

# Aula 7 – Calor sensível e as plantas

**Prof. Fábio Marin**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
Departamento de Engenharia de Biossistemas  
LEB 5036 - Clima e Agricultura II: Relações Planta-Atmosfera



# INTRODUÇÃO

- Temperatura - energia interna de uma substância ou um corpo qualquer, vulgarmente associado às sensações de frio e calor; mais especificamente é a medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas.
- Diversas das propriedades físicas da matéria – se em estado sólido, líquido ou gasoso; sua densidade, solubilidade, pressão de vapor, condutividade hidráulica, etc – são dependentes da temperatura do sistema em análise. Além de influenciar nas propriedades químicas, acelerando a velocidade das reações e do metabolismo nos seres vivos.
- Um dos principais fatores determinantes da distribuição e desenvolvimento das plantas e animais

# Temperatura do ar, balanço de radiação e de energia

Resultam basicamente do balanço de energia

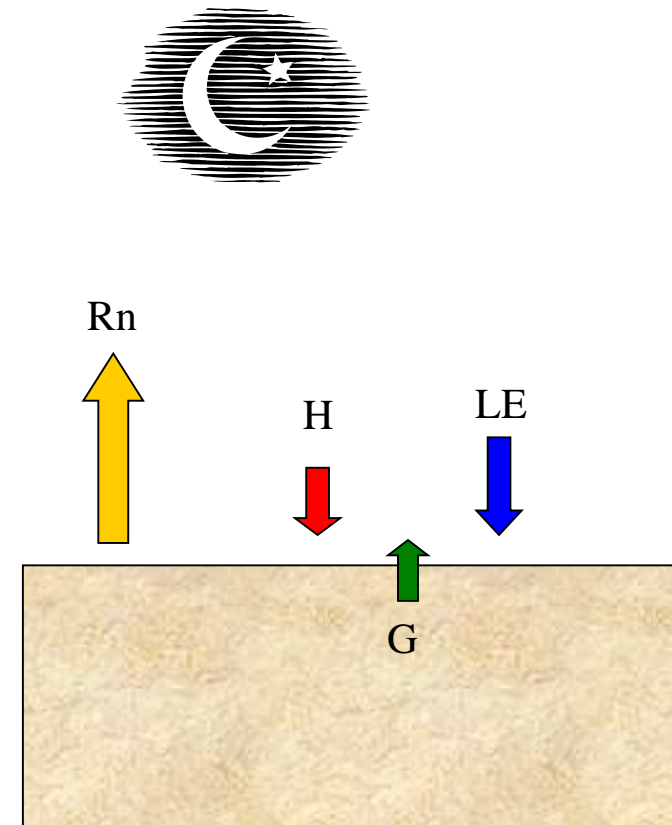
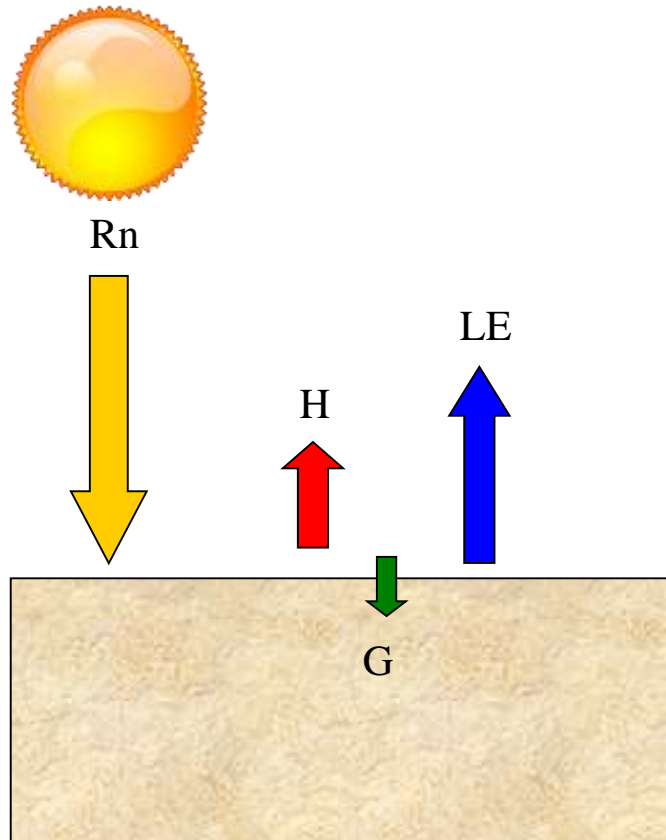
**Rn = Saldo de Radiação**

