

ENGENHARIA MATEMÁTICA

2º CICLO (MESTRADO)

FC FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA



Modelação da pegada de Carbono na região de vinhos do Douro

Seminário de Modelação

João Coelho

25 de Janeiro de 2013

O projeto

- Qual a quantidade de gases de efeito de estufa produzidos e consumidos nas vinhas?
- Modelar a pegada de Carbono;
- Aplicar os modelos a dados da região do Douro.



Figura: www.douro-turismo.pt

Artigos do Seminário

- 1 Smart, D., Wolff, M., Carlisle, E., Marti, M. " **Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Vineyard: Advances in the Search to Develop More Sustainable Practices**", 2010;
- 2 Jain, A., Khanna, M., Erickson, M., Huang, H. " **An integrated biogeochemical and economic analysis of bioenergy crops in the Midwestern United States**", *GCB Bioenergy*, 2010;
- 3 Wermelinger, B., Baumgärtner, J., Gutierrez, A.P. " **A demographic model of assimilation and allocation of carbon and nitrogen in grapevines**", *Ecological Modelling*, 53 (1991) 1-26 1990;

Conceitos prévios

Estruturas da videira:

- permanentes:
 - tronco;
 - vides;
 - raízes de madeira;
- anuais:
 - folhas (L = leaves);
 - rebentos (S = shoots);
 - raízes brancas (R = roots);
 - fruta/bagos da uva.

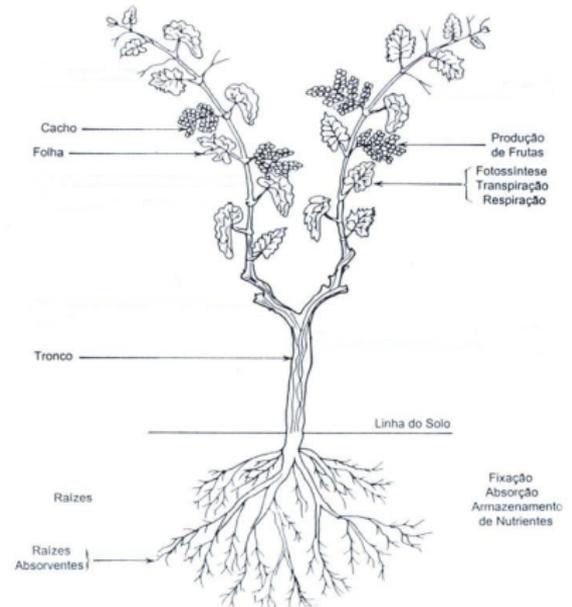


Figura: Estruturas da videira (imagem recolhida na internet)

Conceitos prévios

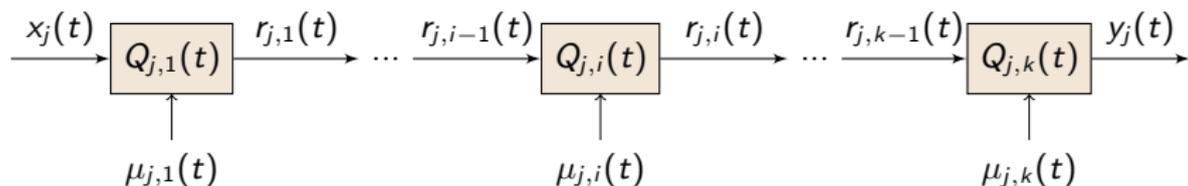
- **Efeito de Estufa**: Processo que ocorre quando uma parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Como consequência, o calor fica retido, aumentando a temperatura global do planeta;
- **Gases de Efeito de Estufa**: CO_2 , N_2O , CH_4 , $CFC's$;
- **Pegada de Carbono**: Quantidade de Carbono emitida por algo;
- **Fotossíntese**: $6CO_2 + 6H_2O + \text{energia} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$;
- **Respiração**: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energia}$;
- **Degree days**: quantidade total de calor necessária para que um organismo se desenvolva entre dois pontos do seu ciclo de vida. São o produto acumulado de tempo e temperatura entre os limites de desenvolvimento para cada dia;

Estrutura geral do modelo

Seja Q_j a população correspondente à estrutura $j = L, S$ ou R .

