual requerida para o desenvolvimento do seu ciclo vital.

Schimper (45) concentrou maior esforço para coordenar a distribuição de vegetação e os fatores climáticos, assim que, se conhece amplamente o que êle reconheceu como floresta úmida, floresta pluvial, desertos secos, etc. Clements (11) chegou a afirmar que o clima controla a vegetação a tal ponto que dentro de um dado clima todos os tipos de vegetação evolui para um só climax climático

uniforme.

Hoje se aceita perfeitamente uma interação clima e vegetação de modo que se expressa em termos de clima savana, clima de estepe, clima de floresta pluvial, etc.

Em 1931 Koepen (25) usou a linha vegetacional do ártico para determinar os limites entre o clima D e E que correspondem ao clima cujo mes mais frio é inferior a -3°C e o mais ^{caliente} quente com temperaturas superior a 10°C e ao clima cujo mes mais quente apresenta temperaturas inferior a 10°C , respectivamente. Na região ao norte da Rússia êle encontrou que a linha divisória coincidia com a isoterma 10°C de junho. Troll em 1943 (53) percebe que o limite de vegetação nos altos Andes de Peru, está onde a temperatura se eleva acima de zero durante o dia e cai abaixo de 0°C pela noite em todos os dias para a maioria dos meses do ano.

Esta condição de temperatura se encontra fóra dos limites de tolerância das maiorias de espécies e portanto quando o clima se modifica dessa forma, a vegetação relativamente rica de baixas altitudes muda abruptamente para uma de aspecto mais empobrecido, apresentando pequenos arbustos de aspecto ressequido. De forma similar é bastante conhecido o aspecto luxuriante das florestas pluviais em regiões de clima úmido onde a precipitação anual é elevada.

A complexidade do clima encontra seu reflexo na complexidade de vegetação. A composição florística, estrutura e todos os demais aspectos da fitocenose são susceptíveis a mudanças devida a variabilili

dade do clima. No entanto resulta bastante difícil predizer com segurança quais os aspectos mudarão e por que razões. Livingston e Shreve (33) publicou um tratado em 1923 contendo inúmeros dados climáticos a fim de investigar quais os fatores climáticos controlavam a distribuição da vegetação nos Estados Unidos. Após extenuantes trabalhos os autores concluíram que a distribuição de vegetação não poderia ser explicada somente pelos aspectos climáticos individualmente. O clima pode ser uniforme em uma grande extensão, mas dentro de tais regiões climáticas ocorrem diferentes tipos edáficos. Tal variabilidade edáfica em áreas relativamente pequenas é devida a diferença de material originário, diferentes graus de maturidade, condições de disponibilidade de água distintas, etc.

Kuchler (27) divide os mapas de vegetação em três grandes grupos, que são: climáticos, quase-climáticos e aclimáticos. Os mapas aclimáticos são os que se preparam sem qualquer referência a nenhum dos aspectos climáticos. Um exemplo de mapa aclimático de vegetação é o orientado pelo Castellanos (9) na região sul do Estado de Mato Grosso. Este mapa cobre uma área de 40.000 Km², apresentando um só tipo de clima, no entanto foram identificadas doze diferentes formações. Enfim, mapas aclimáticos são aqueles que em qualquer escala, sendo grande ou pequeno denota mudanças vegetacionais devido a outros fatores que não o clima, como por exemplo a profundidade do lençol freático, estrutura do solo, ou outros fatores determinando diferentes fitocenoses.

Mapas semi-climáticos são os que apresentam mudanças na vegetação devido a mudanças de altitudes e outros fatores de modo a revelar implicitamente alguns aspectos do clima.

Finalmente o mapa tipo climático que apresenta a vantagem de que os registros climáticos podem ser extrapolados através do mapa de vegetação, ou mais precisamente os mapas climáticos são organizados de tal forma que os limites climáticos harmonizam com o limite de tipo de vegetação. Como exemplo deste último tipo de mapa, Kuchler cita o modelo de Holdridge. Este sistema foi aplicado para mapas ecológicos de todos os países de América Central alguns do Caribe e 5 países de América do Sul.

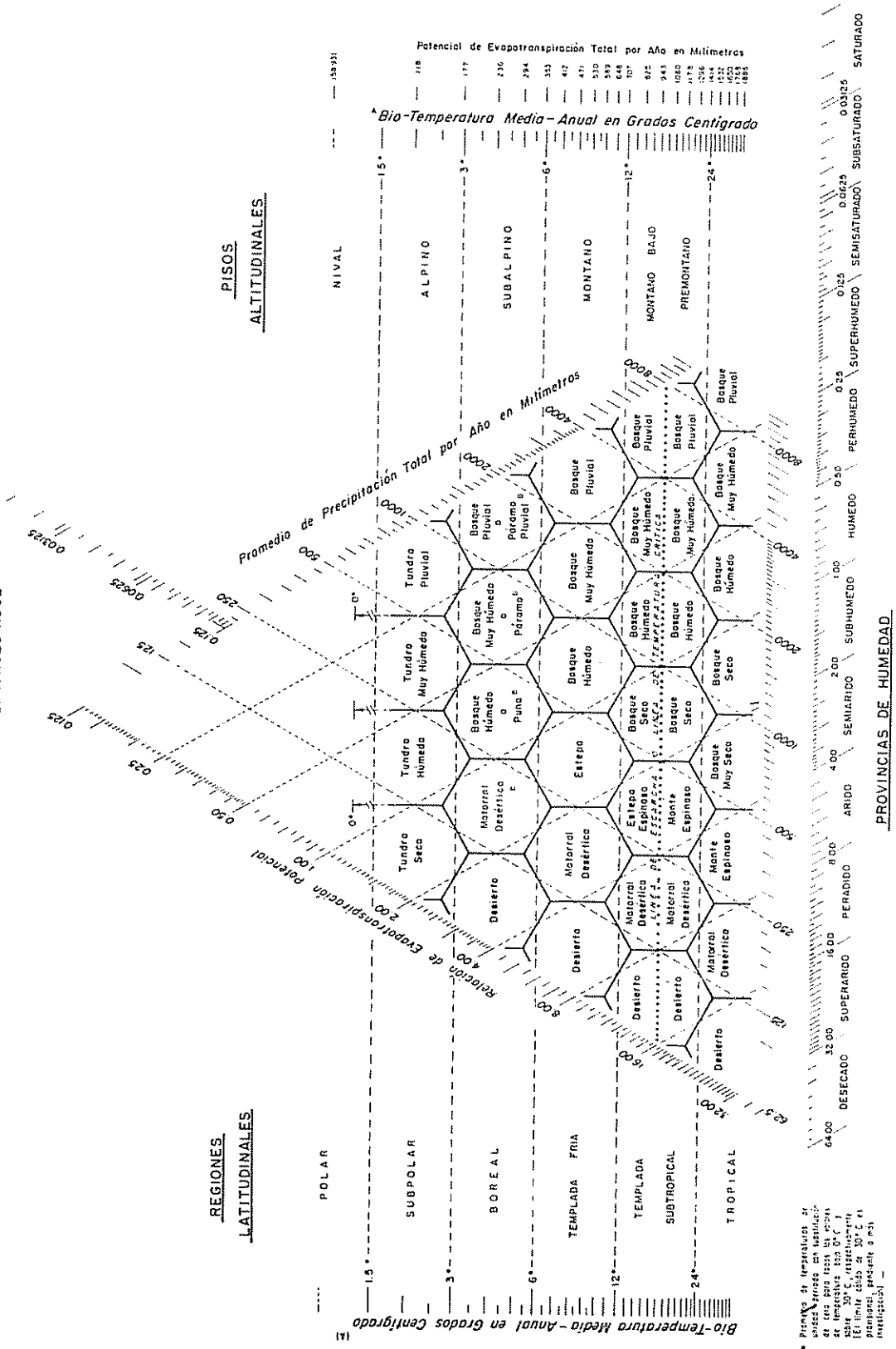
2.2. Diagrama de Holdridge e fundamentos para sua construção

Holdridge (22) utilizando valores de precipitação média anual e valores de ~~temperatura~~ do ar desenvolveu um diagrama para classificação de zonas de vida do mundo, segundo a Fig. 1. O diagrama consiste de três grupos de linhas paralelas, inclinadas entre si com um ângulo de 60 graus. Um dos conjuntos de paralelas representa a precipitação ~~médica~~ média anual em milímetros, sendo as linhas equidistantes e progressando logaritmicamente de 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 mm. O segundo grupo de paralelas equidistantes representa a biotemperatura média anual em graus centígrados variando de 1.5, 3.0, 6.0, 12 e 24°C. O último grupo de paralelas indica valores de evapotranspiração variando de 0.25 a 32 também em escala lo-

DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES DEL MUNDO

Fig. 1

POR: L. R. HOLDRIDGE



(4) = Intervalo de temperaturas de las zonas de vida. Se define: de 10°C hasta 15°C para las zonas de temperaturas frías; de 15°C hasta 20°C para las zonas de temperaturas templadas; de 20°C hasta 25°C para las zonas de temperaturas cálidas; de 25°C hasta 30°C para las zonas de temperaturas muy cálidas. El límite superior de 30°C es el límite superior de la vida vegetal presente en el momento de la clasificación.

101 = En la región tropical húmeda.

garítmico. Do lado direito e esquerdo do diagrama encontram-se regiões latitudinais e faixas altitudinais respectivamente. Tais regiões e faixas são espaçadas de tal modo que harmonize como o desenho, de forma que cada tipo de vegetação estaria relacionado com temperatura precipitação, evapo-transpiração, latitude e altitude.

O modelo é tridimensional porque em cada zona de vida as altitudes elevadas se equivalem a latitudes polares segundo o comportamento do clima e seus efeitos.

2.3. Algumas controvérsias sobre o modelo de Holdridge

No que se refere à aplicabilidade e aceitação deste diagrama existe no momento uma literatura às vészes controvertida, sendo as principais causas, as seguintes: não compreensão total do planteamento de Holdridge em relação ao aspecto tridimensional e na não aceitação de suas zonas de vida como unidade natural ecológica, tal como refere Albreville (1).

Holdridge (23) responde às críticas de Albreville (1) explicando extensivamente o carácter tridimensional e que o fato de em uma mesma zona de vida serem observadas diversas outras formações vegetais trata-se de associações ou divisões de segundo nível. No entanto para uma zona de vida existe somente uma associação climática decorrente de um solo e clima zonal, isto é, um clima com distribuição normal de chuva em relação a precipitação total e sem qualquer condição atmosférica especial. O nome de cada associação cli-

mática se encontra dentro de cada hexágono. As associações atmosféricas, provenientes de fatores modificadores adicionais como ventos fortes, variação pronunciada nas precipitações estacionais, etc., bem como as associações edáficas que diferem fisionômicamente da climática por fatores como topografia, drenagem, solo etc., estas duas associações podem ser encontradas várias em cada zona de vida.

Uma segunda causa de controvérsia do modelo de Holdridge, fundamenta-se na dificuldade de qualquer modelo idealizado para escala mundial quando aplicado para áreas menores, podendo ou não coincidir com o modelo teórico. Assim que Thompson (51) ao testar o modelo de Holdridge em montanhas de latitudes médias no estado de Colorado, EUA concluiu que o estado atual de vegetação comparado com a formação extrapolada pelo modelo, coincide satisfatoriamente se se considera que o modelo foi projetado para identificar formações vegetais em escala mundial, pois no caso foi aplicado para uma área que varia de 55 a 308 milhas quadradas.

Quanto à eficiência de vários modelos e respectivo tempo necessário para a aplicação dos mesmos, Steila (50) testa comparadamente os sistemas de Thornthwaite e Holdridge, e conclui que os resultados obtidos pela aplicação do modelo de Holdridge são bastante precisos quando comparado com os resultados apresentados por Shantz e Marbut, referido por Steila (50).

Enquanto ainda uma certa controvérsia ou dúvida situa-se no estabelecimento de uma metodologia para o cálculo de biotemperatura. Thompson (52) ao testar o diagrama de Holdridge nas linhas vegetacio

nas subárticas do Golfo de Alaska, verificou que o sistema poderia prever o declínio, bem como melhorar a correlação clima e vegetação nas altitudes e latitudes altas e médias, se o valor de biotemperatura fôsse calculado como uma função da soma de temperaturas observadas acima de 10°C , em vez de estabelecer o limite inferior igual a 0°C .

Holdridge definiu a biotemperatura como sendo a medida de calor efetiva para o crescimento da planta. Pensou-se inicialmente que se poderia obter o valor de biotemperatura igualando a zero todas as temperaturas horárias inferior a zero, e em seguida calcular a média para um período de um ano. Realizando estudos mais detalhados fóra dos trópicos, Holdridge chegou a conclusão de que seria conveniente eliminar também as altas temperaturas acima de um certo limite que impede o crescimento das plantas.

2.4. Comportamento fisiológico das plantas de acordo com o fator temperatura

É bastante ampla a bibliografia referente ao comportamento de uma determinada espécie em relação ao fator temperatura, no entanto pouco se conhece sobre a influência da temperatura isoladamente interagindo com a comunidade vegetal. O que provavelmente ocorre é que embora cada planta reaja positiva ou negativamente a uma dada temperatura, existe uma temperatura que corresponde a um certo incremento em biomassa da comunidade.

Vários são os trabalhos que reportam descobertas importantes no campo da fisiologia através de pesquisas em ecologia e biogeografia das plantas. Chouard (10) menciona exemplos deste caso lembrando os trabalhos de Went (60) quando demonstrou que o Pisum sativum não pode crescer nem florescer quando a temperatura de dia é muito superior a 30°C e se a temperatura de noite não é suficientemente baixa. Tais exigências de termoperiodismo quotidiano impõem os limites rigorosos para a distribuição natural e cultivo destas espécies. Kurtz (28) demonstrou que a Pisum sativum cresce até a temperatura de 25°C, tendo um ótimo em 20°C mas se exposto a 35°C perecerá em poucos dias. A morte não é ocasionada por falta de água, excesso de luz ou falta de nutrientes pois o experimento proporciona níveis ótimo de subministração destes fatores. Kurtz apresenta duas alternativas, primeira de que o aumento de temperatura provoca um aumento na atividade de um enzima e esta destroi um metabólito importante e ocasiona a morte da planta; segundo, que a alta temperatura afeta a atividade de um enzima responsável pela produção de um metabólito essencial. Finalmente enfatiza a importância desse estudo para a compreensão da aclimatabilidade de plantas em terras áridas segundo bases químicas do efeito de temperatura.

Blackman (8) afirma que os fenômenos fisiológicos como a assimilação, respiração, crescimento que tem sua magnitude variando com a variação de condições externas como temperatura, luz, nutrientes, etc., associa-se sempre a idéia de tres pontos cardinais: a condição mínima abaixo do qual o fenomeno cessa completamente; a condi-

ção óptima onde a função é exercida no seu rendimento mais alto; e a condição máxima acima da qual o fenomeno cessa novamente.

Os limites mínimos e máximos que inibem o crescimento das plantas, é entendido por Papadakis (42) ser resultantes de tolerancia de protoplasma à temperatura peculiar a cada espécie, ou de resposta de um ou mais processos fisiológicos que varia de espécie a espécie. O efeito da temperatura que se faz notar sobre a fotossíntese e a respiração é difícil de ser medida diretamente, no entanto experimentos realizados por Lunderdth (34) e outras evidências mostram que a fotossíntese aumenta com o aumento de temperatura até 25°C e talvez até 30°C. Desta forma temperaturas altas não são requeridas para a fotossíntese. Por outro lado temperaturas próximas a zero pára a fotossíntese. Segundo a lei de Vant'Hoff o calor influencia nos processos bioquímicos e se expressa em termos de coeficiente de temperatura ou mais comumente conhecido como Q_{10} . Este coeficiente é definido como a relação entre a velocidade de reação a uma certa temperatura e a velocidade de reação a uma temperatura superior em 10°C da considerada.