**LE = Fluxo de Calor Latente**

**H = Fluxo de Calor Sensível**

**G = Fluxo de Calor no Solo**

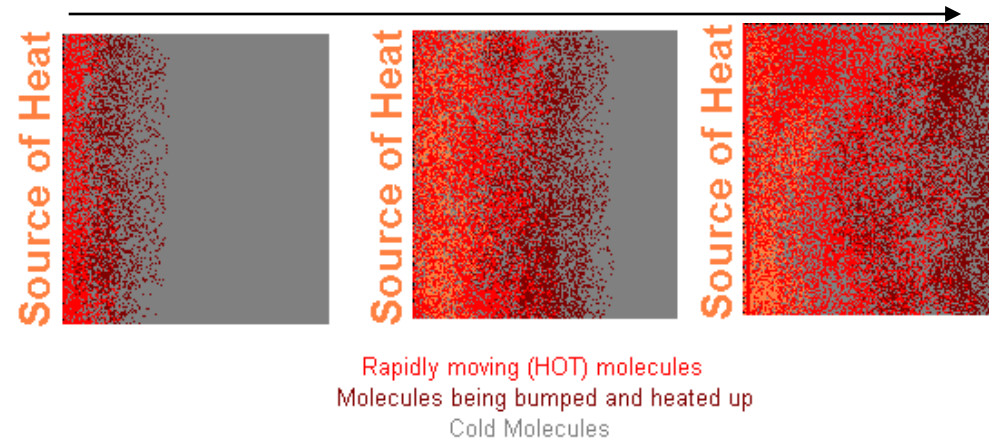
*A composição e a magnitude do balanço de energia é altamente dependente da umidade do solo e do ar*



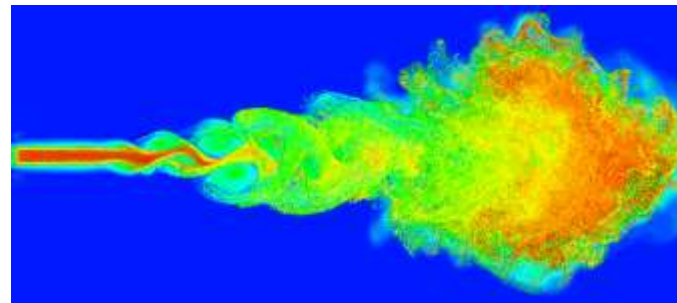
# Mecanismos de aquecimento da atmosfera

Aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre por transporte de energia:

→ **Condução molecular** – troca de calor sensível por contato entre as “moléculas”, com extensão superficial limitada (máximo de 3m);



