

MODELOS E SIMULADORES PARA APOIO À GESTÃO DA FLORESTA

em Portugal

Versão 1

Susana Barreiro, Margarida Tomé

Instituto Superior de Agronomia

Universidade de Lisboa

Sumário

1. Introdução aos modelos e simuladores florestais
2. Dados para a construção e validação de modelos da floresta
3. *O website FCTOOLS, a plataforma SIMfLOR e o simulador standsSIM*
4. *Os modelos da floresta portuguesa:*
 - *tabelas de produção para as principais espécies da floresta portuguesa*
 - *os modelos de crescimento empíricos:*
 - GLOBULUS, PBRAVO, PINASTER, PINEA, CASTANEA, SUBER, MODISPINASTER,*
 - *o modelos de crescimento de base processual: 3PG*
5. *Validação de modelos da floresta*

1. Introdução aos modelos e simuladores florestais



O que é um modelo da floresta?

É uma simplificação da floresta e dos processos que nela decorrem de forma a ser possível simular a sua evolução no tempo

Modelos da floresta e suas variáveis:

1- Variáveis de estado

- Descrição da floresta através de um conjunto de **variáveis de estado** que a caracterizam a vários níveis hierárquicos:
 - **Povoamento, árvore**, folha, célula
- Considerando alguns dos **organismos** que dela fazem parte
 - Sub-bosque, fauna, micro-organismos
- Eventualmente com **relações espaciais**
 - Coordenadas das árvores, estrutura vertical

Modelos da floresta e suas variáveis:

2- Variáveis de controlo

- Variáveis ambientais
 - caracterização do ambiente em que a floresta se situa (índice de qualidade da estação, clima, solo)
- Variáveis antropogénicas
 - traduzem a intervenção humana, como sejam a definição de modelos de silvicultura ou alternativas de gestão, assim como das correspondentes práticas silvícolas
- Riscos
 - tais como fogos, pragas e doenças, tempestades, etc

Modelos da floresta – evolução da floresta

- O contexto dinâmico em que a floresta de hoje se insere veio introduzir novos paradigmas na gestão florestal tornando-a cada vez mais complexa
 - alterações globais
 - utilização crescente da floresta pela sociedade
- Os actuais **modelos da floresta** têm que ser capazes de avaliar as consequências de opções de gestão que cubram todas estas solicitações
- Já não se trata apenas de prever a **produção de madeira** mas também de todo um conjunto de **bens e serviços** prestados pela floresta
- Previsão da evolução de cada variável de estado (sub-modelo):
 - Com base numa equação (modelos de base estatística)
 - Com base na simulação dos processos envolvidos na evolução dessa variável de estado (modelos de base processual)
 - A maior parte dos modelos atuais têm componentes de base processual e estatística

Modelos da floresta – indicadores

- Os atuais modelos da floresta incluem também a predição de vários indicadores da gestão florestal sustentável:
 - **Económicos** (valor atual líquido, taxa interna de rentabilidade, custos de produção)
 - **Ecológicos** (stock e sequestro de C, uso de água, erosão do solo, extração de nutrientes, biodiversidade)
 - **Sociais** (mão de obra e emprego, utilização para recreio, manutenção de valores culturais)

Modelos da floresta – o que são afinal?

- Na prática, um modelo da floresta é
 - um conjunto vasto de equações
 - interligadas entre si
 - no seu conjunto, permitem simular a evolução de todas as variáveis de estado selecionadas
- Incluem também
 - um conjunto de algoritmos para simular práticas silvícolas e/ou riscos (desbastes, desramações, ataques de pragas, etc)

Modelos da floresta

Other optional variables include: the median ($d_{0.50}$, cm), the average (\bar{d} , cm) and the minimum value of the diameter distribution (d_{min} , cm).

The input data coupled with the model components allow representing the stand growth and the management practices that are typical to the species, including the simulation of mechanical and selective thinnings and clear-felling. The maximum age allowed for the rotation term is 65 years. The minimum scale level admitted for prediction is the year.

Dominant height growth, for a given site index, is estimated using Marques (1987) model (equation 1). Site index value is calculated from Marques (1987, 1991) SI model (equation 2).

$$\widehat{hd} = e^{4.04764 - 8.73819t^{0.5987}} + 1.19874(1 - e^{-0.081t})^{2.99578} (SI - 17.38) \quad (1)$$

$$SI = 17.38 - \left(e^{4.04764 - 8.73819t^{0.5987}} - \widehat{hd} \right) \times (0.865685 - 0.00804747t + 0.000994305t^2 - 0.0000187066t^3) \quad (2)$$

Basal area at the projection age is estimated with equation 3. The growth model was originally presented in Svetz & Zeide (1996), and was refitted by T. Fonseca, after Fonseca (2004), using the Data_Pinaster dataset.

$$\widehat{G}_2 = \left[G_1^{0.4090} + 7.4949e^{-0.0333t_1} (1 - e^{-0.0333(t_2 - t_1)}) \right]^{1/0.4090} e^{-0.8427(N_1 - N_2)/N_2} \quad (3)$$

In equation (1), *SI* refers to site index, defined as the stand dominant height (*hd*) at the reference age of 35 years whereas, in equation (3), G_1 and N_1 refer to the stand basal area and to the number of trees at age t_1 , respectively ($i = 1, 2$ for actual and projection age, respectively). The other variables in equations 1-3 were already defined.

Evaluation of tree mortality is a two-phase process. In the first phase the model estimates the probability of mortality to occur during the projection period. In a second phase the number of survival trees is calculated for the projection age and then it is adjusted by the probability of mortality to occur.

Probability of mortality is predicted by two equations developed by Fonseca (2004), according to the major influences: wind (equation 4) and other causes (equation 5), these being mainly related to competition effects.

$$\hat{p}_1 = \left[1 + \exp \left(- \left(\frac{-30.4753 + 0.3725Qhdc + 21.1705RS_1 \times BRS}{-4.2303BSExp + 0.1758Incl \times BF_1 + 5.5347BF_1} \right) \right) \right]^{-1} \quad (4)$$

$$\hat{p}_{oc} = \left[1 + \exp \left(- \left(\frac{-8.5235 - 0.3822N_1/100 + (t_2 - t_1)(2.1449 + 1.5768BMA \times C + 39.2942BAMPD / d_{gMAX})}{(t_2 - t_1)(2.1449 + 1.5768BMA \times C + 39.2942BAMPD / d_{gMAX})} \right) \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

In equation 4 and equation 5, the variable *Qhdc* and the binaries BF_1 and BF_2 are related to the stability of the stand; the variable *RS₁* refer to relative spacing before thinning with *BRS* being a binary that makes a distinction of the average space conditions between the trees for the current stand; d_{gMAX} is the maximum values of tree diameter allowed according to the

Artigo científico

Relatório de projeto

Table 2. Basal area: initialization function (1) and growth projection function (2).

Basal Area										
(1) $G = A_0 e^{-K_0} \left(\frac{t}{t_1} \right)^{n_{01} + n_{02}}$	(2) $G_2 = A_0 \left(\frac{G_1}{A_0} \right)^{\frac{t_1 n_{01}}{t_2 n_{02}}} \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_{02}}$									
$A_0 = (a_{00} + a_{01} DR)$	$K_0 = k_{00} + k_{01} SI + k_{02} \frac{100}{SI \sqrt{Npl}} + k_{03} rot$									
$n_{01} = n_{00} + \frac{n_{01}}{\left(1 - \frac{cota}{2000} \right)} + n_{02} rot$	$n_{02} = n_{03} \frac{N_1}{1000}$									
model	a_{00}	a_{01}	k_{00}	k_{01}	k_{02}	k_{03}	n_{00}	n_{01}	n_{02}	n_{03}
(1)	80.1683	0.2354	8.8204	-0.1876	3.3750	0.1180	0.4493	-0.0441	-0.0164	0.0655
(2)	80.1683	0.2354	-	-	-	-	0.4493	-0.0441	-0.0164	0.0655

Where *G* is the stand basal area; *t* is the stand age; DR is the number of days with rain (see the list of Symbols); *SI* is the site index; *Cota* is the stand altitude; *NPL* is the number of trees at planting; *rot* is the stand rotation (0 for planted and 1 for coppice stands) and the indices 1 and 2 represent the instants in time.