Leopold (31) explica que a curva de crescimento em relação à temperatura apresenta similaridades com a forma da curva resposta as atividades enzimáticas aumentando rapidamente no rango de temperatura de zero a 15°C e menos rapidamente no intervalo de 15 a 30°C, caindo a temperaturas mais elevadas. Isto ocorre porque a lei não é aplicável para qualquer amplitude de temperatura e também se com-

porta distintamente em relação as reações enzimáticas e reações físicas como difusão por exemplo.

Com relação a respiração, esta parece aumentar exponencialmente com a temperatura para uma amplitude de 0 - 50°C. Desta forma, a produção de matéria orgânica, ou seja a diferença entre a produzida pela fotossíntese e a consumida pela respiração durante o dia e da destruição da matéria orgânica durante a noite. Papadakis (42) menciona que o fato de durante o dia, o efeito de altas temperaturas em aumentar a respiração pode ser compensada pelo aumento de fotossíntese, mas na noite como inexistente este efeito compensativo, a produção máxima é obtida quando os dias longos e quentes se alternam com noites curtas e frias. Cultivos, pastagens e florestas produzem mais eficientemente em altas latitudes, se comparamos o mesmo período dentro de estação de crescimento. Em países tropicais a produção é mais elevada, nas altitudes onde as noites são mais frias.

A variação de temperatura durante o transcurso de 24 horas apresenta grande relação com o crescimento e desenvolvimento das plantas como tem demonstrado inúmeras pesquisas de Went (56) encontrando que certas temperaturas baixas de noite tinham sido consideradas insuficientes, mas que eram ótimas quando alternadas com altas temperaturas diurnas. No entanto, níveis ótimo de temperatura variam de acordo com idade da planta, assim que Went (57) demonstrou que a pimenta (Capsicum annuum) na idade de 24 dias apresentava como

óptimo para crescimento a temperatura de 26°C, enquanto que para 96 dias o óptimo era de somente 12°C. Resultou do advento de ambientes controlados inúmeros experimentos em relação ao comportamento de várias espécies com a variação de temperatura do dia e de noite. Went (58) descobriu que as respostas das plantas em ambientes controlados concordam com as temperaturas diurna e noturna no campo. Barney (6) constatou que as raízes do Pinus taeda era bastante favorecida se uma pequena alternância com temperaturas baixas fossem observadas. Tal alternância parece resultar em mesmo efeito se temperaturas mais altas fossem utilizadas. Muitos fisiólogos são de opinião de que o efeito benéfico de uma diferencial entre temperatura noturna e diurna é característica de toda planta.

Went (57) observou que o conteúdo em sacarose da cana é aumentada quando as temperaturas noturnas são baixas, o mesmo ocorrendo com os caules tuberosos como a batata. Estes estudos nos levam à conclusão de que a flutuação de temperatura é bastante importante para a distribuição geográfica das plantas que apresentam seu desenvolvimento controlado por fotoperiodismo. No entanto se considerarmos uma determinada amplitude de temperatura, mantendo outras condições ambientais similares, o crescimento poderia ser considerado proporcional à temperatura.

Estudos realizados por Daring e Major (54) sugerem que a temperatura efetiva de dia está aproximadamente na metade entre a temperatura máxima e temperatura média diária; e a temperatura efetiva no-

turna está entre a metade do mínimo e a temperatura média diária. Se somente as temperaturas máximas e mínimas forem disponíveis as temperaturas efetivas de dia e de noite seriam obtidos pela seguinte relação:

Temp. efetiva diurna temp. max - $1/4 (T_{\max} - T_{\min})$

Temp. efetiva noturna ... temp. min - $1/4 (T_{\max} - T_{\min})$

Went (59), cita que certas plantas, principalmente as de cultivo respondem melhor a temperaturas efetivas de noite. Hellmers (19) mostra que a partir de um certo ponto a temperatura diferencial de dia e de noite é importante para a produção de peso seco do Pseudotsuga taxifolia, encontrando que para Sequoia sempervi - rens a temperatura efetiva de dia era mais atuante. Kramer (26) declara que o crescimento aumenta com o aumento da temperatura de dia no intervalo de 17 - 30°C e diminui com o aumento de temperatura de noite no intervalo de 11 - 23°C. Os dados mencionados se referem ao Pinus taeda.

Apesar de cada espécie apresentarem comportamentos diferentes em relação aos efeitos de temperatura, este fator atua de forma limitante nos extremos inferiores e superiores de forma a bloquear as atividades metabólicas. Este limite letal inferior e absoluto é devido à formação de gelo nos tecidos vegetais, no entanto este processo ocorre mais prontamente em certas espécies que outras porque cada planta apresenta diferentes formas de resistência enquanto a tipos de proteínas. Siminovitch (49) demonstrou que as células com

alto conteúdo de amido são mais susceptíveis à congelação, dessa forma a batata para resistir à baixa temperatura transforma o amido em açúcar. Através desse comportamento se pode separar completamente os cultivos anuais de regiões tropicais e temperada, bem como as árvores frutíferas.

As espécies das regiões temperadas apresentam resistências ao congelamento através de formas de enrigecimento. O mecanismo deste processo não é totalmente explicado, porém Ferri e Ward (16) sugere que o enrigecimento é obtido através de várias reações químicas que resultam em um aumento de hidrofilia dos colóides protoplasmáticos e reduzem desta forma a possibilidade de congelação.

Muitas vezes as plantas se adaptam às baixas temperaturas reduzindo a efetividade na utilização da luz, diminuindo ou parando os processos de assimilação, resultando na parada de crescimento sem no entanto ocasionar a morte. Este ponto poderia ser denominado limite inferior relativo. Um experimento realizado por Moh (37) com feijões (Phaseolus vulgaris) demonstrou que se submetesse os feijões a uma temperatura de 4°C durante um período de 6 a 24 horas ocasiona uma alta frequência de prometafase com cromossomos espalhados e a divisão mitótica ficaria bloqueada neste estágio, já que as fases subsequentes não são observadas. Conclui com o experimento que baixas temperaturas atuam como bloqueadores de processos mitóticos de células meristemáticas da região apical da raiz e do talo. Apesar de o crescimento das plantas dependerem da divisão

celular e subsequente aumento em volume, a temperatura quando nos pontos extremos atuam desfavoravelmente.

A temperatura letal superior e absoluta é determinada pela desnaturação de proteínas, segundo experimentos de Sachs, citado por Leopold (31) a este efeito varia de acordo com as condições genéticas de cada espécie, estágio de crescimento e tempo de exposição a altas temperaturas. Este máximo absoluto não se observa nas condições climáticas comuns.

O segundo limite, máximo e relativo ou fisiológico observada em condições climáticas quotidianas é o que verdadeiramente influi na distribuição da vegetação. As plantas constituíram uma comunidade climax em regiões onde as condições climáticas possibilitaram uma produtividade satisfatória através de limites ótimos para maior assimilação e menor gasto de matéria orgânica.

Segundo Baeyens (5) o ótimo de assimilação está situado entre 25°C e para respiração em torno de 50°C. Isto significa que depois de 25°C o desequilíbrio tende a aumentar progressivamente. Enquanto ainda a ação prejudicial de altas temperaturas, Yardwood (61) demonstrou a translocação de um princípio tóxico formado como resultado de efeito de alta temperatura das folhas. De qualquer forma as altas temperaturas ocasionam o desarranjo estrutural do citoplasma sendo este a maior componente de forças que impõem os limites de temperatura para o desenvolvimento das plantas.

De modo geral as altas temperaturas não são tão sèriamente limitantes como as baixas temperaturas se as condições de umidade forem favoráveis e se a planta apresentar adaptação para tal região climática. Desastres em cultivos provém geralmente de uma excessiva seca ou altas temperaturas contínuas.

2.5. Relação entre a produtividade e clima

Segundo Shreve, Bates, e Daubenmire (7, 13, 48), os diversos aspectos fisiológicos próprios de cada espécie limitam a distribuição geográfica da planta e a formação de uma comunidade está altamente correlacionada com a temperatura do ar e condições de umidade do meio.

Hocker (21) trabalhando com Pinus taeda e sua distribuição natural na parte leste dos Estados Unidos, relacionou área geográfica com fatores climáticos. Tal estudo foi realizado por ser o Pinus taeda a espécie nativa de maior área natural depois de P. echinata, portanto de grande importância econômica. Hocker mapeou tão precisamente como possível a área ocupada por esta espécie, em seguida, escolheu obedecendo critérios estatísticos um número de estações meteorológicas dentro da área e fóra, selecionando as variáveis climáticas que lhe pareceram de maior importância. Estabeleceu uma equação de função discriminante para todas as variáveis consideradas, chegando à conclusão de que existe uma diferença significativa entre o clima de região mapeada e fóra dos limites de

distribuição natural da espécie. Também Waring e Major (54) relaciona vegetação com gradientes de temperatura, luz, umidade e nutrientes. As plantas para este caso foram usadas somente para comparar a variação de microclimas entre stands. Concluiu que a temperatura climática não cai nunca abaixo da tolerância fisiológica das espécies principalmente as perenes.

Para montanhas é patente o efeito limitante da temperatura tal como menciona Ozenda (41) e referindo-se a esta condição cita que os mapas de vegetação de países montanhosos apresentam formações vegetais distintas, dispostas horizontalmente em bandas, porque cada faixa altitudinal interage ecológicamente com intervalos definidos de precipitação e temperatura que modifica a estrutura da vegetação. Ozenda deu mais importância a temperatura já que este fator atua como limitante.

Holdridge (22) para estabelecer divisões de igual ponderação, distribuiu os parâmetros climáticos: valores de precipitação e temperatura em progressão logarítmica baseado no aspecto dos fatores limitantes estudados por Mitcherlich que provou claramente que quando um elemento é fator limitante na nutrição das plantas, a adição deste elemento em relação à quantidade que poderia ser utilizada deve estar aumentada em progressão logarítmica para obter uma sequência de igual incremento na produção. Ozenda (41) menciona que ao medir o gradiente vertical de temperatura, isto é, a temperatura do solo em diferentes profundidades e a temperatura do ar em dife-

rentes altitudes permite resumir a distribuição da vegetação principalmente de essências florestais.

Com relação ao calor considerado como unidade para crescimento das plantas, de Candolle (15) apresenta um método de somar as temperaturas médias diárias durante a duração do cultivo, a fim de acompanhar mais precisamente seu progresso. Este tipo de unidade de calor seria chamado "dias-graus". Nuttinson (39) sugeriu um refinamento adicional no qual os "dias-graus" fossem multiplicados pelo número de horas-sol, ou fotoperíodo diário. Se comparado a precisão destes dois métodos com o número de dias de duração de cultivo somente, obtém-se que a variabilidade em relação à mediana para cada caso seria de mais ou menos 66% para dias, 29% para dias graus e 12% para dias-graus x fotoperíodo. Went (58) afirma que o nível de precisão para o método de unidade-calor é melhor para uma determinada locação geográfica que em várias áreas difusas. Existem outros métodos mais elaborados que tem muitas vezes resultados em previsões bastantes seguras para a maturidades de cultivos, como por exemplo o obtido por Medcalf citado por Leopold (31) trabalhando com abacaxis (Ananas comosus).

Previsões para floração, através do cálculo de fator calórico - co compreendido entre um máximo e mínimo que limita as atividades biológicas foi realizado por Arnold (4). Lindsey e Newman (32) empregou uma aproximação levemente diferente usando temperaturas máximas e mínimas para calcular horas-graus através de dados obtidos em estações metereológicas. Em geral este tipo de medida é mais real

para espécies cujo desenvolvimento não estejam controladas pelo fotoperíodo.

Filzer, citado por Basyens (5) na Alemanha trabalhou com temperatura média de verão e rendimento de cultivos, obtendo para localidade cuja temperatura era de $15.40^{\circ}\text{C} \dots 550 \text{ gr/m}^2$; $12.7^{\circ}\text{C} \dots 435 \text{ gr/m}^2$ e $12^{\circ}\text{C} \dots 410 \text{ gr/m}^2$. No entanto reconhece-se que a correlação entre produção e temperatura é bastante difícil por que as variações estacionais diurnas e noturnas atuam de forma diferente no crescimento.

Com finalidades de estabelecer correlações entre a produtividade potencial de uma área e os fatores climáticos que influem sobre este fator, Paterson (43) idealizou um índice denominado CVP, ou seja clima, vegetação e produtividade. Originalmente este índice foi derivado de dados sobre evapotranspiração, temperatura média anual do mês mais quente, diferença de temperatura do mês mais quente e o mais frio, a precipitação média e estação de crescimento. A produtividade foi medida em $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ (de madeira) por se tratar de comunidades homogêneas florestais. A efetividade deste índice foi testado na Alemanha e em Canadá por Lemieux (30) e os resultados foram bastantes satisfatórios. Desta forma, o índice vem sendo muito aceito principalmente entre os florestais para previsões de potencialidade em áreas não inventariadas, grandes e inacessíveis. O CVP calculado para desertos secos e desertos frios apresenta o mesmo valor apesar destas áreas serem condicionadas por fa-

tôres de precipitação e temperatura de um modo completamente diferentes, mas em relação à produtividade ambas as áreas são precárias, sendo esta a razão de apresentarem CVP iguais.

Após extensivos estudos analíticos se concluiu que a amplitude de temperatura estava altamente correlacionada com o crescimento potencial e que de todos os fatores climáticos considerados a precipitação tinha a influência mais fraca sobre a variação de produção. Os coeficientes de correlação de ordem mais alta mostram que a precipitação é dependente da amplitude de temperatura e comprimento da estação de crescimento, mais que estes últimos sejam dependentes da precipitação. A estação de crescimento mostra uma clara correlação com o crescimento potencial e se encontra fortemente influenciada por amplitude de temperatura média do mes mais quente do ano e o mais frio e pelo valor de temperatura média do mes mais quente do ano. Apresenta uma baixa correlação com a precipitação.

A correlação entre a produtividade e o CVP de Paterson foi originalmente estabelecida para Pinus silvestris na parte norte e sul de Suécia, e mostra uma linha reta.

Watson (55) sugere como uma maneira de delimitar a diversidade de comunidades em diferentes regiões climáticas, o uso de peso sêco total como uma medida comum de produção. Em particular, a produção anual máxima de peso sêco poderia servir como um critério de produtividade potencial de diferentes climas, porque para que uma produ-

ção seja máxima a disponibilidade de água e nutrientes minerais devem ser óptimos e as espécies vegetais bem adaptadas ao clima. Podendo portanto concluir que o limite superior de produção de matéria seca deve estar estabelecido pelo clima e não por fatores de solo ou desajustamentos morfo-fisiológicos. Ocorre no entanto que estes dados de peso seco é bastante escasso e que uma possível comparação poderia ser feita entre o máximo de 30 TM por acre por ano para a cana de açúcar no Havaí e cerca de 8 TM por acre por ano para beterraba (Beta vulgaris) ou Scots pine (Pinus silvestris) em Inglaterra. É evidente no entanto, que existe uma dependente fisiológica de produção sobre o clima. Assim que, a matéria orgânica seca de uma planta, cerca de 90% do peso seco total é produto da diferença entre a fotossíntese e a perda por respiração e estes processos estão intimamente relacionados com a disponibilidade de água, temperatura do ar, e outros fatores climáticos.

O enfoque em relação aos cultivos devem ser às vezes um pouco diferente porque através de conhecimentos genéticos, técnicas de fitomelhoramentos, as plantas sofreram profundas modificações genéticas para apresentarem melhores condições de aclimatabilidade e portanto produtividade. Mas a vegetação natural é axiomáticamente adaptada as condições climáticas de tal modo que se dirige para formações climax, como cita Clements (11). Por razões de ordem econômica o homem domesticou certas espécies e cultivam em ambientes onde muitas vezes se necessitam cuidados especiais para a sua sobrevivência.