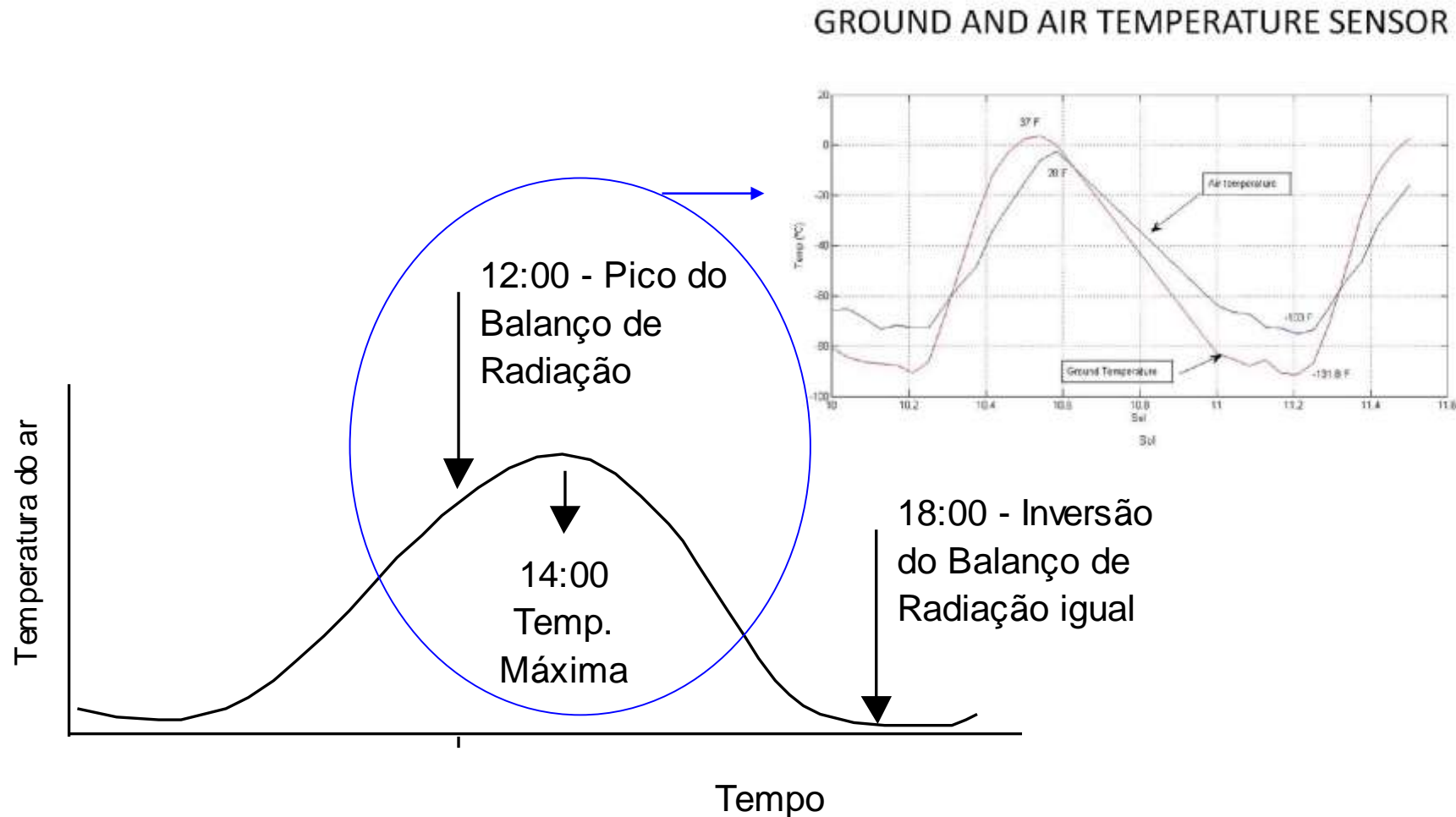
→ **Difusão turbulenta:** processo “eficiente” de transporte de energia, com movimento ascendente de parcelas de ar aquecidas – dispersão de CO<sub>2</sub>, vapor d’água e poeira.