Apart from projecting the number of trees in the stand, the mortality model can be used to initialize planted stands assuming that $N_1 = Npl$ is the density at planting and $t_1 = 0$ (Table 3, equation (1)). Whilst for coppices, it can be used to project the number of sprouts as soon as ingrowth ceases by assuming $N_1 = N_0$ (the number of shoots after ingrowth) and $t_1 = t_0$ (age at which ingrowth ceases, assumed to be 3 years). To initialize the number of stools, the number of living trees by the time the planted stand was harvested is considered and discounted of the percentage of death occurring in the transition between rotations (Table 3, equation (3)).

Simuladores da floresta

- o que são?

- A utilização dos modelos da floresta pela sociedade implica a sua implementação em **interfaces computacionais**
 - que facilitem a simulação eficiente de um elevado número de **cenários**, ou seja, das condições presentes durante um horizonte de simulação (clima, medidas de política, alternativas de gestão, etc)
- Estas interfaces computacionais são geralmente designadas por **simuladores da floresta**

- as diferentes escalas:

- Existem simuladores da floresta para aplicação a diversas escalas espaciais:
 - Simuladores para um **povoamento** – focados na simulação de um determinado povoamento
 - Simuladores para uma **unidade de gestão** - focados na simulação conjunta de todos os povoamentos que fazem parte de uma área sujeita a um mesmo plano de gestão
 - Simuladores **regionais/nacionais** (com ou sem espacialização) – focados na simulação de todos os povoamentos de uma região

Modelos e simuladores da floresta

- É importante reter a diferença entre modelos e simuladores da floresta

Um **modelo da floresta** é um **conjunto de equações e algoritmos** que simulam a sua evolução

Um **simulador da floresta** é um **programa de computador**, mais ou menos amigável do utilizador, no qual o(s) modelo(s) da floresta está(ão) implementados

Os simuladores da floresta vão desde uma simples folha de EXCEL até sofisticados programas que representam a floresta em 3D

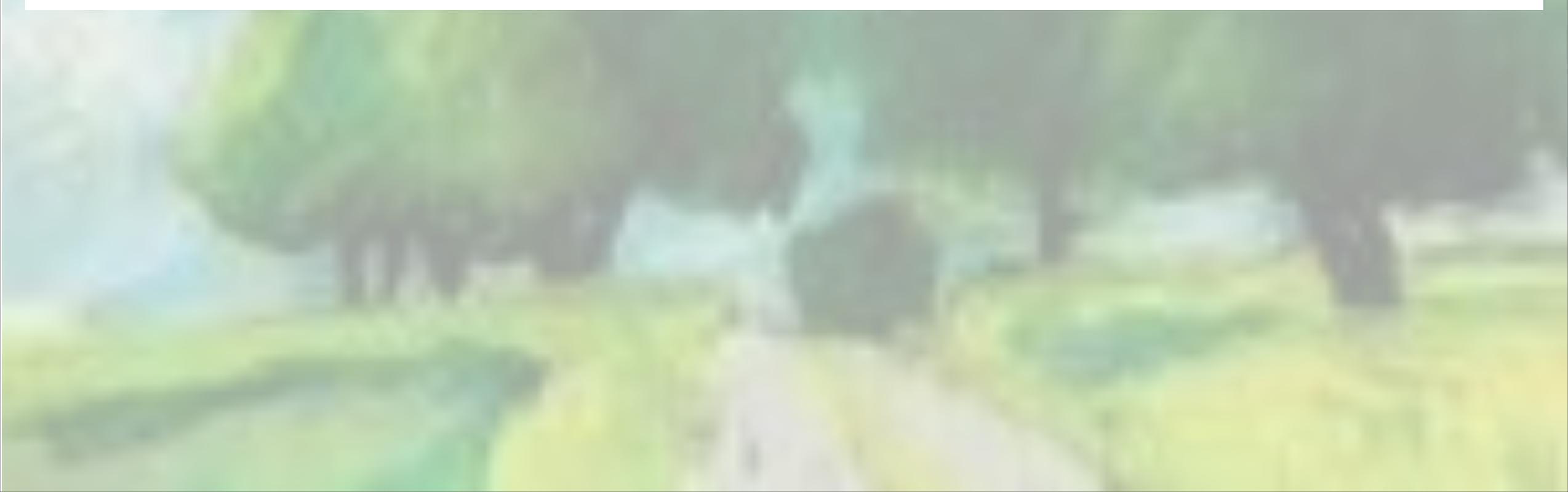
- A “qualidade” do modelo nem sempre está relacionada com a “qualidade” do simulador
- Existem bons modelos implementados em simuladores pouco amigáveis
- Existem simuladores de aparência muito “agradável” mas que utilizam modelos de fraca prestação
- Podem mesmo existir simuladores que utilizam de forma inexacta modelos publicados na literatura

Modelos, simuladores e plataformas da floresta

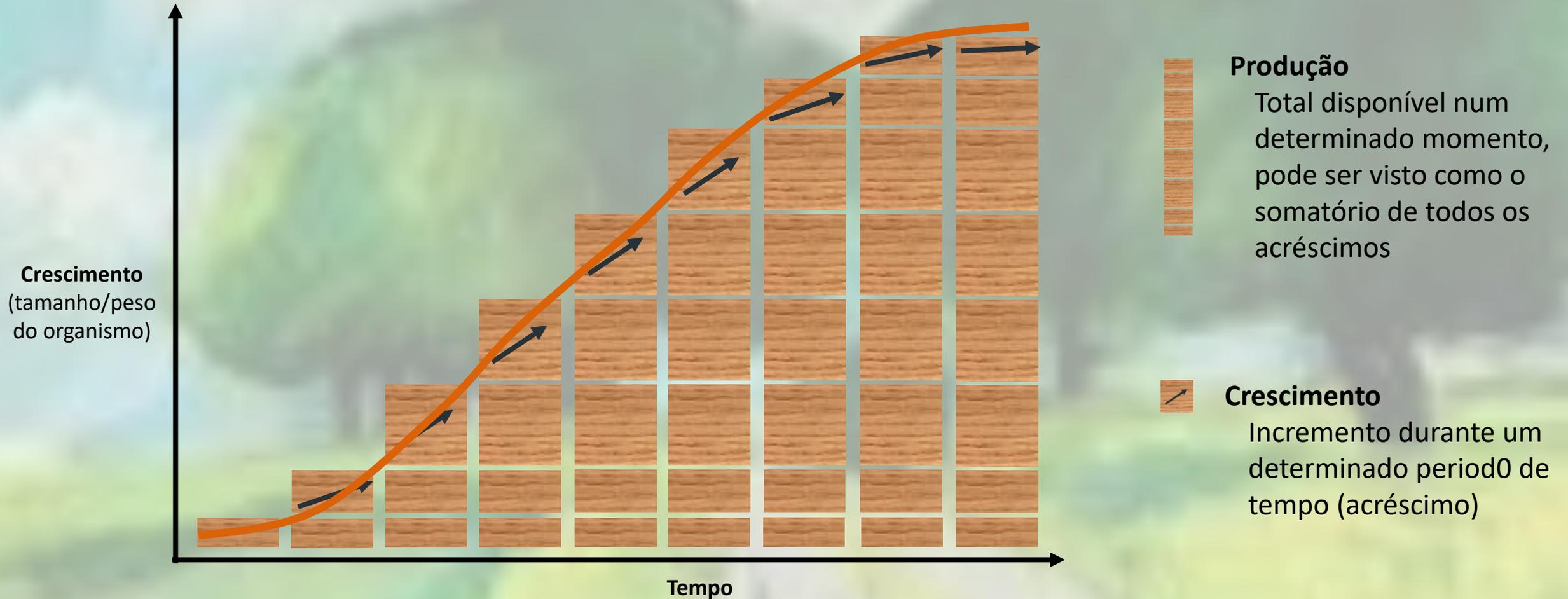
- É possível integrar vários simuladores numa mesma interface de forma a simplificar a sua utilização pelos utilizadores
- Uma interface permite utilizar processos semelhantes para
 - Introdução de dados
 - Definição de alternativas de gestão
 - Visualização de resultados
- O **SIMfLOR** é uma interface para simuladores desenvolvida no grupo ForChange

