



**ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL

**LIÇÕES  
DE  
DENDROMETRIA E INVENTÁRIO FLORESTAL II**

Cristina Maria Martins Alegria

ABRIL, 2004  
CASTELO BRANCO



**ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL

**LIÇÕES  
DE  
DENDROMETRIA E INVENTÁRIO FLORESTAL II**

Cristina Maria Martins Alegria

ABRIL, 2004  
CASTELO BRANCO

## ÍNDICE

<b>LIÇÃO Nº 1</b>	1
0. PROGRAMA, PLANIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO	
<b>LIÇÃO Nº 2</b>	
TEÓRICA	
1. PREDIÇÃO DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO	8
1.1. Construção de modelos de crescimento e produção	10
2. O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS ÁRVORES E DOS POVOAMENTOS	14
2.1. O crescimento e produção da árvore individual	15
2.2. O crescimento e produção dos povoamentos	19
PRÁTICA	
Cálculo de acréscimos. Curva de crescimento acumulado. Curvas de acréscimos médio e corrente. Funções de crescimento.	24
<b>LIÇÃO Nº 3</b>	
TEÓRICA	
3. AQUISIÇÃO DE DADOS - ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	27
3.1. Parcelas de estudo	27
3.1.1. Parcelas permanentes e semi-permanentes	28
3.1.2. Parcelas temporárias	29
3.1.2.1. Método das séries de crescimento	29
3.1.2.2. Método de análise de tronco	29
3.2. Caso de estudo - Análise de funções de crescimento. Aplicação do método de análise de tronco a povoamentos de <i>Pinus pinaster</i> Aiton na região de Castelo Branco	37
PRÁTICA	
Aplicação do método de análise de tronco a conjuntos de rodela de tronco da espécie pinheiro bravo. Análise do crescimento da árvore individual - povoamentos de <i>Pinus pinaster</i> Aiton na região de Castelo Branco.	39
<b>LIÇÃO Nº 4</b>	
TEÓRICA	42
3.3. Delineamento dos estudos de crescimento e produção	46
3.4. Instalação de parcelas de estudo e procedimentos de medição	
PRÁTICA	
Recolha de dados em parcelas de estudo circulares em povoamentos de pinheiro manso - ESACB. Procedimentos de medição. Ficha de campo. Preenchimento de ficha de campo a entregar ao Professor.	53

<b>LIÇÃO Nº 5</b>	
TEÓRICA	
4. DENSIDADE E LOTAÇÃO DOS POVOAMENTOS	57
4.1. Avaliação da densidade dos povoamentos	57
4.2. Avaliação da lotação dos povoamentos	58
4.2.1. Índice de densidade do povoamento (SDI)	58
4.2.2. Factor de competição das copas (CCF)	61
4.2.3. Factor de espaçamento de Wilson (Fw)	62
4.3. Caso de estudo - Caracterização dos povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco	64
PRÁTICA	
Densidade e lotação. Factor de Competição das Copas (FCC) para o pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Castelo Branco e Proença-a-Nova e Índice de densidade do Povoamento (SDI) para o pinheiro bravo e País e Factor de Wilson. Intervenção produtiva para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.	73
<b>LIÇÃO Nº 6</b>	
TEÓRICA	
5. COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA	76
5.1. Avaliação da competição intraespecífica	
5.2. Caso de estudo - Avaliação da competição intraespecífica em povoamentos puros irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros	82
PRÁTICA	
Avaliação da competição intraespecífica em povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.	89
<b>LIÇÃO Nº 7</b>	
TEÓRICA	
6. QUALIDADE DE ESTAÇÃO	93
6.1. Métodos de avaliação da qualidade de estação	93
6.2. Curvas de qualidade de estação	96
6.3. Caso de estudo - Curvas de qualidade de estação para povoamentos irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros	101
PRÁTICA	
Avaliação da qualidade de estação para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.	104

<b>LIÇÃO Nº 8</b>	
TEÓRICA	105
7. MODELOS DE PREDIÇÃO DA ÁRVORE INDIVIDUAL	105
7.1. Predição da altura total da árvore individual	106
7.2. Predição dos volumes da árvore individual	106
7.2.1. Equações de volume	109
7.2.2. Equações de volume percentual	110
7.2.3. Equações de perfil do tronco	113
7.3. Outros modelos	
7.4. Caso de estudo - Modelos da árvore individual para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco	113
PRÁTICA	
Predição da altura total e de volumes da árvore individual. Cálculo de volumes totais e parciais por categorias de aproveitamento da madeira por agregação dos dados em classes de frequência diamétrica. Avaliação da produção actual de povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.	118
<b>LIÇÃO Nº 9</b>	
TEÓRICA	120
8. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	121
8.1. Abordagens à Modelação do Crescimento e Produção	127
8.2. Componentes do Crescimento Florestal	127
8.2.1. Ao nível do povoamento	129
8.2.2. Ao nível da árvore individual	136
8.3. Caso de estudo	136
8.3.1. O modelo de crescimento e produção - GLOBUS	137
8.3.2. O modelo de crescimento e produção - PBRAVO	143
8.3.3. O modelo de crescimento e produção - PBIRROL	
PRÁTICA	
Predição do crescimento e produção. Equações de cubagem. Equações de produção. Modelos de crescimento e produção.	151
<b>LIÇÃO Nº 10</b>	
TEÓRICA	153
9. TABELAS DE PROJECCÃO	153
9.1. Procedimentos de inventário para a predição do crescimento e produção	156
9.1.1. Método do inventário contínuo ou do controle	161
9.1.2. Método da análise de tronco	
PRÁTICA	
Tabelas de projecção: método de análise de tronco. Estimativa da produção futura para povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.	169

<b>LIÇÃO Nº 11</b> PROVA DE AVALIAÇÃO ESCRITA TEÓRICO-PRÁTICA	173
<b>LIÇÃO Nº 12</b> PRÁTICA Exemplo de aplicações no Software EXCEL. Processamento do dados em computador. Avaliação dendrométrica da parcela. Análise exploratória de dados. Estatística descritiva. Cálculo automático para a avaliação da necessidade de intervenção produtiva nos povoamentos. Predição de volumes da árvore individual. Volumes por categorias de aproveitamento da madeira. Produção actual e futura de povoamentos.	174
<b>LIÇÃO Nº 13</b> PRÁTICA Exemplo de aplicações. Modelos de crescimento e produção.	176
<b>LIÇÃO Nº 14</b> PROVA PRÁTICA - PROCESSAMENTO DO DADOS EM COMPUTADOR - SOFTWARE EXCEL	177
<b>LIÇÃO Nº 15</b> PRÁTICA Apresentação, discussão e avaliação do trabalho prático executado pelos alunos.	178
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	179

**LIÇÃO Nº 1**  
**PROGRAMA, PLANIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO**

**ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO

**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL**  
**DISCIPLINA DE PLANEAMENTO E ORDENAMENTO FLORESTAL II (3ºano - 2ºsemestre)**

ANO LECTIVO 2005/2006

**PROGRAMA****I. COMPONENTE TEÓRICA**

1. PREDIÇÃO DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO
  - 1.1. Construção de modelos de crescimento e produção
2. O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS ÁRVORES E DOS POVOAMENTOS
  - 2.1. O crescimento e produção da árvore individual
  - 2.2. O crescimento e produção dos povoamentos
3. AQUISIÇÃO DE DADOS - ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO
  - 3.1. Parcelas de estudo
    - 3.1.1. Parcelas permanentes e semi-permanentes
    - 3.1.2. Parcelas temporárias
      - 3.1.2.1. Método das séries de crescimento
      - 3.1.2.2. Método de análise de tronco
  - 3.2. Caso de estudo - Análise de funções de crescimento. Aplicação do método de análise de tronco a povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton na região de Castelo Branco
  - 3.3. Delineamento dos estudos de crescimento e produção
  - 3.4. Instalação de parcelas de estudo e procedimentos de medição
4. DENSIDADE E LOTAÇÃO DOS POVOAMENTOS
  - 4.1. Avaliação da densidade dos povoamentos
  - 4.2. Avaliação da lotação dos povoamentos
    - 4.2.1. Índice de densidade do povoamento (SDI)
    - 4.2.2. Factor de competição das copas (CCF)
    - 4.2.3. Factor de espaçamento de Wilson ( $F_w$ )
  - 4.3. Caso de estudo - Caracterização dos povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco
5. COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA
  - 5.1. Avaliação da competição intraespecífica
  - 5.2. Caso de estudo - Avaliação da competição intraespecífica em povoamentos puros irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros

6. QUALIDADE DE ESTAÇÃO
  - 6.1. Métodos de avaliação da qualidade de estação
  - 6.2. Curvas de qualidade de estação
  - 6.3. Caso de estudo - Curvas de qualidade de estação para povoamentos irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros
7. MODELOS DE PREDIÇÃO DA ÁRVORE INDIVIDUAL
  - 7.1. Predição da altura total da árvore individual
  - 7.2. Predição dos volumes da árvore individual
    - 7.2.1. Equações de volume
    - 7.2.2. Equações de volume percentual
    - 7.2.3. Equações de perfil do tronco
  - 7.3. Outros modelos
  - 7.4. Caso de estudo - Modelos da árvore individual para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco
8. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO
  - 8.1. Abordagens à Modelação do Crescimento e Produção
  - 8.2. Componentes do Crescimento Florestal
    - 8.2.1. Ao nível do povoamento
    - 8.2.2. Ao nível da árvore individual
  - 8.3. Caso de estudo
    - 8.3.1. O modelo de crescimento e produção - GLOBUS
    - 8.3.2. O modelo de crescimento e produção - PBRAVO
    - 8.3.3. O modelo de crescimento e produção -PBIRROL
9. TABELAS DE PROJECCÃO
  - 9.1. Procedimentos de inventário para a predição do crescimento e produção
    - 9.1.1. Método do inventário contínuo ou do controle
    - 9.1.2. Método da análise de tronco

Castelo Branco,

O Professor Adjunto,

---

Eng.<sup>a</sup> Cristina Alegria

**ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO

**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL**  
**DISCIPLINA DE PLANEAMENTO E ORDENAMENTO FLORESTAL II (3ºano - 2ºsemestre)**

ANO LECTIVO 2005/2006

**PROGRAMA****II. COMPONENTE PRÁTICA**

1. Programa, planificação e avaliação.
2. Cálculo de acréscimos. Curva de crescimento acumulado. Curvas de acréscimos médio e corrente. Funções de crescimento.
3. Aplicação do método de análise de tronco a rodelas de tronco da espécie pinheiro bravo. Análise do crescimento da árvore individual - povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton na região de Castelo Branco.
4. Recolha de dados em parcelas de estudo circulares em povoamentos de pinheiro manso - ESACB. Procedimentos de medição. Ficha de campo. Preenchimento de ficha de campo a entregar ao Professor.
5. Densidade e lotação. Factor de Competição das Copas (FCC) para o pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Castelo Branco e Proença-a-Nova e Índice de densidade do Povoamento (SDI) para o pinheiro bravo e País e Factor de Wilson. Intervenção produtiva para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.
6. Avaliação da competição intraespecífica em povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.
7. Avaliação da qualidade de estação para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.
8. Predição da altura total e de volumes da árvore individual. Cálculo de volumes totais e parciais por categorias de aproveitamento da madeira por agregação dos dados em classes de frequência diamétrica. Avaliação da produção actual de povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.
9. Predição do crescimento e produção. Equações de cubagem. Equações de produção. Modelos de crescimento e produção.
10. Tabelas de projecção: método de análise de tronco. Estimativa da produção futura para povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco.
11. Prova de avaliação escrita teórico-prática.
12. Exemplo de aplicações no Software EXCEL. Processamento do dados em computador. Avaliação dendrométrica da parcela. Análise exploratória de dados. Estatística descritiva. Cálculo

automático para a avaliação da necessidade de intervenção produtiva nos povoamentos. Predição de volumes da árvore individual. Volumes por categorias de aproveitamento da madeira. Produção actual e futura de povoamentos.

13. Exemplo de aplicações. Modelos de crescimento e produção.
14. Prova prática - processamento do dados em computador - Software EXCEL..
15. Apresentação, discussão e avaliação do trabalho prático executado pelos alunos.

Castelo Branco,

O Professor Adjunto,

---

Eng.<sup>a</sup> Cristina Alegria



# ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL  
 DISCIPLINA DE PLANEAMENTO E ORDENAMENTO FLORESTAL II (3ºano - 2ºsemestre)

ANO LECTIVO 2005/2006

## 1. PLANIFICAÇÃO DA DISCIPLINA

<b>Semana nº</b>	<b>Turma Data</b>	<b>MATÉRIA Teórico-Prática (4 horas por semana)</b>
1		PROGRAMA, PLANIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO
2		PREDIÇÃO DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO. O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS ÁRVORES E DOS POVOAMENTOS.
3		AQUISIÇÃO DE DADOS - ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.
4		Recolha de dados em parcelas de estudo circulares em povoamentos de pinheiro manso - ESACB. Procedimentos de medição. Ficha de campo. Preenchimento de ficha de campo a entregar ao Professor.*
5		DENSIDADE E LOTAÇÃO DOS POVOAMENTOS.
6		COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA.
7		QUALIDADE DE ESTAÇÃO.
8		MODELOS DE PREDIÇÃO DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
9		MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.
10		TABELAS DE PROJEÇÃO.
11		<b>PROVA DE AVALIAÇÃO ESCRITA TEÓRICO-PRÁTICA</b>
12		Exemplo de aplicações no Software EXCEL.**
13		Exemplo de aplicações**
14		<b>PROVA PRÁTICA - PROCESSAMENTO DO DADOS EM COMPUTADOR - SOFTWARE EXCEL**</b>
15		Apresentação, discussão e avaliação do trabalho prático executado pelos alunos
		Época de Exames - Exame teórico-prático.
		Época de Exames - Exame teórico-prático.

\* - CAMPO; \*\* - COMPUTADORES.

## 2. AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA

1º - obter **frequência** na disciplina - i.e. a **assistência a 3/4 das aulas práticas** (folha de presenças) (vd. Regulamento Interno da ESACB).

