

Modelação da resposta dos seres vivos ao ambiente

I. Desenvolvimento das plantas

J P de Melo e Abreu

Plano da aula

- I. Introdução
- II. Desenvolvimento simulado pela temperatura
 - **II.1 Temperatura constante (o caso experimental)**
 - **II.2 Temperatura variável (o caso real)**
 - II.2.1. Consequências da utilização de temperaturas médias do ar
 - II.2.2. Escalas normalizadas
- III. Vernalização
 - **III.1 Exemplos de modelação da acumulação de frio por sementes**
 - **III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira**

- IV. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento
 - Conceitos e tipos de resposta fotoperiódica
 - Modelação do efeito do fotoperíodo (abordagens aditivas e multiplicativas)
- V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento
 - Influência do stress hídrico
 - Nível de radiação
 - Nível de fertilização
 - Dias curtos podem substituir vernalização
 - Modelação destes efeitos
- VI. Outras vias que poderão ser exploradas
- VII. Nota final

I. Introdução

Desenvolvimento verso crescimento

- Crescimento é o processo fisiológico que produz acumulação de matéria seca.
- O desenvolvimento é o processo fisiológico associado ao percurso balizado por acontecimentos discretos e ordenados percorrido por uma planta (ou um organismo qualquer) desde o início até ao fim do seu ciclo de vida.



Poinsettia

GROWTH STAGES

Germination
to Emergence



Stage

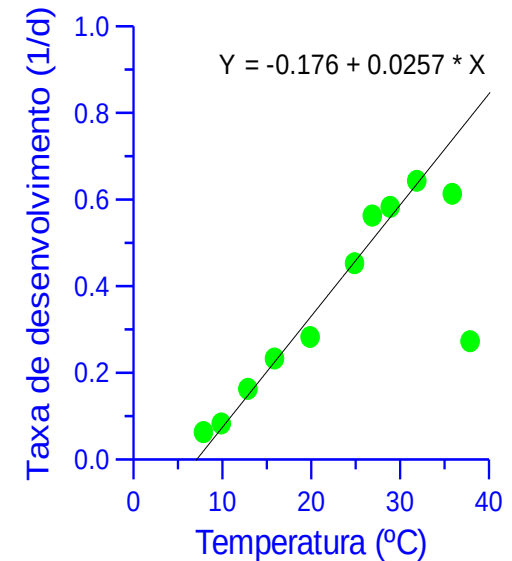
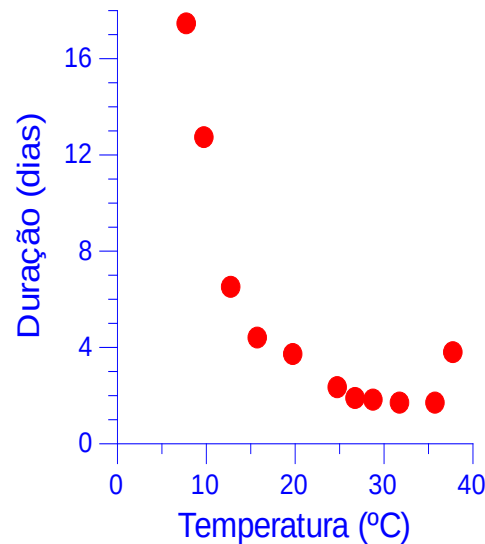
II. Desenvolvimento simulado pela temperatura

II.1 Temperatura constante **(o caso experimental)**

II.1 Temperatura constante

Exemplo: germinação de sementes de milho

Germinação de sementes de milho (cv., Lorena) (Abreu et al., 1994)		
Temperatura (°C)	Duração (dias)	Taxa de desenvolvimento (1/dias)
8	17.4	0.06
10	12.6	0.08
13	6.4	0.16
16	4.3	0.23
20	3.6	0.28
25	2.2	0.45
27	1.8	0.56
29	1.7	0.58
32	1.6	0.64
36	1.6	0.61
38	3.7	0.27



II.1 Temperatura constante

Cálculo da temperatura base e do tempo térmico

$$1/D = a + bT_a \quad (1)$$

Exemplo:

Calcular a temperatura base e o tempo térmico para o caso da germinação das sementes de milho. A recta de regressão foi (ver Fig. anterior):

$$Y = -0.176 + 0.0257 * X .$$

Logo

$$\theta = 1/b = 1/0.0257 = 38.9 \text{ }^{\circ}\text{C d}$$

e

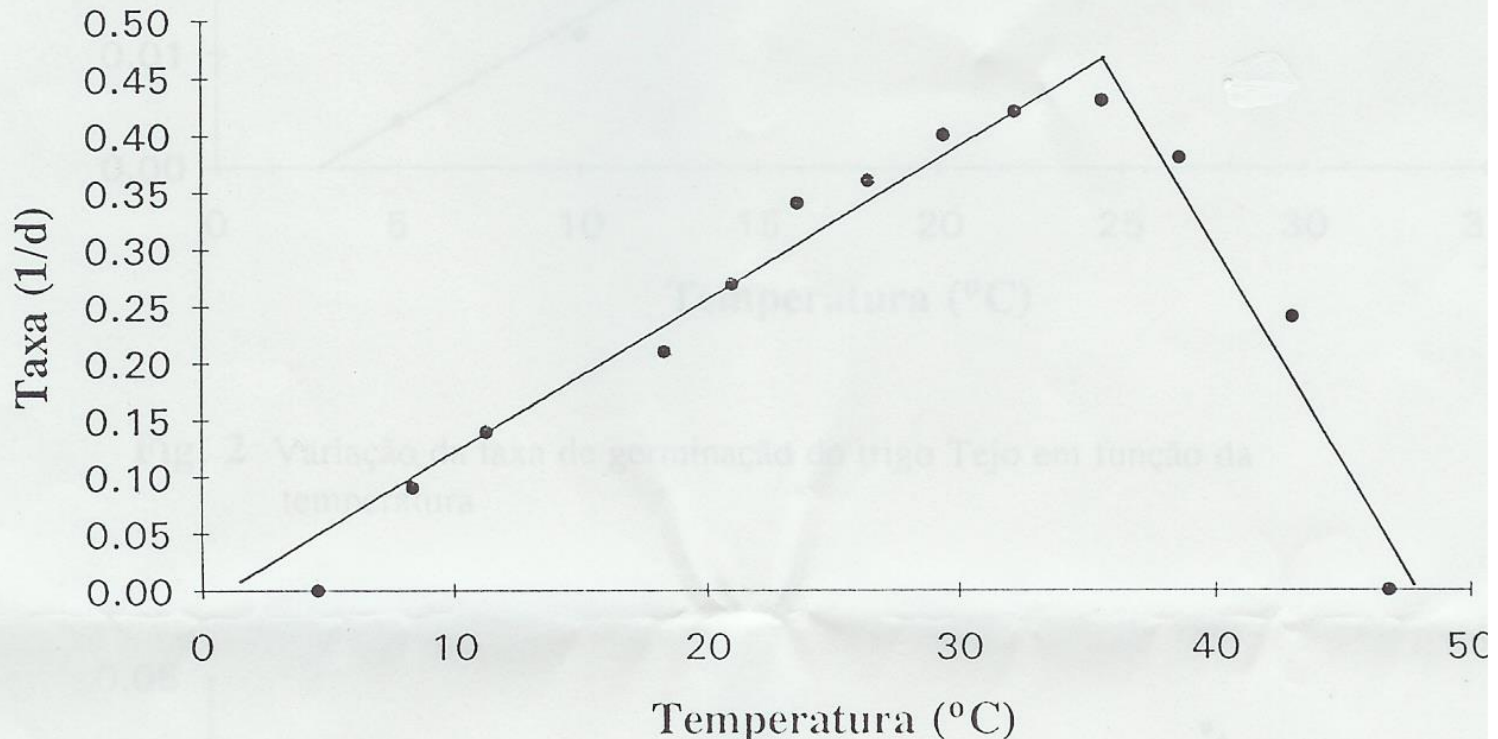
$$T_b = -a/b = 6.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