2. Dados para a construção e validação de modelos da floresta

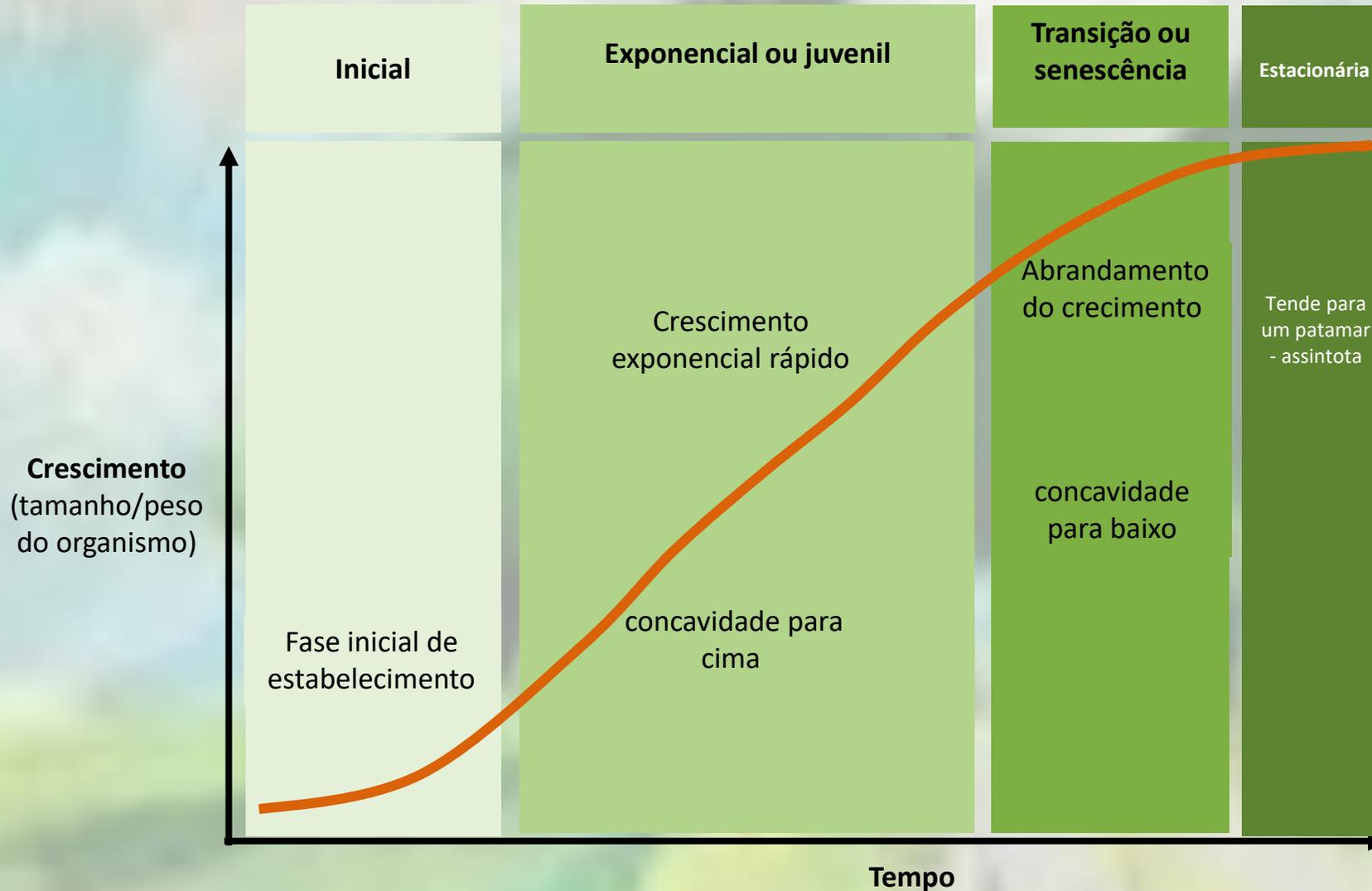
2.0 Construção e validação de modelos da floresta



Relação entre produção e crescimento



Curvas de crescimento



A evolução de qualquer variável pode ser representada por uma curva em forma de S (curva sigmoide)

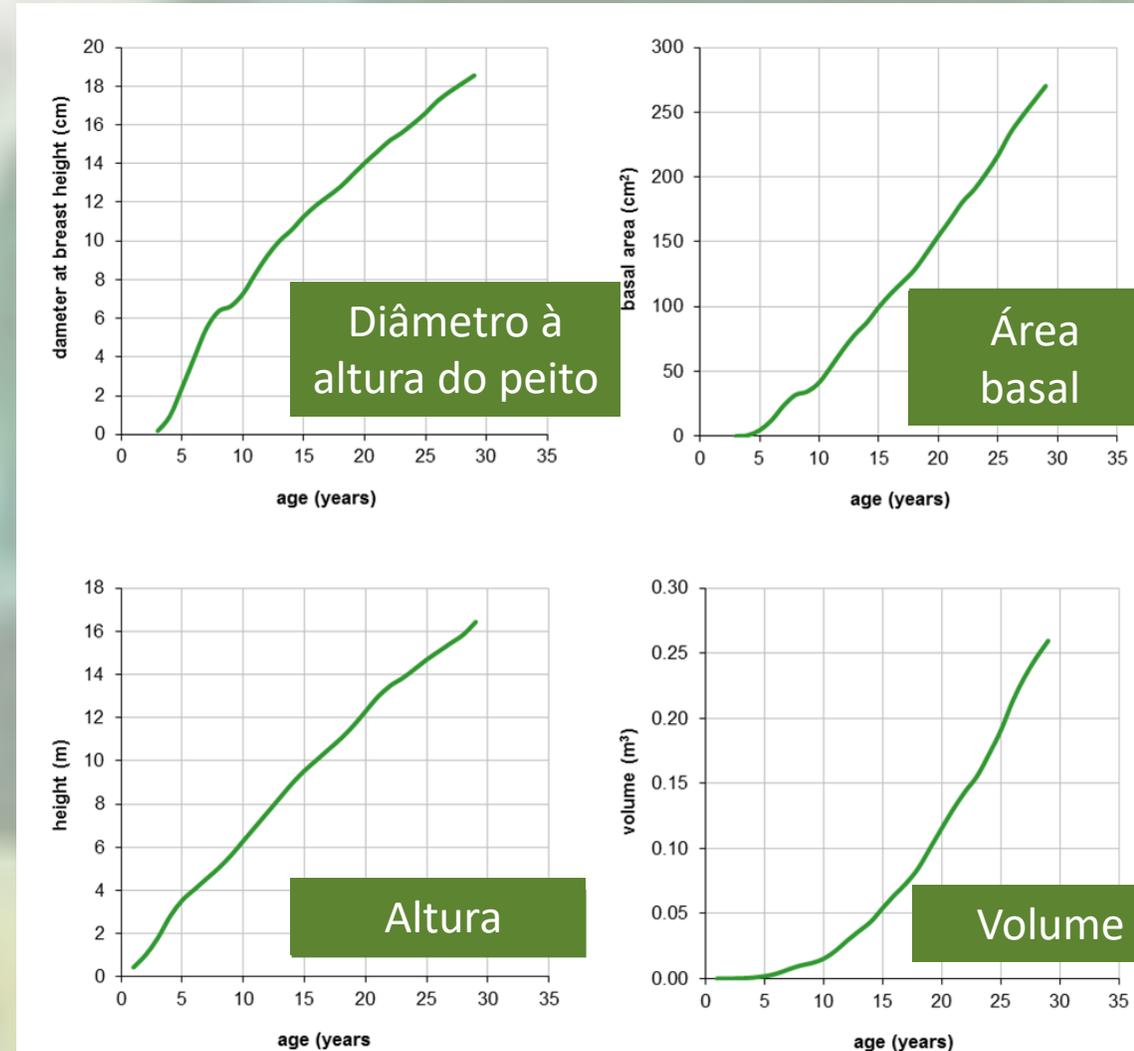
As curvas sigmoideais podem apresentar várias fases:

- Inicial
- Exponencial
- Senescência
- Estacionária

Curvas de crescimento

- O crescimento da árvore/povoamento é expresso pela alteração das diferentes variáveis que caracterizam a árvore/povoamento:
 - Diâmetro (dap),
 - Altura total,
 - Área basal,
 - Volumes totais ou parciais, etc

A forma da curva é diferente para cada variável



Curvas de crescimento

• Funções de crescimento

- Empíricas (não-sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base nos dados através de uma função matemática, exº: linear, parabólica,...
- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base no mecanismo de crescimento florestal, tendo normalmente uma hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal (exº “a taxa de crescimento relativo tem uma relação linear com o inverso de $t+1$, o que significa que diminui não linearmente com o tempo”).

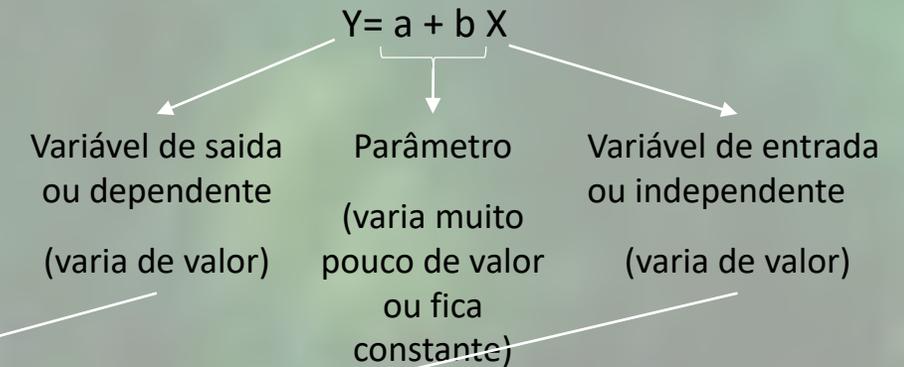
$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

A – assintota, limita o crescimento máximo
 K – inversamente relacionado com a taxa de crescimento
 m – influencia a idade a que ocorre o ponto de inflexão

TERMINOLOGIA:

Modelo = representação da realidade

Pode ser uma função ou equação ou curva ou reta ou método ou uma máquina



Curvas de crescimento

• Funções de crescimento

- Empíricas (não-sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base nos dados através de uma função matemática, exº: linear, parabólica,...
- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base no mecanismo de crescimento florestal, tendo normalmente uma hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal (exº “a taxa de crescimento relativo tem uma relação linear com o inverso de $t+1$, o que significa que diminui não linearmente com o tempo”).

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

A – assintota, limita o crescimento máximo

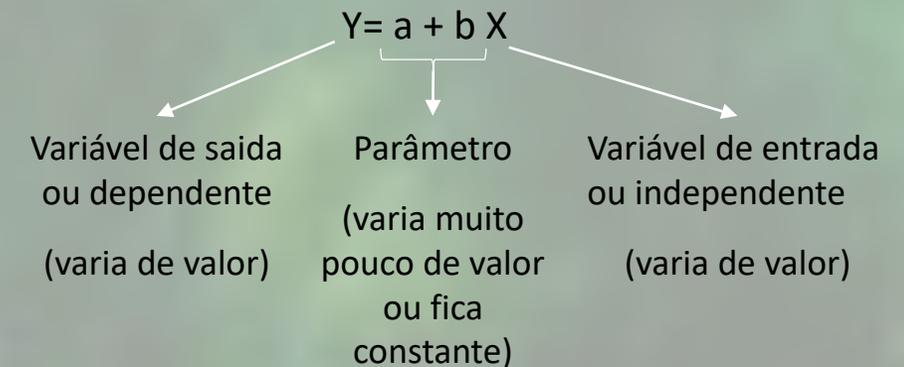
K – inversamente relacionado com a taxa de crescimento

m – influencia a idade a que ocorre o ponto de inflexão

TERMINOLOGIA:

Modelo = representação da realidade

Pode ser uma função ou equação ou curva ou reta ou método ou uma máquina



A análise de regressão é a parte da estatística que modela a relação entre 2 variáveis (ou mais)

Ajustamento de curvas

$$Y_{\text{obs}} = f(X_{\text{obs}})$$

Avaliação do funcionamento

(dados independentes)

Encontrar a combinação de valores de parâmetros que permite minimizar a soma de quadrados da diferença: $Y_{\text{obs}} = Y_{\text{est}}$

Curvas de crescimento

• Funções de crescimento

- Empíricas (não-sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base nos dados através de uma função matemática, exº: linear, parabólica,...
- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base no mecanismo de crescimento florestal, tendo normalmente uma hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal (exº “a taxa de crescimento relativo tem uma relação linear com o inverso de t+1, o que significa que diminui não linearmente com o tempo”).

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

A – assintota, limita o crescimento máximo

K – inversamente relacionado com a taxa de crescimento

m – influencia a idade a que ocorre o ponto de inflexão

Ajustamento:

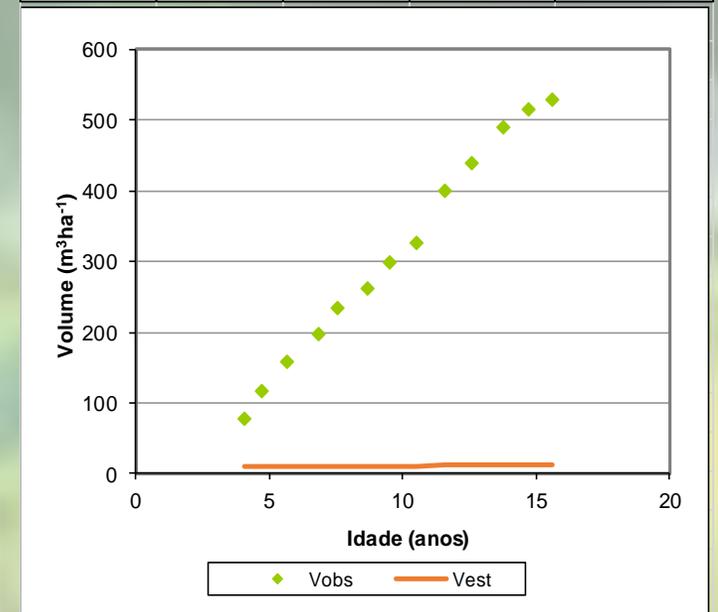
Parâmetros	
A	25
k	1
m	0.1

$$V_{obs} = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

Somatório
1440742.55

Encontra a combinação de parâmetros (A, k, m) que minimiza o somatório do quadrado das diferenças ($V_{obs} = V_{est}$)

t	Vobs	Vest	(Vobs-Vest)	(Vobs-Vest)^2
4.1	77.72	10.49	67.23	4520.30
4.8	117.06	10.62	106.44	11328.53
5.7	158.49	10.78	147.71	21816.87
6.8	196.73	10.95	185.78	34512.67
7.6	233.37	11.05	222.32	49426.98
8.7	260.81	11.17	249.64	62320.87
9.5	297.91	11.25	286.66	82173.35
10.5	324.82	11.34	313.48	98269.16
11.6	399.26	11.43	387.83	150413.03
12.6	437.25	11.50	425.75	181260.66
13.8	487.86	11.58	476.28	226840.82
14.8	513.30	11.64	501.66	251658.32
15.6	527.64	11.69	515.95	266201.01



Curvas de crescimento

• Funções de crescimento

- Empíricas (não-sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base nos dados através de uma função matemática, exº: linear, parabólica,...
- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base no mecanismo de crescimento florestal, tendo normalmente uma hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal (exº “a taxa de crescimento relativo tem uma relação linear com o inverso de t+1, o que significa que diminui não linearmente com o tempo”).