2º - realizar a **avaliação periódica** (vd. Regulamento Interno da ESACB) que é constituída por duas avaliações:

- a) **prova de avaliação escrita teórico-prática (sem consulta). A inscrição nesta prova de avaliação**, por ser facultativa, deve ser realizada **10 dias antes** da data prevista para a sua realização (vd. Regulamento Interno da ESACB).
- b) **prova prática de processamento de dados em computador.**

3º - a aprovação na disciplina por dispensa (vd. Regulamento Interno da ESACB) é obtida caso se verifiquem as seguintes condições:

- a) **nota prova escrita teórico-prática  $\geq 8$  valores;**
- b) **nota prova prática  $\geq 8$  valores;**
- c) **nota final da avaliação periódica  $\geq 10$  valores**

onde,

$$\text{nota final} = (0.5 \times \text{nota prova escrita teórico-prática}) + (0.5 \times \text{nota prova prática})$$

4º - Caso não tenha dispensado, pode realizar a **avaliação por exame** que é constituído por duas componentes:

- a) **a prova escrita teórico-prática (idêntica à referido no item 2º) e**
- b) **a prova prática de processamento de dados em computador.**

NB: os alunos **que tenham realizado a prova prática durante a avaliação periódica podem ficar dispensados de nova prova prática de processamento de dados em computador, sendo-lhes atribuída a nota obtida naquela componente.**

5º - a aprovação por **exame** é obtida:

$$\text{nota final} = (0.8 \times \text{nota prova escrita teórico-prática}) + (0.2 \times \text{nota avaliação prática}) \geq 10 \text{ valores}$$

6º - De acordo com o Regulamento Interno da ESACB não é permitida a frequência da disciplina dos alunos que não se encontrem inscritos na mesma.

## 3. MATERIAL INDIVIDUAL OBRIGATÓRIO

- \* Lições da disciplina (encontram-se disponíveis na AE);
- \* Máquina calculadora;

**4. INFORMAÇÕES AOS ALUNOS** - Serão afixadas no placard da disciplina.

**5. HORÁRIO DE DÚVIDAS** - em horário a afixar oportunamente e mediante marcação prévia com o Professor.

Castelo Branco,

O Professor Adjunto,

---

## LIÇÃO Nº 2 TEÓRICA

### 1. PREDIÇÃO DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO

A execução de estudos de crescimento e produção torna possível obter uma resposta quantificada dos efeitos dos tratamentos e intensidade de exploração realizados nas matas. Só deste modo se poderá ter uma base científica de suporte para se decidir racionalmente como intervir nos povoamentos florestais.

Actualmente, os modelos de crescimento e produção apresentam-se como das principais ferramentas para o ordenamento e gestão da floresta. Alguns dos usos mais importantes dos modelos incluem a capacidade de prever a produção futura e de explorar as opções de intervenção silvícola. De facto, os modelos providenciam uma forma eficiente de prever os recursos, mas um outro papel igualmente importante é a sua capacidade de explorar as opções de gestão e alternativas silvícolas, fornecendo um suporte técnico-científico de apoio à decisão (p.e., Alder, 1980; Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983; Davis & Johnson, 1987; Vanclay, 1994).

O termo modelo de crescimento e produção, em geral, refere-se a um sistema de equações as quais predizem o crescimento e produção de um povoamento florestal sobre uma ampla variedade de condições. O crescimento refere-se ao aumento em dimensões de um ou mais indivíduos no povoamento florestal ao longo de um dado período de tempo. A produção refere-se às dimensões finais no fim de um certo período.

Na construção de um modelo de crescimento e produção é essencial:

- o conhecimento dos processos biológicos que afectam o crescimento das árvores e a sua dinâmica em povoamento,
- a obtenção dos dados em inventários dinâmicos dando indicação do crescimento e mudanças na floresta e
- a decisão de qual a abordagem a realizar em termos da filosofia de modelação e quais as componentes de crescimento a discriminar no modelo (p.e., Alder, 1980; Avery & Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983; Davis & Johnson, 1987; Vanclay, 1994).

Na fase de implementação do modelo este pode ser aplicado, essencialmente, de uma das seguintes três maneiras:

- ❑ como uma simples tabela ou gráfico ou conjunto de tabelas ou gráficos. Estes podem ser usados directamente pelo gestor florestal ou serem introduzidos de forma tabelar num computador para o tratamento de dados obtidos por inventário,
- ❑ como um programa em computador que produzirá uma tabela ou gráfico do crescimento e produção, para uma particular situação de intervenções silvícolas. Tal será, possível quando o modelo sendo suficientemente flexível, não permite a sua apresentação de uma forma única ou,
- ❑ como um programa de computador, formando um sub-modelo integrado um programa mais amplo de planeamento florestal, o qual usualmente incorpora informação do inventário numa base de dados, assim como de condicionantes económicas e técnicas na exploração e intervenções silvícolas (Alder, 1980).

Ao modelo de crescimento e produção, em particular para cada uma das equações que o compõem, deve-se juntar a seguinte informação descritiva:

- ❑ espécie ou grupo de espécies, a que se aplica,
- ❑ localidade e região, onde se pode empregar,
- ❑ definição da variável dependente (p.e., volume total, mercantil, com ou sem casca, etc.) e respectiva unidade,
- ❑ definição das variáveis independentes (p.e., diâmetros com ou sem casca, alturas totais ou parciais) e respectivas unidades,
- ❑ número de árvores utilizadas na construção,
- ❑ método usado na determinação das variáveis obtidas por cálculo,
- ❑ indicação de valores obtidos por extrapolação,
- ❑ indicação da exactidão,
- ❑ autor e
- ❑ data (p.e., Marques, 1981).

Se não existirem modelos apropriados para a predição do crescimento e produção o recurso usual é utilizar os procedimentos de inventário para estimar o crescimento futuro do povoamento através do método clássico das tabelas de projecção (p.e., Clutter *et al.*, 1983).

### 1.1. Construção de modelos de crescimento e produção

Na construção de um modelo de crescimento e produção deverá ter-se em consideração:

- ❑ que tipo de modelo se irá usar,
- ❑ que “inputs” serão necessários,
- ❑ que “outputs” se pretendem,
- ❑ que dados se dispõem para o seu ajustamento,
- ❑ que recursos se dispõem para a construção, teste e utilização do modelo (Vanclay, 1994).

Devendo o modelo de crescimento e produção ser concebido de forma:

- ❑ a permitir a projecção das variáveis de uma forma recorrente,
- ❑ a excluir a inclusão de variáveis ou parâmetros desnecessários no modelo,
- ❑ a restringir as medições de campo ao mínimo de variáveis,
- ❑ a evitar a complexidade da estrutura do modelo e
- ❑ a favorecer a aplicação generalizada do modelo (Vanclay, 1994).

Em termos genéricos, podemos considerar quatro fases na construção de um modelo de crescimento e produção:

- ❑ obtenção da amostra (dados),
- ❑ concepção da estrutura do modelo,
- ❑ modelação de cada uma das componentes do modelo, incluindo
  - selecção dos modelos candidatos,
  - ajustamento dos modelos,
  - estudo dos modelos e
  - selecção do melhor modelo e
- ❑ avaliação do modelo na sua globalidade (p.e., Alder, 1980; Tomé, 1988; Vanclay, 1994).

A obtenção da amostra (dados) passa pela instalação de parcelas de estudo para a medição das variáveis dendrométricas necessárias à quantificação do crescimento e produção. Neste âmbito é fundamental definir o que constitui a produção a quantificar. Por exemplo, esta poderá ser a madeira mercantil, a casca, a resina ou a folhagem (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Vanclay, 1994).

Após a obtenção dos dados, o passo seguinte na construção de um modelo de crescimento e produção é a concepção da sua estrutura, através da formulação das relações funcionais necessárias e o subsequente ajustamento dos modelos aos dados. O tipo de curvas ajustadas podem estar baseadas nalguma lei de crescimento ou apenas representarem a tendência das variáveis em análise (Alder, 1980).

As variáveis a usar nos modelos devem ser cuidadosamente escolhidas de forma a assegurarem predições biologicamente realistas na amplitude de condições possíveis. O conhecimento dos processos biológicos que afectam o crescimento das árvores e a sua dinâmica em povoamento ajudam na formulação de hipóteses para a selecção de variáveis explicativas potencialmente úteis (Vanclay, 1994). De igual forma, é importante assegurar que os modelos a ajustar aos dados (modelos candidatos) não violam nenhum dos princípios biológicos do crescimento das árvores e dos povoamentos (p.e., Tomé, 1988; Vanclay, 1994).

A examinação visual cuidada dos dados é uma das melhores formas para começar a entender o conjunto dos dados recolhidos, escolher os modelos candidatos para representar os dados e procurar erros nos modelos e nos dados. Por exemplo, realizando os gráficos dos dados, mostrando a relação entre a variável dependente (variável resposta) e as possíveis variáveis independentes (variáveis explicativas) (Vanclay, 1994).

Após os modelos serem ajustados aos dados, estes deverão ser testados para determinar a sua validade e precisão. No estudo dos modelos, utilizam-se diversas estatísticas, calculadas ou não durante o processo de ajustamento dos modelos, para avaliar comparativamente as prestações destes, como por exemplo a qualidade do ajustamento, a capacidade preditiva e a existência de colinearidade, com vista à selecção do melhor modelo de entre os candidatos (p.e., Tomé, 1988; Carvalho, 1999).

A validação dos modelos pretende determinar se os modelos de facto representam a realidade. Assim,

- a predição aproximar-se-á da realidade quanto mais esforços forem postos na recolha de dados e construção do modelo,
- a partir de determinada altura o aumento dos custos de recolha de dados e construção do modelo não compensam o aumento de precisão,

- o modelo será mais ou menos preciso para determinadas amplitudes da aplicação das variáveis de predição e
- o processo de validação deve assumir igual importância que a da construção do modelo (Vanclay, 1994).

Se for detectada alguma falha haverá necessidade de voltar ao campo de modo a melhorar a estrutura do modelo. Noutros casos haverá que recorrer a conceitos alternativos para o delineamento e recolha de dados (p.e., Alder, 1980; Vanclay, 1994).

No processo de validação o modelo será usado para prever o comportamento dos povoamentos onde se recolheram os dados e os resultados comparados com as observações actuais - análise de resíduos de predição. O cálculo dos resíduos do modelo são a maneira prática de avaliar as propriedades dos erros do modelo e a capacidade preditiva do modelo. Como os resíduos crescem com a dependência das variáveis calculadas, em geral, analisam-se os resíduos da variável final. É frequente, ser necessário repetir o processo de validação várias vezes, procedendo ao ajustamento ou a correções ao modelo nos estágios onde ocorreram anomalias. Neste domínio, revela-se útil a realização e o exame visual de gráficos do tipo:

- gráficos mostrando os dados e o modelo ajustado em relação às variáveis independentes escolhidas,
- gráficos dos resíduos em relação aos valores estimados, e em relação a variáveis independentes alternativas e em relação a outras estatísticas, para verificação da validade de alguns dos pressupostos da análise de regressão e
- gráficos mostrando o modelo ajustado para uma ampla gama de valores das variáveis independentes para avaliação dos seus extremos (validade da extrapolação) (Vanclay, 1994).

A validação do modelo pode utilizar os mesmos dados que os usados na construção do modelo - autovalidação - ou um conjunto de dados que não foram utilizados na construção (ajustamento) do modelo - validação independente ou cruzada. Preferencialmente, deve-se optar pela segunda alternativa, visto que, a validação cruzada, ao recorrer à aplicação do modelo a dados adicionais independentes dos utilizados no ajustamento do modelo, permite detectar inconsistências na formulação do modelo que no caso da autovalidação podem ficar camufladas pelas características dos dados utilizados (Alder, 1980). Existem diversas razões, para que os modelos apresentem um mau ajustamento quando da validação, como por exemplo:

- ❑ os dados originais usados na construção do modelo apresentam um padrão de desenvolvimento, quanto ao crescimento, diferente dos dados de validação,
- ❑ os métodos de ajustamento das equações usadas no modelo foram inapropriadas,
- ❑ a extrapolação de algumas das equações para fora da região em que foram ajustadas,
- ❑ se o modelo envolve um sistema de equações, este pode apresentar-se instável quando tratado como um todo, embora, cada função separadamente se ajuste adequadamente aos dados - para estes casos, existem métodos matemáticos que nos permitem construir sistemas de equações compatíveis entre si - e
- ❑ erros de cálculo e de aplicação das equações e/ou gráficos do modelo (p.e., Alder, 1980; Vanclay, 1994).

Outra fase importante da construção do modelo é a avaliação do modelo de crescimento e produção na sua globalidade, a qual deve revelar se existem erros e deficiências no modelo:

- ❑ se os diversos modelos que o constituem representam adequadamente os processos biológicos envolvidos,
- ❑ se estão correctamente combinados entre si, confirmando-se que não existem inconsistências internas,
- ❑ se as constantes numéricas obtidas no ajustamento dos modelos são de facto as melhores estimativas,
- ❑ qual a amplitude de condições a que o modelo se aplica,
- ❑ se o modelo satisfaz os requisitos de precisão necessários,
- ❑ se o modelo fornece predições realísticas dentro de um leque de aplicações semelhantes e
- ❑ como as predições do modelo são sensíveis aos erros das estimativas dos coeficientes e das variáveis de entrada (Vanclay, 1994).

## 2. O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DAS ÁRVORES E DOS POVOAMENTOS

Na estimativa do crescimento dos povoamentos, as árvores que os constituem não podem ser dissociadas do conjunto a que naturalmente pertencem. Ao longo do tempo a estrutura do povoamento florestal sofre alterações (Figura 2.1.) motivadas pelo crescimento, pelos cortes e pela mortalidade natural:

- através do crescimento que as árvores nele integradas vão sofrendo;
- pelo material lenhoso que vai sendo retirado nas operações culturais de limpeza ou desbaste (cortes);
- pela integração de novas árvores que foram crescendo ao longo do tempo e atingiram dimensões mínimas necessárias para serem quantificadas (ingresso) e
- pelas árvores que foram desaparecendo por mortalidade natural (p.e., Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983).

