

Temperatura e Regime Térmico do Ar

Objetivos:

1. Importância agroambiental da temperatura do ar;
2. Relacionar o balanço de radiação e a temperatura do ar;
3. Descrever o regime térmico do ar atmosférico;
4. Destacar o conceito de unidades térmicas ou graus-dia;
5. Calcular graus-dia para uma dada cultura;
6. Conhecer e reconhecer os instrumentos para medição da temperatura do ar.

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Relação Balanço de Radiação e Temperatura do Ar
 3. Regime Térmico do Ar
 4. Unidades Térmicas ou Graus-dia
 5. Instrumentos e Medição da Temperatura do Ar
 6. Estimativa da Temperatura do Ar
 7. Conclusões
 8. Exercícios Propostos
 9. Bibliografia Citada e Recomendada
-

1. Generalidades

- (a) Crescimento e desenvolvimento das plantas – reprodução e diferenciação celular
- (b) Evapotranspiração – transferência de água para atmosfera na forma de vapor
- (c) Incidência de pragas e doenças em plantas cultivadas e vegetação natural – regular o ciclo
- (d) Associada ao conforto térmico dos animais domésticos – afeta o rendimento de pequenos e grandes animais

2. Conceitos Básicos

- Condução e convecção: processos de transferência de energia num meio material. Condução - barra de metal aquecida. Convecção - Ex: ebulição da água

- Densidade (**d**): propriedade da matéria que relaciona a massa por unidade de volume

$$d_{\text{ar}} = 1,29 - 0,0041 \cdot T \quad \rightarrow \quad T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ e } d \text{ (kg m}^{-3}\text{)}$$

- Calor específico (**c**): propriedade da matéria que se refere à quantidade de energia necessária para variar em uma unidade a temperatura de uma unidade de massa da substância.

$$c_{\text{ar}} = 1.013 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

- Capacidade calórica (**C**): propriedade da matéria que se refere à quantidade de energia necessária para variar em uma unidade a temperatura de uma unidade de volume da substância.

$$C_{\text{ar}} = [1,3 - 0,0041 \cdot T] \cdot 10^{-3} \quad \rightarrow \quad T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ e } C_c \text{ (MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}\text{)}$$

- Condutividade térmica (**κ**): propriedade da matéria que descreve a habilidade em conduzir calor. Unidade: $\text{J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$$\kappa_{\text{ar}} = 0,024 + 0,00007 \cdot T \quad \rightarrow \quad T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ e } \kappa_{\text{ar}} \text{ (J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}\text{)}$$

Exemplo Prático 01) *Estime a capacidade calórica e a condutividade térmica do ar para as temperaturas de 0, 15 e 30°C.*

Exemplo Prático 02) *Analisando os conceitos básicos acima, estabeleça uma relação entre as propriedades densidade, calor específico e capacidade calórica.*

3. Regime Térmico do Ar

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = Q_H + Q_E + Q_G \quad (1)$$

- Os processos de aquecimento e resfriamento do ar atmosférico devem-se basicamente à condução e convecção.
- A convecção livre sucede-se à condução, pois o ar aquecido torna-se menos denso e eleva-se, sendo substituído por ar de maior densidade. Esse processo gera células de circulação.

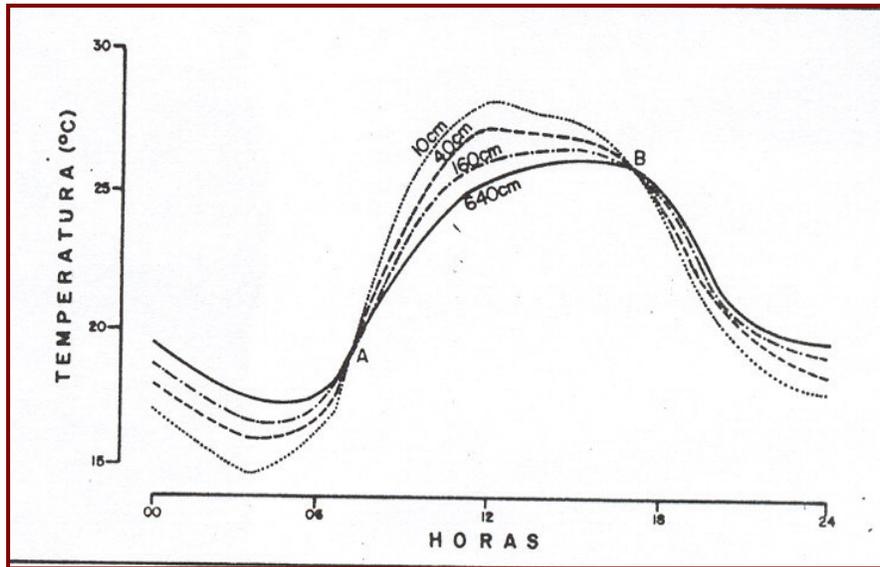


Figura 1 – Curso diário da temperatura do ar. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984)