# Variação Temporal da Temperatura do Ar

→ **Diária:** Função do Balanço de Radiação na Superfície



# Medida da Temperatura do Ar



**Abrigos meteorológicos utilizados em estações meteorológicas convencionais**

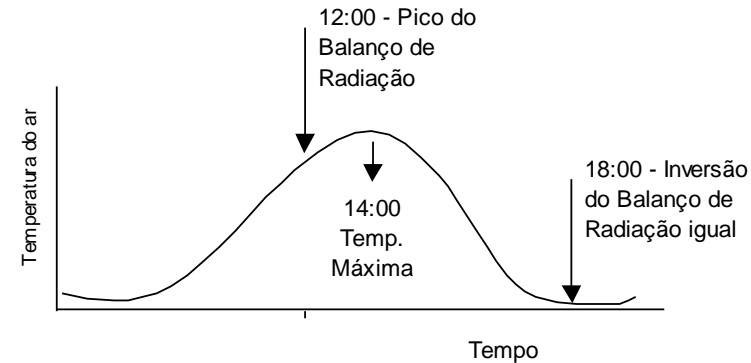


**Abrigo meteorológico utilizado em estações meteorológicas automáticas**



# Medida da Temperatura do Ar

- Medida da temperatura medida em condição padrão – comparação entre locais diferentes.
- Altura 1,5 a 2,0 m
- Abrigo ventilado (venezianas ou multipratos)



# Medida da Temperatura do Solo

LCE 360 - Meteorologia Agrícola

Sentelhas/Angelocci

## ➔ Medida da Temperatura do Solo

São utilizados os geotermômetros, cujo o elemento sensor é o mercúrio, que tem como princípio de medida a dilatação de um líquido. Além deles pode-se utilizar outros tipos de elementos sensores, como os termopares e os termistores. Para medida padrão em estações meteorológicas os geotermômetros devem ser instalados a 2, 5, 10, 20, 40 e 100 cm de profundidade em superfície gramada ou de solo desnudo.



Geotermômetros instalados em gramado



Geotermômetros instalados em solo desnudo



Sensor automático para medida da temp. do solo



Geotermógrafo



Além dos geotermômetros padrões, existem outros tipos de geotermômetros de baixo custo, para uso em plantações.





# Cálculo da temperatura média

- IAC:

$$T_{med} = (T_{7h} + T_{14h} + 2 \cdot T_{21h})/4$$

- INMET:

$$T_{med} = (T_{9h} + T_{max} + T_{min} + 2 \cdot T_{21h})/4$$

- Valores extremos:

$$T_{med} = (T_{max} + T_{min})/2$$

- Estações Automáticas:

$$T_{med} = \Sigma T_{ar}/N$$

# Estabilidade atmosférica

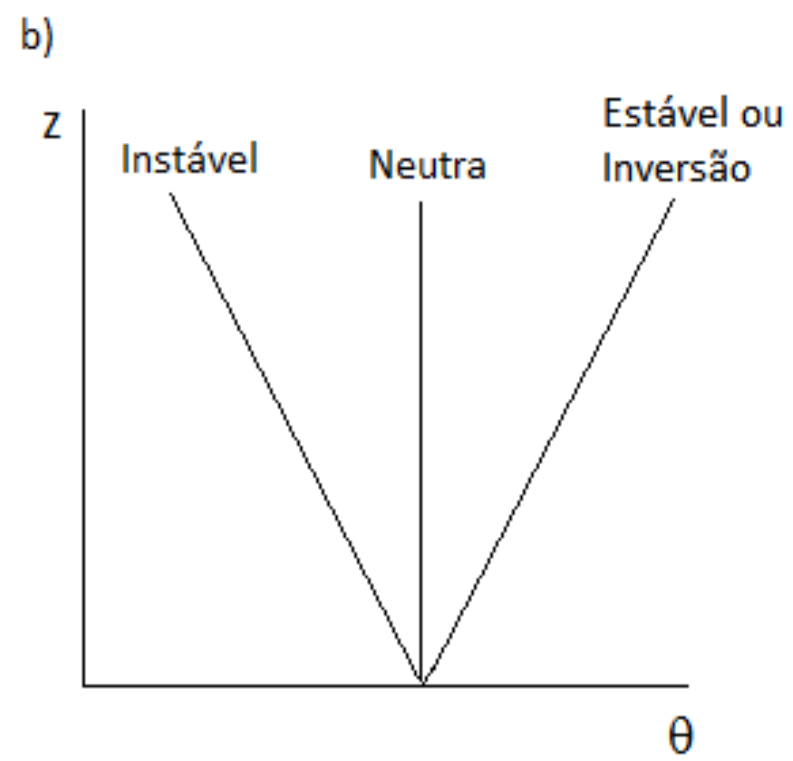
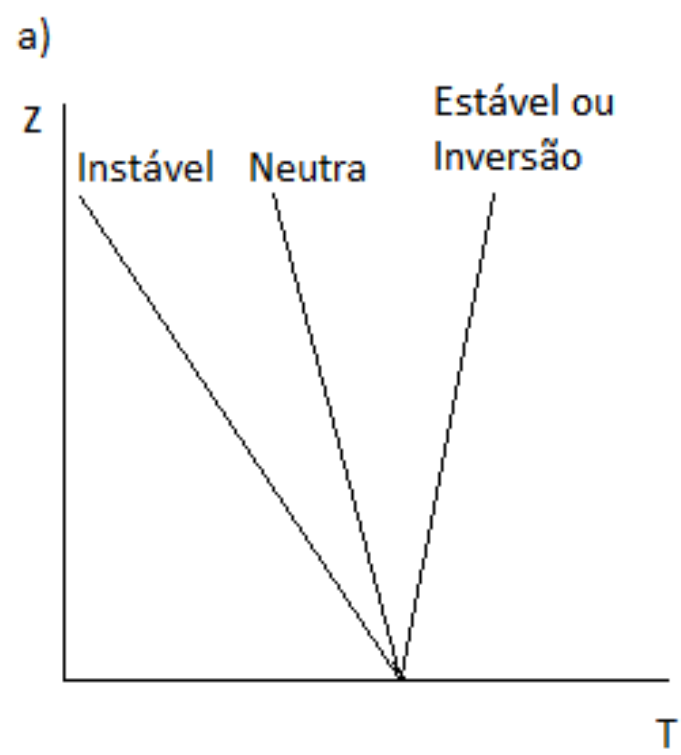
# Temperatura Potencial