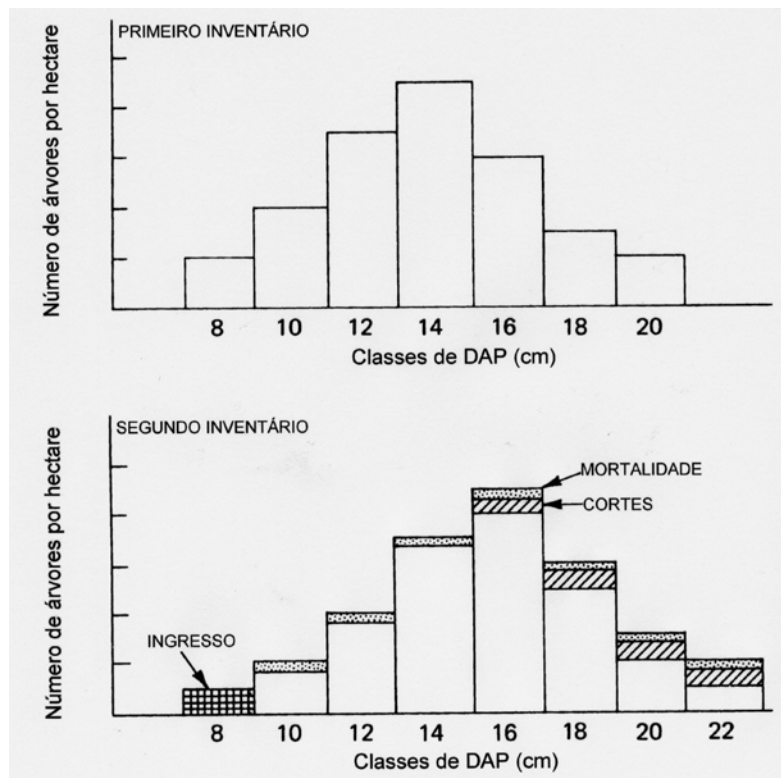


FIGURA 2.1. Modificações na estrutura de um povoamento regular devido ao crescimento ao longo de um determinado período de tempo (Husch *et al.*, 1982)

## 2.1. O crescimento e produção da árvore individual

O crescimento das árvores florestais pode ser considerado como o resultado de dois crescimentos, o crescimento em altura, através do meristema terminal (alongamento) e o crescimento em diâmetro, através dos meristemas laterais (engrossamento). Estes crescimentos vão implicar uma modificação do volume, peso e forma iniciais da árvore, traduzindo-se em produtividade ou seja, no aumento do capital gerador que neste caso é a própria árvore. Como o volume surge à maneira de uma combinação do alongamento e do engrossamento, convém analisar cada um destes casos por si, ou seja, o crescimento em altura e o crescimento em diâmetro (Figura 2.2.) (p.e., Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Marques, 1981; Avery & Burkhart, 1983; Oliveira, 1984).

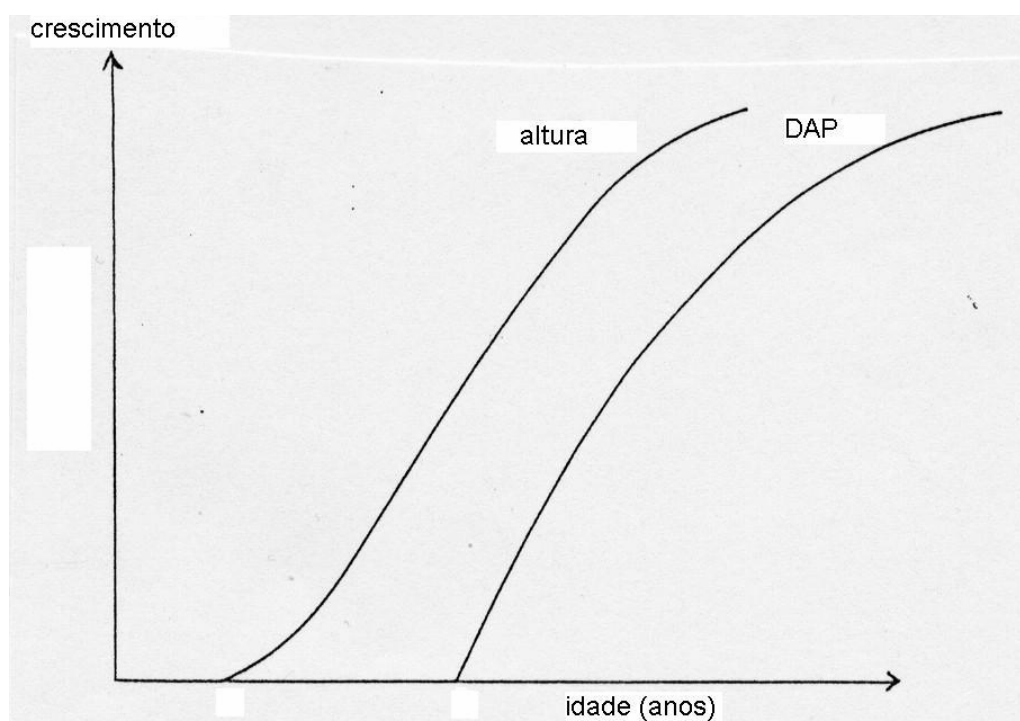


FIGURA 2.2. Curvas de crescimento em altura total e de crescimento em diâmetro (Marques,1981)

O crescimento em altura, usualmente, apresenta uma periodicidade estacional, sendo este fundamentalmente regulado pelas características genéticas da árvore em causa, culminando este, de um modo geral, no primeiro quarto da vida das árvores. Durante a senescência o crescimento em altura atenua-se até que essa dimensão se aproxima da altura máxima alcançada pelo ecótipo em causa na estação em que se desenvolve (p.e., Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983; Oliveira, 1984).

O crescimento em diâmetro é bastante influenciado pela estação através da sua fertilidade e de modo indirecto pela densidade do povoamento. O crescimento em diâmetro começa a ser mais intenso na fase de maturidade da árvore, depois do crescimento em altura começar a decrescer de intensidade (p.e., Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Marques, 1981; Avery & Burkhart, 1983; Oliveira, 1984). A curva do desenvolvimento do diâmetro à altura do peito (DAP) em função da idade só se inicia ao nível de 1.30 m, portanto já bem dentro do período juvenil, que corresponde, segundo Marques (1981), geralmente, a um período inferior a 10 anos.

Em termos genéricos, a dinâmica do crescimento de uma árvore pode ser representada graficamente conforme se pode observar na figura 2.3. (p.e., Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Marques, 1981; Avery & Burkhart, 1983; Oliveira, 1984).

A curva em sigmoidal representa o crescimento acumulado ou produção, em que a fase de juventude tem um desenvolvimento logarítmico, na fase de maturidade a curva tende a desenvolver-se rectilineamente, o que implica que a iguais períodos de tempo correspondem iguais acréscimos da variável e na fase da senescência o acréscimo é cada vez mais insignificante (Gomes, 1957).

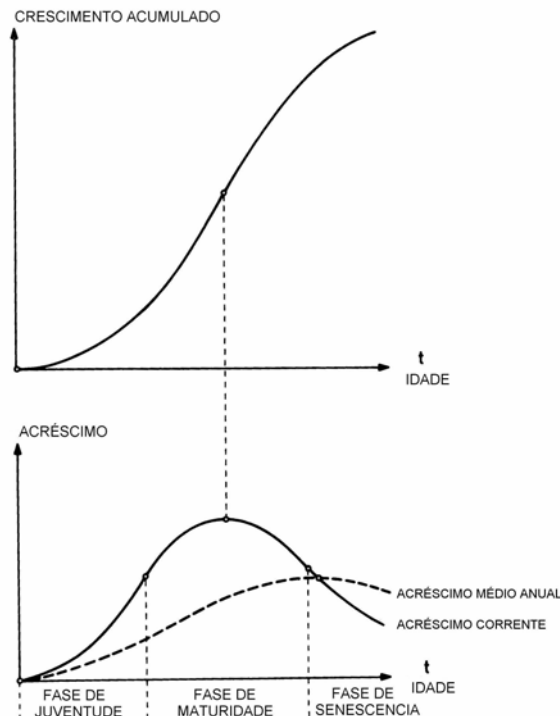


FIGURA 2.3. Dinâmica do crescimento da árvore - crescimento acumulado ou produção e acréscimos (Marques, 1981)

Como variáveis mais representativas da intensidade do crescimento temos os *acrécimo médio anual* ( $\bar{i}$ ) e o *acrécimo periódico anual ou corrente* ( $i_{t1-t2}$ ) definidos da seguinte maneira:

$$\bar{i} = \frac{X_t}{t}$$

$$i_{t1-t2} = \frac{X_{t2} - X_{t1}}{t2 - t1}$$

onde,  $X_t$  - valor do crescimento a dado momento  $t$ ;

$t$  - idade observada no referido momento  $t$ ;

$X_{t1}$  - valor do crescimento observado no momento  $t1$ ;

$X_{t2}$  - valor do crescimento observado no momento  $t2$ ;

$t1$  - idade observada no momento  $t1$

$t2$  - idade observada no momento  $t2$ .

A curva do acréscimo corrente é obtida a partir da primeira derivada da curva do crescimento acumulado. Esta curva tem um máximo e normalmente dois pontos de inflexão. Estes pontos permitem estabelecer as três fases da vida de uma árvore ou de um povoamento regular. O momento em que a curva do acréscimo médio anual intercepta a curva do acréscimo corrente marca o termo de explorabilidade absoluta, ou seja o que visa o máximo de produção de material lenhoso por unidade de tempo. A partir daí o acréscimo médio anual entra na fase descendente e o aumento bruto que ainda possa existir já não oferece vantagens sob o ponto de vista económico (Marques, 1981).

Quando se fala em crescimento, quer da árvore quer do povoamento é necessário definir sem ambiguidade de que crescimento se trata, qual a variável e qual o período de tempo e local a que o estudo se refere, pois, só assim é possível estabelecer comparações para a mesma espécie noutros locais ou com outras espécies em estações idênticas e concluir do interesse ou não do seu fomento.

Para o caso do engrossamento do tronco, deve-se referir se a variável em estudo é o diâmetro ou a área seccional e se a casca é ou não incluída. No caso do alongamento do tronco importa assinalar se é a altura total ou uma certa e determinada altura parcial que se analisa. Quando se aborda a questão do evoluir da forma do tronco, do perfil longitudinal deste, é preciso definir previamente qual o índice de forma, quociente ou coeficiente, a que se recorre. Quando se analisa o crescimento em volume importa assentar no tipo de volume em causa: total ou um dado volume parcial, incluindo ou não a casca (Gomes, 1957).

A partir dos dados do crescimento é possível realizar o ajustamento de modelos/funções de crescimento, aspecto este de particular interesse para o estudo do crescimento. Pois que, para o investigador é por vezes mais importante a função de crescimento ajustada do que os dados a partir dos quais esta foi obtida. Isto porque, uma curva bem ajustada traduz em média a realidade que se "esconde" por detrás de um conjunto de observações, livrando-a das flutuações a que os dados biológicos estão sujeitos (provenientes quer da variabilidade genética, quer ambiental, como até dos próprios métodos de medição). De facto, quando se analisa o crescimento de uma árvore deparam-se-nos, por vezes, grandes oscilações motivadas, não pela tendência geral do crescimento mas por causas extrínsecas como sejam a temperatura e a pluviosidade. Por outro lado, a função ajustada permite-nos realizar estimativas instantâneas do crescimento para as quais não dispunhamos de informação, permitindo um estudo mais completo do crescimento (p.e., Gomes, 1957; Tomé, 1989).

Actualmente, não existe nenhuma função genuína que represente o crescimento da árvore que se baseie nalguma lei natural, exceptuando o caso da função Richards-Chapman, que embora parcialmente, ilustra o processo do crescimento (Alder, 1980).

Analisando o processo de crescimento, podemos apercebermo-nos que o modelo/função de crescimento a ajustar deve estar de acordo com os princípios do crescimento biológico, ou seja:

- ❑ a curva é limitada pela produção zero no início e por uma produção máxima finita atingida em idade avançada (existência de uma assíptota);
- ❑ a taxa relativa de crescimento apresenta um máximo na fase inicial, após o qual é decrescente;
- ❑ o declive da curva aumenta com produções crescentes na fase inicial e decresce na fase final (tem ponto de inflexão) (Tomé, 1989).

No anexo I apresenta-se uma lista de modelos de natureza empírica e de natureza biológica utilizados na modelação do crescimento da árvore individual. Os modelos/funções de natureza empírica são estabelecidos de acordo com uma fórmula matemática, que pretendem traduzir o crescimento, em sentido lato, através da relação variável dependente e variáveis independentes sem, no entanto, atender às implicações matemáticas daquelas com os princípios do crescimento biológico. As restrições aos parâmetros corresponde à forma mais adequada de proceder à modelação usando estes modelos/funções visto que nenhum deles obedecem a todos os princípios de crescimento biológico (Tomé, 1989). Os modelos/funções de natureza biológica são construídos "à priori" com base no

conhecimento existente sobre o processo biológico do crescimento e assim, as estimativas dos parâmetros obtidos podem ser interpretados de acordo com a formulação do modelo, permitindo avançar no conhecimento das relações funcionais - causa/efeito - entre variáveis (Tomé, 1989) sendo, por isso, preferível o seu uso.

## 2.2. O crescimento e produção dos povoamentos

Em termos gerais, podemos considerar que o crescimento e produção dos povoamentos florestais é determinado fundamentalmente por quatro factores:

- ❑ a idade do povoamento, ou no caso dos povoamentos irregulares, a distribuição das idades;
- ❑ a capacidade produtiva da estação ou seja, a qualidade da estação;
- ❑ a intensidade de utilização dessa mesma capacidade produtiva e
- ❑ a aplicação de intervenções culturais como os desbastes, a fertilização e a desmatação (p.e., Clutter *et al.*, 1983; Avery & Burkhart, 1983; Davis & Johnson, 1987).

No contexto da gestão florestal a qualidade da estação expressa a produtividade média ou o potencial produtivo de uma designada área para o crescimento de uma espécie particular ou tipo florestal. Assim, é possível recorrer ao uso do acréscimo médio anual em volume total observado a uma idade pré-estabelecida ou na sua idade de culminância ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) para a avaliação da qualidade de estação (p.e., Clutter *et al.*, 1983; Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983; Davis & Johnson, 1987).

Para além da estação, outro parâmetro determinante do crescimento e produção dos povoamentos é a densidade e consequentemente a lotação dos povoamentos. Os aspectos mais importantes para a caracterização de uma determinada existência ou lotação específica são:

- ❑ as espécies presentes,
- ❑ o número de árvores por espécie e por classes de dimensão e
- ❑ a distribuição espacial das árvores.

Todas as medidas de densidade e de lotação são medidas dinâmicas. Os povoamentos subplotados tornam-se menos lotados ao longo do tempo e a mortalidade e os cortes (limpezas e desbastes) afectam a densidade dos povoamentos (p.e., Husch *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983; Davis & Johnson, 1987).

A medição da densidade tem particular importância na obtenção de informação sobre as condições de crescimento da árvore individual. Como medidas absolutas de densidade é usual utilizar o número de árvores por hectare, a área basal por hectare ou o volume por hectare. Dentro de determinados limites, quanto maior é o espaço de crescimento por árvore maior será o seu crescimento individual. (p.e., Avery & Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983).

O crescimento em altura não é grandemente afectado pela manipulação da densidade do povoamento. A altura média do povoamento pode ser alterada pelos desbastes, em função do tipo e método de desbaste, mas dentro de determinados limites de densidade o crescimento em altura parece não ser afectado, especialmente no que diz respeito às dominantes e codominantes (p.e., Husch *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983).

O crescimento em diâmetro das árvores individuais é tanto maior quanto menor for a densidade do povoamento (Figura 2.4.). A competição afecta o crescimento em diâmetro mesmo para baixas densidades do povoamento, particularmente, nas espécies de crescimento rápido e nas intolerantes à sombra. A determinada idade existe um limite da densidade abaixo do qual não haverá mais aumento de crescimento em diâmetro mesmo que se continue a reduzir a densidade do povoamento. Abaixo deste limite as árvores crescem livres de competição intraespecífica e são usualmente denominadas de árvores em crescimento livre (p.e., Husch *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983).