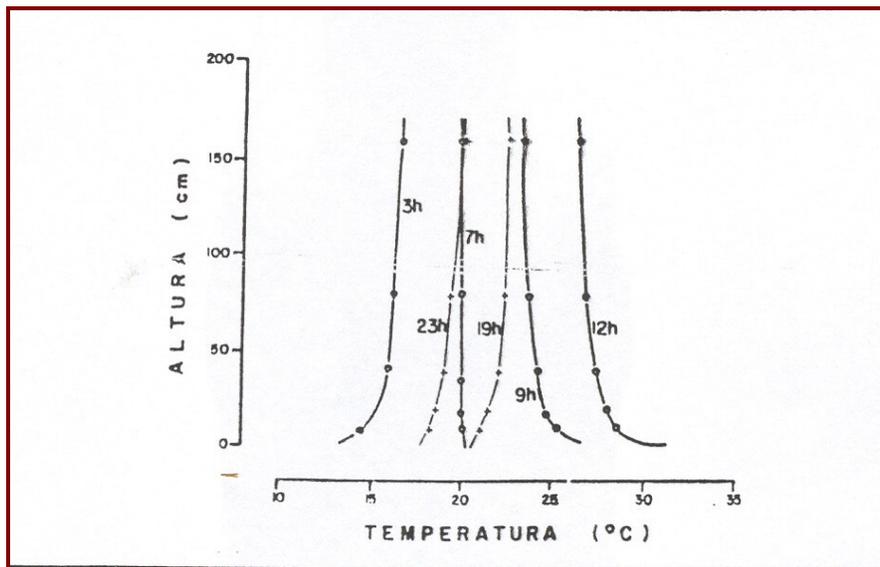


Figura 2 – Tautócronos de temperatura do ar. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

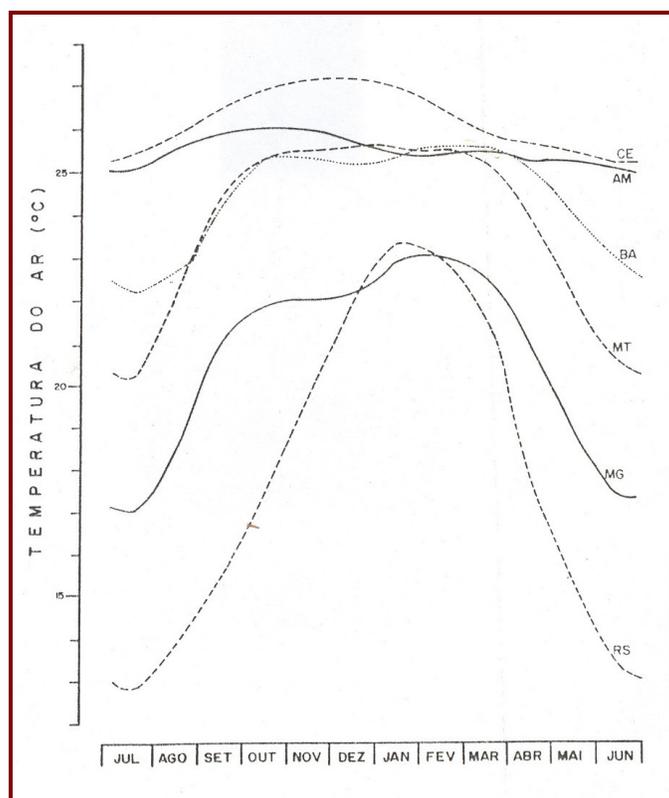


Figura 3 – Curso anual da temperatura média do ar de alguns estados brasileiros. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

4. Elementos e Fatores que Afetam a Temperatura do Ar

Elementos

- Radiação solar → a temperatura tende a aumentar com o aumento da incidência de radiação solar - disponibilidade de energia
- Cobertura do céu → a presença de nuvens tende a reduzir a temperatura durante o dia e a aumentar durante a noite. A ausência de nuvens tende a aumentar a temperatura durante o dia e reduzir durante a noite.
- Aproximação de massas de ar – frentes frias, por exemplo, que trazem nebulosidade, vento e precipitação.

Fatores

- Latitude, altitude
- Proximidade do litoral e de grandes massas de água interiores
- Cobertura da superfície (ausência ou presença)
- Turbidez atmosférica (conteúdo de partículas em suspensão)
- Frentes de massas de ar (frias ou quentes)

5. Unidades Térmicas ou Graus-dia

Segundo BROWN (1989) um ambiente térmico adequado é essencial à sobrevivência de todos os organismos biológicos. Este ambiente é especialmente importante para aqueles organismos, como plantas e insetos, cujas temperaturas internas variam em função da temperatura externa. Se esta excede algum limite superior ou cai abaixo de um limite inferior, crescimento e desenvolvimento de tais organismos são reduzidos ou interrompidos. No entanto, quando estes organismos são expostos a temperaturas dentro de algum intervalo ótimo, crescimento e desenvolvimento tipicamente aumentam com a temperatura.