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

A – assintota, limita o crescimento máximo
K – inversamente relacionado com a taxa de crescimento
m – influencia a idade a que ocorre o ponto de inflexão

Ajustamento:

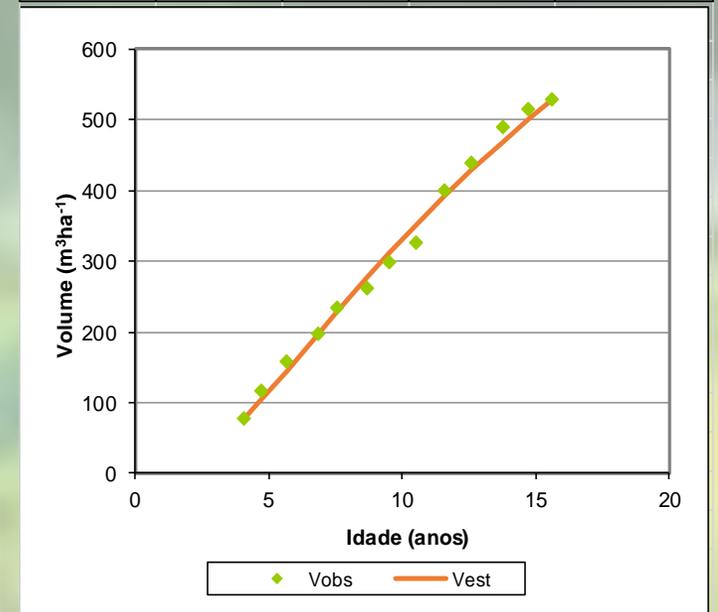
Parâmetros		$V_{obs} = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$	Somatório 2098.55095
A	2134.98		
k	8.280708		
m	0.647692		

Não chega a minimizar o somatório do quadrado das diferenças ($V_{obs} = V_{est}$)

Há que olhar para o valor dos parâmetros e ver se fazem sentido

É possível obter volumes por hectare da ordem dos 2000 m³?

t	Vobs	Vest	(Vobs-Vest)	(Vobs-Vest) ²
4.1	77.72	76.49	1.23	1.51
4.8	117.06	104.36	12.70	161.41
5.7	158.49	144.57	13.92	193.66
6.8	196.73	196.61	0.12	0.01
7.6	233.37	229.71	3.66	13.41
8.7	260.81	276.31	-15.50	240.22
9.5	297.91	310.93	-13.02	169.45
10.5	324.82	350.90	-26.08	679.94
11.6	399.26	392.19	7.07	49.94
12.6	437.25	428.48	8.77	76.95
13.8	487.86	468.66	19.20	368.81
14.8	513.30	501.33	11.97	143.17
15.6	527.64	527.39	0.25	0.06



Curvas de crescimento

• Funções de crescimento

- Empíricas (não-sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base nos dados através de uma função matemática, exº: linear, parabólica,...
- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base no mecanismo de crescimento florestal, tendo normalmente uma hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal (exº “a taxa de crescimento relativo tem uma relação linear com o inverso de t+1, o que significa que diminui não linearmente com o tempo”).

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

A – assintota, limita o crescimento máximo
K – inversamente relacionado com a taxa de crescimento
m – influencia a idade a que ocorre o ponto de inflexão

Ajustamento:

Parâmetros	
A	1500
k	9.422019
m	0.799247

$$V_{obs} = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

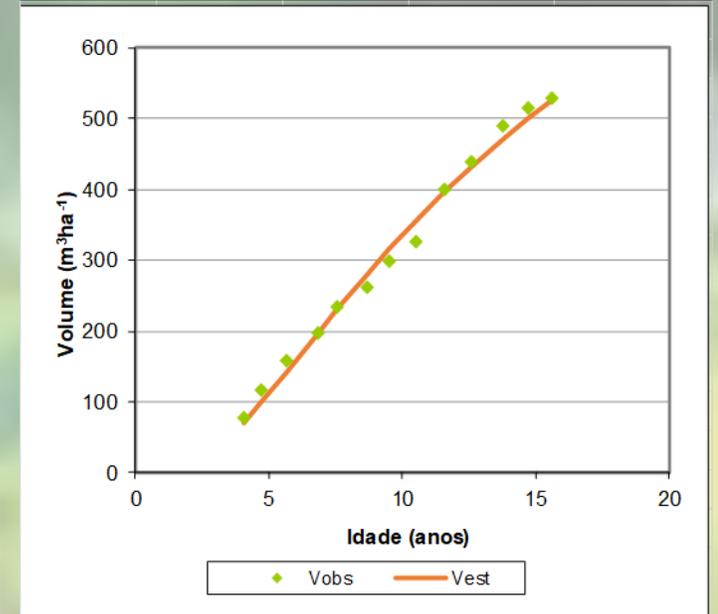
Somatório	2782.38077
-----------	------------

Não!

Mas há formas de contornar a questão

(ainda que o somatório do quadrado das diferenças ($V_{obs} = V_{est}$) não atinja o mínimo possível

t	Vobs	Vest	(Vobs-Vest)	(Vobs-Vest)^2
4.1	77.72	70.30	7.42	55.11
4.8	117.06	99.60	17.46	304.85
5.7	158.49	142.30	16.19	262.27
6.8	196.73	197.40	-0.67	0.45
7.6	233.37	232.11	1.26	1.60
8.7	260.81	280.36	-19.55	382.29
9.5	297.91	315.68	-17.77	315.88
10.5	324.82	355.86	-31.04	963.72
11.6	399.26	396.68	2.58	6.64
12.6	437.25	431.95	5.30	28.06
13.8	487.86	470.35	17.51	306.49
14.8	513.30	501.08	12.22	149.34
15.6	527.64	525.26	2.38	5.68



Curvas de crescimento

- Funções de crescimento

- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base numa hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal

- As funções são “cegas” e podem ser ajustadas a qualquer variável:

Lundqvist-Korf type

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

Richards type

$$Y = A \left(1 - c e^{-kt}\right)^{\frac{1}{1-m}}$$

Hossfeld IV type

$$Y = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{Y_0}\right) \left(\frac{t_0}{t}\right)^k}$$

t	G	hdom
4.1	13.30	15.1
4.8	17.11	17.8
5.7	21.10	19.8
6.8	25.08	20.6
7.6	27.06	22.9
8.7	29.34	23.2
9.5	31.04	24.3
10.5	32.31	24.4
11.6	34.77	29.6
12.6	36.85	29.7
13.8	38.42	32.9
14.8	39.46	33.8
15.6	41.18	34.1

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

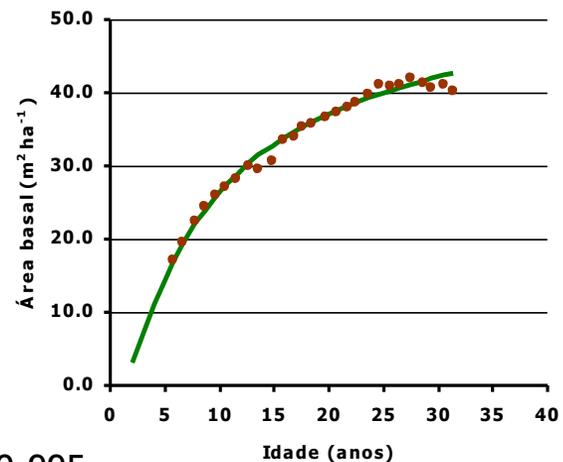
G

A = 58.46,

k = 5.13,

m = 0.81

Ef. mod. = 0.995



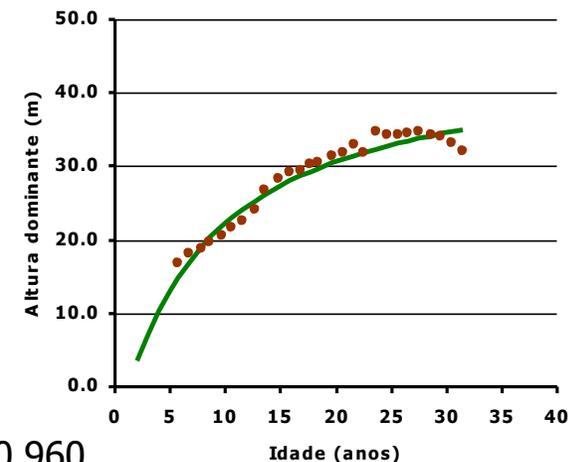
hdom

A = 48.75,

k = 4.30,

m = 0.75

Ef. mod, = 0.960



Curvas de crescimento

- Funções de crescimento

- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base numa hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal
- **As funções não se ajustam a uma única parcela, mas sim a um conjunto de parcelas:**