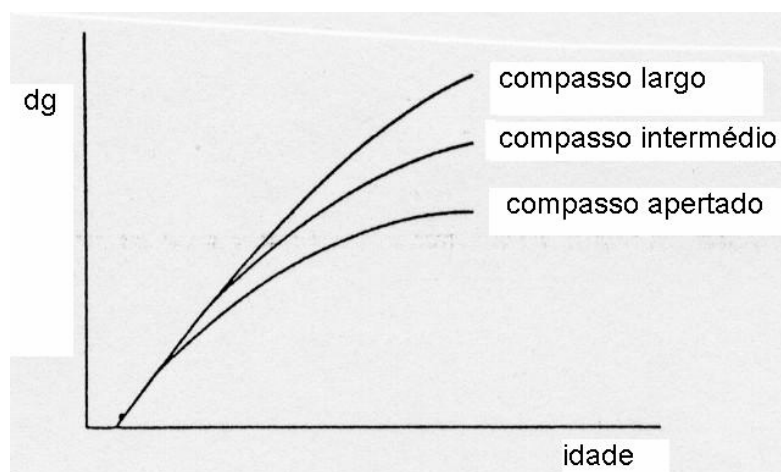


FIGURA 2.4. Desenvolvimento do diâmetro médio em plantações a diferentes compassos (Clutter *et al.*, 1983)

Relativamente à forma do tronco, árvores isoladas apresentam um perfil do tronco mais cónico. O efeito da densidade do povoamento torna o perfil do tronco das árvores individuais mais cilíndricos à medida que a densidade aumenta. Na prática, diferenças na forma do tronco, que resultam da variação da densidade do povoamento, podem ter impacto económico no volume do tronco.

Segundo Clutter *et al.* (1983), nos povoamentos regulares, dentro de determinados limites, quanto maior é a densidade do povoamento maior será a produção (Figura 2.5.). Os desbastes não afectam grandemente a produção bruta em volume por hectare, excepto se o povoamento estiver severamente sobrepovoado. Em geral, a produção bruta em povoamentos não desbastados pode considerar-se igual ao que é explorado no povoamento mais a produção saída em desbaste (Figura 2.6.).

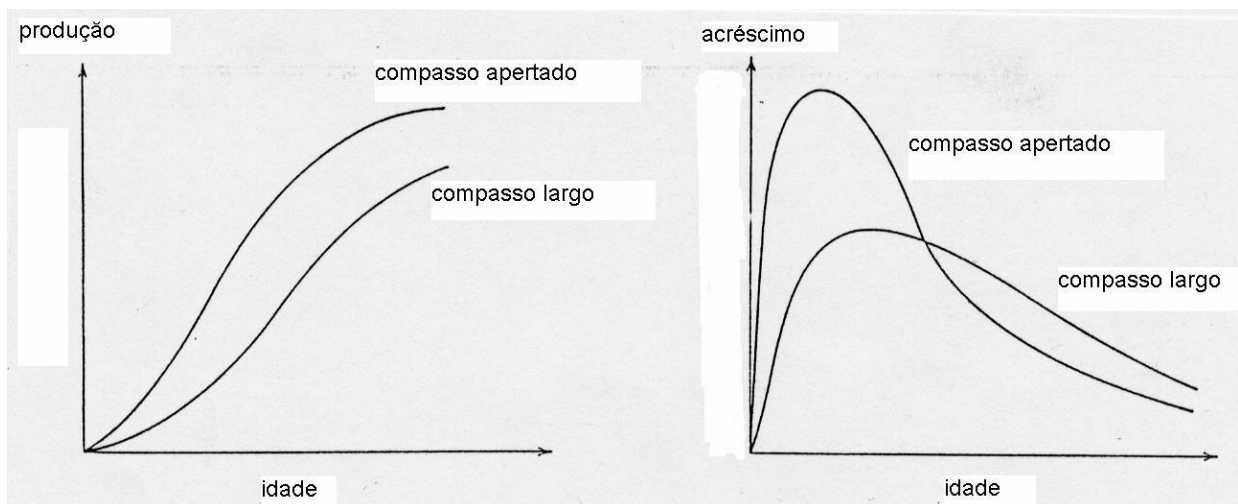


FIGURA 2.5. Efeito da densidade em povoamentos regulares (Clutter *et al.*, 1983)

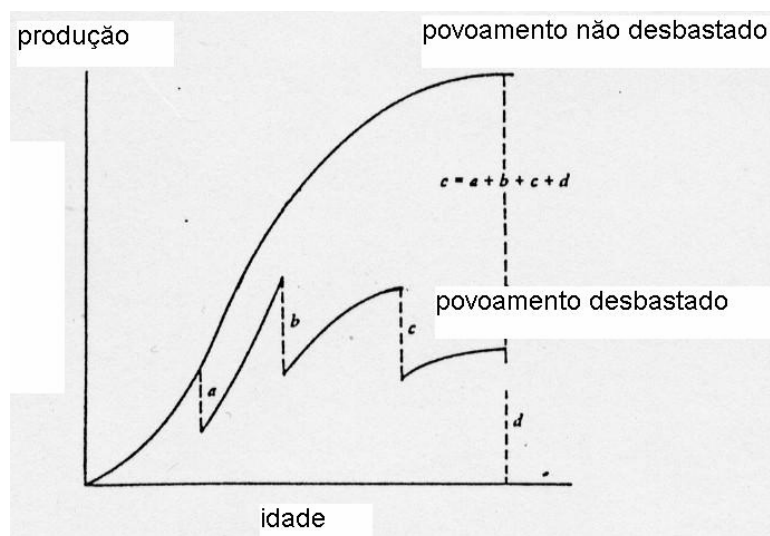


FIGURA 2.6. Efeito dos desbastes na produção total em povoamentos regulares ( Clutter *et al.*, 1983)

Nos povoamentos irregulares uma gestão sustentada dos recursos recorrendo a uma exploração contínua é obtida cortando apenas o equivalente ao acréscimo mais o ingresso observado em cada período que medeia os cortes. A relação típica entre o acréscimo anual em volume e a produção nos povoamentos irregulares pode ser observada na figura 2.7.

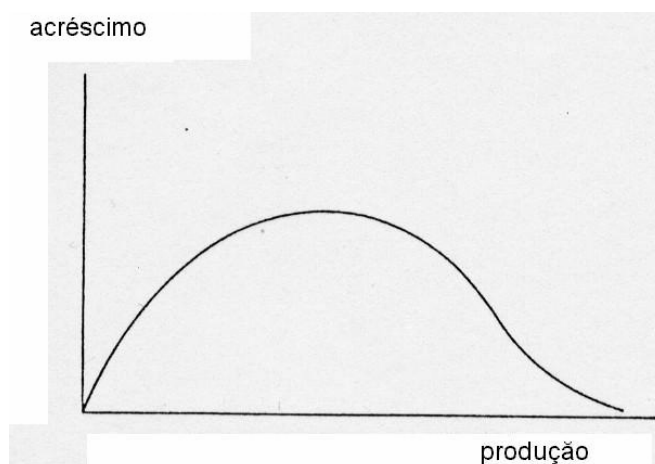


FIGURA 2.7. Relação típica entre o acréscimo anual em volume e a produção nos povoamentos irregulares (Clutter *et al.*, 1983)

Analisando, por fim, o processo produtivo da árvore individual em povoamento, na figura 2.8. evidenciam-se as relações entre as componentes da árvore e do povoamento (Avery & Burkhart, 1983), onde se pode concluir que este pode ser explicado de acordo com:

- as características actuais da própria árvore (dimensões e idade),
- a produtividade da estação,
- as influências micro-ambientais e genéticas - avaliado através da razão entre a dimensão da árvore e a dimensão da árvore média e a razão entre a dimensão da árvore e a dimensão das árvores dominantes (p.e.,  $d/dg$ ,  $d/ddom$  e  $h/hdom$ ) e
- o ambiente geral de competição (p.e., avaliado através da área basal por hectare, da área basal das árvores maiores que a árvore central, do factor de competição das copas, do diâmetro médio e da razão da copa) e ainda, da influência dos vizinhos através do cálculo dos índices de competição dependentes da distância (Tomé, 1989).

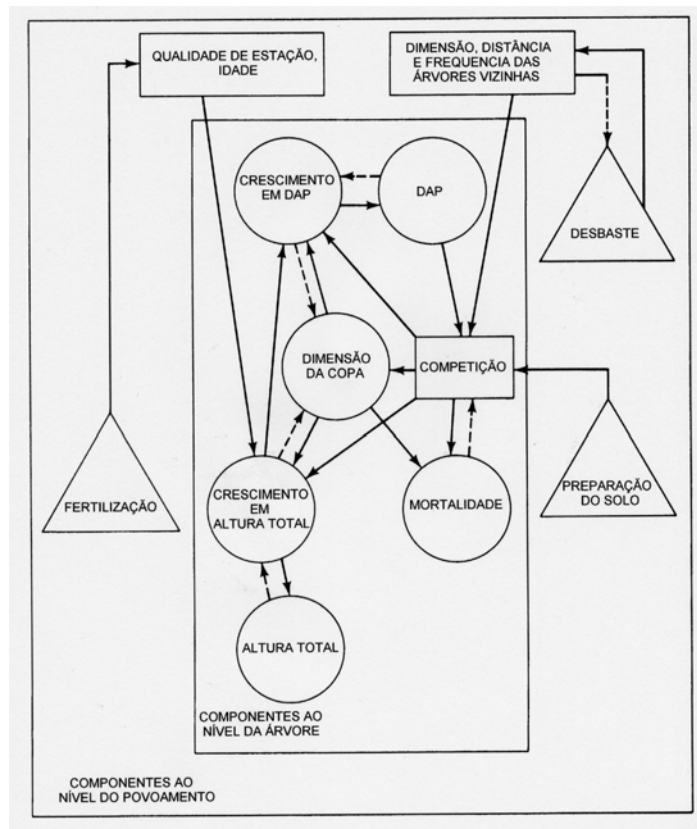


FIGURA 2.8. Relações entre as componentes da árvore e do povoamento (Avery & Burkhart, 1983)

**PRÁTICA**

- **Cálculo de acréscimos. Curva de crescimento acumulado. Funções de crescimento.**

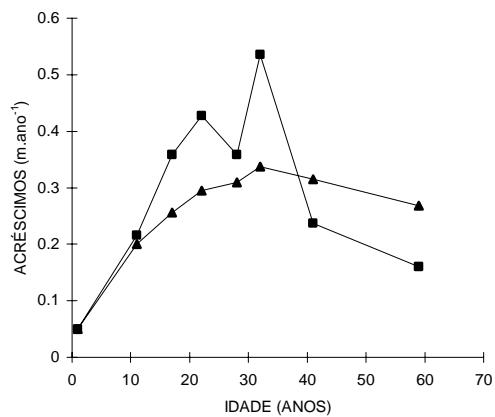
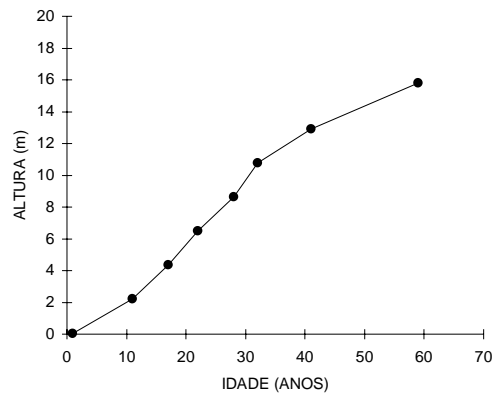
**EXERCÍCIO 1** - Considere as medições em altura total acumulada, efectuadas ao longo da vida da árvore (árvore nº30 - Feiteira 1), expressas na tabela.

<b>Altura total acima do solo (m)</b>	<b>Idade à altura indicada (anos)</b>
0.05	1
2.21	11
4.36	17
6.50	22
8.65	28
10.79	32
12.92	41
15.80	59

- Calcule os acréscimos médios anuais referentes a cada momento de medição.
- Calcule os acréscimos correntes (periódicos anuais) referentes a cada período de medição.

**EXERCÍCIO 2** - Considere os gráficos do crescimento acumulado em altura total e dos respectivos acréscimos médios e correntes.

- Compare-os com os gráficos teóricos do crescimento acumulado e dos respectivos acréscimos médios e correntes. Comente.



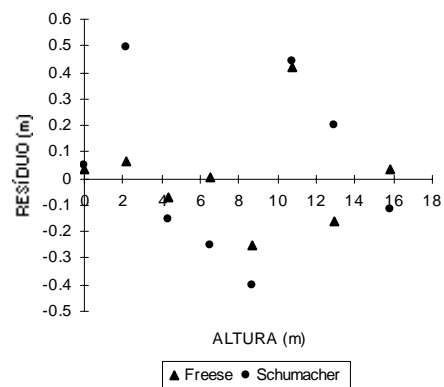
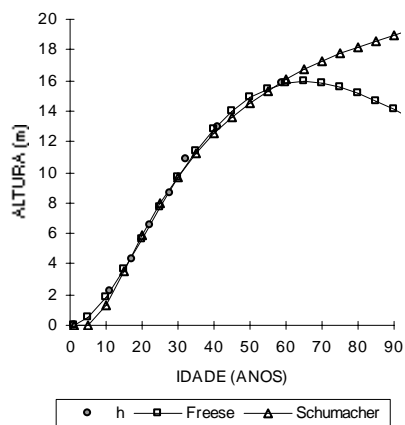
—▲— am=h/t —■— ac=(h1-h0)/(t1-t0)

**EXERCÍCIO 3** - Considere a função de crescimento empírica de Freese e a função de natureza biológica de Schumacher ajustadas aos dados de crescimento em altura acumulada.

- Estime a altura total para as idades expressas na tabela do EX.1. com ambos os modelos.
- Estime a altura total da árvore à idade de 30 anos com ambos os modelos.
- Estime a altura total da árvore à idade de 80 anos com ambos os modelos.
- Avalie a prestação de ambos os modelos através dos erros cometidos. Comente os gráficos que se apresentam.

	MODELOS	ESTATÍSTICAS
Freese	$h = 0.01928 \times t^{2.113} \times 0.96816 \ t$	QMR=0.0555; $R^2=0.99820$ ; $R^2_{AJ}=0.9981$ ; PRESS=1.1; APRESS=1.2.
Schumacher	$h = 26.503 \times e^{\frac{-30.09}{t}}$	QMR=0.1225; $R^2=0.9964$ ; $R^2_{AJ}=0.9958$ ; PRESS=1.2; APRESS=2.8.

onde,  $h$  - altura total (m);  $t$  - idade (anos).