$$\theta = T \cdot \left( \frac{100}{P_{\text{atm}}} \right)^{0,288}$$

em que  $\theta$  é a temperatura potencial (K);  $T_{\text{ar}}$  é a temperatura do ar (K); e  $P_{\text{atm}}$  é a pressão atmosférica em kPa.

$$Ri = \frac{g \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta z}}{\theta \cdot \left( \frac{\Delta u}{\Delta z} \right)^2}$$

em que  $g$  é a aceleração da gravidade ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );  $\theta$  é a temperatura potencial (K);  $u$  é a velocidade do vento ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) e  $\Delta z$  é a distância vertical entre dois pontos de medida (m).



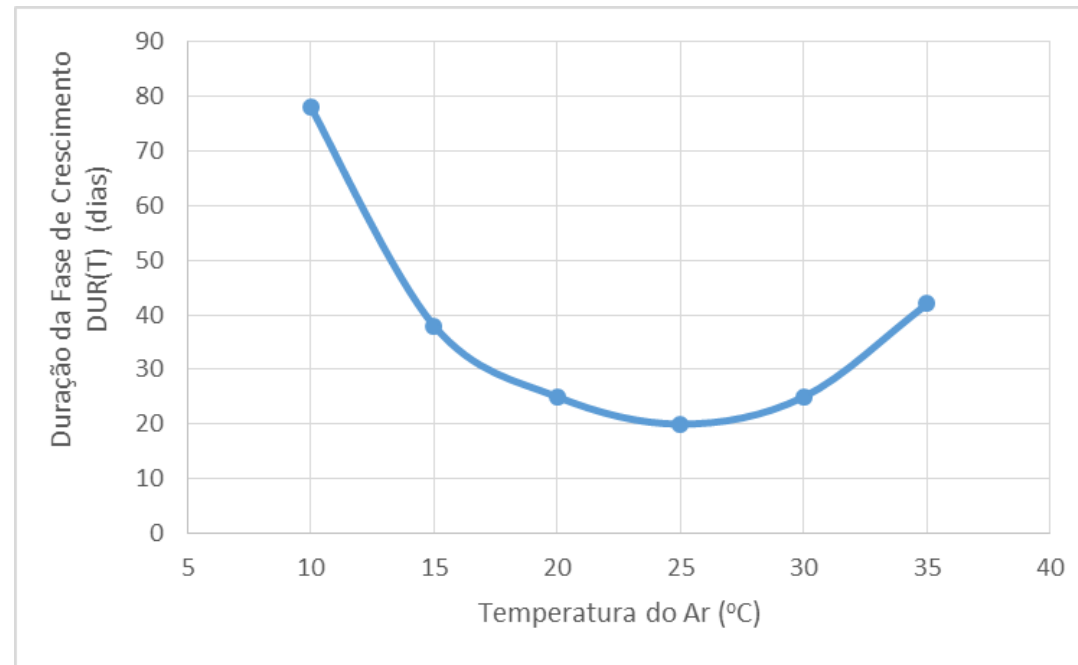


# A temperatura como fator agrônômico...

- ✓ A taxa das reações metabólicas é regulada basicamente pela temperatura do ar, afetando, desse modo, tanto o crescimento como o desenvolvimento das plantas.
- ✓ Consequência: a duração das fases ou sub-períodos fenológicos e, conseqüentemente, o ciclo das culturas tem variação inversamente proporcional a ela.