As unidades térmicas quantificam o ambiente térmico de um organismo, fornecendo uma estimativa diária da quantidade de calor que contribuirá efetivamente para o crescimento e desenvolvimento do organismo. A [Figura 4](#) ilustra esta teoria.

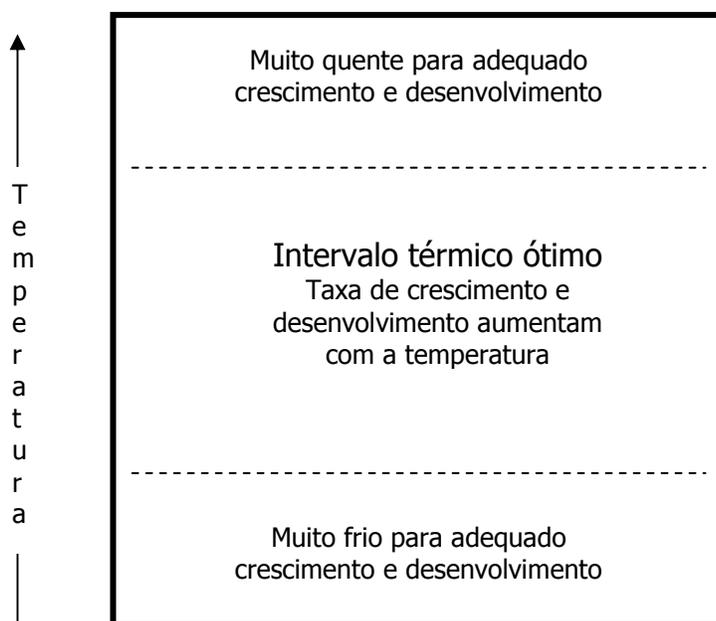


Figura 4 – Resposta hipotética de um organismo biológico a temperatura ambiente. Adaptado de BROWN (1989).

Segundo OMETTO (1981) graus-dia é o conceito de uma avaliação simplificada de energia que houve à disposição de uma planta, em cada dia do ciclo. É o acúmulo diário da energia que se situa acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida (Figura 4). Assim, para se computar o acúmulo diário de energia é preciso definir as seguintes temperaturas extremas:

T_x = temperatura máxima do dia;

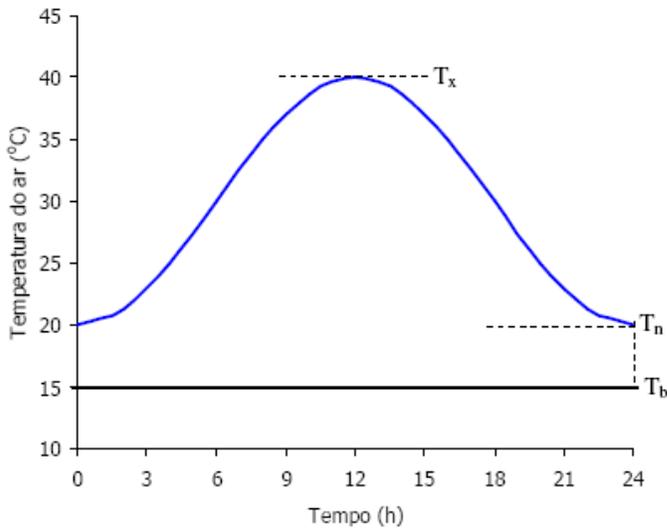
T_n = temperatura mínima do dia;

T_b = temperatura mínima basal ou basal inferior (nível mínimo de energia)

T_B = temperatura máxima basal ou basal superior (nível máximo de energia)

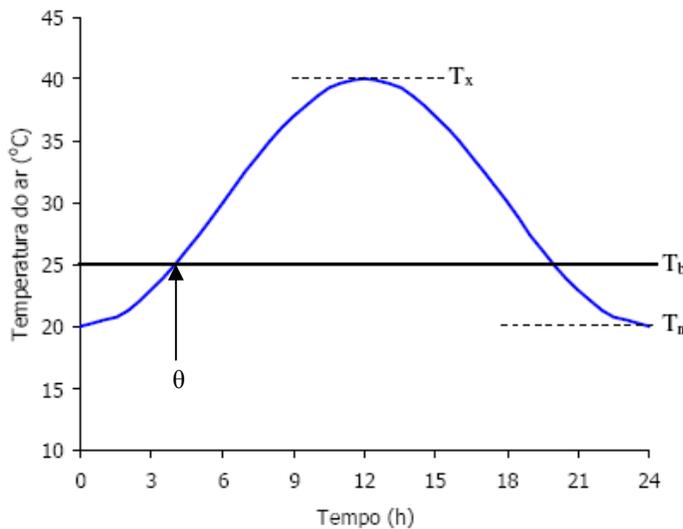
Favorável à planta são os níveis energéticos entre T_b e T_B o que leva a se considerar quatro casos no cômputo do acúmulo térmico diário ou graus-dia. Os procedimentos a seguir são baseados no trabalho de SNYDER (1985).