Agricultura é fundamentalmente uma série de processos que promovem artificialmente um ambiente favorável para o crescimento das plantas. Por exemplo, se irrigação fôsse usada para controlar o fator umidade, adubamento para deficiências de solo, e se a questão econômica não fosse considerada, qualquer planta poderia desenvolver em qualquer região, desde que todos os fatores fossem controladas pelo homem.

É amplamente conhecido o uso de sombreamento para controlar a luminosidade e temperaturas excessivas para cultivos de café e cacau. Se o cultivo fosse restrito a áreas de suas exigências climáticas e edáficas, o sombreamento poderia ser dispensado ou diminuído a um certo nível onde a produtividade não fosse prejudicada pelo efeito de competição. Na realidade todos os cultivos apresenta seus limites climáticos para que uma produção seja econômica, limite esse que pode ser ampliado pelo processo de hibridações e seleções.

Critchfield (12) cita que alguns cultivos tropicais como o cacau por exemplo requer altas temperaturas durante todo o ano. Segundo Alvin (2) a floração e por conseguinte a frutificação se reduz com temperaturas baixas de junho a setembro, cuja média mensal varia entre 20°C a 22°C. No entanto temperaturas muito altas também são desfavoráveis, e para se adaptarem a estas condições a planta fecha os estômatos nas horas mais quentes do dia. Alvin, explica que quando a velocidade de transpiração não acompanha a absorção, a planta começa a cerrar os estômatos e poderá ocorrer o murchamento. A velo

cidade de transpiração obviamente aumenta com o aumento de temperatura, e sendo os estômatos a via de comunicação entre as folhas e a atmosfera, seus movimentos de abertura e fechamento afetam tanto a absorção de CO_2 como a perda de água. Existem paralelamente outros fatores que afetam o fechamento de estômatos como a intensa radiação solar, ventos e baixa umidade do ar. Em um trabalho realizado por Lemée (29) demonstrou que a temperatura das folhas de cacau (Teobroma cacao) aumentou de cerca de 20°C em dois minutos quando as plantas eram transferidas da sombra para o sol. Estas folhas alcançaram uma temperatura de 48°C tendo elevada a transpiração de 4 a 5 vezes mais com relação à sombra.

O efeito negativo de altas temperaturas atingidas no mês de janeiro e fevereiro quando a temperatura média mensal oscila em torno de 26°C se nota na produção interrompida em agosto ou setembro, este caso é citado também por Alvin (2) e ocorre no estado da Bahia em Brasil. Os meses considerados favoráveis para o brotamento apresenta uma temperatura média que varia de 24°C a 27°C enquanto que meses de 21 a 23°C o processo de brotamento é praticamente zero. Esta conclusão de Alvin parece concordar com os resultados de experimentos de Murray (38) que demonstrou experimentalmente em câmaras climatizadas que a intensidade de brotamento diminui quando as plantas são mantidas em temperaturas relativamente baixas como 23°C .

2.6. Influência dos fatores climáticos sobre os aspectos morfológicos da planta

Schwabe, W.W. (47) estudando as respostas morfogênicas em relação ao clima demonstrou que para o crisântemo (Chrysanthemum coronarium) o ápice dobra de tamanho para cada dois dias com um fotoperíodo de 8 horas com temperatura de 22°C, no entanto para temperaturas de 5°C, para obter o mesmo efeito leva um período de 5 dias. A forma das folhas segundo se apresentem mais ou menos lobuladas também depende da temperatura segundo estudos realizados por Gregory (18) e Milthorpe (36) concluindo que a área final das folhas é determinado no estágio inicial, pelo ponto de crescimento. Demonstrou também que as folhas do pepino (Cucurbita pepo), quando iniciam a sua formação a baixas temperaturas e posteriormente transferidas a temperaturas mais altas não atingem áreas maiores se comparadas com outras que foram desde o estágio inicial mantidas a temperaturas mais elevadas. Geralmente quanto mais alta a temperatura maior é o tamanho das folhas.

Um estudo mais detalhado de mecanismos físicos e fisiológicos de adaptação das plantas a fatores ambientais, influenciando na estrutura das plantas é explicado por Gates (17) quando afirma que o conteúdo de energia e a temperatura de uma planta com folhas pequenas ou subdivididas em folíolos ou aciculares como o Pinus são fortemente afetadas pela temperatura do ar. O conteúdo de energia e a temperatura de uma planta com amplas dimensões e grande superfície como a

folha de bananeira é levemente afetada pela temperatura do ar. Uma planta exposta a plena luz, que recebe mais radiação do que emite é fracamente afetada pela temperatura do ar e terá sua temperatura acima da temperatura do ar em muitos graus.

A temperatura da planta depende também da transpiração, porque energia é consumida para este processo. Aqui se constata uma interação de fenômenos: a temperatura do ar provoca maior velocidade de transpiração, isto influi na temperatura da planta que varia também de acordo com a absorptância. Se a planta tem alta absorptância seu conteúdo de energia é fortemente afetada pela radiação incidente. Gates, menciona que os mecanismos de adaptação das plantas, bem como a sua resistência ao meio ambiente, estão delimitados pelos seguintes fatores: absorptância e emitância à radiação; resistência à transpiração; e coeficiente de convecção à convecção. Todos estes fatores citados são características próprias de cada planta.

A alta resistência à transpiração ocasiona um baixo fluxo de transpiração e uma baixa resistência, um alto fluxo, para dada concentração de gradiente. A energia transferida entre a planta e o meio ambiente, determina a temperatura da planta. Alguns fatores ambientais que determinam o fluxo de energia entre a planta e o ambiente afetam a temperatura da planta, portanto dos processos fisiológicos dependentes da temperatura. Tais fatores são: brilho solar, radiação térmica do solo e da atmosfera, temperatura do ar, vento e concentração de vapor de água na atmosfera. Gates (17) estabelece

uma sugestão para relacionar a temperatura da folha em relação a temperatura do ar porque a temperatura climática é um parâmetro frequentemente utilizado pelos ecólogos no campo, por ser um dos dados que com maior facilidade se consegue.

No entanto, a relação entre a temperatura do ar e plantas dependem de vários outros fatores como cita Leopold (31) mencionando os quatro vetores principais que influem na temperatura da folha. São: absorção de calor, perda de calor por condução, transpiração e re-radiação confirmando as conclusões de Gates. A absorção varia de acordo com a posição das folhas, logo a morfologia de certas plantas podem ser resultantes de adaptações a fim de receber mais ou menos radiação. A perda de calor por condução é o dobro quando a velocidade do ar varia de zero a 100, e varia de acordo com a temperatura do ar por ser a transpiração um fenômeno endotérmico. Ansari e Loomis (3) mencionam que a energia depositada pelo sol nas folhas é suficiente para evaporar entre 5 a 6 gramas de água por dm^2 por hora, afirmando que durante o dia a transpiração é responsável pela perda de 50% do calor através das folhas. A perda de calor por re-radiação é geralmente uma função de temperatura das folhas aumentando exponencialmente com a diferença de temperatura entre o corpo emissor e receptor. A perda de calor por reradiação pode levar a temperatura da folha a ponto inferior a zero enquanto a temperatura do ar está ainda alguns graus acima de zero, ocasionando desta forma, alterações nas folhas superiores das plantas.

2.7. Valôres de precipitação e sua importancia na formação vegetal

Um segundo parâmetro climático utilizado por Holdridge para delimitar a zona de vida por a precipitação média anual, já mencionada anteriormente. A importância da forma com que a precipitação se distribui através do tempo e sua atuação conjunta com o fator temperatura é representado em forma de diagramas ombrotérmicos e têm servido muitas vezes para interpretação de vegetações. O valor usado como precipitação por Holdridge, inclui toda água que cai da atmosfera em forma de chuva, neve ou granizos, expressa em milímetros. A água que condensa diretamente sobre a vegetação ou solo em forma de orvalho não está incluída, apesar de muitas vezes terem efeitos apreciáveis. A razão principal foi devido o fato das estações meteorológicas não incluírem esta água em seus registros.

É citado por vários autores que o carácter luxuriante de vegetação aumenta com o aumento de precipitação e diminui para regiões mais áridas, culminando com o desaparecimento quase completo de vegetação nos desertos onde a água é certamente o fator limitante. No entanto a disponibilidade de água não depende sómente de fatores climáticos, mas da capacidade de retenção de diferentes tipos de solos e da natureza topográfica da área. Outros aspectos específicos da atmosfera como ventos fortes, proximidade com nuvens e montanhas afetam o conteúdo de vapor de água na atmosfera. A estas formações influenciadas por aspectos específicos Holdridge identificou como associações, embora estivessem contidas em uma mesma amplitude de

valores de precipitação.

A interação precipitação e vegetação, foi estudada amplamente por Bernard, citado por Penman (44) durante um levantamento de carácter ecológico-climático na Bacia Central do Congo. Concluiu Bernard que a presença de floresta úmida tropical é a consequência de uma alta pluviosidade. A área ocupada por esta floresta cobre uma superfície de cerca de um milhão de quilômetros quadrados em uma altitude variando entre 300 a 500 metros, continuando esta formação segue uma vegetação do tipo savana distanciando cada vez mais das áreas florestadas. Os limites daquela formação florestal coincidem com a isoieta de 1.600 mm de chuva por ano.

Hursch (24) através de estudos no vale de Tennessee encontrou diferença de pluviosidade bastante significativa para áreas onde a formação inicial era florestal, campos ou solos descobertos.

O terceiro parâmetro utilizado no diagrama é a relação de evapotranspiração, que é definida por Holdridge como a quantidade de água que poderia ser transpirada sob condições ótimas de umidade de solo e vegetação sobre um solo zonal e um clima zonal. A relação de evapotranspiração potencial é o quociente de evapotranspiração potencial anual dividido pela precipitação média anual. Holdridge (22) encontrou através do diagrama que o valor de evapotranspiração potencial poderia ser determinada com maior facilidade e mais precisamente multiplicando a biotemperatura média anual em graus centígrados pelo fator 58,93.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as informações completas dos dados obtidos para esta investigação, a descrição dos locais de procedência dos dados e finalmente a análise das informações e fórmulas utilizadas.

3.1. Localização das áreas de estudo

As áreas consideradas para o presente estudo foram aquelas circundadas por duas estações meteorológicas nos Estados Unidos, sendo estas: Washington, D.C. e Miami-Flórida; tres estações em Costa Rica: El Coco, Turrialba e La Lola; e uma em Nicarágua: Manágua, fazendo um total de seis diferentes áreas.

3.1.1. Estações meteorológicas de Costa Rica

Aeroporto de El Coco - Esta, se encontra definida pelas coordenadas $09^{\circ}59'N$ (latitude) e $84^{\circ}13'W$ (longitude) a uma altitude de 920 m acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 1.886.2 mm e a temperatura média anual é de $22.6^{\circ}C$, cuja distribuição ao longo dos meses se encontra graficada na Fig. 2.

A vegetação das áreas circunvizinhas a esta estação foi identificada como sendo a formação do tipo bosque úmido tropical premontano baseado no modelo de Holdridge (22).

La Lola - Está definida pelas coordenadas $10^{\circ}06'N$ (latitude) e $83^{\circ}25'W$ (longitude) a uma altitude de 39 m acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 3.241,9 mm e a temperatura média anual é de $25,3^{\circ}C$ com a distribuição ao longo dos meses segundo a Fig. 3.

A vegetação original da área corresponde a formação do tipo bosque muito úmido tropical premontano de acordo com o modelo de Holdridge (22).

Turrialba - Está definida pelas coordenadas $09^{\circ}53'N$ (latitude) e $83^{\circ}38'W$ (longitude) a uma altitude de 602 m acima do nível do mar. A precipitação anual média é de 2.410,6 mm e a temperatura média anual de $22,3^{\circ}C$, cuja distribuição ao longo dos meses se verifica na Fig. 4.

A vegetação da área foi identificada como bosque muito úmido tropical premontano, conforme o mesmo modelo.

3.1.2. Estações meteorológicas dos Estados Unidos

Aeroporto internacional de Miami - Esta, se encontra definida pelas coordenadas $24^{\circ}48'N$ (latitude) e $80^{\circ}16'W$ (longitude) a uma altitude de 20 cms acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 1.516,4 mm e a temperatura média anual de $25,3^{\circ}C$, variando durante o transcurso do ano segundo a Fig. 5.

A vegetação da área é do tipo bosque úmido subtropical, basea-

do no modelo de Holdridge (22).

Aeroporto Nacional de Washington, D.C. - Apresenta as seguintes coordenadas: $38^{\circ}51'N$ (latitude) é a $77^{\circ}02'$ (longitude) a uma altitude de 4.26 m acima do nível do mar. A precipitação anual média é de 1.064.2 mm e a temperatura média anual de $13.3^{\circ}C$, variando durante o ano segundo Fig. 6.

A vegetação é do tipo bosque úmido temperado, determinado pela classificação de Holdridge.

3.1.3. Estação meteorológica de Nicarágua

Aeroporto Internacional Las Mercedes de Manágua - As coordenadas para esta estação são: $12^{\circ}09'N$ (latitude) e $86^{\circ}17'W$ (longitude) com uma altitude de 71 m acima do nível do mar. A precipitação anual média é de 1.101 mm e a temperatura anual média de $27.3^{\circ}C$ cuja variação ao longo dos meses está graficada na Fig. 7.

A área apresenta uma vegetação com formas de transição de bosque seco tropical, o úmido subtropical e o bosque seco subtropical, conforme classificação pelo mesmo modelo.

3.2. Crítérios para a seleção das áreas em estudo

A seleção das áreas em estudo foi condicionada nos seguintes fatores:

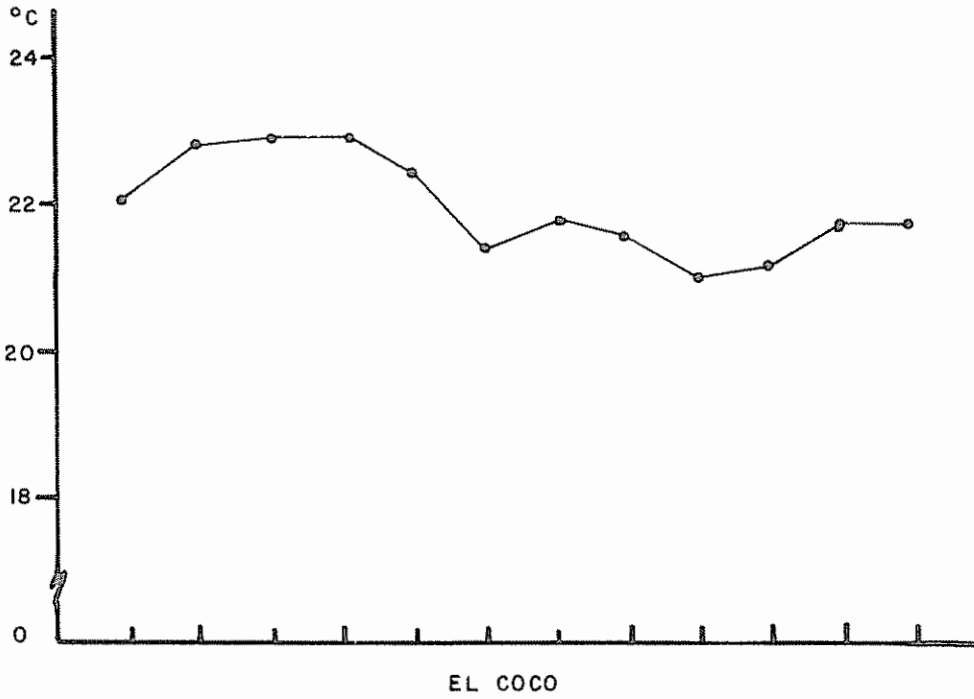


Fig. 2 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

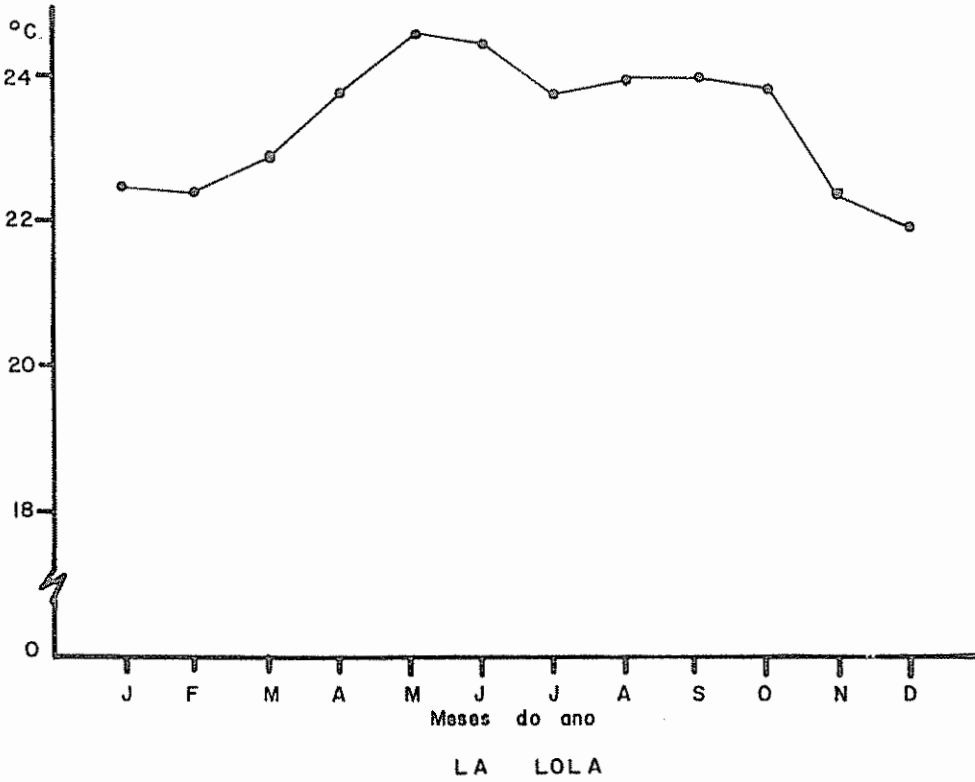


Fig. 3 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

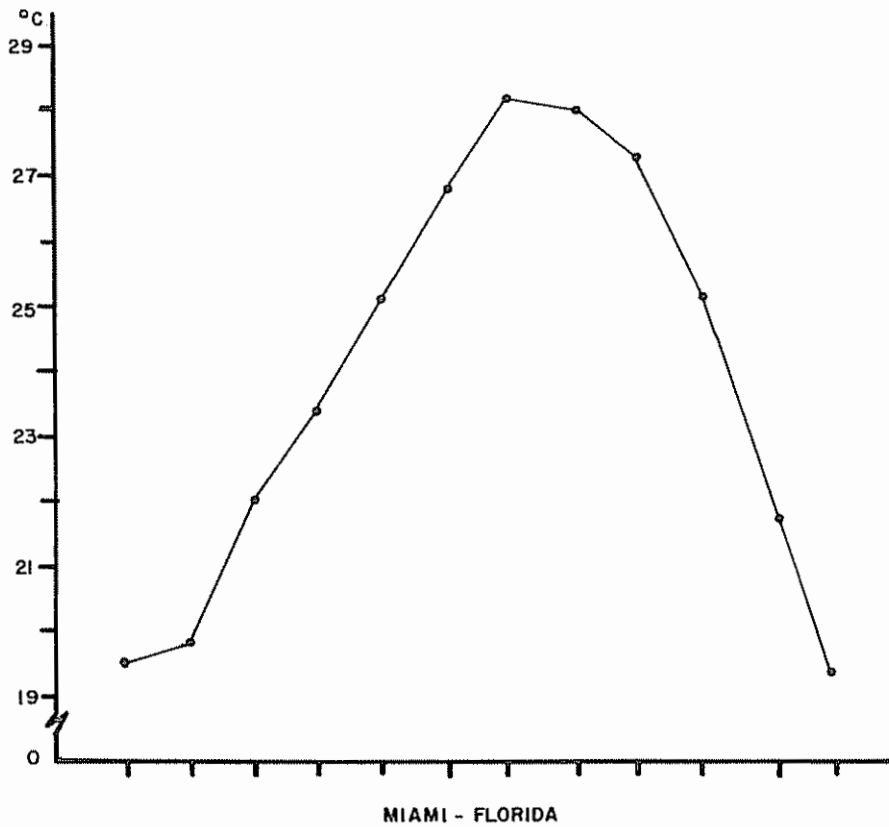


Fig. 4 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

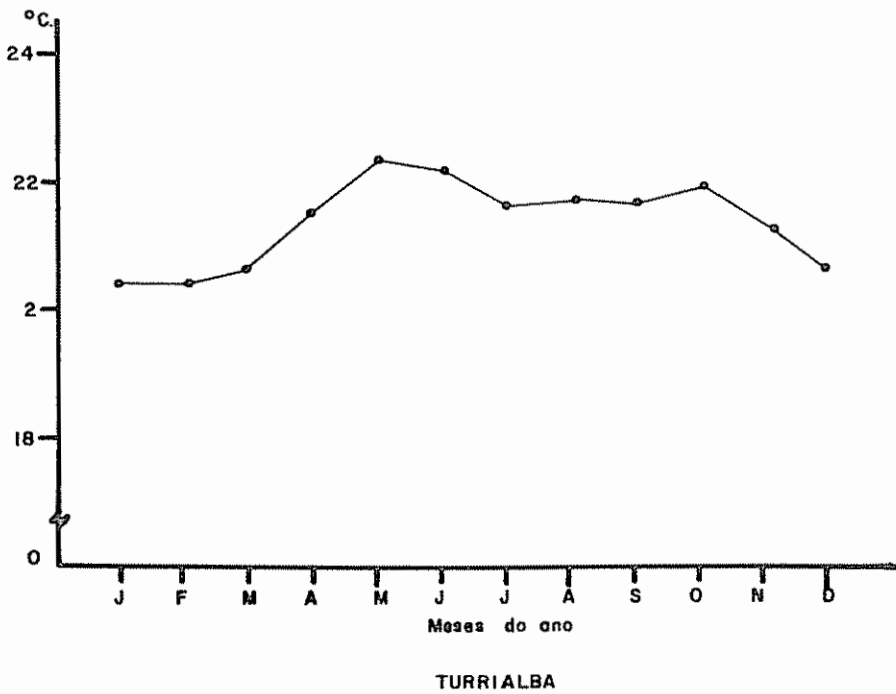


Fig 5 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

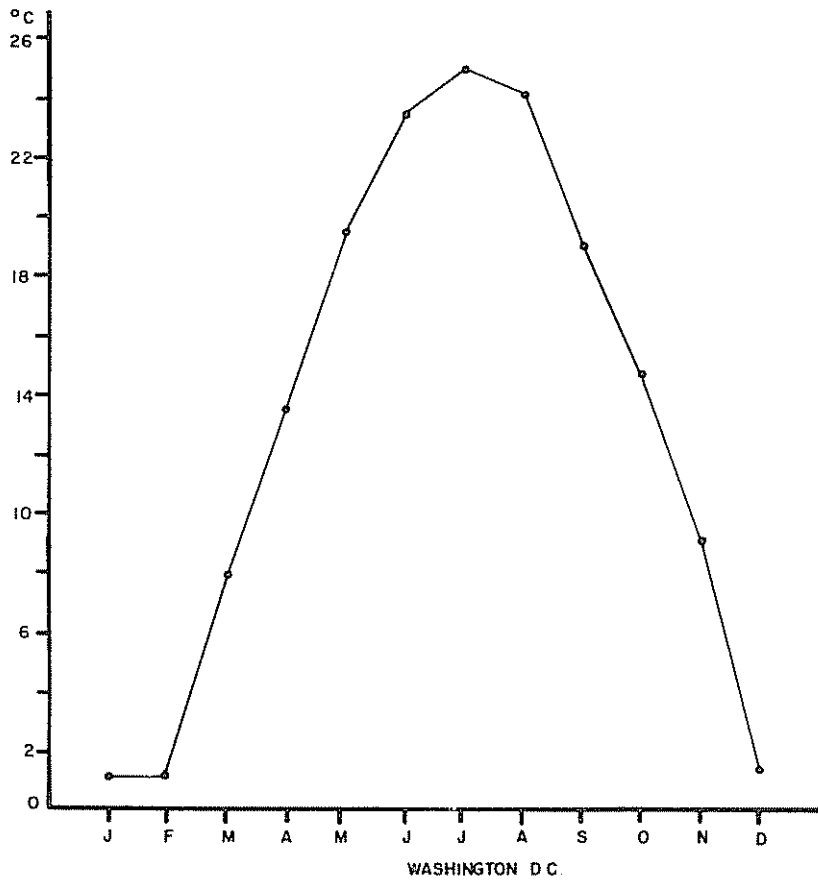


Fig.6 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

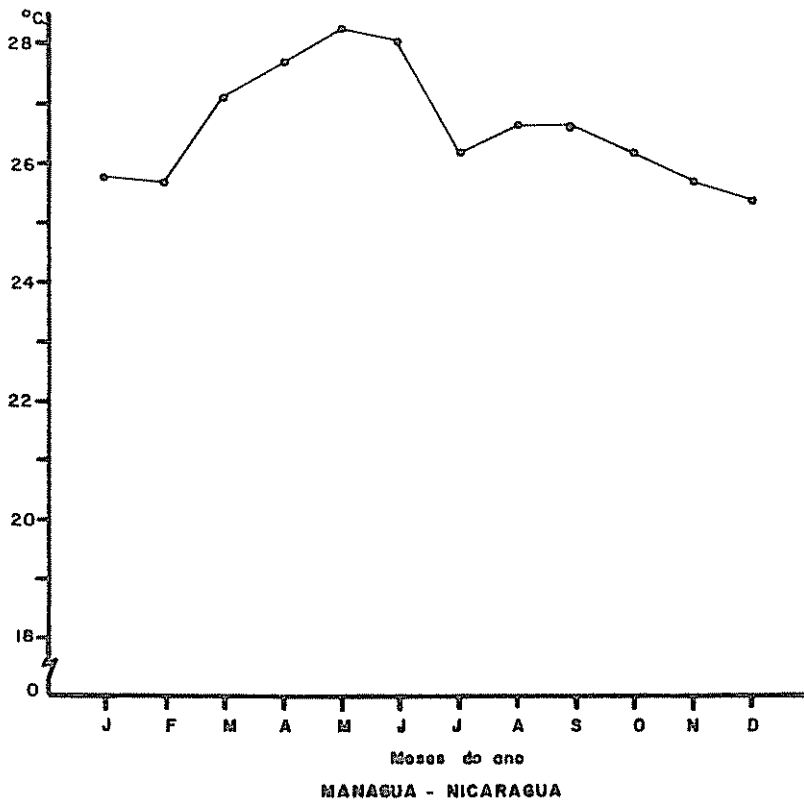


Fig.7 Distribuição de temperatura climática através dos meses do ano

- 1) Coordenadas das estações que dispusessem de dados horários de temperatura com confiabilidade aceitável. Assim que to das as estações selecionadas caem dentro da amplitude $77^{\circ}02'$ a $84^{\circ}13'$ de longitude. As latitudes variando de $09^{\circ}53'N$ a $38^{\circ}51'N$ permitiu o enquadramento de regiões temperada, subtropical e tropical. Com respeito à altitude, as estações selecionadas se situam desde o nível do mar até 920 m.
- 2) Um outro critério considerado para a seleção das áreas foi de que as formações vegetais fossem facilmente descritas nas proximidades onde se encontra a estação.
- 3) Como é de interesse estabelecer uma única metodologia para qualquer área indiscriminadamente, teve-se o cuidado de incluir faixas continentais e litorâneas, nestas últimas onde as influências de correntes marítimas atuam sôbre o clima de maneira particular.

3.3. Obtenção de informações

Os dados horários para temperaturas (Fahrenheit) foram obtidos para Miami e Washington através do National Weather Records Center, Ashville, NC-USA. O período analisado para Washington foi de 1962, 1963, 1964, sendo para Miami, 1960, 1961, 1962, 1963, e 1964. Adicionalmente foram obtidos dados de médias máximas e mínimas; máximas e mínimas absolutas ocorridas no período de um mes, através da mesma fonte.

Para Turrialba e La Lola os dados de temperatura (Centígrados) registrados horariamente foram conseguidos através do Serviço de Metereologia do Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - Turrialba, tendo sido o período considerado para ambas as estações de 1967, 1968 e 1969.

Os dados de temperatura do aeroporto de El Coco foram fornecidos pelo Serviço de Metereologia do Ministério de Agricultura e Gado de Costa Rica e os registros se apresentam bihorários, o período considerado para esta estação foi de 1964, 1965, 1966 e 1967.

Os dados do aeroporto internacional de Manágua foram também horários tendo sido fornecidos pelo Tropical Science Center. O período considerado para esta estação foi de 37 meses, incluindo os seguintes anos: 1965, 1966, 1967 e 1968.

3.4. Preparação dos dados para análise

Os valores horários de temperatura foram perfurados de modo contínuo nos cartões IBM de forma a comportar os 24 registros diários em cada cartão. Além dessas informações perfurou-se em cada cartão os valores de precipitação, latitude e altitude para cada localidade, sendo cada conjunto de informação identificado por meio de um código.

Os cartões foram separados em grupos de 28,30 e 31 conforme o número de dias do mes, em seguida dispostos em grupos de um ano e finalmente agrupados por estações, resultando em um total de 7380 cartões.

3.5. Cálculo de Biotemperatura

Definição: Holdridge definiu a biotemperatura como a medida de calor efetivo para o crescimento das plantas.

Baseado no comportamento fisiológico das plantas, determinou-se que o limite inferior da temperatura seria correspondente a 0°C e o superior em torno de 30°C . Ainda que cada espécie comporte de maneira particular em relação à temperaturas mínimas e máximas limitantes para o crescimento, o incremento na produção de uma comunidade está determinado por um certo intervalo de temperatura que exclui as temperaturas de 0°C inferiores a 0°C e as temperaturas muito elevadas.

Para este estudo calculou-se a biotemperatura média diária, média mensal e logo a anual para o total de período considerado para cada uma das estações em estudo.

3.5.1. Biotemperatura Diária

Os dados de temperaturas horárias preparadas na forma explicada na seção 3.4. foram convertidos a biotemperatura através da se-

guinte fórmula:

$$\bar{X}_{b,d} = \frac{\sum_{i=1}^h X_i I_{(X)} / h}$$

Onde:

$\bar{X}_{b,d}$ biotemperatura diária

$I_{(X)}$ = função indicadora dos limites de temperatura que explicitamente se define como segue:

$$I_{(X)} = \begin{cases} 1 & \text{se } 0 < X_i < k \\ 0 & \text{se } X_i \geq k \text{ e } X_i \leq 0 \end{cases}$$

X_i temperaturas horárias

h 24 (número de horas de dia)

k constante que assumiu os valores 29, 30, 31, 32, 33 e 34°C para cada cálculo completo

Através da designação acima fica entendido que a biotemperatura média diária para as temperaturas positivas até 29°C, por exemplo se computaram todos os valores de X_i que oscilam entre 0°C e 28.9°C, sendo que os valores igual ou maior que 29°C igualadas a zero pela função indicadora $I_{(X)}$. As amplitudes para os pontos de corte nas temperaturas superiores pode resumir-se da seguinte forma:

<u>Pontos de corte</u>	<u>Intervalo de temperatura</u>
$k = 29$	0 - 28.9°C
$k = 30$	0 - 29.9°C
$k = 31$	0 - 30.9°C
$k = 32$	0 - 31.9°C

<u>Pontos de corte</u>	<u>Intervalo de temperatura</u>
k = 33	0 - 32.9°C
k = 34	0 - 33.9°C

Desta forma os valores de k devem ser encontrados como limite da função indicadora. Para cada um dos valores de k se efetuaram as operações completas e todas as determinações.