As folhas são representadas por três atributos: quantidade (n°), matéria seca (gramas) e nitrogénio (gramas). Os rebentos e as raízes apenas têm dois atributos: a matéria seca e o nitrogénio.

Cada Q_j tem um vetor associado de comprimento k_j . Cada elemento i desse vetor representa uma classe etária relativa ao desenvolvimento da videira.



- input, $x_j(t)$: novos membros na população j ;
- output, $y_j(t)$: desfolha e lignificação de rebentos e raízes;
- taxa de crescimento, $\mu_{j,i}(t)$;
- taxa de transição, $r_{j,i}(t)$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ_{j,1}}{dt} = x_j(t) - r_{j,1}(t) + \mu_{j,1}(t)Q_{j,1}(t) \\ \frac{dQ_{j,2}}{dt} = r_{j,1}(t) - r_{j,2}(t) + \mu_{j,2}(t)Q_{j,2}(t) \\ \vdots \\ \frac{dQ_{j,i}}{dt} = r_{j,i-1}(t) - r_{j,i}(t) + \mu_{j,i}(t)Q_{j,i}(t) \\ \vdots \\ \frac{dQ_{j,k}}{dt} = r_{j,k-1}(t) - y_j(t) + \mu_{j,k}(t)Q_{j,k}(t) \end{array} \right.$$

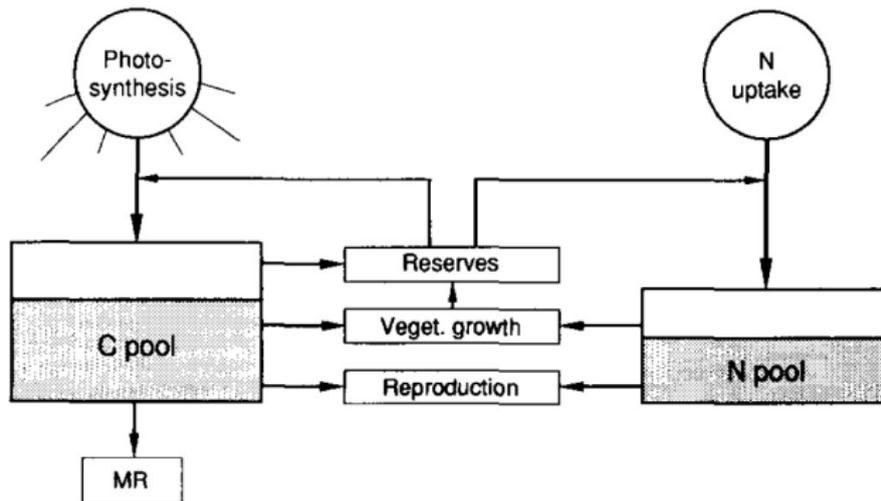
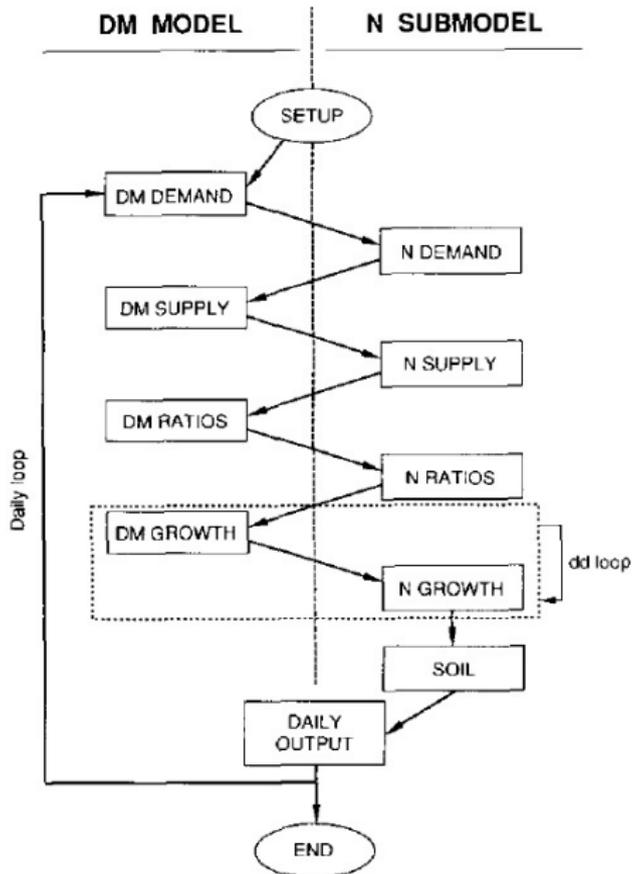