- ✓ Um dos primeiros estudos relacionando temperatura e desenvolvimento vegetal foi realizado por Reaumur, na França, por volta de 1735. Ele observou que o ciclo de uma mesma cultura/variedade variava entre localidades e também entre diferentes anos.
- ✓ Ao fazer o somatório das temperaturas do ar durante os diferentes ciclos, ele observou que esses valores eram praticamente constantes, definindo isso como ***Constante Térmica da Cultura.***

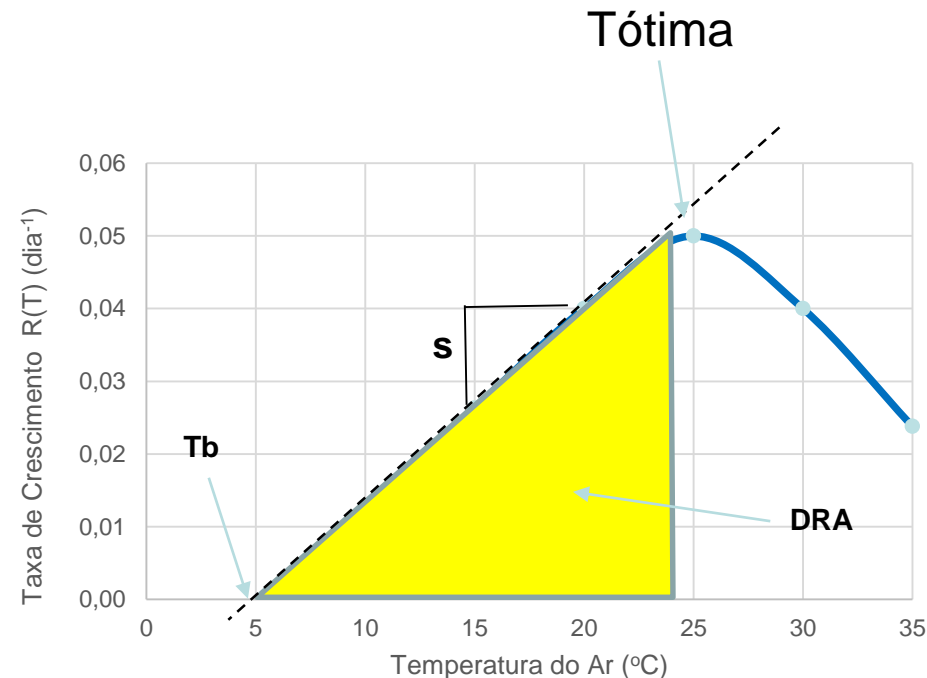
# Conceito de Graus-Dia

- Imagine um experimento em que uma cultivar foi cultivada sob diferentes temperaturas. A duração da fase entre a semeadura e o florescimento foi registrado, obtendo-se a Figura 1:



# Conceito de Graus-Dia

- Invertendo-se a duração da fase ( $DUR(T)$ ) obtém-se a taxa de desenvolvimento ( $R(T)$ ) em função da temperatura. A Figura abaixo ilustra uma relação típica de  $R(T)$  em função da temperatura, calculada a partir dos dados da Figura 1.