Caso 1: $T_n > T_b$



$$GD = \frac{T_x + T_n}{2} - T_b \quad (2)$$

Caso 2: $T_n < T_b$



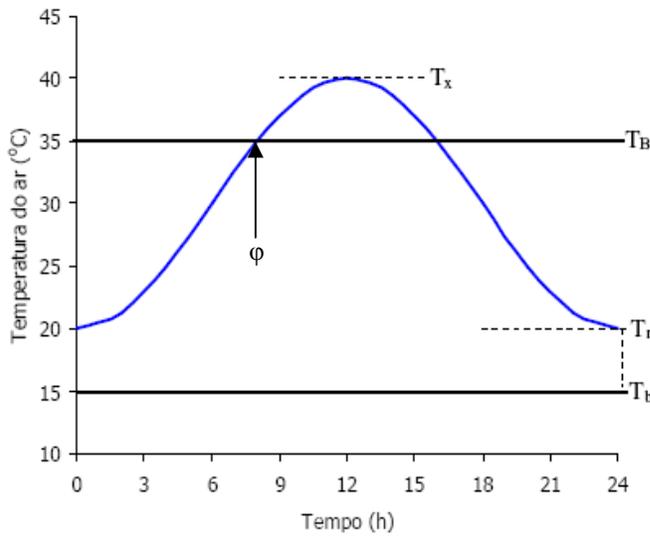
$$GD = \frac{\left[(M - T_b) \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) + W \cdot \cos \theta \right]}{\pi} \quad (3)$$

$$M = \frac{T_x + T_n}{2} \quad (4)$$

$$W = \frac{T_x - T_n}{2} \quad (5)$$

$$\theta = \arcsen \left[\frac{T_b - M}{W} \right] \quad (6)$$

Caso 3: $T_n > T_b$ e $T_x > T_B$



$$GD = GD_b - GD_B \quad (10)$$

Graus-dia com base em T_b

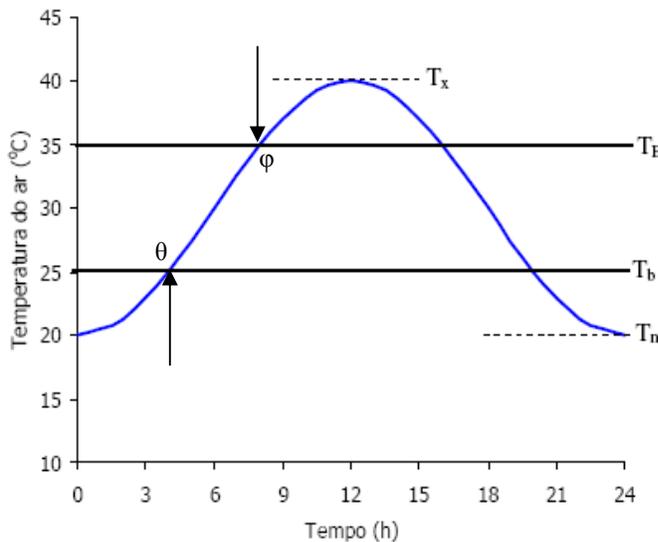
$$GD_b = \frac{T_x + T_n}{2} - T_b \quad (7)$$

Graus-dia com base em T_B

$$GD_B = \frac{\left[(M - T_B) \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) + W \cdot \cos \varphi \right]}{\pi} \quad (8)$$

$$\varphi = \arcsen \left[\frac{T_B - M}{W} \right] \quad (9)$$

Caso 4: $T_n < T_b$ e $T_x > T_B$



$$GD = GD_b - GD_B \quad (13)$$

Graus-dia com base em T_b

$$GD_b = \frac{\left[(M - T_b) \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) + W \cdot \cos \theta \right]}{\pi} \quad (11)$$

Graus-dia com base em T_B

$$GD_B = \frac{\left[(M - T_B) \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) + W \cdot \cos \varphi \right]}{\pi} \quad (12)$$

Exemplo Prático 3) Considere que para uma determinada espécie vegetal $T_b = 10^\circ\text{C}$. Num dado dia do ciclo da planta, $T_x = 30^\circ\text{C}$ e $T_n = 15^\circ\text{C}$. Determine para esse dia a energia disponível para o crescimento da planta, ou seja, determine os graus-dia.

Exemplo Prático 4) Nesse exemplo ainda considere $T_x = 30^\circ\text{C}$ e $T_n = 15^\circ\text{C}$, mas a espécie vegetal agora possui $T_b = 20^\circ\text{C}$. Determine os graus-dia para essas condições.

Exemplo Prático 5) Considere ainda neste caso o mesmo dia dos exemplos anteriores, ou seja, $T_x = 30^\circ\text{C}$ e $T_n = 15^\circ\text{C}$. Determine os graus-dia para a espécie vegetal em que $T_b = 10^\circ\text{C}$ e $T_B = 25^\circ\text{C}$.

Exemplo Prático 6) Para os valores de temperatura a seguir, representativos de um determinado dia e espécie vegetal, determine os graus-dia: $T_x = 30^\circ\text{C}$, $T_n = 15^\circ\text{C}$, $T_b = 20^\circ\text{C}$ e $T_B = 25^\circ\text{C}$.