Lundqvist-Korf type

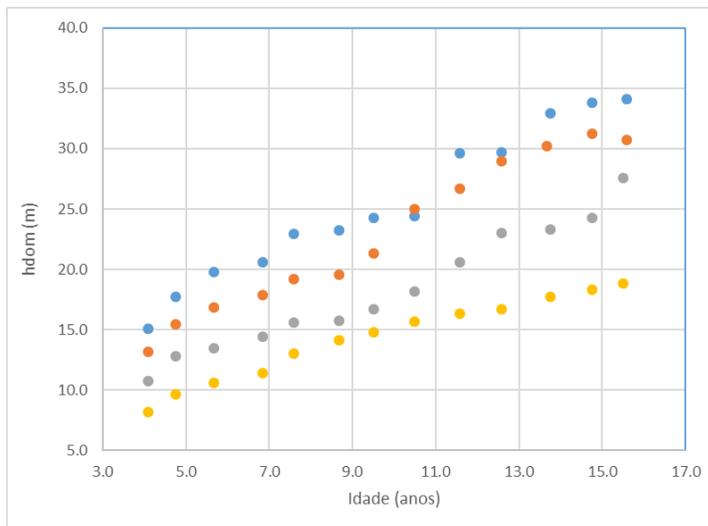
$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

Richards type

$$Y = A \left(1 - c e^{-kt}\right)^{\frac{1}{1-m}}$$

Hossfeld IV type

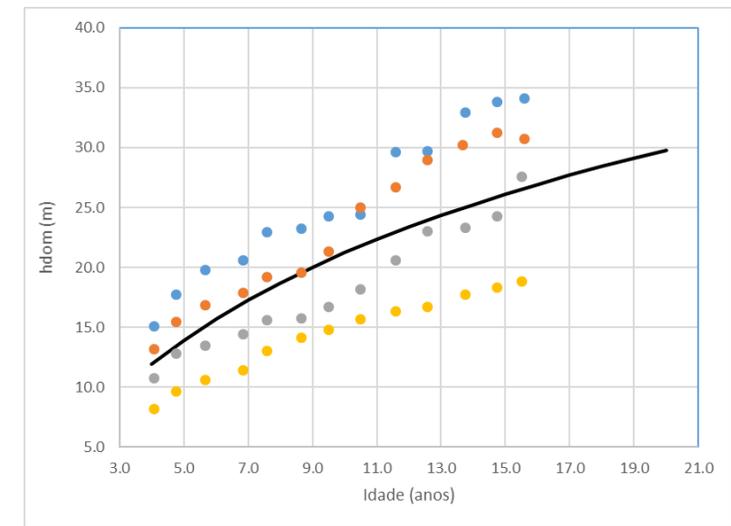
$$Y = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{Y_0}\right) \left(\frac{t_0}{t}\right)^k}$$



Se os dados das hdom das 4 parcelas forem utilizados todos juntos, gera-se uma curva de crescimento média

CONTUDO, esta função média não é muito boa para predizer a evolução da hdom das parcelas azul e amarela

Como contornar o problema ?



Curvas de crescimento

- Funções de crescimento

- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base numa hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal
- **As funções não se ajustam a uma única parcela, mas sim a um conjunto de parcelas:**

Lundqvist-Korf type	Richards type	Hossfeld IV type
$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$	$Y = A \left(1 - c e^{-kt}\right)^{\frac{1}{1-m}}$	$Y = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{Y_0}\right) \left(\frac{t_0}{t}\right)^k}$

Expressar os parâmetros em função de outras variáveis quer do local quer da árvore/povoamento

$$G = A e^{-k \left(\frac{1}{t}\right)^m}$$

$$A = a_0 S^2$$

$$k = k_0 + k_1 S + k_2 \frac{Npl}{1000} + k_3 fe$$

$$m = m_0 + m_1 \ln(S) + m_2 \frac{N}{1000}$$

$$fe = \frac{100}{S \sqrt{Npl}}$$

G = Área basal

S = índice de qualidade da estação

NPL = nº de árvores à plantação

N = nº de árvores

fe = coeficiente de espaçamento relativo adaptado

Curvas de crescimento

- Funções de crescimento

- Teóricas (sigmóides) - descrevem o comportamento da variável com base numa hipótese subjacente associada aos princípios do crescimento florestal
- **As funções não se ajustam a uma única parcela, mas sim a um conjunto de parcelas:**

Lundqvist-Korf type

$$Y = A e^{-k \frac{1}{t^m}}$$

Richards type

$$Y = A \left(1 - c e^{-kt}\right)^{\frac{1}{1-m}}$$

Hossfeld IV type

$$Y = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{Y_0}\right) \left(\frac{t_0}{t}\right)^k}$$

Expressar as funções de crescimento às diferenças e os parâmetros em função de outras variáveis

$$hdom_2 = A \left(\frac{hdom_1}{A} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^n} \quad A = a_0 + a_1 DR$$

hdom₁ = altura dominante no instante 1

hdom₂ = altura dominante no instante 2

t₁ = idade no instante 1

t₂ = idade no instante 2

DR = n^o de dias de chuva

2. Dados para a construção e validação de modelos da floresta

2.0 Construção e validação de modelos da floresta

2.1 Fontes de dados para construir modelos

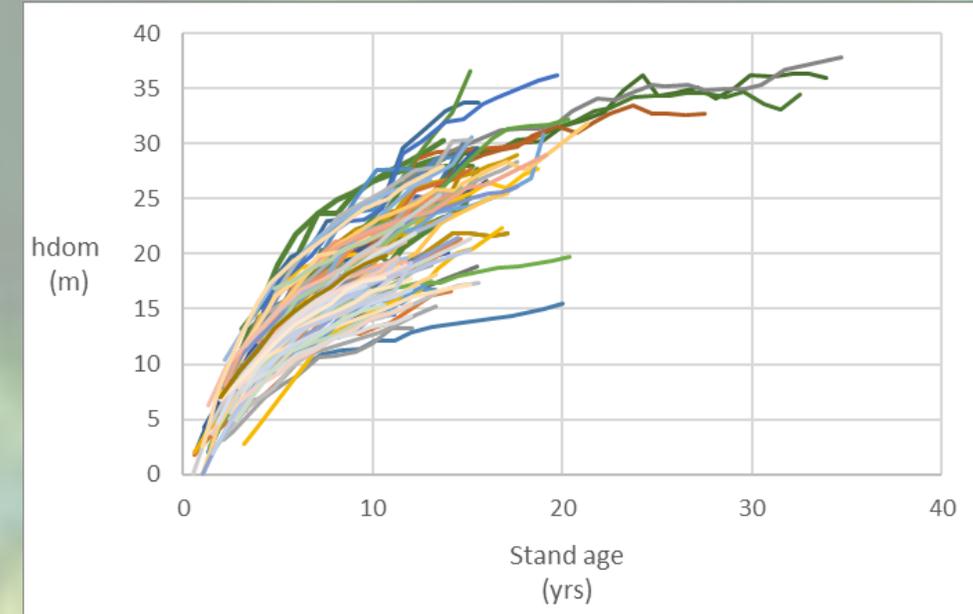
Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- Parcelas permanentes ou de intervalo
- Parcelas temporárias
- Ensaio experimentais
- Parcelas de inventário contínuo
- Análise do tronco (parcial ou total)