## LIÇÃO Nº 3

### TEÓRICA

### 3. AQUISIÇÃO DE DADOS - ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

A tarefa de aquisição de dados passa pela instalação de parcelas de estudo no terreno para a medição das variáveis necessárias à quantificação do crescimento e produção ao nível da árvore e dos povoamentos. Estas medições irão ser a matéria prima para os estudos de crescimento e produção e eventual construção de modelos, nesse sentido, é evidente a necessidade de que este trabalho seja bem executado (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Husch et al., 1982; Avery & Burkhart, 1983). Nas ciências florestais da Europa Central as parcelas de estudo ocuparam um lugar de destaque desde meados do século XIX, tendo permitido a organização de modelos de produção para as principais espécies florestais ainda nos finais desse mesmo século (Oliveira, 1980)

#### 3.1. Parcelas de estudo

O método mais natural de acompanhar o crescimento das árvores e dos povoamentos é através da medição periódica, onde se vai estudando a evolução das árvores presentes. As parcelas são instaladas no terreno durante um determinado período de tempo realizando-se o seu acompanhamento passivo, através de medições directas nas árvores do povoamento no princípio e no fim desse período (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Husch et al., 1982; Avery & Burkhart, 1983).

Assim, podemos classificar as parcelas de estudo quanto ao tempo em que estas permanecem instaladas no terreno:

- Parcelas permanentes - quando o período de observação é superior a 20 anos correspondendo-lhe, no mínimo, quatro medições sucessivas. As parcelas devem apresentar uma área nunca inferior a 1000 m<sup>2</sup> ou uma área que assegure a existência de pelo menos cerca de 100 árvores no fim do período de observação. Devem, ainda, existir faixas de isolamento entre parcelas, com uma largura mínima de 15 a 20 m,
- Parcelas semi-permanentes - quando o período de observação é inferiores a 20 anos, realizando-se menos de quatro medições sucessivas e
- Parcelas únicas ou temporárias - quando são medidas apenas uma vez.

Optam-se por parcelas de estudo permanentes ou semi-permanentes quando se pretende realizar o estudo de variáveis dependentes do tempo, como seja o crescimento da árvore individual e dos povoamentos. Já se a variável em estudo for independente do tempo, como por exemplo a avaliação da produção, é possível recorrer-se a parcelas de estudo temporárias para a aquisição de dados.

No entanto, as parcelas de estudo temporárias têm também a sua aplicação no estudo de variáveis dependentes do tempo, desde que, se utilizem complementarmente metodologias indirectas para a reconstituição dos crescimentos da árvore individual e/ou dos povoamentos, como o método das séries de crescimento e o método de análise de tronco.

### **3.1.1. Parcelas permanentes e semi-permanentes**

As parcelas permanentes são as importantes contribuidoras para os modelos de crescimento e produção, sendo indispensáveis para a validação e manutenção do modelo de crescimento e produção e também muitas vezes, para a construção do próprio modelo. As parcelas semi-permanentes também têm larga utilização, resultando normalmente de parcelas temporárias que se deixaram assinaladas no terreno para observação posterior (Oliveira, 1980).

Como principal dificuldade na concretização da recolha de dados em parcelas permanentes e semi-permanentes é que o acompanhamento deste tipo de parcelas torna-se excessivamente dispendioso e o carácter de longo prazo aumenta grandemente a probabilidade de o trabalho não ter continuidade. Em Portugal, existem vários trabalhos incluindo parcelas permanentes que foram abandonados. Convém também referir, que por razões de ordem económica, se encontra limitado o número de combinações de interesse a incluir numa determinada experiência, e quando não, o carácter de longo prazo diminui grandemente a exequibilidade da variedade dos ensaios a experimentar (Tomé, 1989).

Por outro lado, a capacidade de uma resposta rápida e correcta à evolução tecnológica e intensificação da silvicultura não pode conciliar-se com a espera durante dezenas de anos, pelos resultados das parcelas permanentes e semi-permanentes (Tomé, 1989).

### **3.1.2. Parcelas temporárias**

Quando se torna necessário obter informação sobre o crescimento num curto espaço de tempo, é frequente socorreremo-nos de metodologias indirectas que pretendem realizar a reconstituição da história do crescimento da árvore ao longo do tempo. Para esse efeito, recorre-se à instalação de parcelas temporárias, associadas a métodos de reconstituição do crescimento da árvore, como são o método das séries de crescimento e o método da análise tronco. No entanto, é de sublinhar que ao contrário da parcelas permanentes, o recurso as parcelas temporárias não permitirá conhecer as ocorrências quanto aos cortes, à mortalidade e ao ingresso (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Husch et al., 1982; Avery & Burkhart, 1983).

#### **3.1.2.1. Método das séries de crescimento**

O método das séries de crescimento pretende grosso modo, estabelecer um conjunto de parcelas temporárias em povoamentos da espécie em estudo, segundo uma gradação de idades, de modo a reconstituir temporalmente as várias fases da vida da espécie. A implementação do método reveste-se de algumas dificuldades já que para o estabelecimento da série de crescimento, ou seja do conjunto de parcelas separadas no tempo e no espaço, se torna necessário encontrar representadas uma larga gama de classes de idade e todas elas em condições de crescimento idênticas, como p.e. condições edafo-climáticas, qualidade de estação, composição do povoamento, sub-bosque, intervenções culturais, etc., por forma a que os resultados a obter apresentem uma forte consistência com a realidade, i.é. como se se tratasse do acompanhamento do crescimento da espécie numa dada estação ao longo do tempo. Nille (1974) refere-nos a necessidade de se considerarem, pelo menos, 20 parcelas para a reconstituição de uma série de crescimento. Considera, ainda, que a estas 20 parcelas são, geralmente, acrescentadas um número variável de outras parcelas que representem densidades muito desviadas dos valores médios dentro de cada série de crescimento (Oliveira, 1980).

#### **3.1.2.2. Método de análise de tronco**

Existe a possibilidade de determinar relações dependentes do tempo a partir da informação dos anéis de crescimento. Quando a espécie apresenta anéis de crescimento nítidos, então, nas parcelas temporárias também se poderão estimar acréscimos, embora sendo

sempre mais difícil e mais dispendioso do que se se usarem parcelas permanentes. A única vantagem é ser um processo mais rápido de obter resultados.

O método de análise de tronco é mais preciso na expressão do crescimento passado do que método das séries de crescimento, embora, de aplicabilidade mais restrita, já que se baseia na análise dos anéis de crescimento ao longo do tronco da árvore e por isso apenas possível para espécies com anéis de crescimento nítidos como é o caso das espécies resinosas. É um método que pressupõe o abate da árvore tornando-se bastante onerosa a sua aplicação generalizada e como iremos ver pela descrição da sua aplicação, a recolha de dados comporta uma certa morosidade, embora permita obter informação sobre o crescimento da árvore individual num curto espaço de tempo (Oliveira, 1982).

Através da aplicação do método de análise de tronco torna-se possível obter informação sobre o crescimento em altura e sobre o crescimento em diâmetro a vários níveis do tronco, particularmente ao nível do DAP. Indirectamente é possível também, avaliar o crescimento em área basal, em volume total sem casca e em forma da árvore. No caso de se pretender apenas informação sobre o crescimento em DAP, esta pode ser obtida por análise de tronco restricta, i.e. a partir de recolha e análise dos crescimentos radiais em verrumadas, portanto sem necessidade de abate de árvores (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983).

A aplicação do método de análise de tronco completo, em termos sumários passa pelas seguintes fases:

*FASE DE CAMPO - Recolha de material lenhoso da árvore:*

- ❑ medição do diâmetro à altura do peito (DAP);
- ❑ abate da árvore e medição da sua altura total. Em geral o cepo deverá ter cerca de 0.10m;
- ❑ toragem da árvore e recolha de rodela de lenho ao longo do tronco da árvore;
- ❑ medição do diâmetro com casca das rodela e identificação do seu nível de recolha;
- ❑ determinação da idade total da árvore.

A toragem a optar para a recolha das rodela de lenho deverá estar de acordo com a fase de desenvolvimento da árvore em estudo, de modo a que a recolha seja representativa do seu crescimento. Segundo Schimdt (1971) citando Oliveira (1982) são propostas as toragens para as várias fases da vida da árvore conforme se apresentam na figura 3.1. Carmean (1972) chama a atenção para uma possível fonte de erro sistemático quando a toragem é realizada a intervalos pré-determinados e não coincidindo esta com a zona do verticilo, resultando daí uma subestima sistemática da altura total da árvore para as idades correspondentes aos lançamentos anuais (Marques, 1987).

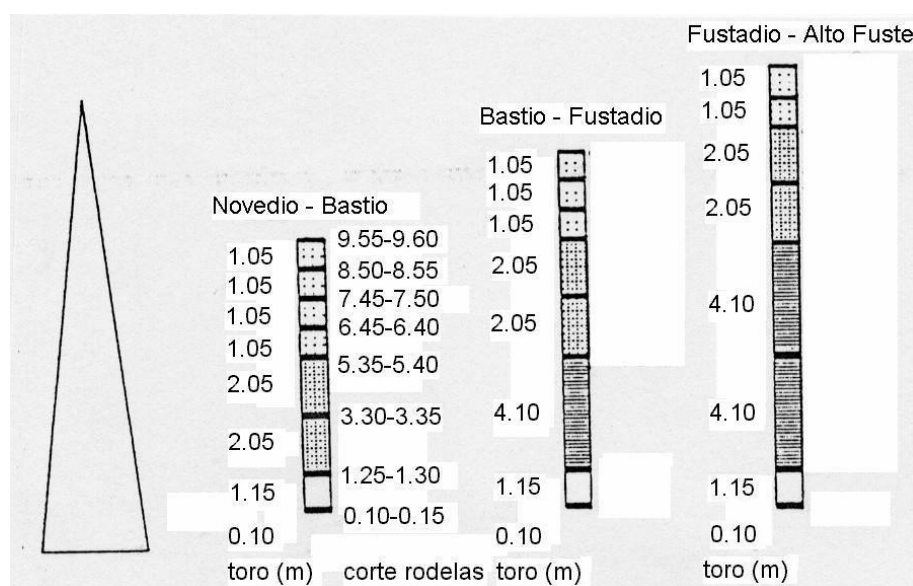


FIGURA 3.1. Extração de rodela para análise de tronco (Oliveira, 1982)

As rodela a recolher devem ter cerca de 5 cm de espessura, sendo a face inferior da rodela aquela onde se irão realizar as medições do crescimento. Assim, no campo dever-se-á ter a atenção de identificar devidamente as rodela com o nº da árvore e nível de recolha, assinalando também quais das faces é a inferior. A necessidade de recolher os diâmetros com casca "*in loco*" prende-se com o facto não pouco comum, de se soltar ou partir pedaços da casca das rodela durante o transporte e armazenamento, sendo por isso o procedimento mais seguro.

*FASE DE GABINETE - Recolha dos dados de crescimento em cada rodela da árvore em estudo, na sua face inferior:*

- assinalam-se a lápis, quatro raios segundo as direcções do diâmetro médio da rodela e da sua perpendicular;
- realiza-se a contagem do nº de anéis de crescimento no sentido do câmbio para o cilindro central ao longo dos quatro raios. Neste passo obtém-se a idade da rodela e a idade da árvore à altura de corte da rodela ou seja informação sobre o crescimento em altura, se considerarmos o conjunto das rodelas da árvore em análise (Tabela 3.1. - Ficha de análise de tronco: colunas 3 e 5). A idade à altura de corte é obtida por diferença da idade total e da idade observada por contagem dos anéis na rodela. Assim, é possível estabelecer o desenvolvimento da altura com a idade;
- delimitam-se os períodos de crescimento ao longo dos quatro raios, e.g. de 5 anos, devendo-se prestar atenção à eventual ocorrência de falsos anéis. Neste passo, recolhe-se informação sobre o nº de anos do último período de crescimento estabelecido (Tabela 3.1. - Ficha de análise de tronco: coluna 6);

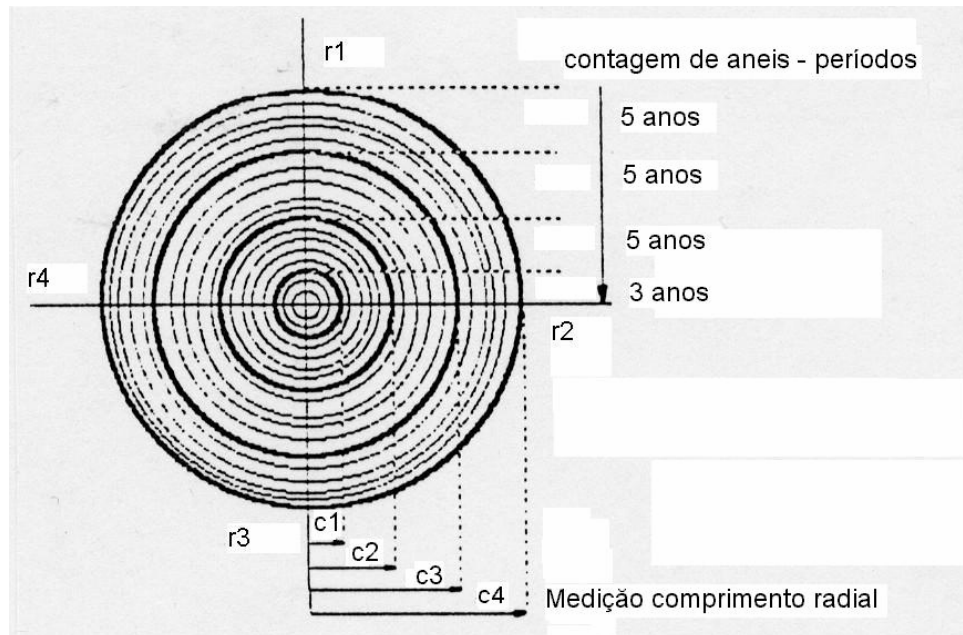


FIGURA 3.2. Contagem de anéis e demarcação de períodos (Grácio, 1990)

- medem-se do centro para a periferia, as distâncias radiais correspondentes aos períodos assinalados. Neste passo obtém-se as variáveis diâmetros médios sem casca ao longo dos períodos ou seja informação sobre o crescimento em

diâmetro ao nível da rodela considerada (Tabela 3.1. - Ficha de análise de tronco: colunas 7 a 18);

- determina-se a espessura da casca de cada rodela,  $e = dc/c - ds/c$ , (Tabela 3.1. - Ficha de análise de tronco: coluna 20).

Quando os anéis, não se conseguem visualizar muito bem, as rodelas cortadas, identificadas e marcadas com a orientação do Norte ou do diâmetro médio, são levados para o laboratório e preparadas:

- aplanamento e polimento das rodelas, seguido pela contagem de anéis ao longo dos eixos usando uma lupa estereoscópica ou um digitómetro posicional;
- cortando 2 amostras segundo uma cruz e realizando a sua análise pelo densitómetro de raios X.