Exemplo Prático 7) Considere as temperaturas médias para todos os meses do ano para uma dada região, como apresentado a seguir:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_x	29,8	29,8	29,8	28,1	26,1	24,9	25,1	27,2	28,2	28,7	29,4	29,5
T_n	18,8	19,0	18,1	15,1	11,8	10,3	9,3	10,7	13,3	15,3	16,4	17,9

Sabe-se que uma variedade de tomate precisa de 700°C-dia para estar em condições de ser colhido. A área a ser plantada é suficientemente grande e deverá haver duas colheitas. O primeiro plantio será dia 20 de março. (A) Qual será o dia da primeira colheita, e (B) que dia devo realizar o segundo plantio para que a segunda colheita seja exatamente 20 dias após a primeira? Tem-se que $T_b = 14^\circ\text{C}$ e $T_B = 30^\circ\text{C}$.

6. Instrumentos e Medição da Temperatura do Ar

- TERMÔMETRO METEOROLÓGICO COMUM

Termômetros são instrumentos destinados à determinação direta da temperatura. Partes constituintes dos termômetros convencionais: tubo capilar de vidro, hermeticamente fechado; bulbo, depósito do elemento sensível; câmara de expansão, na extremidade oposta à do bulbo e uma escala graduada, geralmente em graus Celsius.

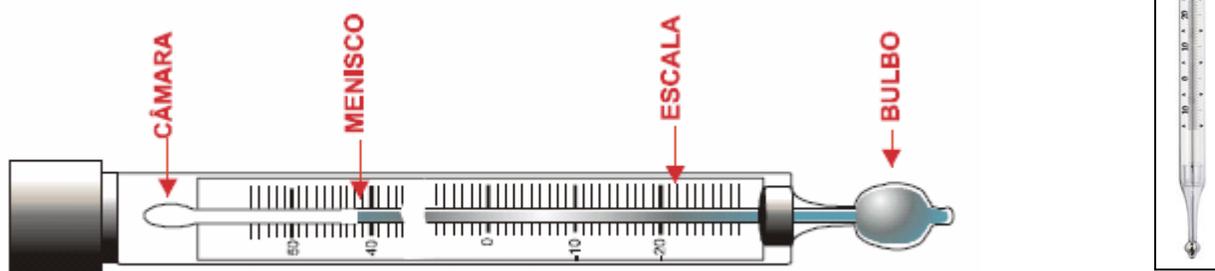


Figura 4 – Esquema de um termômetro convencional de mercúrio em vidro (Fonte: Varejão-Silva, 2001).

- Abrigo termométrico em estações convencionais – proteção da incidência direta dos raios solares



Figura 5 – Abrigo de instrumentos meteorológicos usados em estações convencionais (esquerda e centro) e automáticas (direita). Em detalhe a disposição das venezianas, nas paredes internas e externas (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

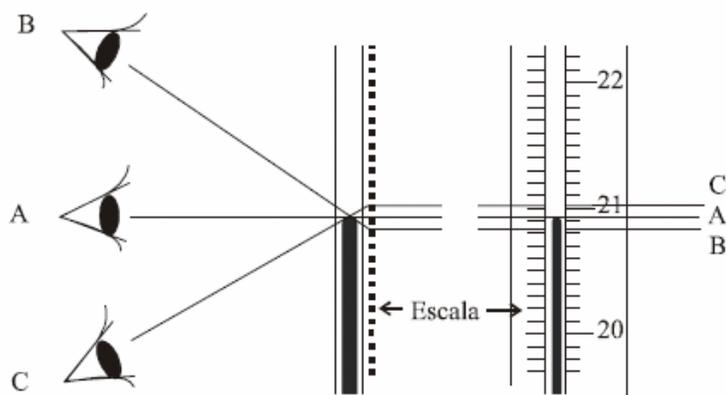


Figura 6 – Maneiras correta (A) e incorretas (B e C) de efetuar a leitura de um termômetro convencional. (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