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- Parcelas permanentes

- Parcelas estabelecidas com o objetivo de medir o crescimento em povoamentos geridos seguindo as **práticas correntes de gestão**
- Parcelas que acompanham o povoamento durante um longo periodo de tempo, eventualmente toda a sua vida (regeneração – corte)

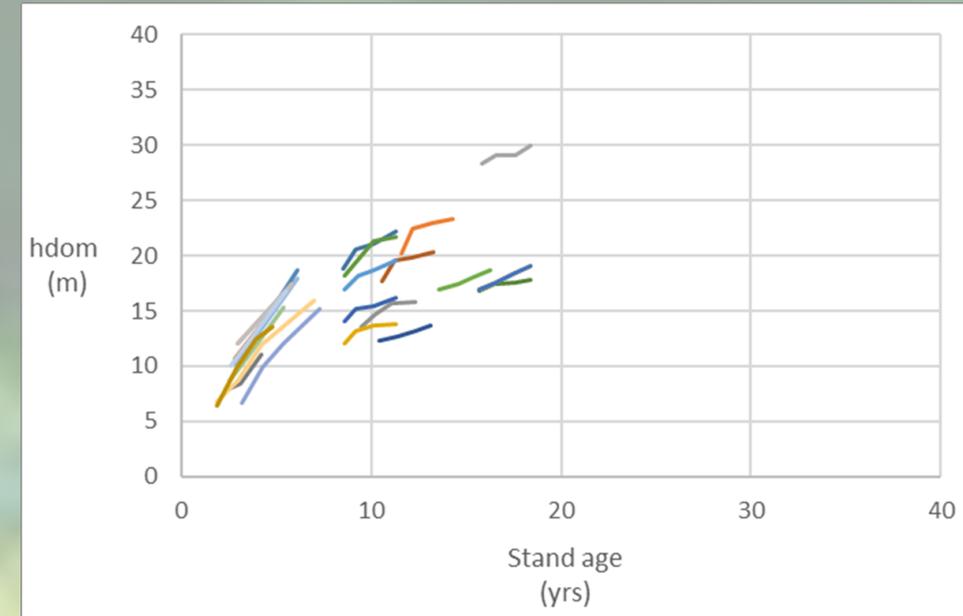


Exemplos de parcelas permanentes
Evolução da hdom de eucalipto

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- Parcelas de intervalo

- Parcelas estabelecidas com o objetivo de medir o crescimento em povoamentos geridos seguindo as **práticas correntes de gestão**
- Parcelas que acompanham o povoamento durante algum tempo, sendo remedidas pelo menos uma vez

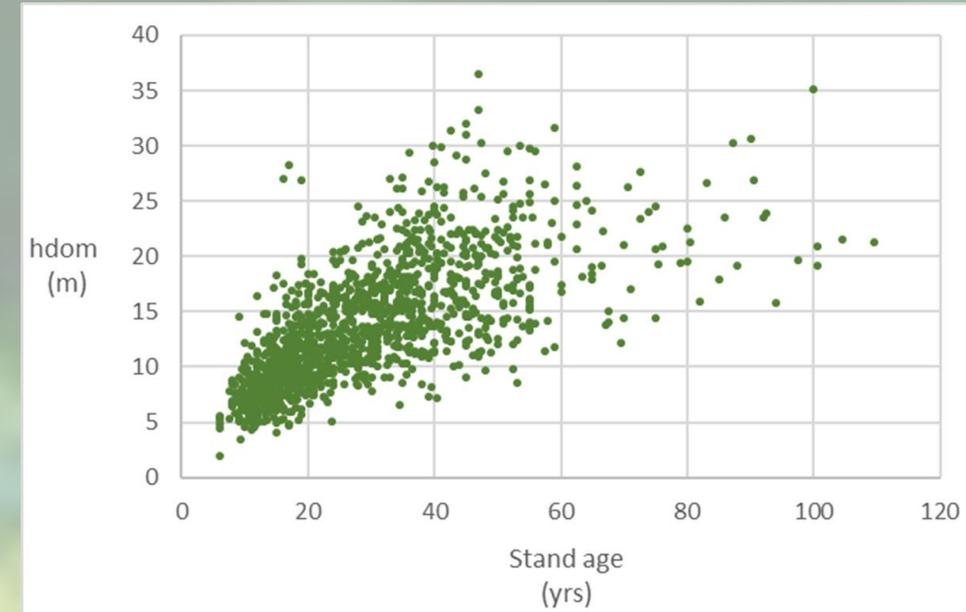


Exemplos de parcelas de intervalo
Evolução da hdom de eucalipto

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- Parcelas temporárias

- Parcelas estabelecidas com o objetivo de medir o crescimento em povoamentos geridos seguindo as **práticas correntes de gestão**
- Parcelas medidas apenas uma vez



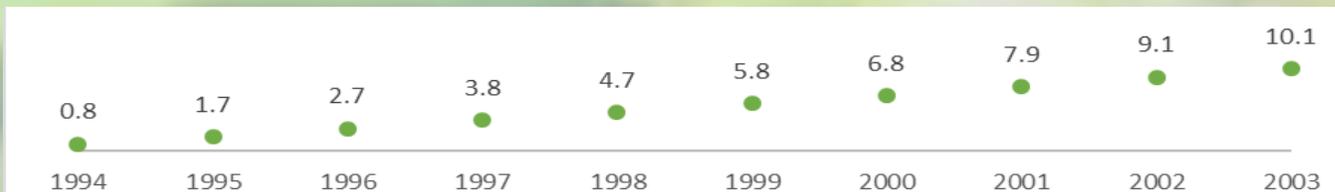
Exemplos de parcelas temporárias
hdom de eucalipto

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Ensaio experimentais de silvicultura ou genética**

- Ensaio estabelecidos propositadamente para estudar o impacto de diferentes **práticas silvícolas** ou **material genético** no crescimento da árvore e do povoamento
- Podem estudar o impacto de 1 ou 2 práticas silvícolas (aplicadas em simultâneo) apresentando normalmente um desenho experimental e repetições em blocos

- Ex. Ensaio de compassos: (1x2, 1x3, 1x4, 2x2, 2x3, 3x2, 4x2, 2x4, 3x3, 4x3, 3x4, 4x4) * 3 Blocos



Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Ensaio experimentais de silvicultura ou genética**

- Ensaio de compassos: (1x2, 1x3, 1x4, 2x2, 2x3, 3x2, 4x2, 2x4, 3x3, 4x3, 3x4, 4x4) * 3 blocos
- Comparação dos compassos à idade de 10.1 anos (média das parcelas dos 3 blocos)



Compasso que maximiza o volume

	5000	3333	2500	2500	1667	1667	1250	1250	1111	833	833	625
	1 x 2	1 x 3	1 x 4	2 x 2	2 x 3	3 x 2	2 x 4	4 x 2	3 x 3	3 x 4	4 x 3	4 x 4
ddom	18.60	18.02	20.75	21.48	20.63	20.80	22.04	22.25	22.02	23.00	24.83	24.79
dg	11.90	11.53	13.33	15.00	14.50	14.90	16.23	15.70	16.70	17.40	18.30	19.60
hdom	22.70	23.30	24.21	24.60	24.69	24.23	24.67	23.88	24.91	24.63	25.34	24.29
N	2734	2604	2018	1797	1502	1406	1042	1061	1024	746	742	534
V	229.08	272.73	288.21	309.32	256.19	229.04	251.53	240.96	184.10	202.42	211.14	165.75

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Ensaio experimentais de silvicultura ou genética**

- Ensaio de compassos: (1x2, 1x3, 1x4, 2x2, 2x3, 3x2, 4x2, 2x4, 3x3, 4x3, 3x4, 4x4) * 3 blocos
- Comparação dos compassos à idade de 10.1 anos (média das parcelas dos 3 blocos)