Figura: Esquema metabólico (esquema no artigo)

Prioridades para C e N:

- 1 Respiração de manutenção (apenas C);
- 2 Crescimento reprodutivo;
- 3 Crescimento vegetativo;
- 4 Reabastecimento das reservas da planta.



Modelo Carbono

Parâmetros iniciais

Parâmetros considerados:

- Ω - densidade de plantação: $2.42m^2$ por planta;
- perdas na poda/monda: 25%;
- T_j - longevidade da população: $T_L = 750DD$, $T_S = 600DD$,
 $T_R = 150DD$;
- ω - taxa de produção máxima de folhas por rebento: $0.05DD^{-1}$;
- $\delta_{L,i}$ - taxas de crescimento das folhas: $0.003gDD^{-1}$ para idade abaixo dos $250DD$ e $0.0006gDD^{-1}$ para as restantes;
- n_S - número inicial de rebentos: 14.2;
- n_F - número inicial de flores: 4700;
- F_r - peso da estrutura permanente da videira: 865g;
- Z - massa inicial das reservas: $0.1 \times F_r$.

Modelo Carbono

Necessidade nas folhas

O número potencial de novas folhas é:

$$n_{\omega} = \omega \cdot n_S \cdot \Delta t$$

- ω - produção de folhas por rebento
- n_S - n.º inicial de rebentos
- Δt - soma térmica diária

A necessidade de massa das folhas tem duas componentes:

- necessidade nas novas folhas:

$$b_{L1} = n_{\omega} \cdot c_1$$

- necessidade do aumento da massa das folhas em cada classe-etária, com o crescimento:

$$b_{L2} = \sum_{i=1}^{k_L} \delta_{L,i} \cdot n_{L,i} \cdot \Delta t$$

- $\delta_{L,i}$ - taxas de crescimento das folhas
- $n_{L,i}$ - n.º folhas na classe i

Modelo Carbono

Necessidade nas partes vegetativas e reservas

As necessidades das partes vegetativas e reservas são proporcionais às necessidades das folhas:

$$\text{Rebentos: } b_S = c_2 (b_{L1} + b_{L2})$$

$$\text{Raízes: } b_R = c_3 (b_{L1} + b_{L2})$$

$$\text{Estrutura: } b_{Fm} = c_4 (b_{L1} + b_{L2})$$

$$\text{Reservas: } b_{res} = c_5 (b_{L1} + b_{L2})$$

- b_{L1} - necessidade de nova massa de folhas na 1.^a classe-etária
- b_{L2} - necessidade do aumento da massa das folhas nas classes-etárias

Assim, a necessidade total para o crescimento vegetativo, excluindo as reservas, é:

$$b_{veg} = b_{L1} + b_{L2} + b_R + b_S + b_{Fm}$$

Modelo Carbono

Necessidade nas Inflorescências



Figura: Inflorescência (imagem recolhida na internet)

Sem a uva:

$$b_F = c_6 (b_{L1} + b_{L2})$$

Com a uva:

$$b_F = \delta_F \cdot n_F \cdot \Delta t$$

- b_{L1} - necessidade de nova massa de folhas na 1.^a classe-etária
- b_{L2} - necessidade do aumento da massa das folhas nas classes-etárias
- δ_F - necessidade individual dos bagos
- n_F - n_F^0 inicial de flores
- Δ_t - soma térmica