3.5.2. Biotemperatura Mensal

Se define como sendo a simples média das biotemperaturas diárias.

$$\bar{X}_{b.m.} = \sum_{i=1}^m \bar{X}_{bdi} / m$$

onde:

$\bar{X}_{b.m.}$ biotemperatura mensal

\bar{X}_{bdi} biotemperatura diária

m número de dias do mês

3.5.3. Biotemperatura anual

É definido como a média das biotemperaturas mensais e foi calculado conforme a seguinte fórmula:

$$\bar{X}_{ba} = \sum_{i=1}^{12} \bar{X}_{bmi} / 12$$

onde:

\bar{X}_{ba} biotemperatura anual

\bar{X}_{bmi} biotemperatura mensal

3.5.4. Biotemperatura das áreas em estudo

A biotemperatura de uma localidade definiu-se como a biotemperatura média do período considerado. Somou-se os valores de X_{bai} sobre o período correspondente que variou de 3 - 5 anos.

$$\bar{X}_{bl} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_{bai} / n$$

onde:

X_{bl} biotemperatura da localidade
 X_{bai} biotemperatura média anual
 n número de anos

Com base na equação acima se determinaram seis valores de possíveis biotemperaturas correspondente a cada um dos valores de k para todas as estações consideradas. Com respeito à determinação de uma única biotemperatura por estação será discutido mais adiante.

3.6. Estudo da estabilidade da biotemperatura no transcurso dos tempos

Estabeleceu-se inicialmente que as fontes de variabilidade que contribuiriam para determinar a variação de biotemperatura no transcurso do tempo estariam associadas com aquelas produzida pelo efeito do tempo reinante em um determinado mês e durante o ano. Assim sendo, há necessidade de estimar os componentes de variância associadas com a variabilidade dos anos ($\sigma_{a_i}^2$) e aquelas produzida pela

variabilidade dos meses dentro de ano (σ_m^2). Estes coeficientes ajudariam a estabelecer a estabilidade do parâmetro para um determinado local.

Os cálculos requeridos para a determinação dos componentes de variância se encontra esquematizados no Quadro 1.

QUADRO 1.- Análise dos componentes de variância das biotemperaturas mensais e anual.

F.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	E(Q.M.)
ano	$a - 1$	$\sum n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	S.Q./g.l	$\sigma_m^2 + K\sigma_a^2$
meses/ano	$\sum R_i - a$	$\sum_j \sum_i (X_{ij} - X_i)^2$	S.Q./g.l	σ_m^2
Total	$\sum R_i - 1$	$\sum_j \sum_i (X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2$		

onde:

E(Q.M.) esperança matemática do quadrado médio.

σ_m^2 componentes de variância dos fatores de variação no ano e meses respectivamente.

Os componentes de variância foram calculados igualando os quadrados médios estimados a esperança matemática correspondente a cada fonte de variação.

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_m^2 &= Q.M. (\text{mês}) \\ \hat{\sigma}_a^2 &= \frac{Q.M. (\text{ano}) - Q.M. (\text{mês})}{k} \end{aligned}$$

Para maior facilidade de interpretação se expressou os componentes de variação em forma relativa como segue:

$$\text{Variabilidade relativa de biotemperatura mensal} = \frac{\hat{\sigma}_m^2}{\hat{\sigma}_m^2 + \hat{\sigma}_a^2} \times 100$$

$$\text{Variabilidade relativa de biotemperatura entre}$$

$$\text{anos} = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_m^2 + \hat{\sigma}_a^2} \times 100$$

3.7. Algumas associações entre a biotemperatura e outras formas de temperatura climática

Calcularam-se as associações entre a biotemperatura e algumas variáveis consideradas, a fim de evidenciar certas propriedades da biotemperatura que poderiam ser utilizadas em interpretações posteriores.

O propósito desta análise foi de verificar se as associações entre as variáveis consideradas mudariam segundo as condições reinantes em uma localidade particular.

Os níveis de associações entre as variáveis foram calculadas pelo método corrente de correlação e em caso de previsões pela equação de regressão linear.

Sendo a biotemperatura um parâmetro relacionado com a temperatura climática e o comportamento de vegetação, buscou-se diversas

formas de expressar a temperatura climática que poderiam intervir nos valores de biotemperatura. Assim que, foram tomadas como variáveis as temperaturas máximas absolutas e mínimas absolutas; média das máximas e média das mínimas; média aritmética de temperatura horária e biotemperatura.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos neste estudo. Em primeiro lugar os seis valores de biotemperatura para cada estação e a definição do intervalo de temperatura que melhor se adapta ao diagrama de Holdridge; em seguida o transcurso anual de biotemperatura e temperatura climática de cada uma das estações em estudo de forma comparativa; resultados dos componentes de variância que determinariam a estabilidade dos parâmetros; médias de todas as formas em que foram expressas as temperaturas e seus respectivos desvios padrões; finalmente as correlações entre as diversas variáveis.

4.1. Temperatura limitante superior para vegetações inscritas nas zonas de vida de Holdridge

Baseado na fórmula obtida na parte 3.5.4. se apresentam os resultados do Quadro 2, onde em cada fila se lêem as seis biotemperaturas e a temperatura climática de cada estação e nas colunas se lêem as amplitudes correspondentes a diferentes pontos de cortes das possíveis biotemperaturas que mais adiante serão utilizadas como critério fundamental para definir qual dêstes determinariam o conceito de biotemperatura.

QUADRO 2.- Biotemperaturas segundo a definição de temperaturas efectivas para o crescimento das plantas.

Estações conside- radas	Amplitude de temperatura efetiva								todos os dados
	0 ⁺	- 29 ⁻	0 ⁺ - 30 ⁻	0 ⁺ - 31 ⁻	0 ⁺ - 32 ⁻	0 ⁺ - 33 ⁻	0 ⁺ - 34 ⁻		
Wash.D.C.	12.265 ^o C		12.551 ^o C	12.953 ^o C	13.259 ^o C	13.507 ^o C	13.651 ^o C	13.339 ^o C	
Miami, Flor.	20.567 ^o C		21.362 ^o C	22.875 ^o C	23.868 ^o C	24.093 ^o C	24.109 ^o C	24.109 ^o C	
Managua, Nic.	17.06 °C		18.957 ^o C	21.289 ^o C	23.463 ^o C	24.509 ^o C	26.263 ^o C	27.371 ^o C	
El Coco, C.R.	20.766 ^o C		21.517 ^o C	21.901 ^o C	22.007 ^o C	22.016 ^o C	22.016 ^o C	22.018 ^o C	
Turrial- ba, C.R.	21.194 ^o C		21.351 ^o C	21.363 ^o C	21.363 ^o C	21.363 ^o C	21.363 ^o C	21.363 ^o C	
La Lola, C.R.	20.389 ^o C		21.456 ^o C	22.537 ^o C	22.984 ^o C	23.434 ^o C	23.445 ^o C	23.445 ^o C	

Os sinais + e - que acompanham os valores extremos para cada intervalo de temperatura, significa que temperaturas igual a 0^oC e inferiores a 0^oC foram igualadas a zero, bem como as temperaturas igual a 29^oC e superiores a esta, e assim sucessivamente até 0-34^oC onde o 34 também se excluiu. Sumarizando, significa que para cada intervalo os valores somados variaram de 0.11 a 28.99; 29.99.... 33.99^oC respectivamente.

O cálculo das médias diárias efetuou-se separadamente para cada intervalo de modo a resultar 7 diferentes médias diárias, 210

médias mensais e 2.520 médias anuais.

Através dos dados obtidos no Quadro 2 e com base nos valores previstos por Holdridge^{*†} e Tosi^{*†}, se definiu o ponto de corte do limite superior de temperatura para 31°C. Assim sendo, a biotemperatura de cada um dos locais deve ser lida na coluna 4 do Quadro 2.

Do Quadro 2 é válido destacar que a biotemperatura para Washington, Miami e Manágua incrementa-se quase linearmente à medida que aumenta o extremo superior dos pontos de corte. Por outro lado a biotemperatura para El Coco, La Lola o incremento se nota até o intervalo correspondente a 0 - 32°C, para logo formar um plateau. Em Turrialba não se observa nenhuma variação. Ainda que o incremento notado na biotemperatura como função do ponto de corte mostram tendências bem definidas, tais incrementos não são iguais em todas as estações como era de se esperar já que as condições climáticas são bem distintas.

4.2. Distribuição da biotemperatura e temperatura climática no transcurso dos anos para regiões temperadas, subtropicais e tropicais.

As biotemperaturas mensais obtidas através da fórmula apresentada na seção 3.5.2. foram projetadas em forma de gráficos para cada localidade estudada. Tais padrões se comparam nas seções que serão enumeradas em seguida.

* Comunicação pessoal.

4.2.1. Padrão de variação de biotemperatura através dos anos para regiões temperadas baseado em dados de Washington, D.C.

Observa-se na Fig. 8 que além das médias mensais são anotadas as médias dos números de horas que apresentam temperaturas superiores a 31°C em cada mês, bem como o número médio de horas com temperaturas abaixo de 0°C .

Os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro apresentam respectivamente 474, 255, 34, 13 e 214 horas média de temperaturas abaixo de 0°C , e não se registrou temperaturas superiores a 31°C . Os meses restantes, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro não apresentaram temperaturas inferiores a 0°C , tendo sido anotadas o número médio de horas com temperaturas superior a 31°C . Esta variabilidade mensal descreve a curva característica para cada estação estudada.

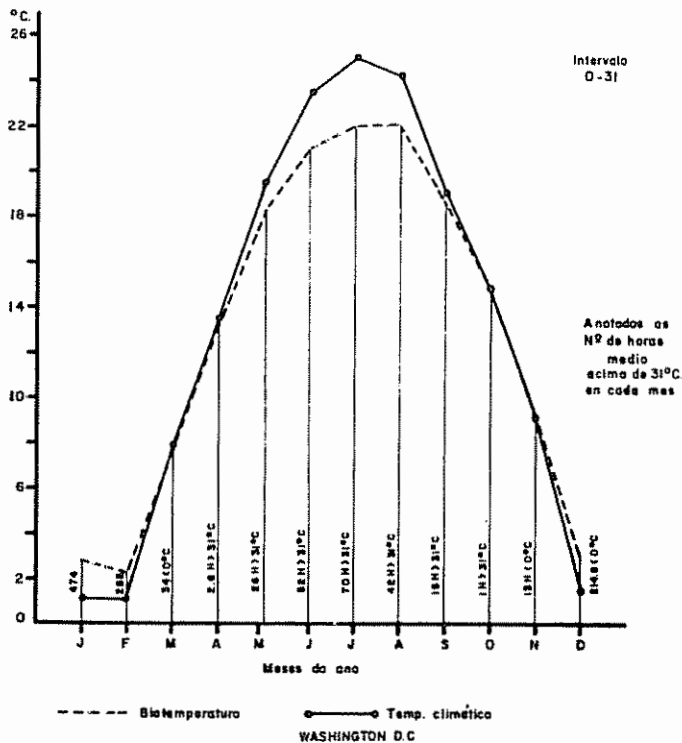


Fig. 8 Distribuição de temperatura e biotemperatura através dos meses do ano

4.2.2. Padrão de variação de biotemperatura e temperatura climática em regiões subtropicais de acordo com os dados de Miami - Florida

Nesta estação não se verificou nenhuma temperatura abaixo de zero durante o período estudado. O número total de horas com temperaturas superiores a 31°C não foram computadas, no entanto se sabe que a diferença entre a temperatura climática e a respectiva biotemperatura é inversamente proporcional quando determinado mês apresenta uma média elevada de temperaturas superiores ao referido limite superior, aumentando a área que separa a curva do transcurso da biotemperatura e temperatura climática correspondente.

Na Fig. 9 se pode observar que a biotemperatura e a temperatura climática apresentam tendências inversas nos meses mais quentes.

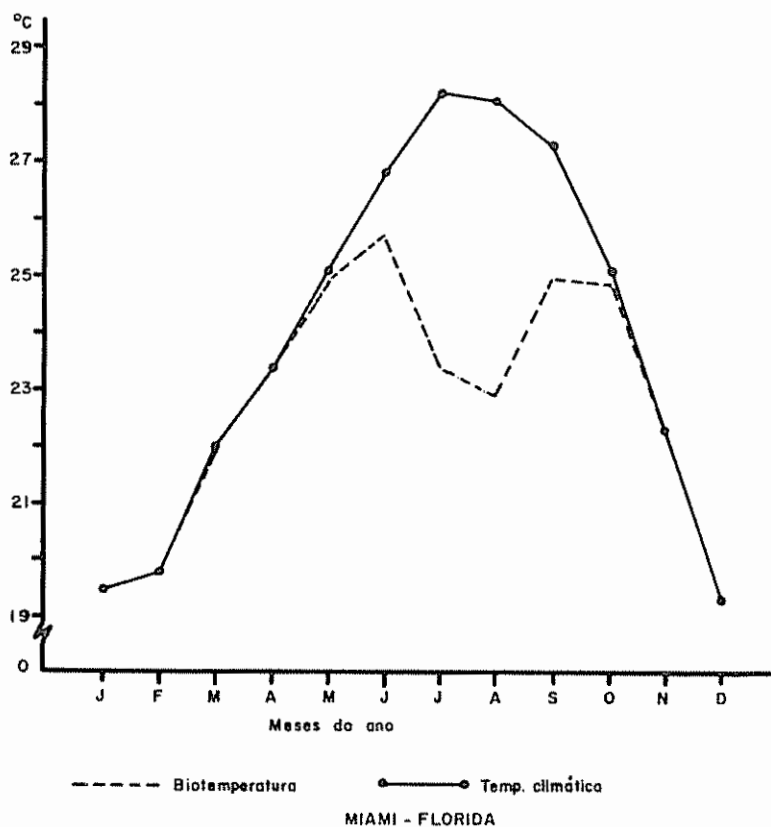


Fig. 9 Distribuição da temperatura e biotemperatura a través dos meses do ano

4.2.3. Padrão de variação da biotemperatura e temperatura climática nas regiões de transição entre as formações subtropicais e tropicais segundo os dados de Manágua

Em Manágua a curva da biotemperatura se encontra altamente discrepante com a curva da temperatura climática não apresentando nenhuma tendência definida. A grande diferença na magnitude entre ambos os valores é decorrente do elevado número de horas com temperaturas superiores a 31°C , já que não se observou nenhuma temperatura inferior a zero para o período estudado, como pode ser observado na Fig. 10 abaixo.