Em ambos os casos, os anéis falsos ou anéis estreitos devem ser confirmados com os registos climáticos. Com o densitómetro, que proporciona uma estimativa numérica da largura do anel e densidade, é possível obter correlações directas com as variáveis climáticas.

Observando a ficha de análise de tronco (Tabela 3.1.) as colunas (1), (2), (4) e (19) referem-se respectivamente ao nº da árvore, altura de corte da rodela praticado (face superior) e diâmetro da rodela com casca. Estes elementos foram já previamente preenchidos a partir da informação de campo, assim como o cabeçalho da ficha referente à espécie, nº da árvore em análise, sua altura total, DAP e idade.

Nesta fase dispomos de toda a informação necessária para realizar o estudo do crescimento. Convém antes de mais referir, que o método de análise de tronco se trata de um método para o estudo do crescimento da árvore individual.

TABELA 3.1. Ficha de análise de tronco (Oliveira,1982)

Árvore nº 22  $h=$  12.9 cm  
 DAP (Suta)= 21.1 cm Idade= 22 anos

Nº	Secção					Comprimento do diâmetro médio (cm)													d c/c	e (cm)			
	Altura acima solo	Nº aneis	Comp. toro (m)	Idade altura indicada	Nº aneis último período	Períodos de 5 anos																	
						d s/c																	
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20										
1	0.20	20	0.20	2	5													4.5	9.5	14.0	17.0	22.2	2.6
2	1.30	18	1.10	4	3													2.5	9.0	12.6	14.7	18.9	2.1
3	3.35	16	2.05	6	1													1.3	7.0	11.6	13.8	16.6	1.4
4	5.40	12	1.05	10	2														3.1	10.1	12.9	14.7	0.9
5	6.45	11	1.05	11	1														1.0	8.5	12.0	13.6	0.8
6	7.50	9	1.05	13	4															5.8	10.5	11.7	0.6
7	8.55	8	1.05	14	3															3.7	9.5	10.5	0.5
8	9.60	6	1.05	16	1															1.6	7.4	8.2	0.4
9	10.65	5	1.05	17	5																5.6	6.2	0.2
10	11.70	3	1.05	19	3																2.7	4.7	0.1

Para o estudo do crescimento em altura,  $h = f(t)$ , a variável altura encontra-se tabelada na coluna (2) da ficha de análise de tronco e a idade da árvore à altura indicada, na coluna (5) (Figura 3.3.).

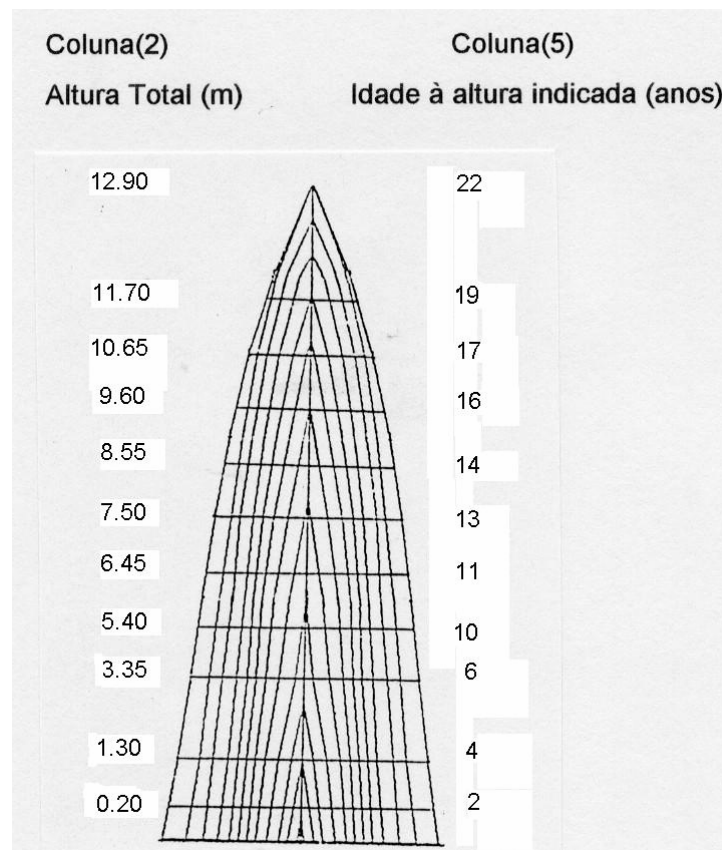
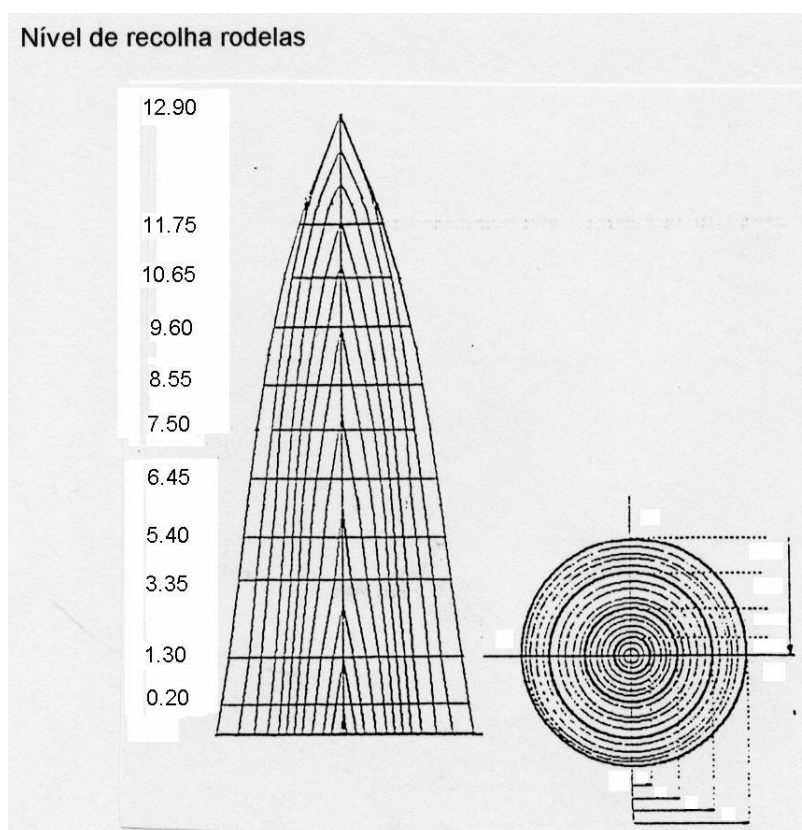


FIGURA 3.3. Crescimento em altura

Para o estudo do crescimento em diâmetro, este pode ser efectuado para os vários níveis do tronco,  $d_h = f(t)$ . A variável diâmetro ao primeiro nível do tronco (nível do cepo) encontra-se tabelada na primeira linha da ficha de análise de tronco nas colunas de (7) a (18) e nas linhas subsequentes os níveis do DAP e superiores (Figura 3.4.). Cada diâmetro inscrito nas respectivas colunas corresponde ao diâmetro acumulado ou ocorrido ao fim dos períodos pré-estabelecidos. Assim, admitindo p.e. uma idade da árvore de 22 anos e considerando que os períodos estabelecidos são de 5 anos, as idades correspondentes aos diâmetros tabelados no sentido da coluna (18) para a coluna (7) são respectivamente, 22, 17, 12 e 7 anos.



Idade - 22 anos

Nível - 1.30 m (Ficha de análise de tronco: linha 2)

Período	diâmetro médio (cm)
1 = 7 anos	Coluna 15: $(r1c1+r2c1+r3c1+r4c1)/2=2.5$
2 = 12 anos	16: $(r1c2+r2c2+r3c2+r4c2)/2=9.0$
3 = 17 anos	17: $(r1c3+r2c3+r3c3+r4c3)/2=12.6$
4 = 22 anos	18: $(r1c4+r2c4+r3c4+r4c4)/2=14.7$

FIGURA 3.4. Crescimento em diâmetro ao nível i (1.30 m), i.e. crescimento em DAP

A partir destes dados de base, diâmetros e alturas ao longo do tronco, é possível calcular outras variáveis indirectas como sejam o volume, a área basal, e o factor de forma e analisar a sua evolução ao longo da idade da árvore. No caso do crescimento em área basal, terá que se calcular a área basal a partir dos dados de diâmetro ocorridos ao nível do DAP. Após tal ter sido executado, ficamos com os dados da área basal ao longo dos períodos estabelecidos, que nos permitirá realizar o estudo do crescimento em área basal,  $g = f(t)$ .

Para o estudo do crescimento em volume,  $v = f(t)$ , terá que se calcular primeiro o volume da árvore ocorrido nos vários períodos estabelecidos. Para tal, aplica-se o procedimento de cubagem rigorosa, i.é cubando o cepo como um cilindro, os toros com a fórmula de Smalian e a bicada como um cone, ao conjunto ordenado dos dados inscritos na coluna (4) com as colunas de (7) a (18), respectivamente para cada período estabelecido (Figura 3.5.).

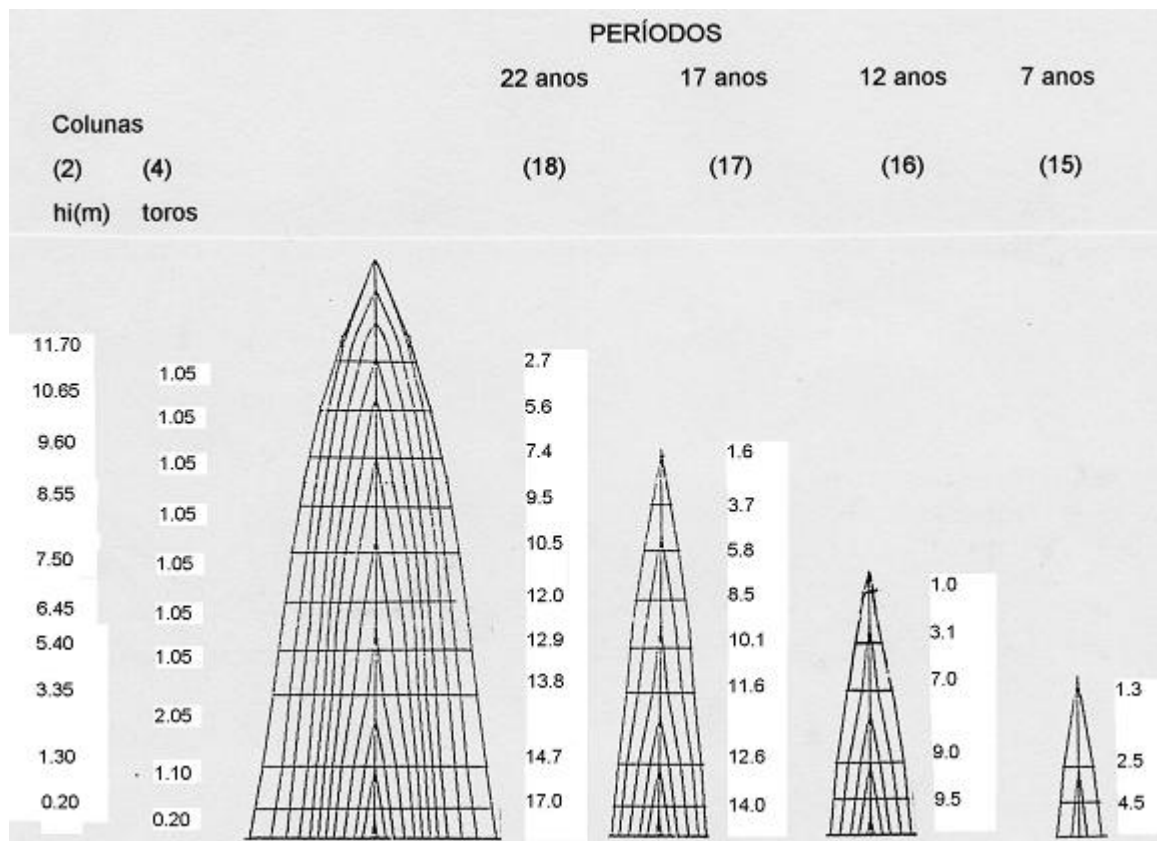


FIGURA 3.5. Crescimento em volume total sem casca

Neste procedimento porém, depara-se-nos um pequeno obstáculo. Se analisarmos os pares de dados, comprimento dos toros e diâmetros ao longo do tronco para cada período, verificamos facilmente que não dispomos de informação referente à altura total

que a árvore apresentava à idade do período estabelecido, havendo por isso que a estimar previamente. Para tal existem, já desenvolvidos por alguns autores, metodologias para esse efeito, p.e. com uma função de crescimento em altura total. Só após se ter superado este obstáculo se torna possível realizar o cálculo do volume total sem casca da árvore nos vários períodos considerados e posteriormente o estudo do crescimento em volume da árvore.

Por fim, para o caso do estudo do crescimento em forma da árvore, tem que se realizar o cálculo de um factor de forma da árvore, e.g. através do coeficiente de forma artificial, ao longo dos períodos considerados. Este coeficiente de forma, calcula-se com base no DAP, na altura total e no respectivo volume total sem casca ocorrido nos períodos considerados.

Como podemos concluir, o método de análise de tronco completo permite obter grande quantidade de informação sobre a dinâmica do crescimento das árvores de um povoamento. Assim, após o tratamento dos conjunto dos dados do crescimento obtidos da análise das rodela, poder-se-á passar ao ajustamento de modelos de crescimento para as variáveis de interesse. Por exemplo, o estudo do crescimento em altura das árvores dominantes do povoamento reveste-se de particular importância na modelação do crescimento em altura dominante do povoamento, permitindo o estudo da qualidade das estações florestais.

### **3.2. Caso de estudo - Análise de Funções de Crescimento. Aplicação do Método de Análise de Tronco a Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton na Região de Castelo Branco**

Recorreu-se ao método de análise de tronco no estudo do crescimento em altura total da árvore individual em povoamentos de pinheiro bravo na região de Castelo Branco, Portugal.

Através da análise de regressão ajustaram-se nove modelos de crescimento (Freese, Korsun, Potência, Hossfeld, Parábola, Hiperbole, Schumacher, Logística e Gompertz), individualmente a 49 árvores amostradas em nove zonas de corte nos concelhos de Oleiros, Castelo Branco, Proença-a-Nova e Vila Velha de Rodão (Figura 3.6.).



## PRÁTICA

- **Aplicação do método de análise de tronco a conjuntos de rodela da espécie pinheiro bravo. Análise do crescimento da árvore individual.**

**EXERCÍCIO 1** - Considere a seguinte rodela recolhida numa árvore na zona do pinhal. Utilize a ficha de análise de tronco.