# Conceito de Graus-Dia

Integrando  $R(T)$  ao longo do tempo, pode-se obter o desenvolvimento acumulado de um organismo e, quando o desenvolvimento acumulado é igual a 1 o desenvolvimento está completo. Assumindo-se  $R(T)$  é linear com a temperatura, pode-se escrever

$$R(T) = s(T - T_b)$$

em que  $s$  é o coeficiente angular da linha pontilhada na Figura 2 e  $T_b$  é a intersecção com o eixo  $x$ . Note que a unidade de  $s$  é  $\text{dia}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ . Para temperatura abaixo de  $T_b$  o desenvolvimento acumulado é zero.

Lembrando que quando o desenvolvimento relativo acumulado (DRA) é igual a 1, então  $\text{DRA} = \text{Constante térmica (CT)}$  e o evento biológico estará completo. É possível computar DRA em função dessa relação linear da seguinte forma:

$$\text{DRA} = \int_{t_{ini}}^{t_{fim}} R(T) dt = \int_{t_{ini}}^{t_{fim}} s(T - T_b) dt$$



# Conceito de Graus-Dia

Essa equação pode ser simplificada admitindo que  $s$  é constante e DRA:

$$\frac{1}{s} = \int_{tini}^{tfim} (T - Tb) dt$$

Lembrando que  $dT$  pode ser aproximado para  $\Delta t$  numa notação finitesimal, e que quando  $\Delta t=1$  pode-se acumular  $(T-Tb)$  até um somatório térmico ( $1/s$ ). Este somatório ( $=1/s$ ) representa o número de graus-dia necessário para a conclusão de uma dada fase ou mesmo do ciclo de crescimento, sendo também conhecida como **Constante Térmica (CT)**. Para cômputo diário (GD) do número de graus dias acumulados, pode-se então usar a seguinte expressão:

$$GD = (T - Tb) nd$$

Em que  $T$  é a temperatura média do período e  $nd$  representa o número de dias do período (veja no slide seguinte algumas exceções)

# Sistema de Unidades Térmicas ou Graus-dia

Para as condições brasileiras, especialmente no Centro-Sul do Brasil, as temperaturas médias não atingem níveis tão elevados e, assim, não ultrapassam TB. Portanto, no cálculo de GD leva-se em consideração apenas a temperatura média (Tmed), a basal inferior da cultura (Tb), e o número de dias do período (n):

- Caso  $T_b < T_{min}$   $\Rightarrow$   $GD = (T_{med} - T_b).nd$  ( $^{\circ}C \cdot dia$ )
- Caso  $T_b \geq T_{min}$   $\Rightarrow$   $GD = ((T_{max} - T_b)^2 / 2 \cdot (T_{max} - T_{min})).nd$  ( $^{\circ}C \cdot dia$ )
- Caso  $T_b > T_{max}$   $\Rightarrow$   $GD = 0$