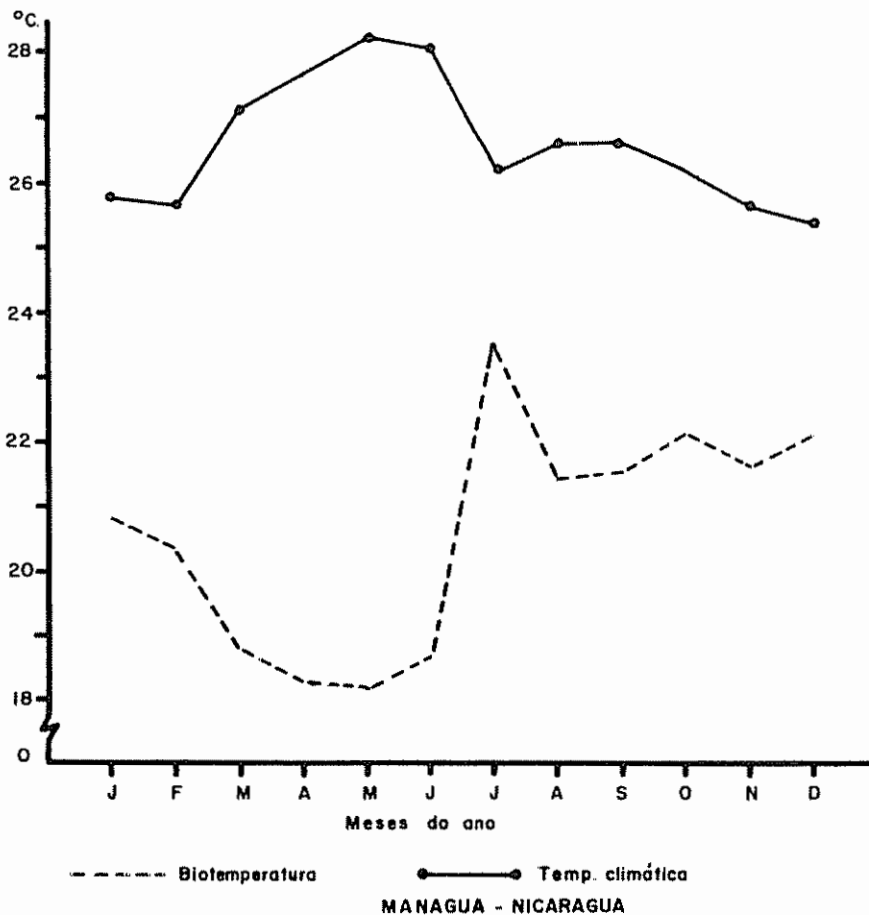


Fig. 10 Distribuição de temperatura e biotemperatura através dos meses do ano.

4.2.4. Padrão de variação da biotemperatura e temperatura climática nas regiões tropicais baseado em dados de Turrialba, La Lola e El Coco.

Em Turrialba a curva de variação da biotemperatura coincide com a da temperatura climática, já que no período estudado não foram verificadas nenhuma hora com temperatura superior a 31°C ou inferior a zero. Observa-se também através da Fig. 11 que a variação em torno da média anual é bastante baixa.

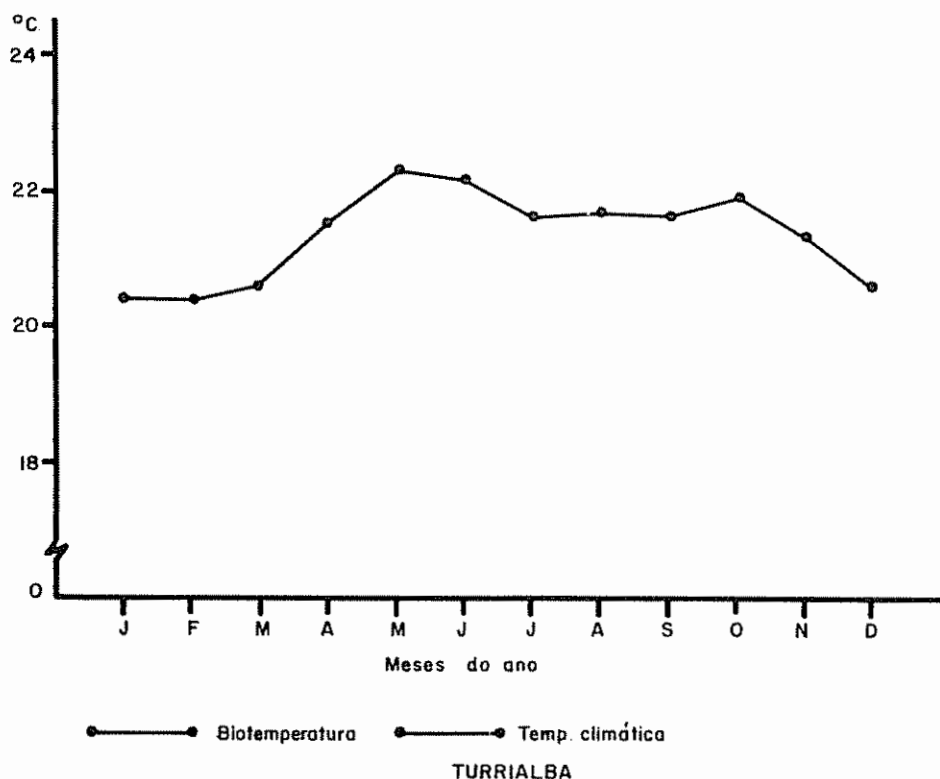


Fig. II Distribuição de temperatura e biotemperatura através dos meses do ano.

Em La Lola a curva da biotemperatura segue tendência oposta à temperatura climática nos meses de abril, maio, junho e julho, enquanto que nos demais meses apesar de a biotemperatura ser in-

ferior a temperatura climática não chega a mudar de tendência em função do reduzido número de horas com temperaturas superiores a 31°C . Conforme o anotado na Fig. 12 observa-se que a tendência inversa entre estas duas variáveis se encontra delimitada pelo número de horas com temperaturas superiores a 31°C , ou seja, nos meses que apresentam mais de 30 horas média de temperaturas acima de 31°C faz-se notar a tendência inversa.

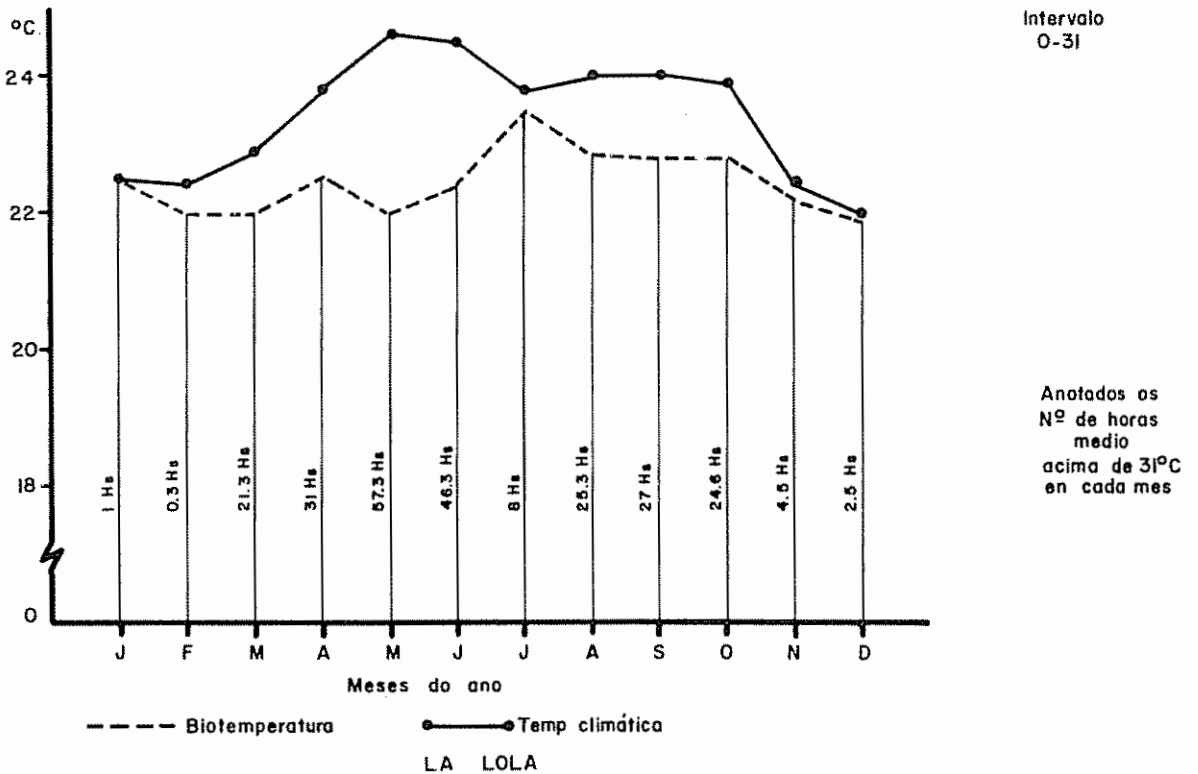


Fig 12 Distribuição de temperatura e biotemperatura através dos meses do ano.

Em El Coko a diferença entre a temperatura climática e biotemperatura somente se observa em fevereiro, março e abril, sendo que nos demais meses são superpostas para efeito de gráfico, já

que o número de horas com temperaturas superiores a 31°C é bem reduzido. Observa-se na Fig. 13 que o número de horas com temperatura superior a 31°C não é suficiente para alterar a tendência dessas duas curvas.

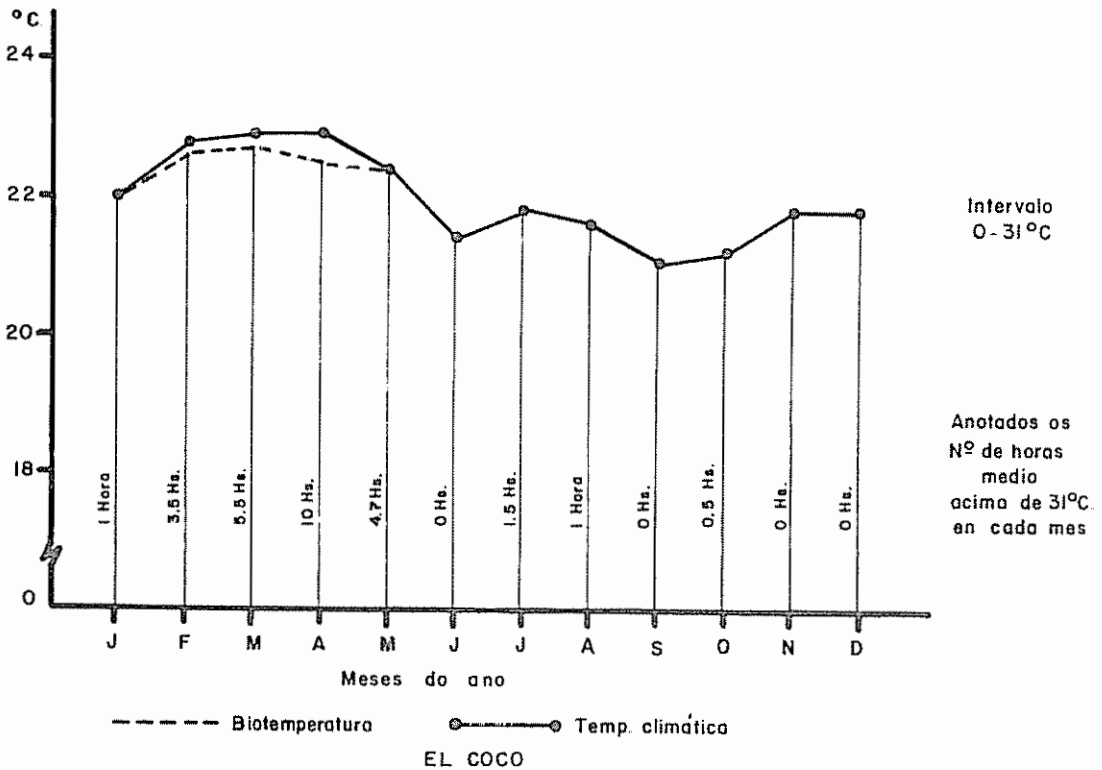


Fig 13 Distribuição de temperatura e biotemperatura através dos meses do ano

4.3. Variabilidade obtida através da análise de componente de variância

Nesta seção se apresentam os resultados da análise de variância para o total de período considerado e para cada localidade em particular, calculando-se os componentes de variância entre os meses do ano e entre anos, expressando em términos de variabilidade.

Os componentes de variância foram definidos como positivo de tal forma que quando o quadrado médio para anos foi menor que o quadrado médio entre meses considerou-se o componente de variância para ano igual a zero.

QUADRO 3.- Componentes de variância relativa para o transcurso de biotemperatura mensal e anual.

Estações	Componentes de variância		variabili- dade	variabili- dade
	Ano	Mes	entre meses	entre anos
El Coco, C.R.	0.02871	0.39652	93%	7%
Turrialba, C.R.	0.23600	0.59470	71.6%	28.4%
La Lola, C.R.	0.44500	0.75900	63%	37%
Managua, Nic.	0.06720	3.9902	98.35%	1.65%
Miami - USA	0.00	5.7924	100%	0%
Wash. D.C.-USA	0.00	65.1834	100%	0%

Observando o quadro 3 verifica-se que a variabilidade entre anos é nula para Washington e Miami, apresentando uma variabilidade de 100% entre os meses do ano. Esta relação se modifica à medida que se aproxima da linha do equador, onde a variabilidade entre anos para Manágua e em El Coco é também praticamente zero. Em Turrialba e La Lola a variabilidade chega a contribuir com 1/3 da variabilidade total. A variabilidade restante da biotemperatu-

ra se deve a oscilações diferenciadas dos meses.

4.4. Algumas características e propriedades das variáveis analisadas

Com a finalidade de uma melhor descrição da biotemperatura nas seções subseguintes se descrevem algumas medidas associadas à cada variável e seu padrão de dinamismo que puderam conectar com a biotemperatura.

4.4.1. Médias e desvios padrões

Nesta seção se apresentam as médias e os respectivos desvios padrões das seguintes variáveis: Temperaturas máximas absoluta (X_1), temperaturas mínimas absoluta (X_2), média das médias máximas (X_3), média das médias mínimas (X_4), biotemperatura média (X_5) e temperatura climática média (X_6). Os valores considerados para estas diversas formas de expressar as temperaturas são dados mensais para o total de período considerado para cada estação.

QUADRO 4.- Média das variáveis descritas e seus respectivos desvios padrões.

	V a r i á v e i s					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Wash. D.C.	27.95 [±] 7.96	1.72 [±] 9.82	18.74 [±] 9.38	8.97 [±] 7.86	12.97 [±] 7.56	13.50 [±] 9.02
Miami, Fla.	31.19 [±] 2.42	14.00 [±] 7.09	28.08 [±] 3.05	20.11 [±] 3.09	22.73 [±] 2.37	24.07 [±] 3.49
Managua, Nic.	34.27 [±] 1.47	19.11 [±] 2.14	31.61 [±] 3.07	21.97 [±] 1.20	20.57 [±] 2.01	26.61 [±] 1.05
Turrialba, C.R.	28.73 [±] 1.07	14.95 [±] 2.12	26.48 [±] 1.06	17.76 [±] 1.09	21.35 [±] 0.87	21.35 [±] 0.87
La Lola, C.R.	31.03 [±] 1.90	17.35 [±] 1.86	28.72 [±] 2.07	19.62 [±] 1.21	22.54 [±] 1.03	23.51 [±] 1.57
El Cocco, C.R.	30.42 [±] 1.54	15.18 [±] 1.49	27.82 [±] 1.08	17.97 [±] 0.62	21.88 [±] 0.65	21.99 [±] 0.76

Os valores apresentados no quadro 4 descreve em forma geral as medidas de posições e variabilidade associada com cada forma das temperaturas que poderiam explicar algumas consequências de variabilidade da biotemperatura.

Observa-se no quadro 4 que em Washington as médias de todas as variáveis apresentam alto desvio padrão em relação às demais estações, indicando a grande variabilidade entre os meses dos anos. Em Miami os desvios padrões das variáveis X₁, X₃, X₄, X₅, X₆ são da ordem de 2.42 a 3.49, discrepando com o desvio de X₂ que é de 7.04. Já em Manágua o maior desvio padrão observado corresponde a

3.07 referente à média das médias máximas. Para as demais variáveis desta estação os valores dos desvios padrões estão entre 1.05 a 2.14. Para as estações da região tropical, Turrialba, El Coco e La Lola os desvios padrões se apresentam similares, oscilando para todas as variáveis de 0.62 a 2.07, indicando uma pequena variabilidade ao longo dos anos.

4.4.2. Correlação entre as várias formas em que foram expressas as temperaturas climáticas e biotemperaturas

Nesta seção serão descritas as correlações entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , já identificadas na parte 4.4.1., com particular ênfase de suas associações com a biotemperatura.