- Determine o diâmetro médio (c/c ou s/c). Demarque na rodela o diâmetro médio e a sua perpendicular.
- Realize a contagem do nº de anéis de crescimento da rodela.
- Demarque os períodos de 5 anos ao longo dos diâmetros traçados na rodela.
- Meça os diâmetros observados ao longo dos períodos definidos.

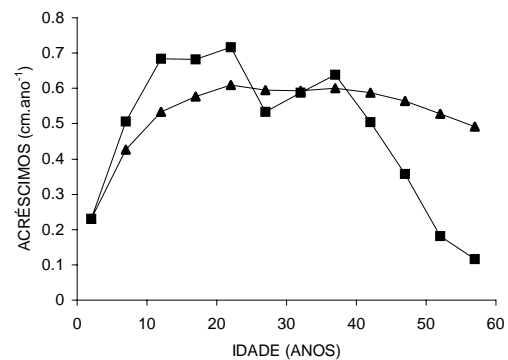
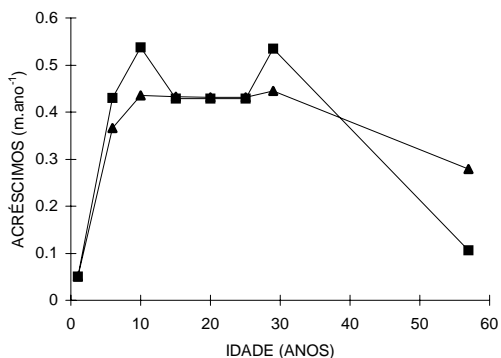
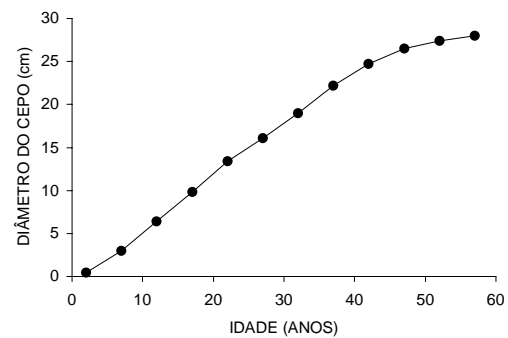
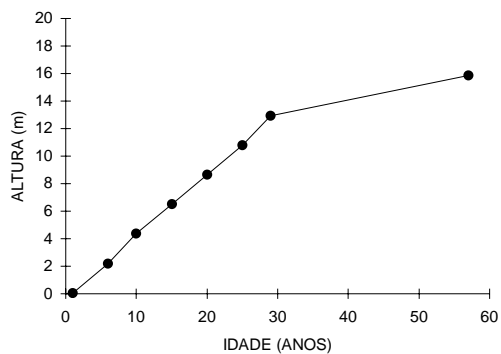
**EXERCÍCIO 2** - Considere a aplicação do método de análise de tronco a uma árvore da zona do pinhal. Apresenta-se a respectiva ficha de análise de tronco e os gráficos dos crescimentos acumulados e respectivos acréscimos médio e corrente para as variáveis altura total, diâmetro do cepo (0.05 m) e volume total sem casca.

Árvore nº            1            h=            15.88 cm            LOCAL - Barroca da Sobreira  
DAP (Suta)=        31.7 cm        Idade=        57 anos

Nº	Secção					Comprimento do diâmetro médio (cm)														d c/c	e (cm)
	Altura acima solo	Nº anéis	Comp. toro (m)	Idade altura indicada	Nº anéis último período	Períodos de 5 anos												19	20		
						d/s/c															
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	0.05	56	0.05	1	1	0.46	2.99	6.41	9.82	13.4	16.07	19.01	22.2	24.72	26.51	27.42	28	31.9	1.95		
2	2.2	51	2.15	6	1		0.9	3.88	7.57	11.24	14.16	16.54	19.04	20.71	21.88	22.56	23.28	27.1	1.91		
3	4.35	47	2.15	10	2			1.26	4.98	9.12	12.62	15.36	17.46	19.09	20.4	21.07	21.85	25.3	1.725		
4	6.49	42	2.14	15	2				1.94	6.95	11.67	15	17.15	18.63	19.68	20.46	21.32	24.6	1.64		
5	8.63	37	2.14	20	2					1.79	6.58	10.95	13.59	15.38	16.66	17.49	18.25	21.4	1.575		
6	10.77	32	2.14	25	2						2.04	6.68	9.97	12.12	13.74	14.97	15.85	18.1	1.125		
7	12.91	28	2.14	29	3							1.29	3.73	6.18	8.4	10.23	12.05	14.2	1.075		
8	15.88	0		57																	

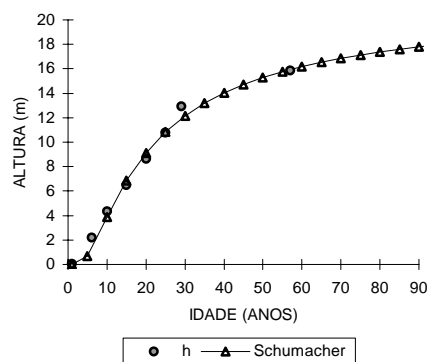
- De acordo com a análise dos gráficos relativo ao crescimento acumulado em altura total e respectivos acréscimos médio e corrente explicita a origem dos dados que permitiram o seu traçado.

- b) De acordo com a análise do gráfico relativo ao crescimento acumulado em diâmetro do cepo e respectivos acréscimos médio e corrente explicita a origem dos dados que permitiram o seu traçado.
- c) De acordo com a análise do gráfico relativo ao crescimento acumulado em volume total sem casca e respectivos acréscimos médio e corrente explicita a origem dos dados que permitiram o seu traçado.
- d) Determine a idade de explorabilidade técnica.



—▲— am —■— ac

—▲— am —■— ac



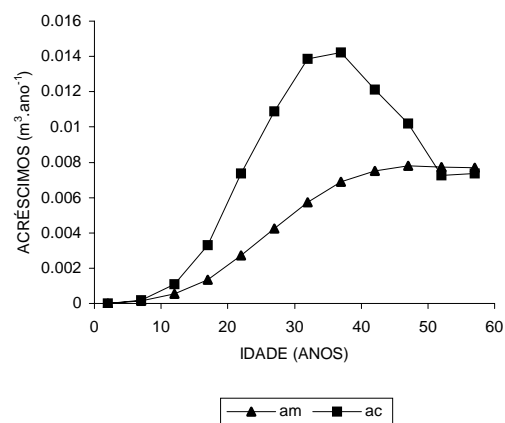
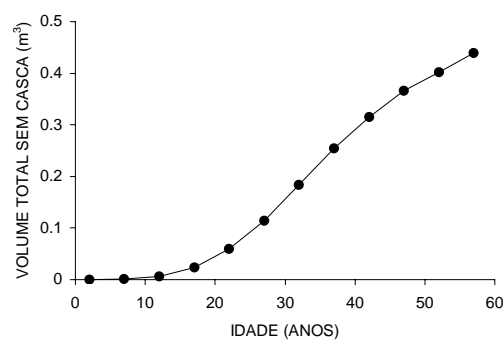
● h —▲— Schumacher

Schumacher

$$h = 21.547 \times e^{\frac{-17.20}{t}}$$

QMR=0.3066;  $R^2=0.9908$ ;  $R^2AJ=0.9893$ ;

PRESS=4.2; APRESS=4.7.



Idade (anos)	Volume total s/c (m <sup>3</sup> )
2	1.0781E-05
7	0.00092064
12	0.006451376
17	0.023023384
22	0.059830774
27	0.114221079
32	0.183509208
37	0.254699667
42	0.315200161
47	0.366207557
52	0.402435561
57	

## LIÇÃO Nº 4

### TEÓRICA

#### 3.3. Delineamento dos estudos de crescimento e produção

A instalação das parcelas de estudo não oferecerá dificuldades especiais desde que se disponha de um delineamento estatístico prévio e de uma apurada técnica de medição. A amostragem e o delineamento experimental a usar nos estudos de crescimento e produção devem ser condicionados pelo tipo de modelo a ser ajustado aos dados obtidos. Se porém, uma amostragem casual ou sistemática da área é bastante apropriada para o inventário florestal, esta é no entanto, ineficiente como base para a construção de modelos de crescimento e produção, porque envolve uma intensidade de amostragem excessiva na zona central da amplitude da resposta e uma intensidade muito baixa nos seus extremos. Assim, a amostragem selectiva é usualmente utilizada no âmbito da recolha de dados para efeitos da construção de modelos, de forma a assegurar a representação da variabilidade de condições existentes na área em estudo (p.e., Alder, 1980; Husch *et al.*, 1982).

As parcelas devem amostrar a amplitude geográfica sobre a qual o modelo irá ser usado e abranger todos os tipos de floresta, produtividade de estação e topografia. Assim como, devem abranger também, uma grande amplitude de área basal dos povoamentos e de dimensões das árvores que os constituem. Quando se evidencia, distintamente, diferentes padrões de crescimento dos povoamentos de acordo com as várias situações geográficas que ocorrem na área deve realizar-se a sua estratificação. Assim, o número de parcelas requeridas para a construção de um modelo de crescimento e produção não pode ser definido, unicamente, por critérios estatísticos. No entanto, na maioria das situações a experiência sugere, uma parcela por cada 1000 hectares de floresta, num mínimo de 50 a um máximo de 1000 parcelas, cobrindo a amplitude de variação da estação e da história do povoamento. O número recomendado para cada situação dependerá em última instância das condições locais e dos recursos disponíveis (p.e., Alder, 1980; Vanclay, 1994).

Para efeito de estudos de crescimento e produção, Alder (1980) aconselha que as parcelas permanentes devam ser instaladas em igual frequência pela variabilidade de estações, idades e densidades em que os povoamentos se desenvolvem, ou seja:

- em estações pobres, estações médias e estações boas;
- em povoamentos jovens, povoamentos de meia rotação e povoamentos à idade de corte e

- em povoamentos pouco densos, povoamentos de densidade médias e povoamentos muito densos.

Tal resultará, provavelmente, numa área de distribuição das parcelas bastante irregular que parecerá ser deficiente em povoamentos médios. No entanto, este é o método mais eficiente de amostragem para estimar os parâmetros da regressão. O tipo de amostragem referido poderá não ser aplicável quando não exista informação sobre as condições de crescimento dos povoamentos da área em estudo. Nesse caso, recorre-se a uma amostragem sistemática ou a uma estratificação geográfica de modo a cobrir toda a área, o que no entanto, exigirá a instalação de um maior número de parcelas (p.e., Alder, 1980).

Consoante o tipo de modelo a ajustar aos dados, deve-se ter, ainda, em atenção os seguintes aspectos na amostragem e delineamento experimental a usar nos estudos de crescimento e produção:

- quando o modelo a ser ajustado se apresenta em forma linear, então a amostragem ou delineamento experimental deve estar concentrado nos dois extremos da linha. Para uma superfície relativa a três variáveis. As esquinas dos quatro extremos devem ser amostradas;
- quando a forma da função a ser ajustada, é desconhecida e geralmente curva, a qual é a situação mais usual. Neste caso, uma boa técnica é subdividir a amplitude da variável em cinco secções iguais e amostrá-las com a mesma intensidade;
- a intensidade de amostragem em qualquer parte da amplitude deve ser proporcional à variância das amostragens em torno do modelo. Isto é particularmente relevante quando predizendo o volume;
- uma amostragem casual ou sistemática da área, é bastante apropriada para o inventário florestal é no entanto, ineficiente como base para a construção de modelos de crescimento e produção, porque envolve uma excessiva intensidade de amostragem na zona central da amplitude da resposta, e muito baixa intensidade nos seus extremos;
- no delineamento experimental para a predição do crescimento e produção, tratamentos extremos devem ser sempre incorporados, especialmente no que diz respeito à densidade do povoamento. Este facto ajudará grandemente a precisão do modelo.

Por exemplo, quando se pretende obter um modelo de simulação de uma variável da árvore individual, como a altura total ou o volume total, devem-se amostrar um número suficientemente grande de árvores representativas do povoamento, e.g. de 50 a 100 árvores são suficientes para construir um modelo de simulação local para a altura total ou o volume total da árvore, devendo a amostragem abranger todas as amplitudes de diâmetros e alturas ocorridas no povoamento. Para a construção de modelos válidos para áreas mais extensas, devem-se amostrar de algumas centenas a poucos milhares de árvores e de modo a contemplar a variabilidade de qualidade de estação e de idade. Quando existam marcadas diferenças ecológicas, p.e. situações de montanha e de vale, pode ser aconselhável desenvolver as equações de volume separadamente para cada tipo ecológico específico.

Há ainda a ter em consideração, que na realização dos estudos de crescimento e produção, para além dos dados a obter do acompanhamento passivo dos povoamentos devem também, sempre ser incorporados tratamentos extremos, em geral, obtidos de ensaios experimentais, especialmente no que diz respeito à densidade do povoamento, já que estes contribuíem grandemente para aumentar a precisão e flexibilidade do modelo de crescimento e produção a construir (p.e., Alder, 1980; Husch *et al.*, 1982).

O acompanhamento passivo dos povoamentos permite avaliar o efeito de variáveis que não podem ser controladas pelo investigador, tal acontece, principalmente, no caso da variação da qualidade de estação. A experimentação, ao contrário permite ensaiar o efeito de variáveis controladas pelo investigador, como é o caso da densidade.

Em floresta uniforme, os ensaios experimentais realizados para o estudo do crescimento e produção tendem a concentrar-se nos efeitos da densidade do povoamento, fertilização e desramação. A densidade é de primordial importância, sendo um aspecto de fácil controlo pelo florestal durante a revolução/rotação da espécie. Existem quatro maneiras básicas de estudo da interacção da densidade e do crescimento:

- ensaios de espaçamento ou de compasso;
- ensaios de desbaste de área basal constante;
- ensaios de desbaste, usando vários tratamentos e
- ensaios factoriais com diferentes componentes no tratamento do desbaste (espaçamento inicial, idade do 1º desbaste, proporção das existências removidas, intervalo entre desbastes) (Alder, 1980).

No domínio dos ensaios experimentais as parcelas de controle ou testemunha são utilizadas para averiguar o efeito de determinado tratamento ou ocorrência no crescimento e produção dos povoamento (Oliveira, 1980).

Em geral, a dimensão das parcelas de estudo dependerá do tipo de floresta, heterogeneidade das existências e da distribuição das espécies. Estas devem ser suficientemente pequenas para que a parcela seja homogénea mas suficientemente grandes para que seja uma amostra representativa do povoamento. Em floresta uniforme, são vulgarmente usadas parcelas de área de 500 m<sup>2</sup>. No caso de serem ensaios experimentais ou quando se pretenda avaliar a competição intraespecífica, as parcelas são geralmente maiores (p.e., Alder, 1980; Vanclay, 1994). Por exemplo, para um povoamento com um compasso de plantação 4x2m é necessário considerar parcelas com tamanho mínimo de 0.08 ha, para englobar as referidas 100 árvores quando do corte final; isto no caso de não haver mortalidade ou qualquer tipo de intervenção cultural até ao termo de revolução/rotação.