Modelo Carbono

Necessidade

Incluindo a respiração de manutenção e de crescimento, a necessidade diária total é:

$$b_{tot} = (b_F + b_{veg}) / (1 - \beta) + b_{res} + b_{MR}$$

- b_F - necessidade para as inflorescências
- b_{veg} - necessidade para o crescimento vegetativo
- β - coeficiente da respiração de crescimento
- b_{res} - necessidade para as reservas
- b_{MR} - necessidade para a respiração de manutenção

Modelo Carbono

Disponibilidade

$$S = b_{tot} \left[1 - e^{-a \cdot M / b_{tot}} \right]$$

• b_{tot} - necessidade

A variável M representa os recursos de C como função da luz incidente:

$$M = 4.14 \cdot I \cdot c_7 \cdot \Omega, \quad (c_7 = 0.75)$$

A variável a é a taxa de intercepção da luz:

$$a = 1 - e^{-\lambda \cdot LAI}$$

LAI é o índice área-folha:

$$LAI = \sum_{i=1}^{k_L} (Q_{L,i} \cdot SLA_i \cdot LE_i) / (c_7 \cdot \Omega)$$

- I - luz incidente
- Ω - densidade de plantação
- λ - coef. de extinção da luz
- $Q_{L,i}$ - folhas na classe i
- SLA_i - área foliar
- LE_i - eficiência fotossintética
- c_7 - área sombreada

Modelo Carbono

Rácios

Quantidade de Hidratos de Carbono disponível no reservatório metabólico para o crescimento diário:

$$C_1 = S + \alpha_1 Z, \quad (\alpha_1 = 0.02)$$

- S - disponibilidade
- $\alpha_1 Z$ - reservas;

A respiração de manutenção é a primeira a gastar:

$$C_2 = C_1 - b_{MR}$$

Segue-se o crescimento da fruta:

$$C_3 = C_2 - \Phi_F \cdot b_F / (1 - \beta)$$

E o crescimento vegetativo:

$$C_4 = C_3 - \Phi_V \cdot b_{veg} / (1 - \beta)$$

O restante é adicionado às reservas.

- b_{MR} - necessidade resp. manutenção
- Φ_F - coef. cresc. inflorescências
- b_F - necessidade das inflorescências
- β - coef. resp. crescimento
- Φ_V - coef. cresc. vegetativo
- b_{veg} - necessidade vegetativo

Modelo Carbono

Crescimento

- b_F - necessidade inflorescências
- Φ_F - coef. cresc. inflorescências
- b_{Fm} - necessidade estrutura
- Φ_V - coef. cresc. vegetativo
- n_ω - n.º potencial de novas folhas
- Δ_t - soma térmica
- b_{L1} - necessidade na 1.ª classe-etária
- $\delta_{L,i}$ - taxas de crescimento foliar
- $n_{L,i}$ - n.º folhas na classe i
- $Q_{L,i}$ - folhas na classe i
- b_s, b_r - necessidade rebentos, raízes

Com isto, o incremento de massa diário das inflorescências e da estrutura é:

$$\Delta Q_F = b_F \cdot \Phi_F \quad \Delta Q_{Fm} = b_{Fm} \cdot \Phi_V$$

A formação de novas folhas é dada por:

$$x_{nL} = n_\omega \cdot \Phi_V / \Delta t \quad x_L = b_{L1} \cdot \Phi_V / \Delta t$$

O incremento proporcional de massa nas folhas é:

$$\mu_{L,i} = (\delta_{L,i} \cdot n_{L,i} \cdot \Phi_V / Q_{L,i}) / \Delta t$$

Crescimento dos rebentos e raízes:

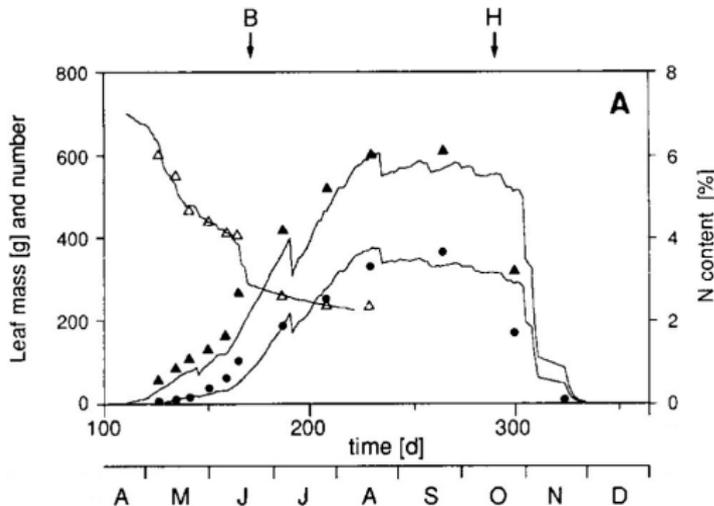
$$x_S = b_S \cdot \Phi_V / \Delta t \quad x_R = b_R \cdot \Phi_V / \Delta t$$

Taxa de mortalidade: $\epsilon = 0.02d^{-1}$, $0^\circ C \leq t \leq 10^\circ C$; $\epsilon = 0.3d^{-1}$, $t \leq 0^\circ C$

Resultados

Simulação vs. dados recolhidos

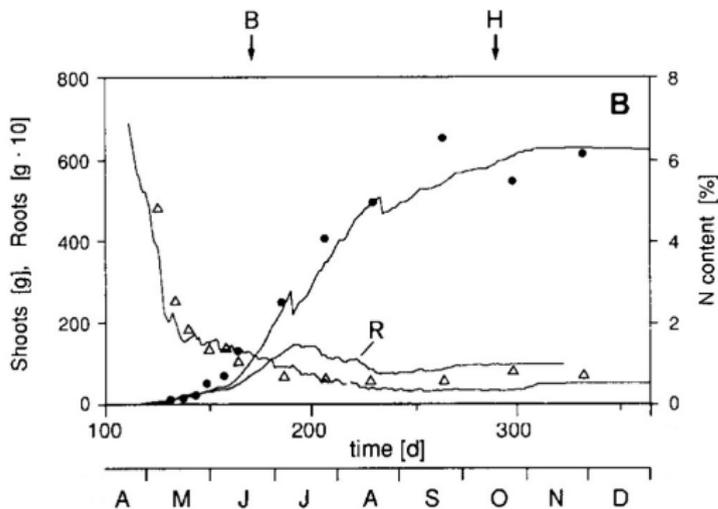
Os autores estimaram estes parâmetros em 1988 numa vinha de casta "Pinot Noir" na Suíça. Para verificar a correção do modelo foram comparadas as simulações com os dados recolhidos na exploração vinícola.



- O número de folhas (▲) e a sua massa (●) foram subestimados no início do crescimento;
- O declínio no número e massa de folhas é causado pela poda de verão (desfolha);
- A meio de agosto as folhas atingem o seu tempo médio de vida, e portanto deixam de captar Nitrogénio (△).

Resultados

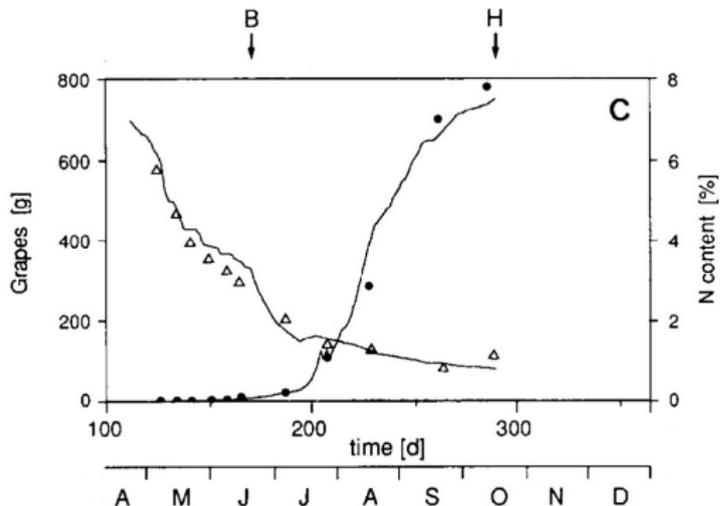
Simulação vs. dados recolhidos



- A massa de rebentos (●) aumenta sempre até ao fim da estação, reduzindo apenas na poda de verão;
- A concentração de N (△) diminui nitidamente no início da estação, mas estabiliza ao mesmo tempo que os rebentos estão cada vez mais lignificados;
- O crescimento das raízes (R) é sabido que começa mais tarde do que o crescimento dos rebentos na primavera.