QUADRO 5.- Matriz de correlações (R) entre as temperaturas máximas absolutas, temperaturas mínimas absolutas, médias máximas, médias mínimas, biotemperatura e temperatura climática média de Washington, D.C.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	.890	1.000				
(R) = X_3	.953	.965	1.000			
X_4	.859	.933	.939	1.000		
X_5	.935	.956	.983	.944	1.000	
X_6	.949	.969	.997	.950	.987	1.000

No Quadro 5 observam-se que as correlações entre todas as variáveis são positivas e bastante altas, sendo da ordem de 0.89 a 0.99, onde a biotemperatura encontra sua melhor correlação com as máximas médias e com a temperatura climática média.

QUADRO 6.- Matriz de correlações entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , para os dados de Miami-Fla.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	.739	1.000				
$(\hat{R}) = X_3$.807	.945	1.000			
X_4	.744	.962	.965	1.000		
X_5	.626	.780	.795	.839	1.000	
X_6	.791	.963	.984	.992	.832	1.000

Verifica-se no quadro acima que as correlações entre as variáveis são todas positivas e altas, sendo que a melhor correlação se obteve para média das mínimas e temperatura climática média. A biotemperatura apresenta uma correlação melhor com a média das mínimas, atingindo o valor 0.84.

QUADRO 7.- Matriz de correlações entre as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 e X_6 para os dados de Manágua.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	.045	1.000				
X_3	.493	.180	1.000			
X_4	.179	.617	-.190	1.000		
X_5	-.517	.059	-.445	.049	1.000	
X_6	.525	.406	.528	.440	-.730	1.000

Segundo os resultados apresentados no quadro 7, observam-se que as correlações entre as variáveis são em geral baixas, sendo que as negativas estão entre a biotemperatura e média das máximas absolutas; média das médias máximas e média das mínimas; e biotemperatura com temperatura climática média. A melhor correlação observada encontrou-se entre a média das mínimas absolutas e as médias mínimas. A biotemperatura se encontra correlacionando-se negativamente com todas as demais variáveis, com exceção para as médias da mínima absoluta e médias mínimas com um valor muito baixo de 0.06 e 0.05 respectivamente.

QUADRO 8.- Matriz de correlações (\hat{R}) entre as variáveis $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ para os dados de El Coco, C.R.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	-.051	1.000				
X_3	.714	-.050	1.000			
X_4	.423	.413	.615	1.000		
X_5	.520	.034	.861	.708	1.000	
X_6	.591	.029	.916	.744	.972	1.000

A observação do quadro 8 nos demonstra que a correlação entre a média das máximas absolutas e a média das médias máximas é negativa, bem como a correlação entre a média das mínimas absolutas e a média das médias máximas. A melhor correlação foi verificada para biotemperatura e temperatura climática com o valor 0.97 e entre a temperatura climática e médias máximas. Verifica-se também que a correlação entre a biotemperatura e as médias máximas é bastante satisfatória, sendo da ordem de 0.86, como se esperava.

QUADRO 9.- Matriz de correlações (\hat{R}) entre as variáveis $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ para os dados de La Loba, C.R.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	.808	1.000				
X_3	.958	.838	1.000			
X_4	.828	.947	.861	1.000		
X_5	.424	.334	.378	.301	1.000	
X_6	.934	.881	.979	.926	.303	1.000

Observa-se no quadro acima que as correlações entre as diversas variáveis são todas positivas, no entanto a biotemperatura se correlaciona fracamente com todas as demais formas de temperatura, apresentando melhor correlação com a média das máximas absolutas com o valor de 0.42. A correlação mais elevada se encontrou entre as médias máximas e a temperatura climática média.

QUADRO 10.- Matriz de correlações entre as variáveis $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ para os dados de Turrialba, C.R.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.000					
X_2	.379	1.000				
$\hat{R} = X_3$.820	.587	1.000			
X_4	.649	.651	.753	1.000		
X_5	.798	.509	.890	.883	1.000	
X_6	.798	.509	.890	.883	1.000	1.000

A correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática para este local em particular foi de igual a unidade, já que não se observou nenhuma hora com temperaturas superior a 31°C ou inferior a 0°C , durante o período observado. As correlações entre as demais variáveis são todas positivas e relativamente altas.

Em Washington a temperatura climática média se encontra melhor correlacionada com as variáveis; média das máximas absolutas, média das mínimas absolutas, médias máximas, médias mínimas do que a biotemperatura com estas mesmas. No entanto a correlação para ambos os caso são bastantes altas.

Em Miami se observa o mesmo, no entanto o nível de associação

entre a biotemperatura e as citadas variáveis é mais marcadamente baixa com relação à temperatura climática média, se comparada com Washington.

Para El Coco a diferença em correlação entre a biotemperatura e temperatura climática com as variáveis mencionadas é pequena, sendo que se observa uma melhor correlação entre essas com a temperatura climática com exceção para médias máximas quando apresenta correlação mais alta com a biotemperatura.

No caso de La Lola a correlação da biotemperatura com as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , e X_4 é da ordem de 50% se comparada com os valores de correlação dessas mesmas variáveis com a temperatura climática, decorrente disto se encontra uma baixa correlação entre a temperatura climática e biotemperatura nesta estação.

5. DISCUSSÃO

De acôrdo com o referido no capítulo anterior a determinação da temperatura superior limitante foi baseada nos dados calculados por Holdridge e Tosi.*

O procedimento para a previsão de biotemperaturas para as áreas em estudo foi realizado através do conhecimento prévio das formações de vegetações existentes nessas áreas, usando-se também os valores de precipitação média anual. Como exemplo, cita-se o caso de Manágua, onde a vegetação se apresenta em transição entre três formações básicas: bosque úmido subtropical a bosque sêco subtropical e a bosque sêco tropical. Esta informação associada ao conhecimento do valor de precipitação média anual permitiu a localização de um ponto no diagrama que corresponderia as áreas circunscritas pela estação Las Mercedes. Em seguida prolongou-se uma reta horizontal até a escala da biotemperatura onde se leu 23°C. De modo similar se previu os valores de biotemperatura para as demais estações. Comparando êstes valores previstos om os obtidos, verificou-se que coincidiam melhor com os valores do intervalo 0 - 31°C, para todas as estações. Desta forma, 31°C foi considerado como a temperatura superior limitante para as formações inscritas nas diversas zonas de vida de Holdridge.

* Comunicação pessoal.

Consequentemente, a metodologia para o cálculo de biotemperatura média anual de qualquer área implica em igualar a zero todas as temperaturas superiores a 31°C e inferiores a zero.

A temperatura média anual que se obtém comumente através das maiorias de estações metereológicas, trata-se daquela obtida pelas máximas e mínimas, verificando-se no entanto que existe uma considerável diferença entre a temperatura média anual quando esta é computada pelas temperaturas horárias, sendo esta última geralmente inferior em 2 - 3°C para áreas consideradas.

O modelo idealizado por Holdridge, bem como a escala da biotemperatura baseou-se nos dados de temperaturas obtidas pelas estações metereológicas correntes, portanto as temperaturas médias através de máximas e mínimas. Assim sendo, se consideramos a equivalência biunívoca entre o intervalo de temperatura considerada efetiva para crescimento das plantas e os dados em que o modelo foi baseado, reconhece-se que tal resultado deveria ser considerado como uma primeira aproximação.

Os resultados obtidos indicaram que a tendência da biotemperatura e a temperatura climática foi diferente para cada região estudada. No entanto para conclusões mais definitivas seria conveniente um número maior e mais diversificado de estações.

No caso de Washington, D.C. a temperatura climática é superior a biotemperatura durante os meses de novembro, dezembro, ja -

neiro, fevereiro e março. A partir dos primeiros dias de abril a temperatura climática ultrapassa a biotemperatura, sendo esta situação mantida até o fim de outubro. O ponto onde a temperatura climática passa a ser superior a biotemperatura coincide com o início da estação de crescimento nas regiões temperadas, porém interpretações mais elaboradas ficam propostas para futuras investigações.

Os componentes de variância indicou que a variabilidade relativa de biotemperatura para Washington entre os meses do ano é de 100% denotando portanto uma perfeita estacionalidade nesta área.

Variabilidade de 0% entre anos indica a estabilidade desse parâmetro, significando que o comportamento da vegetação em relação ao incremento de produção, período de floração, caducidade de folhas etc., se repetem regularmente de ano a ano obedecendo uma estacionalidade bem definida pela temperatura climática, durante o transcurso do ano.

O alto valor de correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática (0.99) nos permitiria a conclusão de que a estacionalidade da vegetação encontra sua contraparte na periodicidade do clima, expressa em temperatura do ar.

A vegetação correspondente às condições de Washington pertence à formação do tipo bosque úmido temperado onde a periodicidade estacional é amplamente conhecida.

Através do conhecimento de valores de temperatura climática e biotemperatura através dos meses do ano, se poderia tentar um planejamento mais adequado de cultivos, segundo o grau de tolerância às variações de temperatura apresentadas pelas diversas plantas.

O padrão da curva de variação de temperatura climática de Miami durante o transcurso do ano se mostra similar ao de Washington, ainda que a magnitude de variação seja bastante diferente.

Verifica-se no entanto que as tendências das curvas de biotemperaturas para estas regiões são diferentes apesar de também em Miami a variabilidade relativa entre meses do ano ter sido de 100% indicando uma clara estacionalidade na vegetação e clima. Tal vegetação corresponde a formação do tipo bosque úmido subtropical com franco periodicidade estacional. Apesar de não terem sido observadas temperaturas inferiores a zero encontra-se citações de bruscas geadas que ocasionaram danos a cultivos em anos anteriores. Conhece-se também, o verão bastante intenso das regiões subtropicais.

Observando comparativamente a tendência das curvas de biotemperatura e temperatura climática, nota-se que a estação de crescimento se encontra defasada com a de Washington, e em primeira aproximação poderia interpretar que a produtividade das comunidades estariam prejudicadas durante os meses de junho, julho e agosto em função da ocorrência de alto número de horas com temperatu-

turas superiores a 31°C .

O valor de correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática foi de 0.83, porém apresenta uma melhor correlação com a média das mínimas o que poderia significar que a estacionalidade da vegetação nessa área segue melhor a tendência das médias mínimas; a correlação com a média das máximas absolutas é relativamente baixa se comparada com outras correlações.

A variabilidade da biotemperatura entre anos sendo igual a zero, denotaria uma repetição nos comportamentos da vegetação de ano a ano.

Em Manágua as temperaturas são bastante elevadas durante quase todo o ano, sendo esta situação confirmada pelo baixo desvio padrão em torno da média climática nessa área. O padrão de variação da biotemperatura e temperatura climática é bastante particular, não mostrando similaridade com nenhuma outra estação estudada. O excessivo número de horas apresentando temperaturas superiores a 31°C durante todo o ano resultou em uma correlação negativa a biotemperatura e a temperatura climática média anual. Esta relação indica talvez a instabilidade na vegetação local, expressa em vegetação de transição entre: Bosque úmido subtropical a sêco subtropical e a sêco tropical.

A variabilidade da biotemperatura entre meses do ano é alta, indicando uma certa estacionalidade na vegetação, mas seria difí-

cil definir quais os fatores climáticos que promovem tal periodicidade estacional já que as temperaturas são bastante elevadas durante todo o transcurso do ano. A variabilidade entre anos sendo de 7% indica a estabilidade da biotemperatura para esta área.

O padrão de variação da curva de biotemperatura não segue a tendência de nenhuma das formas em que foram expressas as temperaturas, correlacionando-se baixamente com as médias mínimas e negativamente com as médias máximas. Talvez a interpretação deste fator seria de que as temperaturas muito elevadas atuam como limitantes induzindo tal vegetação transicional.

Para Turrialba a curva da biotemperatura e temperatura climática mostram igual tendência, superpondo-se uma a outra, e logicamente representado pelo valor de correlação igual a unidade. Isto indica que não foi registrada nenhuma temperatura superior a 31°C ou inferior a zero durante todo o período considerado, podendo concluir que a temperatura não atua de forma limitante para esta área.

A variabilidade da biotemperatura entre os meses do ano foi de 71.6% indicando que a periodicidade estacional não é tão pronunciada como nas áreas anteriores. A maioria das comunidades das regiões tropicais são de carácter não estacional, crescendo vegetativamente ou mesmo florescendo e flutificando durante todo o ano apesar de algumas espécies apresentarem um aspecto notoriamente periódico em relação a formação de novas folhas ou a caducidade das mesmas.

Esta situação encontra seu reflexo em uma vegetação bastante heterogênea correspondente na área de Turrialva a formação do tipo Bosque muito úmido tropical premontano.

A estabilidade da biotemperatura se encontrou relativamente baixa quando comparada com as demais estações, indicada por uma variabilidade entre anos de 28.4%. Isto significaria que para conseguir a estabilização deste parâmetro necessitaria a análise de um período maior.

A tendência da curva da biotemperatura e temperatura climática de El Coco se apresenta de forma similar a Turrialva, no entanto não há uma superposição completa devida a ocorrência de temperaturas superiores a 31°C durante os meses de fevereiro, março, abril, e maio. Esta situação é representada pelo valor de correlação igual a 0.97 entre a biotemperatura e temperatura climática.

A estacionalidade em relação as demais regiões tropicais consideradas é bastante marcante, indicada por uma variabilidade entre os meses do ano de 93%. A vegetação da área é caracterizada pela formação bosque úmido tropical premontano. Na realidade é bastante conhecida a amplitude de mudanças estacionais nas regiões tropicais, verificando-se que a estacionalidade quando existe pode ser controlada por diversos fatores tais como: distribuição da precipitação, diferença de temperatura, etc., culminando com áreas cuja vegetação é marcadamente não estacional.

O valor 7% de variabilidade da biotemperatura entre anos denota uma boa estabilidade através do tempo considerado.

La Lola apresenta uma tendência quase não estacional, representado pelo valor 63% de variabilidade entre os meses do ano e 37% entre os diferentes anos considerados. Esta situação se assemelha de Turrialba, sendo que a formação vegetal é a mesma, correspondendo ao tipo bosque muito úmido tropical premontano. A correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática foi de 0.30 em face à ocorrência de temperaturas acima de 31°C durante a maioria dos meses do ano.

O número de horas acima de 31°C nesta estação pode ser considerada insuficiente para que a temperatura seja declarada como fator limitante apesar de não estar atuando de forma ótima.

Observou-se que a variabilidade da biotemperatura nas regiões temperadas e subtropicais é provocada 100% pela variação entre meses do ano e ao passar para a região tropical é delimitada pelo valor 98.33% de variabilidade ocasionada pelos meses do ano e o restante 1.67% entre anos verificada em Manágua, tendo diminuído progressivamente para La Lola, El Coco e Turrialba onde a variabilidade entre anos é da ordem de 30% aproximadamente.

As variabilidades da biotemperatura entre meses do ano determinariam as amplitudes de mudanças estacionais para cada área resultando na formação de nuances que definiriam cada tipo de vegetação.

6. CONCLUSÕES

- 6.1. O intervalo de temperatura considerada efetiva para o crescimento das plantas, segundo o diagrama de Holdridge corresponde a 0-31°C.
- 6.2. Para localidades onde a correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática é igual a unidade para valores mensais, a temperatura não é um fator limitante para as formações vegetais destas áreas.
- 6.3. As localidades onde a correlação entre a biotemperatura e a temperatura climática é negativa, ocasionada pelo alto número de horas com temperaturas superiores a 31°C, a vegetação apresenta carácter transicional.
- 6.4. A vegetação se encontra estacionária em crescimento nos meses que a biotemperatura é superior a temperatura climática, decorrente de um alto número de horas com temperaturas inferiores a zero. O início da estação de crescimento nestas regiões é delimitada pelo ponto onde a temperatura climática passa a ser superior a biotemperatura.
- 6.5. A variabilidade da biotemperatura entre os meses do ano diminuiu das regiões temperadas para a linha do equador. A variabilidade da biotemperatura indicou o grau de estacionalidade na vegetação das diversas regiões estudadas.