- TERMÔMETRO DE MÁXIMA – mede a temperatura máxima do ar atmosférico

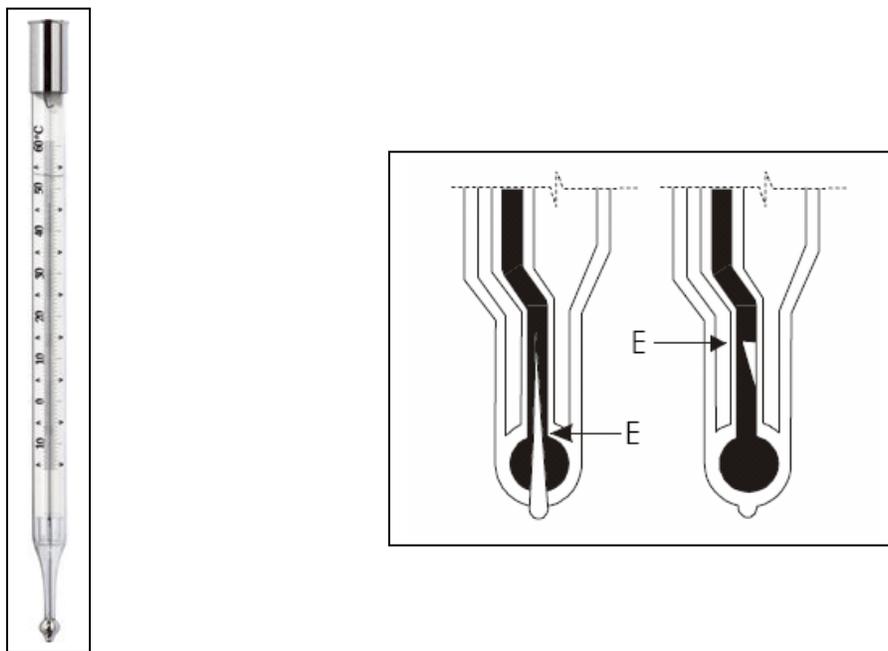


Figura 7 – Termômetro de máxima (esquerda) e esquema de diferentes tipos de estrangulamento (E) do tubo capilar, em termômetros de máxima. (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

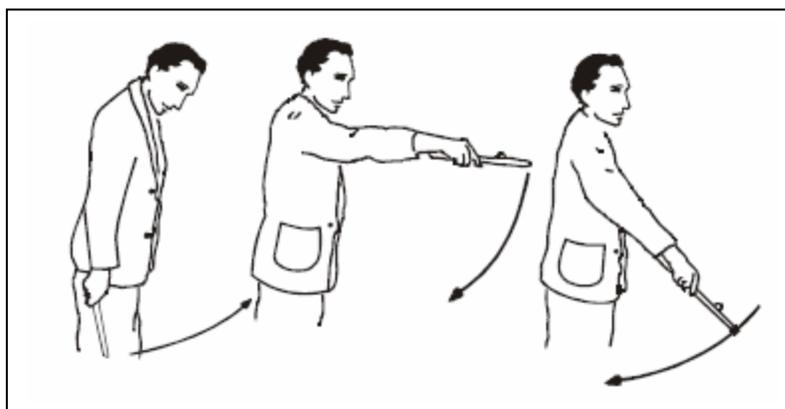


Figura 8 – Movimento necessário à preparação de um termômetro de máxima convencional. (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

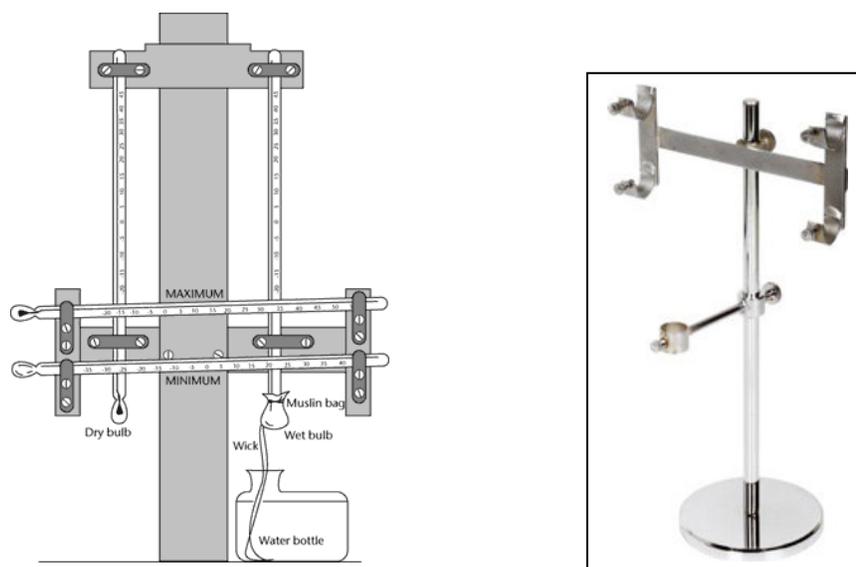


Figura 9 – Disposição horizontal dos termômetros de máxima e mínima, no interior do abrigo termométrico (esquerda) e modelo de suporte para termômetros.

- TERMÔMETRO DE MÍNIMA – mede a temperatura mínima do ar



Figura 10 – Termômetro de mínima. (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

- TERMÓGRAFO – registra a variação temporal da temperatura do ar – fornece T_n e T_x . Pode aparecer conjugado a outros registradores, num mesmo instrumento.