II.1 Temperatura constante

O efeito redutivo das
temperaturas
elevadas

II.1 Temperatura constante
(O efeito redutivo das temperaturas elevadas)

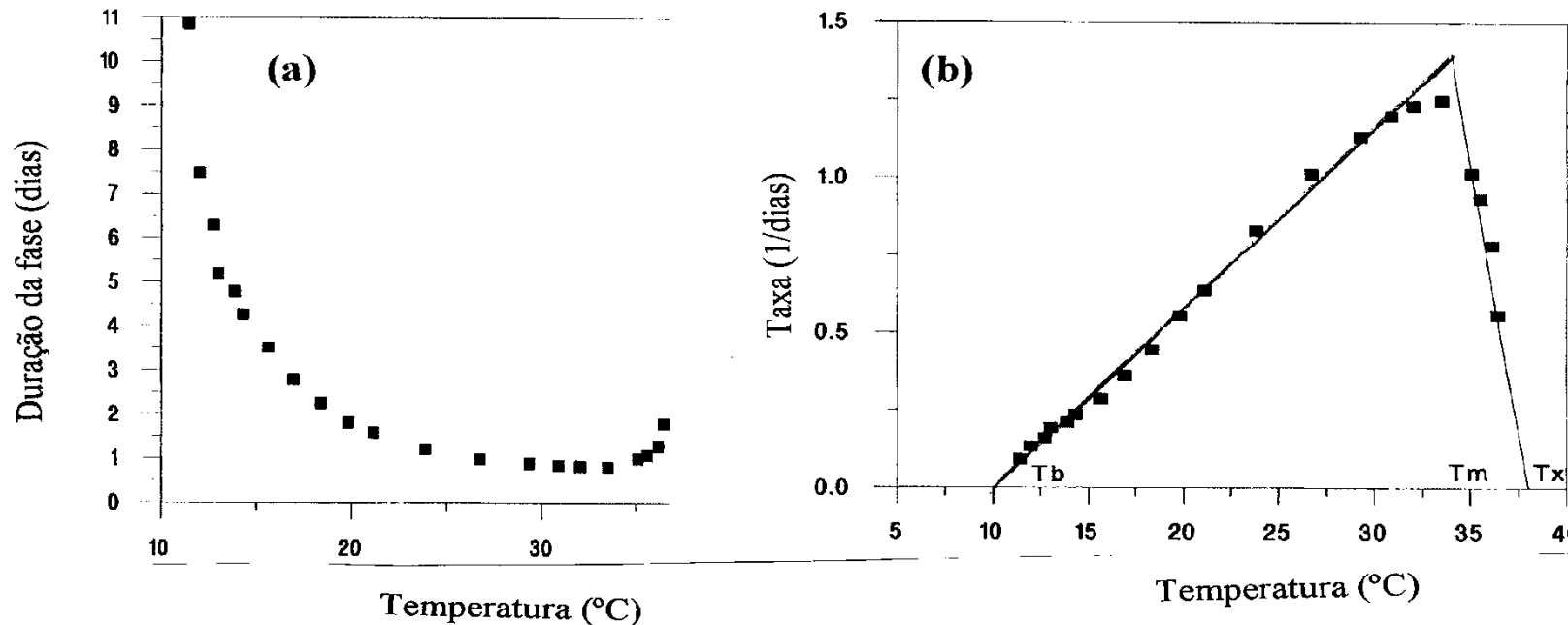
Exemplo: Germinação de sementes de girassol



Taxa de desenvolvimento da fase embebição - germinação do girassol (cv. Florassol) em função da temperatura (Abreu et al, 1994).

II.1 Temperatura constante (O efeito redutivo das temperaturas elevadas)

Exemplo: Fase de ovo da mosca do melão

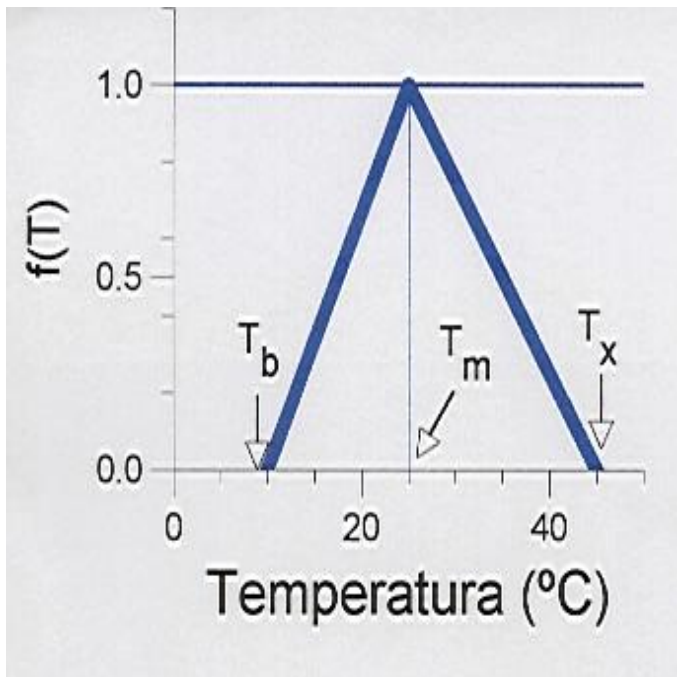


Duração da fase de desenvolvimento (a) e taxa de desenvolvimento (b) em função da temperatura de ovos da mosca do melão (Campbell, 1997).

II.1 Temperatura constante (O efeito redutivo das temperaturas elevadas)

Modelação

Modelo em dente de serra (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982)



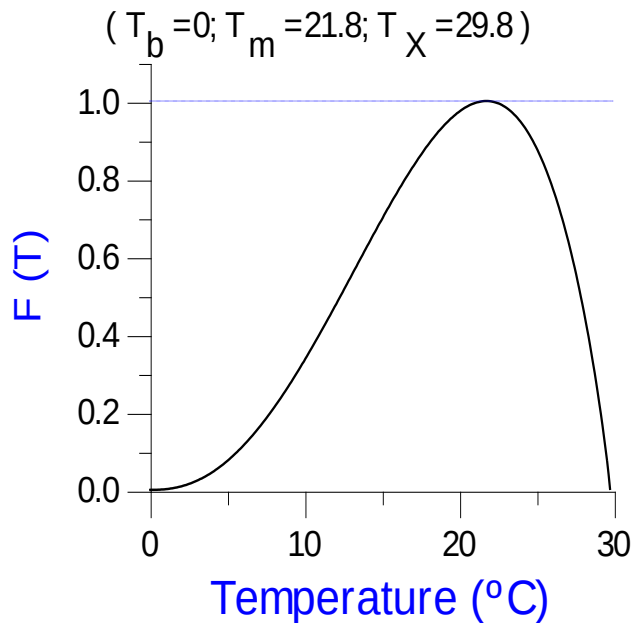
$$f(T) = \begin{cases} \frac{T - T_b}{T_m - T_b} & T_b \leq T < T_m, \\ \frac{T_x - T}{T_x - T_m} & \text{com } T_m \leq T \leq T_x, \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases}$$