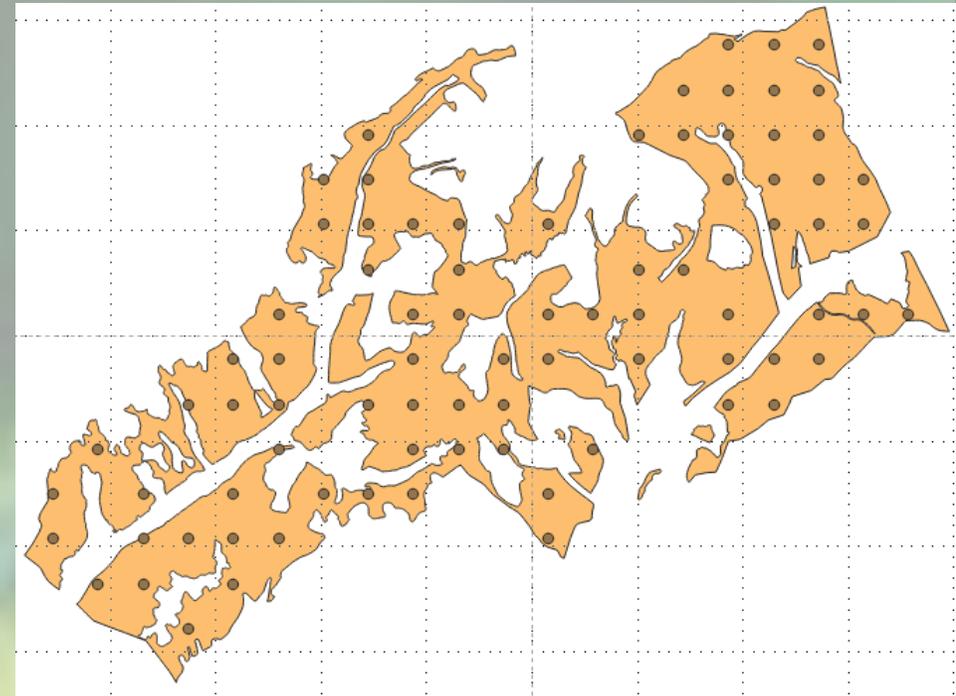
Compasso que maximiza o diâmetro



	5000	3333	2500	2500	1667	1667	1250	1250	1111	833	833	625
	1 x 2	1 x 3	1 x 4	2 x 2	2 x 3	3 x 2	2 x 4	4 x 2	3 x 3	3 x 4	4 x 3	4 x 4
ddom	18.60	18.02	20.75	21.48	20.63	20.80	22.04	22.25	22.02	23.00	24.83	24.79
dg	11.90	11.53	13.33	15.00	14.50	14.90	16.23	15.70	16.70	17.40	18.30	19.60
hdom	22.70	23.30	24.21	24.60	24.69	24.23	24.67	23.88	24.91	24.63	25.34	24.29
N	2734	2604	2018	1797	1502	1406	1042	1061	1024	746	742	534
V	229.08	272.73	288.21	309.32	256.19	229.04	251.53	240.96	184.10	202.42	211.14	165.75

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Parcelas de inventário contínuo**
 - Rede de parcelas distribuídas uniformemente no terreno e remedidas a cada 4, 5 ou 10 anos
 - Por norma têm áreas inferiores às das parcelas permanentes, não têm as árvores todas numeradas, e as remedições são feitas mais espaçadas no tempo



Exemplo de uma rede de parcelas de inventário contínuo

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Análise do tronco**

- As árvores que crescem em zonas temperadas todos os anos acrescentam uma nova camada de madeira em torno do fuste (do solo à bicada) empurrando a casca para fora.
- Num corte transversal, estas camadas aparecem como anéis. A cada ano: durante a primavera e o início do verão surge um anel claro (madeira inicial) seguido de um anel escuro e mais fino (madeira tardia) criado no outono, quando o crescimento é mais lento.



Exemplo de um tronco com crescimento de primavera e outono

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

• Análise do tronco

- A análise do tronco estuda o crescimento das árvores a partir da análise e medição dos anéis de crescimento
- Restringe-se às espécies cuja madeira apresenta anéis de crescimento nítidos e às regiões com um clima que implica uma paragem nítida do crescimento
- Dois tipos de análise de tronco:
 - **Parcial** - análise de núcleos de incremento ao nível do diâmetro à altura do peito
 - **Total** - análise de vários discos de árvore ao longo do fuste



Exemplo de uma verrumada e de um conjunto de discos para análise de tronco

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

- **Análise do tronco - parcial**

- A análise do tronco parcial recorre a verrumadas extraídas na árvore média de cada classe de diâmetros durante o inventário
- As verrumadas podem cobrir o crescimento dos últimos 5 ou 10 anos

Sendo a informação que produzem acerca dos acréscimos de crescimento observados limitada a previsões de crescimento no curto prazo (5 ou 10 anos) e assumindo que as condições dos próximos 5 a 10 anos serão semelhantes às do período refletido pela verrumada

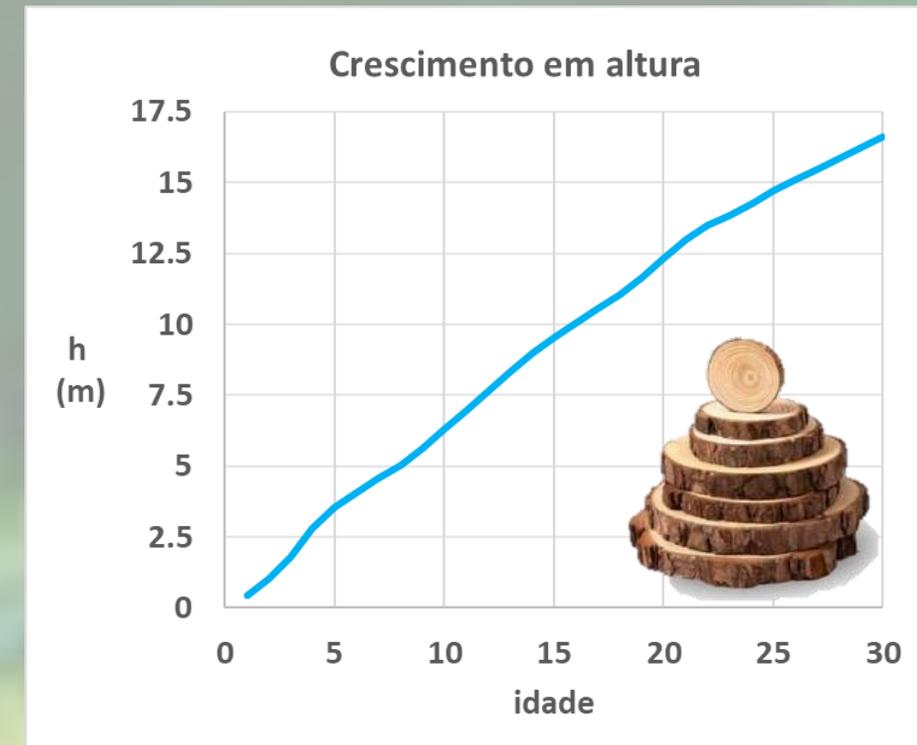


Exemplos de uma verruma e da extração de uma verrumada

Que dados posso/devo utilizar para estudar o crescimento e/ou desenvolver modelos?

• Análise do tronco - total

- A análise do tronco total recorre ao abate da árvore e à recolha de rodela extraídas ao longo do tronco indicando a altura a que são recolhidas e permite avaliar a evolução em altura, diâmetro e volume.
- Idealmente, o disco do cepo deve ser tirado a uma altura $<$ à altura esperada no ano 1.
- Em cada rodela deve contar-se o número de anéis devendo haver um anel por cada ano de idade no disco do cepo sendo que o seu nº diminuirá nos discos que se encontram mais acima.
- A diferença entre o número de anéis no cepo e o disco cortado a qualquer outra altura representa o número de anos que a árvore demorou a crescer até à altura a que esse disco foi tirado



Exemplo da construção de uma curva de crescimento em altura para uma árvore abatida com base nas alturas dos discos e no respetivo nº de anéis de cada um