Resultados

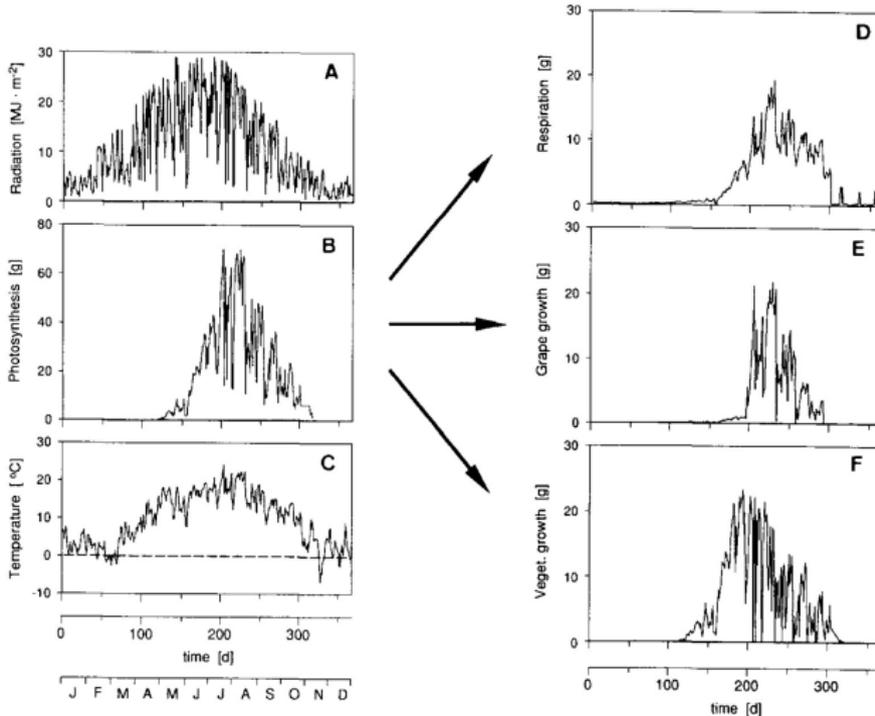
Simulação vs. dados recolhidos



- As flutuações do modelo do Carbono nas uvas (●) no fim de julho reflete a eliminação de bagos de uva.

Resultados

Produção e distribuição de Hidratos de Carbono



Resultados

Discussão

- Estes modelos são importantes para compreender as interações entre as diferentes partes da planta e para se perceber o efeito da poda, monda e da fertilização na formação de uvas e na produção de constituintes de Carbono;
- Em geral, os resultados da simulação foram próximos aos dados observados;
- O modelo permite a inclusão do submodelo do Nitrogénio. Frequentemente, o conjunto de dados disponível exclui o N e sob condições não limitadoras de N, o modelo pode correr como um modelo puro de Carbono.

Resultados

Discussão

- Um dos problemas encontrados foi a falta de reservas no fim do crescimento. Neste modelo, as reservas de Hidratos de Carbono foram esgotadas no fim de julho. Nesse momento, começou o reabastecimento até ao fim da queda das folhas. O nível no fim do ano foi 20% superior do que no início. Deste modo, a planta pode começar com uma quantidade adequada de reservas na primavera seguinte. Este aspecto faz com que o modelo se possa utilizar para estudos em anos consecutivos.

Fontes consultadas:



Artigo: Wermelinger, B., Baumgärtner, J., Gutierrez, A.P. "A demographic model of assimilation and allocation of carbon and nitrogen in grapevines", *Ecological Modelling*, 53 (1991) 1-26 1990;