II.1 Temperatura constante (O efeito redutivo das temperaturas elevadas)

Modelação

Modelo curvilíneo (Parker, 1974)

**Fase emergência-floração do feijão verde
(Ferreira et al., 1997)**



$$f(T) = \left[\frac{T - T_b}{T_m - T_b} \right]^\alpha \left[\frac{T_x - T}{T_x - T_m} \right]^{\alpha(T_x/T_m - 1)}$$

*II.1 Temperatura constante
(O efeito redutivo das temperaturas elevadas)*

Introdução da *temperatura efectiva* (T_e) na Eq. 1.

$$1/D = a + bT_e \quad (2)$$

$$T_e = T_b + f(T)(T_m - T_b) \quad (3)$$

II. Desenvolvimento simulado pela temperatura

*II.2 Temperatura variável
(o caso real)*

II.2 Temperatura variável

Redefinição do tempo térmico

$$\tau = \int_0^t R[T(t)] dt \quad (4a)$$

$$\tau \approx \sum_{i=1}^n (T_{a,i} - T_b) \Delta t \quad (4b)$$

$$t = \int_0^\tau R^{-1}[T] d\tau \quad (5)$$

II.2 Temperatura variável

Cálculo do tempo térmico

- **Exemplo:**

- 1) Calcular o tempo térmico ao fim de 5 dias após a sementeira de uma cultivar de trigo, admitindo que a temperatura base (T_b) para a fase sementeira-emergência é 2.6 °C.
- 2) Determine a data da emergência sabendo que o tempo térmico necessário para a fase sementeira-emergência é de 78 °C d.

Dados meteorológicos e cálculo do tempo térmico

DOY	T _a (°C)	$\Delta\tau$ com T _b =0 °C (°C d)	τ com T _b =0 °C (°C d)	$\Delta\tau$ com T _b =2.6 °C (°C d)	τ com T _b =2.6 °C (°C d)
20 (sem.)	7.0	7.0	7.0	4.4	4.4
21	5.3	5.3	12.3	2.7	7.1
22	12.0	12.0	24.3	9.4	16.5
23	9.0	9.0	33.3	6.4	22.9
24	9.1	9.1	42.4	6.5	29.4
25	5.1	5.1	47.5	2.5	31.9
26	3.2	3.2	50.7	0.6	32.5
27	8.0	8.0	58.7	5.4	37.9
28	12.0	12.0	70.7	9.4	47.3
29	16.0	16.0	86.7	13.4	60.7
30	12.0	12.0	98.7	9.4	70.1
31	4.5	4.5	103.2	1.9	72.0
32	7.8	7.8	111.0	5.2	77.2
33	8.9	8.9	119.9	6.3	83.5
34	7.7	7.7	127.6	5.1	88.6
35	6.9	6.9	134.5	4.3	92.9

II.2 Temperatura variável

II.2.1. Consequências da utilização de temperaturas médias do ar

Correcção do tempo térmico para atender ao facto de existirem temperaturas extremas que entram no cálculo da temperatura média (segundo Campbell, 1992):

A) Valores médios diários da temperatura

$$\Delta \tau_{c,dia} = \Delta \tau + 0.3 (T_x - T_n) \exp \left[-16 \left[\frac{\bar{T} - T_b}{T_x - T_n} \right]^2 \right] \quad (6)$$

B) Valores médios mensais da temperatura

$$\Delta \tau_{c,mês} = \Delta \tau_{mês} + 1.4 \exp[-0.12(\bar{T}_{mês} - T_b)^2] \quad (7)$$

II.2 Temperatura variável

II.2.2. Escalas normalizadas

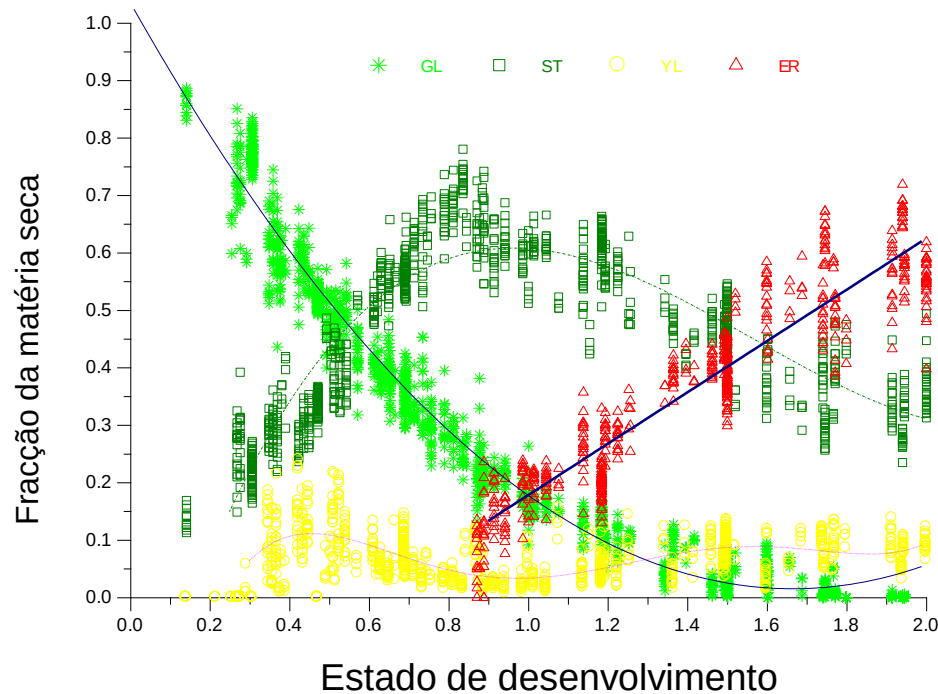
$$\tau = \frac{1}{\theta} \int_0^t R[T(t)] dt \quad (8a)$$

$$\tau \approx \frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^n (T_{a,i} - T_b) \Delta t \quad (8b)$$

II.2 Temperatura variável

II.2.2. Escalas normalizadas

- Exemplo de funções que permitem estimar a partição da matéria seca no trigo (De Melo-Abreu, 1994):



III. Vernalização

III. Vernalização

- Muitas sementes não germinam e muitas plantas não florescem se não estiverem submetidas a um período de baixas temperaturas.
- Entre as sementes com necessidade de frio para germinarem encontram-se as de muitas espécies pratenses e florestais, fruteiras caducifólias, cereais de inverno.
- Os cereais de inverno, a maioria das árvores e arbustos caducifólios e a oliveira só florescem se satisfizerem as suas necessidades de frio.