RESUMO

Para o presente estudo foram consideradas seis diferentes estações meteorológicas situadas nas regiões temperadas, subtropicais e tropicais.

Calculou-se valores de biotemperatura a partir de dados horários de temperatura climática para um período mínimo de 3 anos por estação.

Obteve-se inicialmente a biotemperatura média diária, seguida da biotemperatura média mensal e finalmente a biotemperatura média anual. Tomou-se seis diferentes intervalos de temperaturas supostamente efetivas para o crescimento das plantas com a finalidade de determinar qual dessas amplitudes encontraria melhor correspondência com o diagrama de Holdridge. Desta forma se obtiveram seis médias diárias, sendo que tais cálculos foram realizados independentemente por estação.

Baseados nos valores previstos de biotemperatura para essas áreas por Holdridge e Tosi, o intervalo de temperatura 0-31°C foi definido como o correto para o cálculo de biotemperatura de qualquer área. Conseqüentemente o limite superior seria estabelecido como 31°C.

Conforme o sistema de zona de vida, o crescimento das plantas é insignificante ou praticamente nulo acima deste citado limite superior. (Mais especificamente, deve ser ressaltado que a comuni -

dade não apresenta incremento em biomassa durante as horas em que o termometro está registrando temperaturas superiores a 31°C , sendo que esta referência é importante porque as diversas espécies comportam segundo seu próprio grau de resistência em relação ao fator calórico).

O padrão de variação da biotemperatura e da temperatura do ar se apresentou de forma bem distinta para região temperada, subtropical e tropical, indicando o período do ano quando a temperatura atuaria como limitante para a produtividade das várias comunidades analisadas.

Em Washington, o período durante o qual a biotemperatura se apresenta superior à temperatura climática corresponde aos meses em que a vegetação se encontra completamente estacionária.

Quando a temperatura do ar passa a ser alguns graus superior à biotemperatura indicou o início da estação de crescimento.

Em Miami, a diferença entre a biotemperatura e a temperatura do ar é bastante pronunciada principalmente nos meses de junho e julho, portanto uma diminuição na produtividade da vegetação devido ao excessivo número de horas com temperaturas superiores a 31°C , poderia ser prevista.

Quando valores de biotemperatura e temperatura climática coincidem para todos os meses, então, a temperatura não atuaria como um fator limitante para esta vegetação em particular. Tal situa-

ção se verificou em Turrialba, onde a disponibilidade de água combinada com valores de temperatura dentro do intervalo 0-31°C, determinou a vegetação do tipo Bosque úmido premontano tropical.

Aplicando a análise dos componentes de variância para valores de biotemperaturas mensais para o total do período estudado, determinou-se a variabilidade entre os meses do ano e entre os anos. A alta variabilidade entre meses nas regiões temperadas e a relativa baixa variabilidade em direção à linha do equador indicaria que a estacionalidade na vegetação decresce nas regiões tropicais. A variabilidade entre anos para a maioria das estações indicou que a biotemperatura é um parâmetro estável. Entretanto nas regiões tropicais, o fato de apresentar uma variabilidade relativamente alta se comparada com regiões temperadas, um período mais longo talvez de 5 anos deveria ser considerada para qualquer futura investigação.

Em estabelecendo correlações entre as várias formas de expressar a temperatura com a biotemperatura se observou que em regiões temperadas a correlação entre a biotemperatura e médias máximas é mais alta, enquanto que nas regiões tropicais a biotemperatura se encontra melhor correlacionada com as médias mínimas.

SUMMARY

The present study considered six different meteorological stations located in the temperate, subtropical and tropical regions. Biotemperature values were obtained at each station from the hourly temperature data for a period of at least 3 years. First calculated was the daily mean biotemperature, followed by monthly mean, and finally the mean annual biotemperature. Six different ranges of temperature, assumed effective for plant growth were considered in order to determine which range would best fit with the Holdridge model. In this manner, six different means corresponding to six ranges for each day were calculated independently for each station.

Based on the expected values of biotemperature for such area arrived at by Holdridge and Tosi, the temperature range 0 - 31°C was defined as correct for the calculation of biotemperature values for any area. Consequently, the upper limit cut off point should be 31°C. According to the life zone system, net growth of plants is null above this temperature. (More specifically, here we should mention that the community does not increase in biomass during the hours when the thermometer is recording higher temperature than 31°C, this reference is important because different species behave according its own degrees of resistance, toward the heat factor).

The patterns of variation of the biotemperature and air tem -

perature differed greatly between temperate, subtropical and tropical regions, indicating the time of the year when temperature could act to limit increment in productivity of the several communities analyzed. In Washington, the period during which the biotemperature is higher than air temperature would correspond to those months where the vegetation is completely stationary. When the air temperature is a few degrees higher than biotemperature this indicates the start of the growing season. In Miami, the difference between the biotemperature and air temperature values is very high principally during June and July, therefore a decrease in productivity of the vegetations due to the excessive number of hours with the temperature above the upper limit cut off point, can be expected.

When the biotemperature and air temperature coincide, then the temperature is not the limiting factor for this particular vegetation. Such a situation was observed in Turrialba. There, the availability of water combined with temperature values within the 0-31°C range, determines the tropical premontane wet forest vegetation formation.

Applying the analysis of components of variance for monthly values of biotemperature for the total 3-5 year period determined the variability between months of a year and between the years. The high variability among the months in the temperate regions and the relatively low variability towards the equator indicates that

the seasonality in vegetation decreases in the tropical regions. The variability between years for most of the stations would indicate that the biotemperature is a stable parameter. However, in the tropical regions, because the variability is relatively high compared with temperate regions, a longer period, such as 5 years, would be recommended, in any further investigation.

In establishing correlations by various methods of expressing temperature and biotemperature it was observed that in temperate regions the correlation between biotemperature and average maximum is higher; whereas in the tropical regions the biotemperature was found more closely correlated with the average minimum.

LITERATURA CITADA

1. ALBREVILLE, A. Conceptions modernes en bioclimatologie et classification des formations végétales. *Adansonia* 5(3):297-306. 1965.
2. ALVIM, P. Las necesidades de água del cacao. *Turrialba* 10(1):6-16. 1960.
3. ANSARI, A. Q. e LOOMIS, A. E. Leaf temperature. *American Journal of Botany* 46(10):713-717. 1959.
4. ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 76:682-692. 1960.
5. BAEYENS, J. L'atmosphère comme facteur de croissance des végétaux cultivés. In . *Nutrition des plantes de culture*. Louvain, Nauwelaerts, 1967. pp. 69-112.
6. BARNEY, C. W. Effects of soil temperature and light intensity on rood growth of Loblolly pine seedlings. *Plant Physiology* 26(1):146-162. 1951.
7. BATES, C. G. Forest types in the central rocky mountains as affected by climate and soil. U.S. Department of Agriculture. *Bulletin no. 1233*. 1924. 152 p.
8. BLACKMAN, F. F. The respiration of a population of senescent ripening apples. In . *Analytic studies in plant respiration*. Cambridge, University Press, 1954. pp. 1-28.
9. CASTELIANOS, A., STRANG, H. E., e SHIBATA, S. Mapa de vegetação no sul do Estado de Mato Grosso. *Fisionomia e Análise*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, 1968. 25 p. (Mimeografado).
10. CHOUARD, P. Remarques sur les implications des découvertes récentes de la Physiologie dans les recherches d'écologie et de biogéographie des plantes. In *Coloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris, Juin-Julliet. 1954. Les Divisions Ecologiques du Monde. Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1955. pp. 51-71.

11. CLEMENTS, F.E. Concepts and causes of sucession. In _____.
Plant sucession and indicators. New York, Wilson, 1928.
pp. 3-7.
12. CRITCHFIELD, H.J. Climate and Agriculture. In _____.
General climatology. New York, Prentice Hall, 1966.
pp. 266-304.
13. DAUBENMIRE, R. Climate as a determinat of vegetation in Eas-
tern Washington and Northern Idaho. Ecological Monographs
26():131-154. 1956.
14. DE CANDOLLE, A.L. Geographie botanique raisonnée. Paris,
s.l. 1855. 1365 p.
15. _____. Constitution dans les regne vegetal de groupes
physiologiques aplicable a la geographie botanique ancien
ne et moderne. Archives des Sciences Physiques et Natu-
relles 50: 5-42. 878.
16. FERRY, J.F. e WARD, H.S. Environmental factors and plant de-
velopment. In _____. Fundamentals of Plant Physio-
logy. New York, the Macmillan Company, 1959. pp. 228-
266.
17. GATES, D. Energy, plants and ecology. Ecology 46(1):1-24.
1965.
18. GREGORY, L.E. Some factors for tuberization in the potato
plants. American Journal of Botany 43(4):281-288. 1956.
19. HELLMERE, H. e SUNDAHL, P.P. Response of Sequoia sempervirens
(D.Don) Endl. and Pseudotsuga menziensi (Mirb) Franco
seedlings to temperature. In Nature 184(4694):1247-1248.
1959.
20. KOCKER, H.A. Certain aspects of climate as related to the
distribution of Loblolly pine. Ecology 37(4):824-834.
1956.
21. HOLDRIDGE, L.R. Determination of World Plant Formations from
Simple Climatic Data. Science 104(2727):367-368. 1947.
22. _____. The life zone ecology. San José, Costa Rica,
Tropical Science Center, 1964. 124 p.

23. HOLDRIDGE, L.R. The life zone system. *Adansonia* 6(1): 199-203. 1966.
24. HURSH, C.R. Local climate in the copper basin of Tennessee as modified by the removal of vegetation. U.S. Department of Agriculture. Circular 774. 1948. 38 p.
25. KOEPEN, J. La división de los climas sobre la base de la temperatura, las precipitaciones atmosféricas y el curso de las estaciones del año: la fórmula climática. In _____ . *Climatología; con un estudio de los climas de la tierra*. Traducido del alemán por P.R. Hendrichs, P., México, D.F., Fondo de Cultura Económica, 1948. pp. 166-183.
26. KRAMER, P.J. Some effects of various combinations of day and night temperatures and photoperiod on the height growth of loblolly pine seedlings. *Forestry Science* 3(1):45-55. 1957.
27. KUCHLER, A.A. Vegetation maps as climatic records. In _____ . *Vegetation mapping*. New York, Ronald Press, 1967. pp. 328-343.
28. KURTZ, E.B. Chemical basis for the adaptation of plants. In Shields, I.M. y Gardner, L.J., eds. *Bioecology of arid and semiarid lands of the southwest*. New Mexico Highlands University Bulletin. New Mexico, 1961. pp. 23-26.
29. LEMME, G. Influence de l'alimentation en eau et de l'ombrage sur l'economie hydrique et la photosynthese du cacaoyer. *Agronomie Tropicale* 10(5):592-603. 1955.
30. LEMIEUX, G.J. An evaluation of Paterson's CVP index in Eastern Canada. Canada, Department of Forest, Forest Research Branch. Technical Note 112. 1961. 11 p.
31. LECFOID, A.C. Environmental physiology. In _____ . *Growth and development of plants*. New York, McGraw-Hill, 1964. pp. 327-409.
32. LINDSEY, L.A. e NEUMAN, J.E. Use of official weather data in spring time-temperature analysis of an Indiana phenological record. *Ecology* 37():812-832. 1956.
33. LIVINGSTON, B.E. e SHREVE, F. Distribution of vegetation in the United States as related to climatic conditions. n.l. Carnegie Institution, 1921. 585 p. (Carnegie Institution, Washington, Publication 284).

34. LUNDEGARDH, H. Photosynthesis and formation of carbohydrates. In . Plant Physiology. Translated from German by F.H. Irvine. Edinburgh, Oliver & Boyd, 1966. pp. 91-138.
35. MEHER-HOMJI, V.M. Les Bioclimate du subcontinent indien leurs types analogues dans le monde. Toulouse, Faculté des Sciences. 1963. 254 p.
36. MILTHORPE, F.L. Experimental studies of the factors controlling transpiration. Journal of Experimental Botany 8(24): 413-437. 1957.
37. MOH, C.C. The effect of low temperature on mitosis in meristematic cells of the shoot apex of beans. Cariologia 19(4):413-418. 1966.
38. MURRAY, D.E. Environmental factors and the growth of cacao. Coffee and Cacao Journal 8(7):129-146-147. 1965.
39. NUTTONSON, M.Y. Some preliminary observations of phenological data. In Murneek, A.E. and Whyte, R.O., eds. Vernalization and photoperiodism. Mass, Chronica Botánica, 1948. pp. 129-145.
40. NUTTONSON, M.Y. Global agroclimatic analogues for the intermountain region of the United States and an outline of its physiography, climate, and farm crops. Washington, D.C., American Institute of Crop Ecology, 1965. 36 p.
41. OZENDA, P. La température, facteur de répartition de la végétation en montagne. In Coloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. Juin-Juillet 1954. Les Divisions Ecologiques du Monde. Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1955. pp. 51-71.
42. PAPADAKIS, J. Light and temperature, relations of plants. In climates of the world and their agricultural potencialities. Buenos Aires, 1966. pp. 1-14.
43. PATERSON, S.S. Introduction to phycorology of Norden. Biometeorology 2(2):979-989. 1967.
44. PENMAN, H.L. Vegetation and rain. In Vegetation and hydrology. Commonwealth Agricultural Bureau, 1963. pp. 1-4.

45. SCHIMPER, A.F. Zones and regions. In Plant geography upon a physiological basis. Oxford University, 1903. pp. 211-240.
46. SCHOUW, J.R. Grundzuge einer allgemeinen Pflanzengeographie. Berlin, S.L. 1923. 524 pp.
47. SCHABE, J.W. Morphogenetic responses to climate. In Environmental control of plant growth. Symposium held at Canberra, Australia, August, 1962. Proceedings. Evans, L.T., London, 1963.
48. SHREVE, F. The vegetation of a desert mountain range as conditioned by climatic factors n.l. Carnegie Institute, 1915. 112 p. (Carnegie Institute Washington Pub. 217).
49. SIMINOVITCH, D., WILSON, C.M., e BRIGGS, D.R. Studies on the chemistry of the living bark of the black locust in relation to its frost hardiness. V. Seasonal transformations and variations in the carbohydrates. Starch-sucrose interconversions. Plant Physiology 28(3):383-401. 1953.
50. STEILA, D. An evaluation of the Thornthwaite and Holdridge classifications as applied to the mediterranean borderland. Professional Geografer 18(6):358-364. 1966.
51. THOMPSON, P.T. A test of the Holdridge model in midlatitude mountains. Professional Geografer 18(5):286-292. 1966.
52. THOMPSON, W.F. A test of the Holdridge system in the subarctic boundaries. Proceeding of Association of American Geographers. 1969.
53. TROLL, C. The cordilleras of the tropical americas. Aspects of climatic, phytogeographical and agrarian ecology. Colloquium Geographicum 9():15-56. 1968.
54. WARING, R.H. e MAJOR, J. Some vegetation of California coastal redwood region in relation to gradients of moisture, nutrients, light and temperature. Ecological Monographs 34():202-245. 1964.
55. WATSON, J.D. Climate, weather and plant yield. In Environmental control of plant growth. Symposium held at Canberra, Australia, August, 1962. Proceedings, Evans, L.T., London, 1963.

56. WENT, W.F. The experimental control of plant growth. Mass. Chronica Botanica. 1957. 343 p.
57. _____. The effect of temperature on plant growth. Annual Review of Plant Physiology 4:347-362. 1953.
58. _____. Plant climatology. In _____. The experimental control of plant growth. Mass., Chronica Botanica, 1957. pp. 223-236.
59. _____. Ecology. In _____. The experimental control of plant growth. Mass., Chronica Botanica, 1957. pp. 237-258.
60. _____. The pea. In _____. The experimental control of plant growth. Mass., Chronica Botanica, 1957. pp. 115-123.
61. YARDWOOD, C.E. Translocated heat injury. Plant Physiology, 36(6):721-726. 1961.