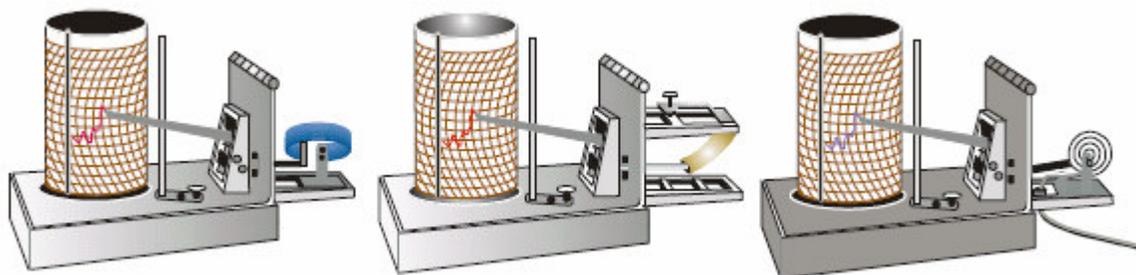


Figura 11 – Termógrafos bimetalico (esquerda), de tubo de Bourdon (centro) e de mercúrio-em-aço (direita), todos sem a tampa protetora. (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

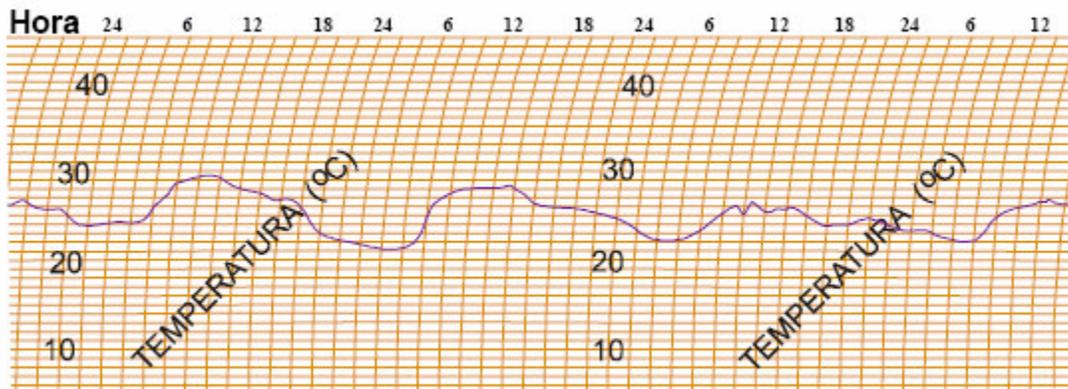


Figura 12 – Esquema de termograma (registro termográfico). (Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2001).

7. Estimativa da Temperatura do Ar

- 7.1. Estimativa com base nas coordenadas geográficas locais – regressão linear múltipla. Método válido para médias mensais, anuais. Não se aplica a intervalos diários

$$T = a_1 + a_2 \cdot Lat + a_3 \cdot Long + a_4 \cdot Alt \quad (14)$$

ALMEIDA e FINIZOLA DE SÁ (1984) usaram estas variáveis independentes para a estimativa das temperaturas média, máxima e mínima mensal e anual na região do sudeste da Bahia, utilizando dados de 29 localidades. As equações a seguir são válidas para o mês de janeiro, e são apresentadas como exemplo.

$$T_m = 36,6282 + 17,8097 \cdot Lat - 23,2244 \cdot Long - 0,0037 \cdot Alt \quad (15)$$

$$T_x = 41,2306 + 18,7553 \cdot Lat - 21,8470 \cdot Long - 0,0041 \cdot Alt \quad (16)$$

$$T_n = 53,5468 + 10,4252 \cdot Lat - 51,5766 \cdot Long - 0,0020 \cdot Alt \quad (17)$$

onde T_m = temperatura média mensal do ar (°C); T_x = temperatura máxima média mensal (°C); T_n = temperatura mínima média mensal do ar (°C); Lat = latitude (radianos); Long = longitude (radianos); Alt = altitude (metros).

- Limitações (desvantagens) do método 7.1 → ??

Exemplo Prático 8) Considere que as equações 15 a 17 são aplicáveis a Cruz das Almas. Qual seria a estimativa de T_m , T_x e T_n no mês de janeiro para esta localidade?

- 7.2. Estimativa com base no número de ordem do dia do ano – aplica-se a médias de diferentes intervalos, iguais ou maiores que 24 horas

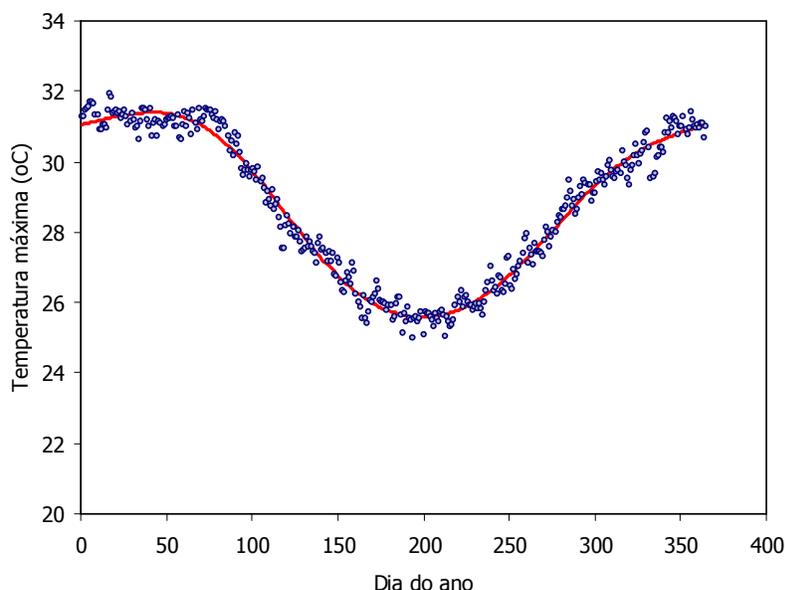


Figura 13 – Variação anual da temperatura máxima e mínima do ar em Cruz das Almas, Bahia.