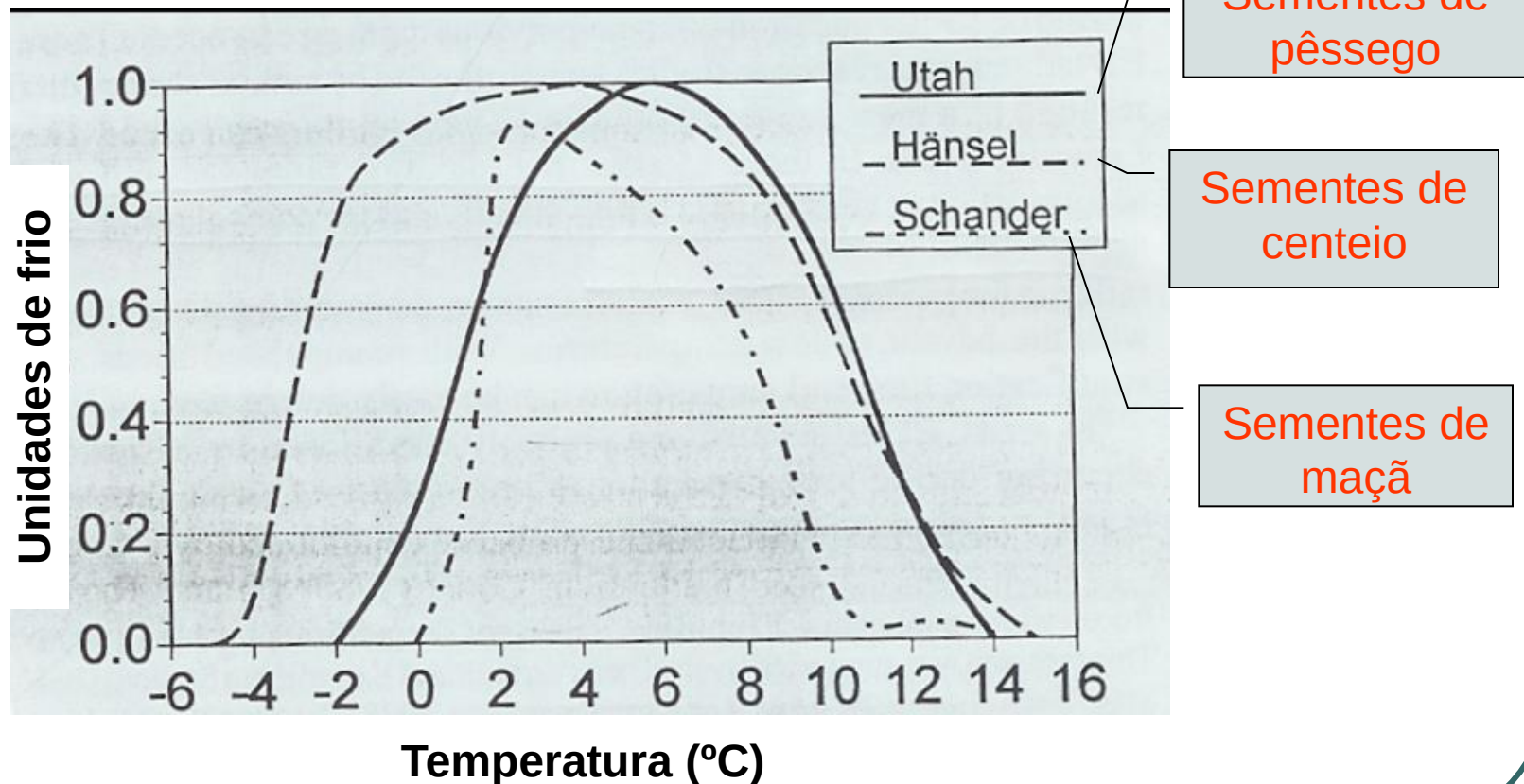
III. Vernalização

- Em termos de modelação da germinação ou da floração de sementes ou gomos florais, respectivamente, convém considerar dois períodos distintos:
 - Fase I - Desde a indução da endodormência (no Outono) até à sua quebra eventual, quando frio suficiente for acumulado. A modelação é feita pela acumulação de unidades de frio até que a soma destas atinja determinado valor.
 - Fase II – Em que a germinação/floração depende apenas da acumulação de calor (período de forçagem). A modelação é feita através da acumulação de temperaturas.

III. Vernalização

III.1 Exemplos de modelação da acumulação de frio por sementes

- Definição das unidades de frio:



III. Vernalização

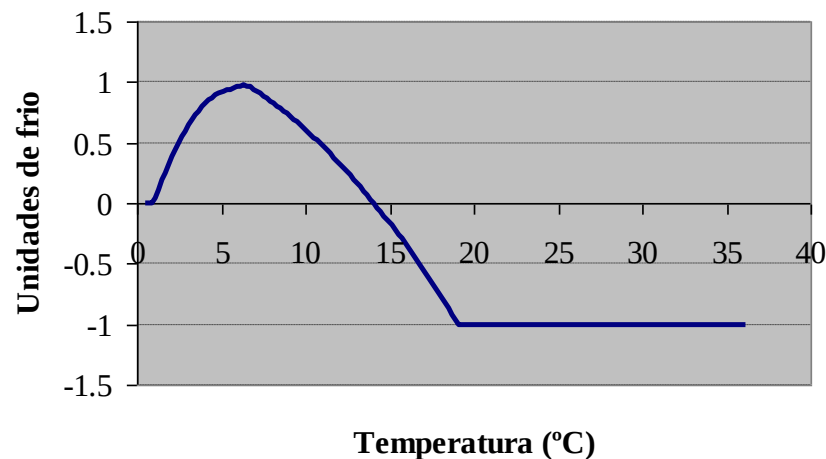
III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

- A quebra da dormência não ocorre antes de os gomos florais serem submetidos a uma certa quantidade de frio.
- Somente após ter havido uma acumulação de frio suficiente, os gomos estão preparados para crescer em resposta a temperaturas elevadas.
- Se as temperaturas baixas são insuficientes, o abrolhamento é atrasado, os gomos morrem, a frutificação é reduzida, e a qualidade dos frutos é afectada.

III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

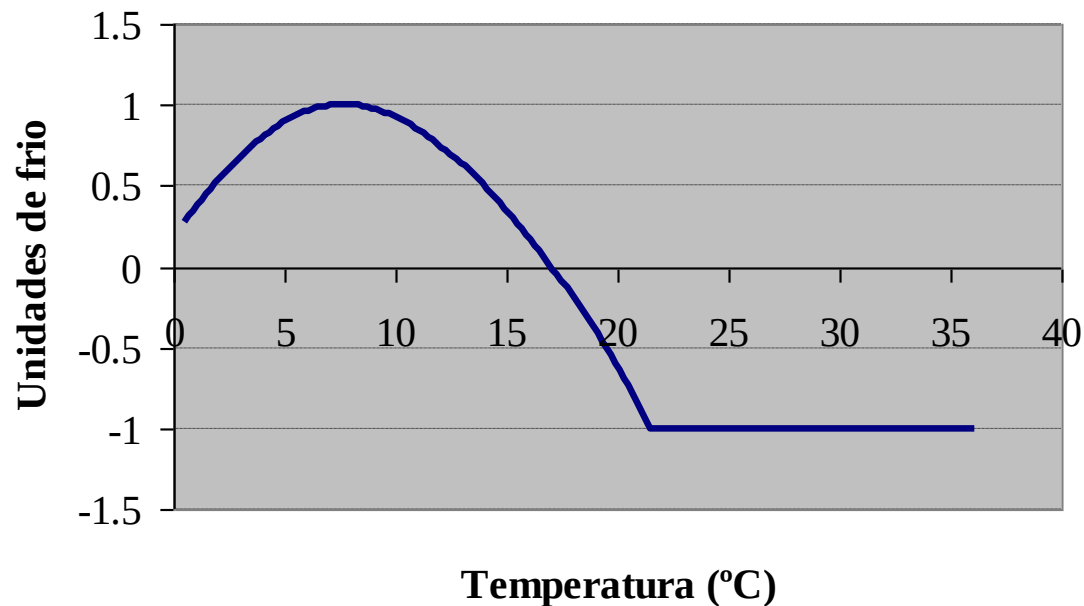
- Alguns modelos utilizados para calcular a acumulação de frio:
 - Acumulação de horas de frio abaixo de 7 °C (Weinberger, 1950)
 - Modelo do Utah (Chill units) (Richardson *et al.*, 1974)