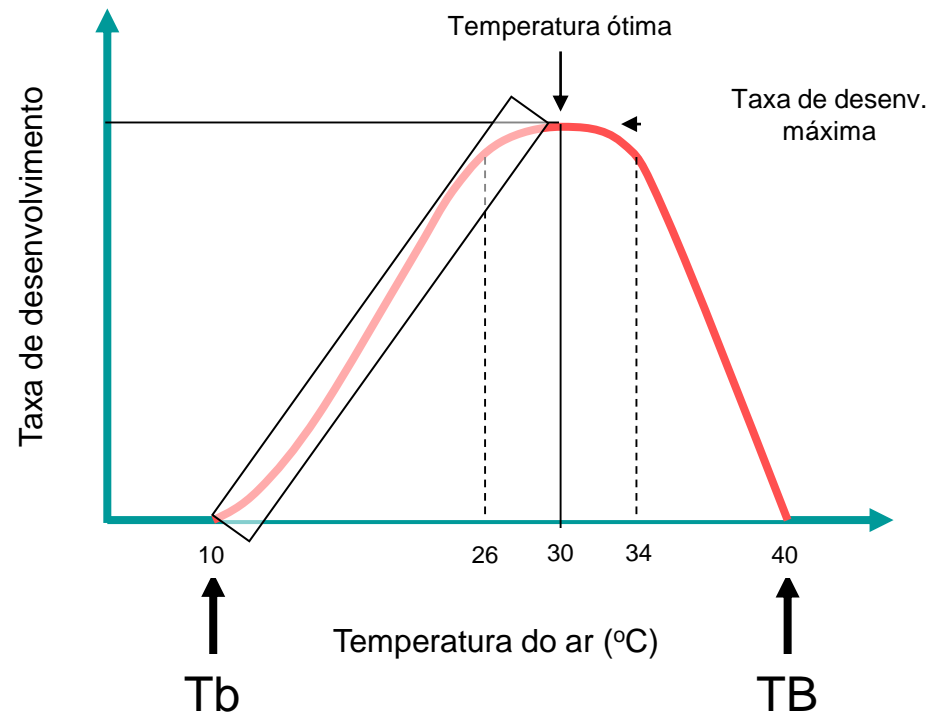
$\Rightarrow$  Para que a cultura atinja uma de suas fases fenológicas ou a maturação é necessário que se acumule a constante térmica (CT), que será dada pelo total de GD acumulados ao longo desse período:

$$CT = \sum GD_i$$

$\Rightarrow$  Assim como para Tb e TB, cada espécie/variedade vegetal possui suas CTs para as diferentes fases de desenvolvimento e para o ciclo total. A seguir são apresentados valores de CT e Tb para algumas culturas.

# Temperaturas cardeais ou basais

Como vimos, o crescimento vegetal cessa quando a temperatura do ar cai abaixo de certo valor mínimo ou excede certo valor máximo, independentemente se existirem condições favoráveis de energia solar, disponibilidade de nutrientes e de água no solo. Além deste limite inferior, existe um valor ótimo no qual o crescimento vegetal é máximo e acima do qual há queda na taxa de desenvolvimento. Assim, tem-se o que se convencionou chamar de temperaturas cardeais do crescimento vegetal: zero vital mínimo ou temperatura basal inferior ( $T_b$ ), ótimo térmico (temperatura ótima) e zero vital máximo ou temperatura basal superior, (TB) como ilustra a figura abaixo.



<b>Cultura</b>	<b>Variedade/Cultivar</b>	<b>Período/Sub-período</b>	<b>Tb (°C)</b>	<b>CT (°Cd)</b>
<b>Arroz</b>	IAC4440	Semeasura-Maturação	11,8	1985
		Semeadura-Emergência	18,8	70
		Emergência-Floração	12,8	1246
		Floração-Maturação	12,5	402
<b>Abacate</b>	Raça Antilhana	Floração-Maturação	10,0	2800
	Raça Guatemalense	Floração-Maturação	10,0	3500
	Híbridos	Floração-Maturação	10,0	4200
<b>Feijão</b>	Carioca 80	Emergência-Floração	3,0	813
<b>Girassol</b>	Contisol 621	Semeadura-Maturação	4,0	1715
	IAC-Anhady	Semeadura-Maturação	5,0	1740
<b>Milho Irrigado</b>	AG510	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	800
	BR201	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	834
	BR106	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	851
	DINA170	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	884
<b>Soja</b>	UFV-1	Semeadura-Maturação	14,0	1340
	Paraná	Semeadura-Maturação	14,0	1030
	Viçosa	Semeadura-Maturação	14,0	1230
<b>Cafeeiro</b>	Mundo Novo	Florescimento-Maturação	11,0	2642
<b>Videira</b>	Niagara Rosada	Poda-Maturação	10,0	1550
	Itáli/Rubi	Poda-Maturação	10,0	1990