$$T_x = 28,733 + 2,756\cos Y - 0,354\cos 2Y - 0,093\cos 3Y + 1,052\sin Y - 0,047\sin 2Y - 0,068\sin 3Y \quad (18)$$

$$Y = \frac{2 \cdot \pi \cdot DDA}{365} \quad (19)$$

Exemplo Prático 8) *Estime a temperatura máxima do ar em Cruz das Almas no início do outono (22.03) e final do inverno (22.09).*

- 7.3. Modelos de simulação com base em outras variáveis meteorológicas - softwares geradores de temperatura diária

8. Conclusões

Como visto acima, a temperatura é um parâmetro meteorológico indispensável aos estudos do clima bem como na interpretação de muitos processos e/ou comportamentos dos seres vivos em relação ao meio. Ela pode ser estimada para os locais onde não determinada diretamente.

9. Exercícios Propostos

EP01. Admitindo que as temperaturas basal superior e inferior de uma cultivar são 30°C e 15°C, respectivamente, computar a quantidade de graus-dia correspondente a cada uma das situações seguintes (valores diários):

- a) $T_x = 31^\circ\text{C}$ e $T_n = 18^\circ\text{C}$; b) $T_x = 34^\circ\text{C}$ e $T_n = 22^\circ\text{C}$; c) $T_x = 28^\circ\text{C}$ e $T_n = 12^\circ\text{C}$

FUNDAMENTOS DE METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA
Prof. Aureo S. de Oliveira – NEAS/UFRB

EP02. Em Cruz das Almas, Bahia, a média das temperaturas máxima e mínima, cobrindo o ano de 1989 (CASTRO NETO e D'ANGIOLELLA, 1998) é mostrada mês a mês na tabela a seguir:

Temperatura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	31,0	32,0	31,1	28,7	26,6	26,5	25,2	25,6	27,5	28,3	29,6	27,4
Mínima	21,2	21,1	21,7	21,0	20,2	19,3	17,8	18,0	18,9	19,2	20,6	20,2

Determine: a) o acúmulo médio diário de energia (GD) em todos os meses do ano, para uma cultura de alface com $T_b = 10^\circ\text{C}$ e $T_B = 23^\circ\text{C}$ (valores hipotéticos); b) a soma térmica de todos os meses; c) a data de colheita da cultivar em questão, se o plantio fosse programado para 22 de agosto; d) Você recomendaria o uso de graus-dia para o planejamento da produção agrícola numa propriedade localizada em Cruz das Almas? Justifique sua resposta.

EP03. São apresentados a seguir os valores normais de T_x e T_n (médias mensais), para uma dada localidade.

Temperatura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	25,3	25,3	25,4	24,4	23,2	22,1	21,2	21,4	22,3	23,6	24,4	25,0
Mínima	17,8	20,0	18,1	16,1	13,8	12,3	10,0	11,0	14,0	15,3	17,0	17,5

Um produtor da região deseja saber a data aproximada da colheita de um lote de pimentão, se o plantio for feito em 18 de abril. Caso deseje colher em 2 de outubro, quando deveria plantar? Exigências térmicas do pimentão = 850°C-dia , $T_b = 9^\circ\text{C}$ e as necessidades hídricas são plenamente satisfeitas durante o período de cultivo.

10. Bibliografia Citada e Recomendada

ALMEIDA, H. A.; FINIZOLA DE SÁ, D. Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais e anuais do sudeste da Bahia. *Revista Theobroma*, Ilhéus, v. 14, n. 2, p.135-142. 1984.

BROWN, P. W. Heat units. Tucson: The University of Arizona Cooperative Extension. College of Agriculture. Bulletin 8915. 1989. 12 p.

CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. An Introduction to Environmental Biophysics. 2ed. New York: Springer. 1998, 286p.

CASTRO NETO, M. T. de; D'ANGIOLELLA, G. L. B. D. Boletim agrometeorológico 1980 – 1989. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1998. 114p. (EMBRAPA-CNPMPF. Boletim Agrometeorológico, 10).

HEUVELDOP, J.; J. P. TASIES; S. Q. CONEJO; L. E. PRIETO. *Agroclimatología tropical*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1986. 394 p.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. do. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel. 1984. 374 p.

SNYDER, R.L. Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 35, p. 353-358, 1985.

VIANELLO, R L. e ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

ZUÑIGA, A. C. *Agroclimatología*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1985. 520 p.