III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

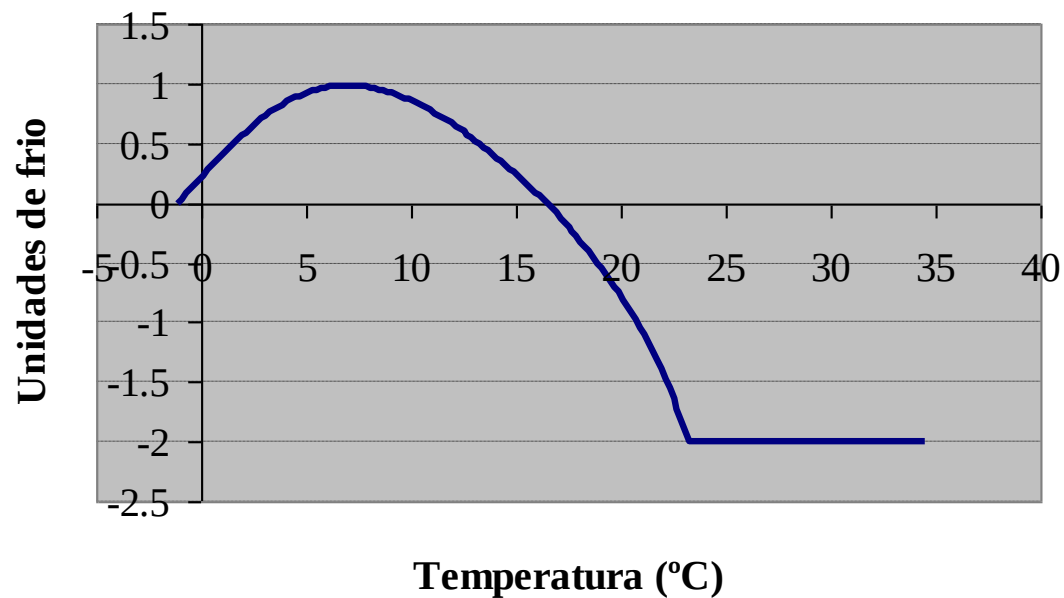
- Modelo das exigências em frio baixas (Low chill) (Gilreath and Buchanan, 1981)



III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

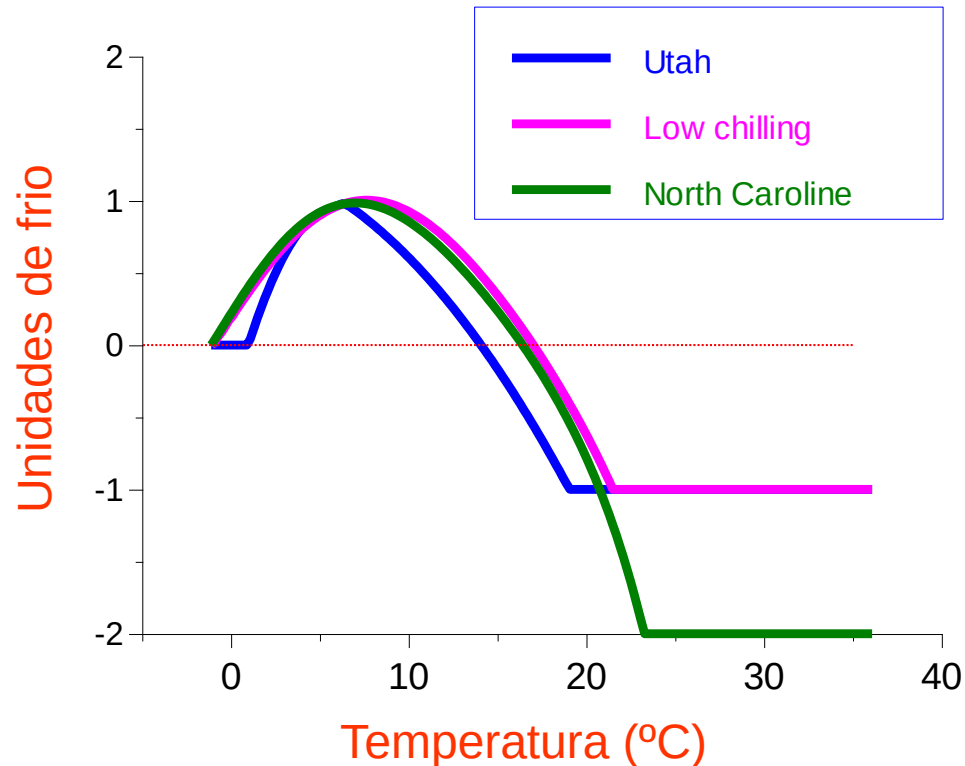
- Modelo da Carolina do Norte (Shaltout and Unrath, 1983)



III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

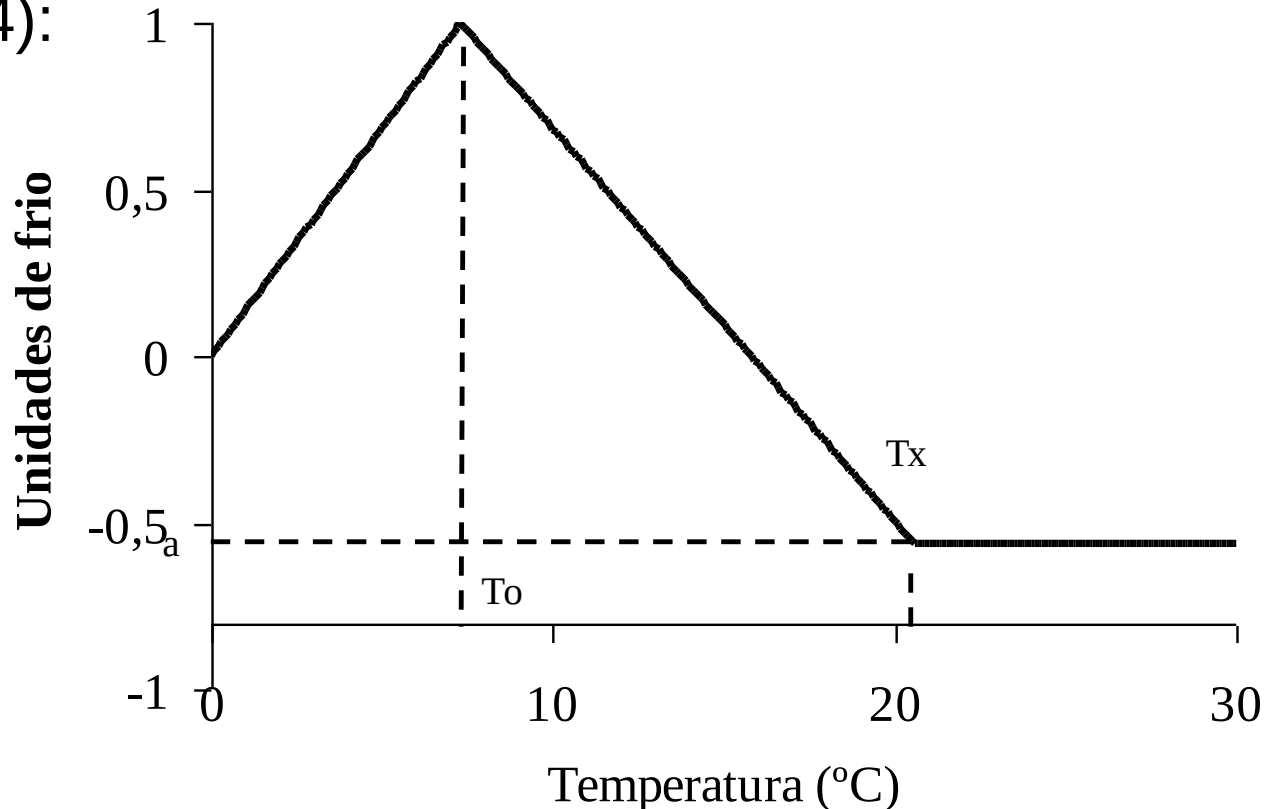
- Os três modelos em conjunto:



III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

- Novo modelo proposto por nós (De Melo-Abreu et al., 2004):



III. Vernalização

III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira

- Novo modelo proposto por nós (De Melo-Abreu et al., 2004):

$$U = \begin{cases} 0 & T_h \leq 0 \\ T_h/T_o & 0 < T_h \leq T_o \\ 1 - (T_h - T_o) \frac{1-a}{T_x - T_o} & T_o < T_h \leq T_x \\ a & T_h > T_x \end{cases} \quad (9)$$

Revisão do Plano da Aula

- I. Introdução
- II. Desenvolvimento simulado pela temperatura
 - *II.1 Temperatura constante (o caso experimental)*
 - *II.2 Temperatura variável (o caso real)*
 - II.2.1. Consequências da utilização de temperaturas médias do ar
 - II.2.2. Escalas normalizadas
- III. Vernalização
 - *III.1 Exemplos de modelação da acumulação de frio por sementes*
 - *III.2 Exemplos de modelação da acumulação de frio por fruteiras caducifólias e oliveira*

- IV. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento
 - Conceitos e tipos de resposta fotoperiódica
 - Modelação do efeito do fotoperíodo (abordagens aditivas e multiplicativas)
- V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento
 - Influência do stress hídrico
 - Nível de radiação
 - Nível de fertilização
 - Dias curtos podem substituir vernalização
 - Modelação destes efeitos
- VI. Outras vias que poderão ser exploradas
- VII. Nota final

IV. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento

Existem vários tipos de resposta ao fotoperíodo:

- Plantas insensíveis ao fotoperíodo (PN)
- Plantas de dias curtos (PDC)
- Plantas de dias longos (PDL)

As plantas PDL e PDC podem ter respostas (ao fotoperíodo) obrigatórias (absolutas ou qualitativas) ou facultativas (quantitativas).

IV. Influência do fotoperíodo

Modelação

Pode-se modelar a resposta fotoperiódica seguindo duas abordagens fundamentais:

- 1) O efeito do fotoperíodo sobre a taxa de desenvolvimento **adiciona-se**; ou
- 2) **multiplica-se** pela contribuição da temperatura.

IV. Influência do fotoperíodo

Abordagem aditiva

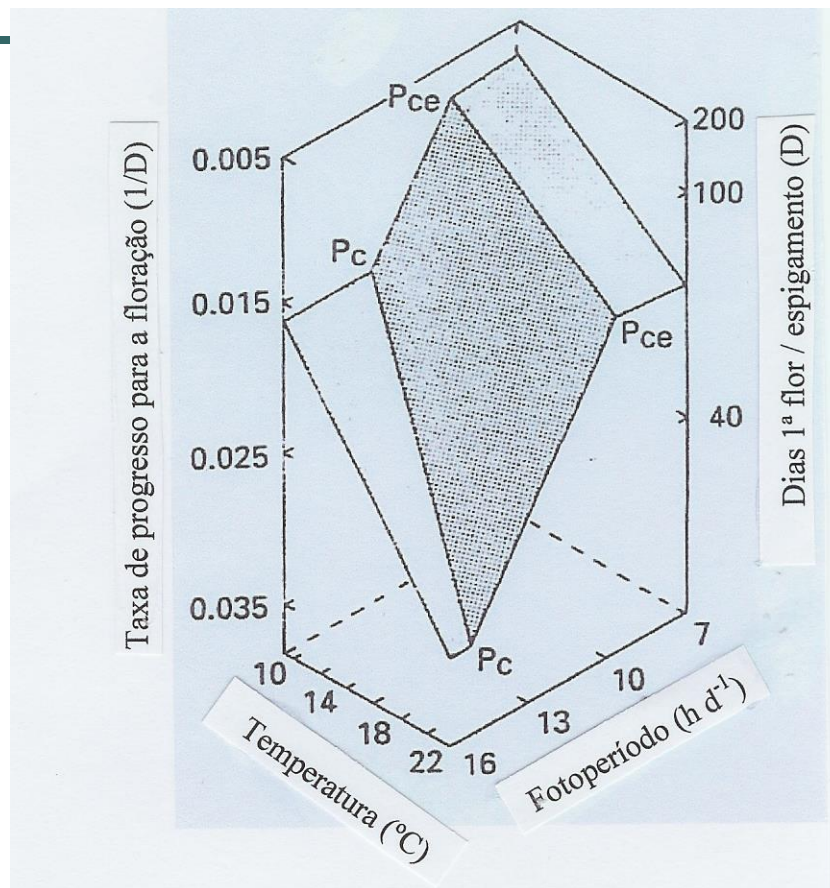
Esta abordagem é muito seguida pela Escola de Reading (p. ex., Roberts & Summerfield, 1987):

$$R = 1/D = a' + b'T_a + c'P \quad (8)$$

onde P é o fotoperíodo (h), a' , b' , e c' são parâmetros específicos do genótipo. O parâmetro c' é negativo no caso das PDC e positivo no caso das PDL.

IV. Influência do fotoperíodo

Abordagem aditiva



Taxa de progresso para o espigamento da cevada (*Hordeum vulgare* L.) em função da temperatura e do fotoperíodo (Seg. Summerfield et al., 1991).

IV. Influência do fotoperíodo

Abordagem multiplicativa

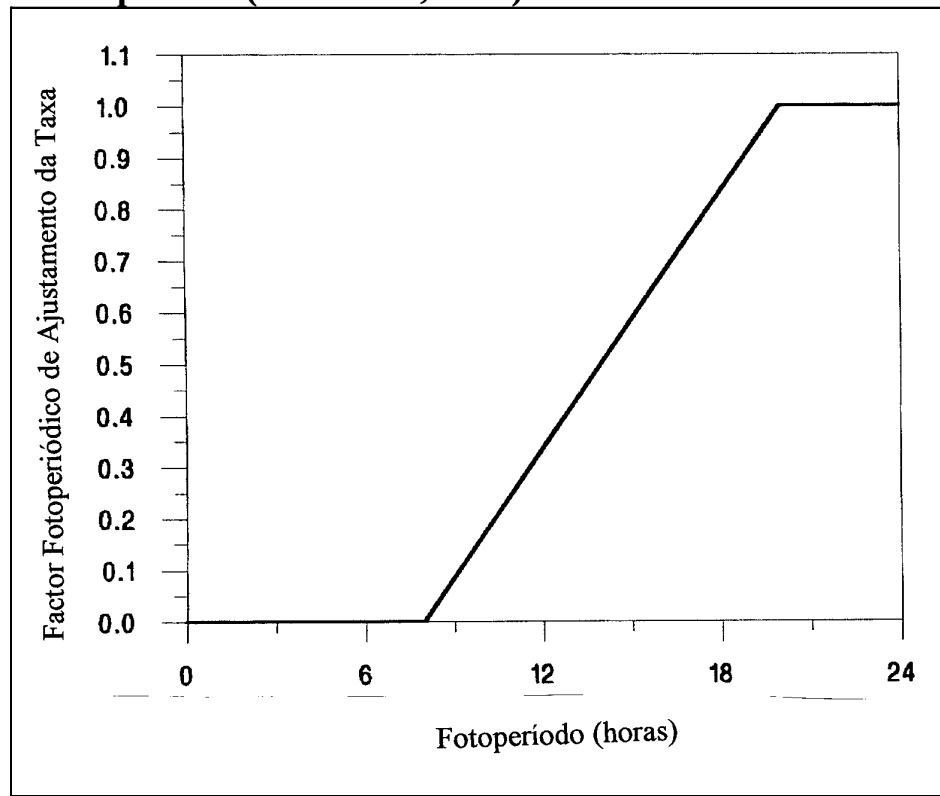
Nesta abordagem a função $f_1(T)$ da Eq. 3 que, recorde-se, varia entre 0 e 1, é multiplicada por uma função do fotoperíodo, $f_2(P)$, que também varia entre 0 e 1. Assim, a Eq. 3 toma o aspecto seguinte:

$$T_e = T_b + [f_1(T) f_2(P)](T_m - T_b) \quad (9)$$

IV. Influência do fotoperíodo

Abordagem multiplicativa

Exemplo de uma função $f_2(P)$: Resposta do trigo de inverno ao fotoperíodo (Weir et al., 1984)



V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento

- Influência do stress hídrico
 - Stress moderado $\Rightarrow$ avanço do desenvolvimento
 - Stress profundo $\Rightarrow$ atraso ou paragem do desenvolvimento
- Nível de radiação
 - Alto $\Rightarrow$ avanço do desenvolvimento
 - Baixo $\Rightarrow$ atraso do desenvolvimento
- Nível de fertilização
 - N baixo $\Rightarrow$ avanço do desenvolvimento
 - N alto $\Rightarrow$ atraso do desenvolvimento

V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento

- Dias curtos podem substituir vernalização
 - Exemplo: Variedades tardias de ervilha (*Pisum*) podem ter floração mais cedo através de vernalização ou da exposição a dias curtos (Haupt, 1969).

V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento

- Modelação

Numa abordagem multiplicativa, pode-se atender ao efeito de outras variáveis ambientais além da temperatura e fotoperíodo - por ex., potencial de água (W) e vernalização (V) - como segue:

Fazendo

$$T_e = T_b + [f_1(T) f_2(P) f_3(W) f_4(V).....] (T_m - T_b) \quad . \quad (10)$$

V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento

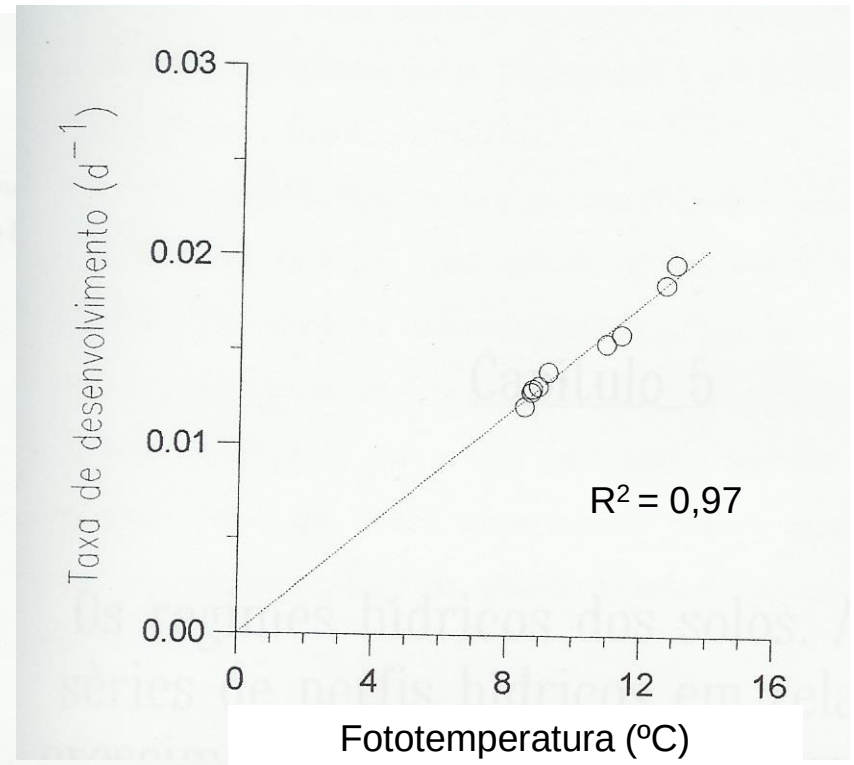
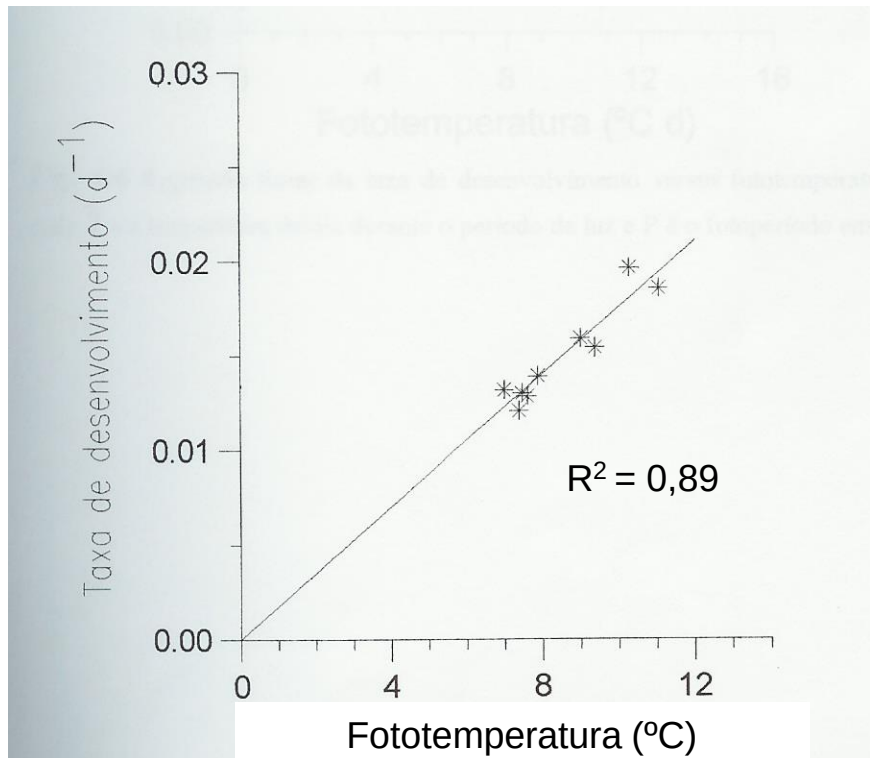
O tempo fototérmico

- O conceito de tempo fototérmico teve a sua origem em Nuttonson (1955).
- Nós utilizámos para o caso do desenvolvimento do trigo antes da floração uma versão proposta por nós de tempo fototérmico.
- A equação é a seguinte: .

$$\Delta\tau_{(\bar{T},P)} = \frac{\bar{T}P - (\bar{T}P)_b}{24}$$

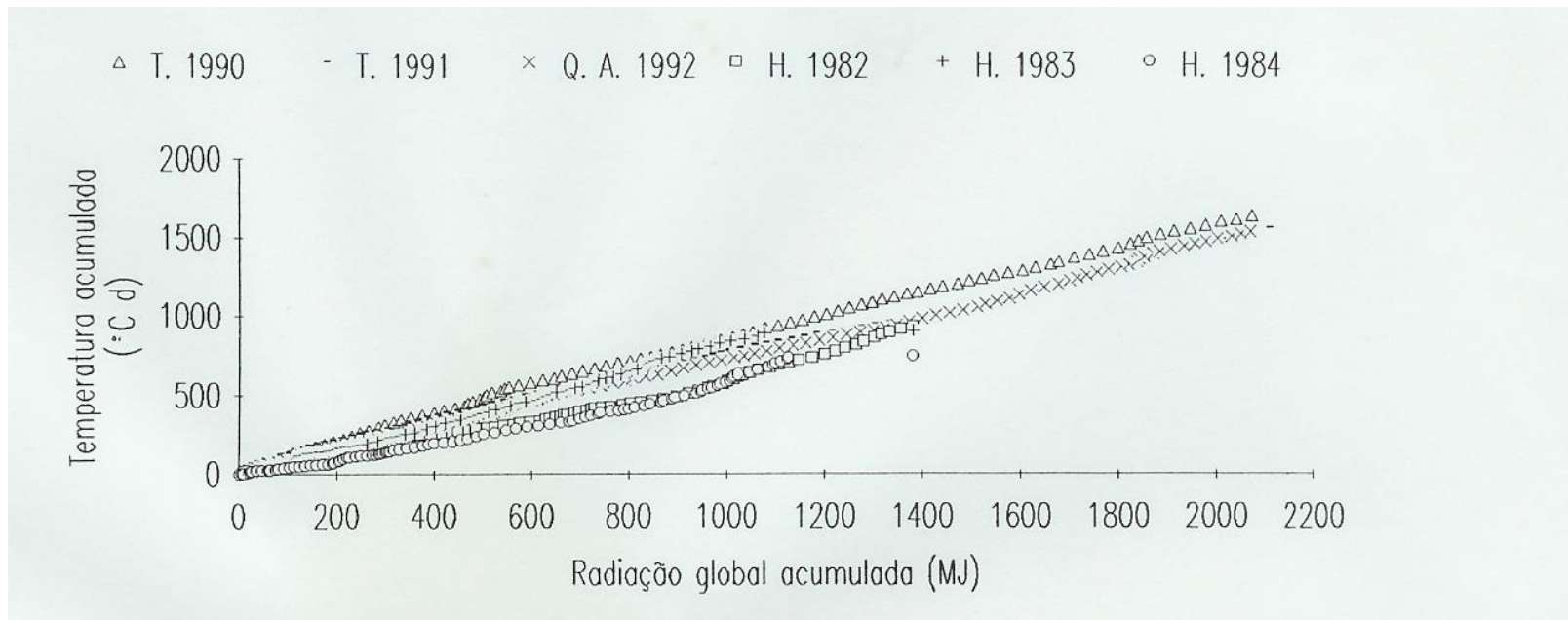
V. Influência de outras variáveis ambientais no desenvolvimento

O tempo fototérmico



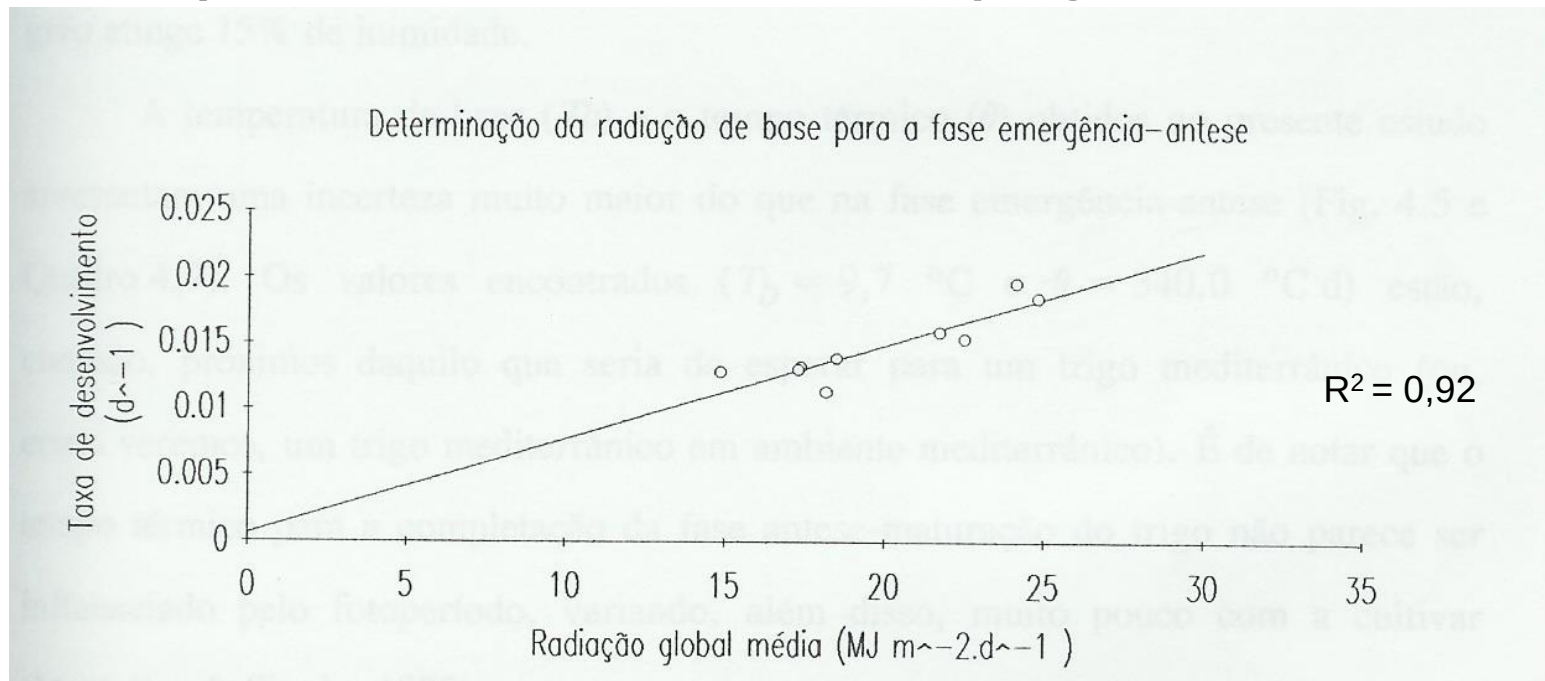
VI. Outras vias que poderão ser exploradas para a obtenção de modelos mais robustos

- Acumulação de radiação em vez de temperatura



VI. Outras vias que poderão ser exploradas para a obtenção de modelos mais robustos

- A radiação acumulada pode substituir a temperatura acumulada (trigo, cv.



VI. Outras vias que poderão ser exploradas para a obtenção de modelos mais robustos

Talvez seja possível encontrar uma função da radiação, que represente a concentração de hidratos de carbono disponíveis nos tecidos meristemáticos, o que permitiria simular directamente o crescimento destes tecidos.

VII. Nota final

- Os mecanismos que governam o desenvolvimento não foram abordados.
- Os modelos de simulação do desenvolvimento podem em muitos casos dar resultados satisfatórios, mas muito trabalho tem de ser feito para melhorar a sua generalidade.
- Muitas abordagens válidas não foram referidas nesta aula.
- Existem outras abordagens concorrentes que podem revelar-se tanto ou mais frutuosas no futuro, à medida que o nossos conhecimentos dos mecanismos envolvidos aumenta.

Dúvidas?!!

Questões?!!
sugestões?!!