TABELA 3.2. Dimensões aconselhadas para as parcelas de estudo face ao objectivo do estudo (Alder, 1980)

<b>Tipos de Floresta</b>	<b>Mista</b>	<b>Uniforme</b>
Parcelas de amostra (ha)	1-2	0.04-0.08
Ensaio experimentais (ha)	1-5	0.08-0.12
Estudos de operações abate (ha)	5-10	0.1-0.5

As parcelas de estudos podem se classificar quanto à sua área em:

- Parcelas pequenas - áreas até 0.01 ha.
- Parcelas médias - áreas compreendidas entre 0.01 ha e 0.1 ha e
- Parcelas grandes - áreas superiores a 0.1 ha.

As parcelas de estudo podem ser rectangulares ou circulares. As circulares são mais fáceis de estabelecer do que as rectangulares para áreas inferiores a 0.1 ha em povoamentos abertos ou 0.05 ha em povoamentos densos. O seu uso também é aconselhado em povoamentos que não estejam plantados segundo linhas. As rectangulares são mais apropriadas para áreas superiores a 0.1 ha. Em zonas declivosas, uma razão alta, de 5 a 1, é melhor, dispondo o comprimento da parcela segundo o declive. Em terreno plano, uma parcela quadrada tem um perímetro menor sendo, por isso, mais fácil de demarcar e medir. Caso estas não sejam aconselháveis opta-se pelas

rectangulares tendo sempre presente que a relação comprimento/largura não pode exceder 2, a fim de o número de árvores bordadura não ser muito elevado.

A frequência de remedição das parcelas permanentes dependerá da taxa de crescimento das árvores. Quanto maior for o período em que se mantêm as parcelas maior precisão se obterá na determinação dos acréscimos. Podem-se aconselhar intervalos de medição entre 3 a 5 anos, para o caso da floresta uniforme temperada, devendo as medições ser realizadas sempre na mesma época do ano, em geral, após a estação de crescimento ter terminado (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Vanclay, 1994).

No caso do estudo de tratamentos silvícolas como sejam os desbastes, utilizam-se parcelas semi-permanentes durante o período em que dura o estudo. Usam-se, no caso da floresta uniforme, parcelas de maior área, do que em qualquer outro estudo e.g. de 0.1 a 0.5 ha.

Para o caso do levantamento sobre a capacidade de regeneração, as parcelas são pequenas, podendo mesmo ser sub-parcelas em parcelas convencionais de inventário, ou então parcelas independentes e distribuídas segundo uma amostragem separada que englobe as situações de povoamentos de 3-5 anos após o corte. Tipicamente, as parcelas são subdivididas em quadrados onde se realizarão as contagens (presença/ausência). Estas parcelas rondarão áreas de 0.01 ha a 0.04 ha (subdivididas em cada caso em quadrados de 1 m<sup>2</sup> ou 4 m<sup>2</sup>).

### **3.4. Instalação de parcelas de estudo e procedimentos de medição**

Na prática, apresentam-se como principais dificuldades à concretização da recolha de dados em parcelas de estudo permanentes e semi-permanentes, a demarcação das parcelas e a sua manutenção no campo por longos períodos de tempo (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Vanclay, 1994).

As parcelas permanentes e semi-permanentes necessitam de ser localizadas com precisão em carta militar e em fotografia aérea ou em ortofotomapa. Quanto às parcelas temporárias a sua localização deve ser igualmente referenciada, no entanto, o grau de precisão requerida não é tão grande.

Também, no campo as parcelas estas devem ficar bem referenciadas, inclusivé através da recolha de coordenadas geográficas com o sistema GPS. As parcelas permanentes tem que ficar marcadas no campo de modo duradouro. Para a marcação das parcelas no terreno são necessários uma fita métrica, uma bússola, estacas de madeira e com 1.5 m de comprimento e um "spray" de cor visível (branco, amarelo ou vermelho). As parcelas deverão ficar demarcadas com tinta nos seus limites.

Nas parcelas rectangulares, em cada vértice da parcela é enterrada uma estaca até uma profundidade de 0.5 m. Para melhor identificação e delimitação da parcela é vulgar marcar as árvores da bordadura no lado do tronco virado para o interior da parcela. Numa das árvores mais próximas do vértice é pintado o número de identificação da parcela a fim de facilitar o futuro o seu reconhecimento. Deve-se realizar também a planta da parcela bem como a sua localização na carta da região em causa.

Nas parcelas circulares marca-se o centro com uma estaca de madeira resistente, ou metal, ficando assinalado também, o seu número. Na tabela 3.3. apresenta-se a correspondência entre a área da parcela e o raio a realizar no terreno. O cálculo da área da parcela é realizado na sua projecção horizontal, procedendo-se às correcções necessárias para a sua implantação.

TABELA 3.3. Área e raio correspondente para parcelas circulares

Área da Parcela (ha)	Raio (m)
0.04	11.28
0.05	12.62
0.08	15.96
0.10	17.84

Para maior segurança, medem-se as distâncias e os azimutes a pontos de referência, mais vulgarmente às árvores mais próximas do centro da parcela, de modo que no caso do desaparecimento da estaca, se consiga por triangulação detectar o centro da parcela. Estes pontos de referência devem ficar igualmente bem assinalados no terreno.

A descrição da parcela de estudo deverá ser registada na ficha de campo. Normalmente são descritos os seguintes aspectos: número da parcela, sua localização geográfica e ecológica, altitude e situação topográfica bem como forma e áreas respectivas. A ficha de campo deve conter, ainda, informações em relação ao povoamento em que esta se integra, como sejam, o regime, a espécie, a história de condução, os tratamentos prévios e o sub-bosque. Na altura da instalação das parcelas deve ainda ser recolhida informação adicional de modo a caracterizar a estação, como por exemplo:

- a informação meteorológica (segundo a estação mais próxima);
- a posição de todas as árvores na parcela; nas parcelas circulares, tal poderá ser realizado assinalando a distância e azimute ao centro desta e
- o perfil do solo: cor, textura, pH, análise do N, P, K, Ca, Mg, profundidade e porosidade (densidade) (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980).

O rigor das medições, depende, em definitivo, da qualidade do pessoal que o realizará, dos conhecimentos quanto ao manuseamento dos instrumentos e procedimentos de medição a realizar no trabalho de campo. Nesse sentido, a preparação de descrições detalhadas das tarefas a executar em forma de guia de campo, permitirá a realização de um trabalho de campo mais eficaz, preciso e uniforme. As fichas de campo devem fazer parte destas instruções, assim como, os procedimentos de medição e uma breve descrição da forma de registo dos dados resultantes nestas (p.e., Alder, 1980; Oliveira, 1980; Husch et al., 1982; Avery & Burkhardt, 1983).

As árvores que pertencem à parcela deverão ser numeradas a tinta ou com etiquetas de alumínio. Também é vulgar, simultaneamente, assinalar o nível do DAP com uma faixa em torno do tronco, pintada ou em qualquer outro material, para que em próximas remedições possa ser correctamente localizado. Também se pode proceder de igual modo com o nível do cepo. Em todos estes casos, mas principalmente no caso da tinta e em espécies que perdem a casca facilmente, como o eucalipto deve-se ter em atenção o renovar das marcas desaparecidas.

Em florestas uniformes e regulares, requerem-se, geralmente, as medições das seguintes variáveis:

- diâmetro com casca a 1.30 m, usando uma fita de diâmetros;
- alturas das árvores amostras seleccionadas por sub-amostragem;
- alturas das árvores dominantes (e.g. as 100 árvores mais grossas por ha) e
- características adicionais em cada árvore podem também ser registadas como p.e. problemas de doença, danos de insectos, do vento ou da geada, enfraquecimento-vitalidade, desenvolvimento do fuste (inclinado, bifurcado, etc.), árvores mortas em pé, etc.

Nas parcelas de estudo permanentes como os acréscimos são estimados por diferença entre medições sucessivas dividindo pelo intervalo de tempo entre medições, as medições devem ser o mais precisas possível, sendo necessário operar por forma a obter resultados comparáveis: manter uniformidade de critérios e evitar que desvios nas medições mascarem os acréscimos verificados (p.e., Gomes, 1957; Alder, 1980; Oliveira, 1980).

A determinação do DAP será realizada para todas as árvores da parcela (mm). Não se devem realizar medições de diâmetro quando o câmbio se encontra em actividade. Os DAP's > 5 cm devem ser medidos com a fita de diâmetros dada a sua grande precisão e velocidade de trabalho em comparação com a medição de diâmetros cruzados com uma

suta de precisão. As medições devem ser realizadas pelo mesmo operador, para minimizar os erros de medição.

Em florestas naturais, o ingresso ocorrido durante o processo de crescimento (i.e. as árvores que atingiram as dimensões mínimas admitidas como condição de serem inventariadas) deverá ser identificado. Assim, o mesmo cuidado se deve ter quando ocorrem árvores que morrem ou são cortadas, devendo tal evento ser registado, de modo a que não se originem posteriormente confusões, quando de processarem os dados.

A medição da altura, deve ser realizada pelo mesmo operador e pelo mesmo aparelho. Para árvores de altura superior a 15 m e.g. usa-se o hipsómetro Blume-Leiss ou o Vertex, para alturas inferiores recorre-se à vara telescópica graduada pois é mais precisa. Os acréscimos em altura sempre que possível devem ser determinados empregando-se a vara telescópica.

Para a determinação da altura da base da copa usa-se o primeiro andar da copa com dois ramos verdes ou a meia distância entre os dois andares inferiores da copa com ramos verdes. Os raios da copa, na sua projecção horizontal, são e.g. medidos segundo os quatro pontos cardeais.

Para a classificação qualitativa das árvores da parcela, Oliveira (1980) sugere a utilização do sistema de Kraft apresentado por Assmann (1961) para os povoamentos regulares de alto fuste, onde se agrupam as árvores de acordo com a sua posição social e o desenvolvimento das suas copas, logo quanto ao seu vigor e portanto à sua possibilidade de crescimento:

- superdominantes,
- dominantes,
- codominantes,
- dominadas e
- sem esperança de vida.

Para os povoamentos irregulares, de acordo com Alves (1982), De Philippis (1958) propôs a seguinte classificação:

- estrato superior ou de produção - árvores com altura superior a  $2/3$  da altura média das árvores mais grossas do povoamento:
  - árvores de maturidade - atingiram o diâmetro de explorabilidade, prontas para corte;

- árvores em decrepitude e
- árvores imaturas - ainda no atingiram o diâmetro de explorabilidade;
  
- estrato intermédio ou de crescimento - árvores com altura compreendida entre 2/3 a 1/3 da altura média das árvores mais grossas do povoamento:
  - árvores vigorosas - em pleno crescimento, com boas copas e
  - árvores precocemente envelhecidas;
  
- estrato inferior, de regeneração ou de ingresso - árvores com altura inferior a 1/3 da altura média das árvores mais grossas do povoamento:
  - nascedio;
  - plantas jovens e
  - envelhecidas precocemente.

Para a análise do espaço de crescimento e concorrência entre árvores medem-se as projecções das copas da árvores e as coordenadas da posição das árvores na parcela (coordenadas polares se a parcelas for circular ou coordenadas cartesianas se a parcela for rectangular).

Também, a determinação da idade da árvore, assume um aspecto preponderante já que a própria noção de crescimento está ligada com a variação no tempo. A determinação da idade deve realizar-se o mais rigorosamente possível pois esta variável é fundamental nos estudos de produção.

Quando a espécie em estudo apresenta anéis de crescimento nítidos, a idade da árvore pode ser obtida pelo número de verdadeiros anéis de crescimento existentes ao nível do solo. Para esse fim, não é necessário proceder ao abate da árvore, podendo-se colher verrumadas de lenho ao nível que se pretender. Se a verrumada for realizada junto ao solo, a contagem de anéis fornece a idade da árvore. Se esta for realizada a um nível superior há que adicionar ao número de anéis contado o número médio de anos que as plantas jovens levaram até atingir esse nível. Ao proceder-se à contagem dos anéis há que ter em atenção a questão dos falsos anéis (Gomes, 1959).

A extracção de verrumadas ao nível do DAP permite obter informação sobre a idade, mas também, do crescimento em diâmetro do lenho a esse nível. Para o estudo do crescimento em DAP devem-se extrair verrumadas de lenho num grande número de árvores, abrangendo todas as dimensões, em cada parcela. Em geral, recolhem-se duas

verrumadas por árvore, segundo uma direcção que faz um ângulo de 45° com a dos ventos dominantes. A largura dos últimos 10 ou 5 anéis anuais devem ser medidos, ao nível do DAP, em duas direcções perpendiculares, fornecendo-nos o crescimento do lenho relativo ao período em análise. No caso das secções elípticas deve-se medir segundo o eixo maior ou menor.

A selecção de árvores na parcela para aplicação do método de análise de tronco é um processo mais rigoroso para a análise do que foi ao longo do tempo o crescimento da árvore nas suas diversas componentes, como p.e. o crescimento em diâmetro (DAP), crescimento em altura total e crescimento em volume, no entanto exige o abate das árvores para a recolha de rodela de lenho ao longo do tronco da árvore.

Em síntese, de acordo com Vanclay (1994), para a avaliação do crescimento e produção, seja com vista à construção de modelos ou para efeitos apenas da gestão florestal é crucial que as parcelas permanentes proporcionem dados de confiança, de forma a:

- assegurar padrões consistentes,
- proceder a uma amostragem ampla abrangendo a variabilidade de condições dos povoamentos e da estação,
- obter dados provenientes do acompanhamento passivo dos povoamentos e de ensaios experimentais,
- proceder aos registos e marcação das parcelas e de todas as árvores das parcelas de forma duradoura e inequívoca,
- assegurar que os períodos de medição sejam adequados, de forma a que os crescimentos excedam os erros de medição evitando que se mascarem os padrões de crescimento,
- realizar a verificação dos registos das medições assegurando a sua fiabilidade e evitando ambiguidades.

## PRÁTICA

- **Medições em parcelas de estudo circulares de área de 500 m<sup>2</sup> em povoamentos de pinheiro manso na ESACB.**

**EXERCÍCIO 1** - Medições em parcelas de estudo circulares de área de 500m<sup>2</sup> em povoamentos de pinheiro manso na ESACB. Preenchimento da ficha de campo a entregar ao Professor.

### PROTOCOLO DE RECOLHA DE DADOS

Instalação das parcelas semi-permanentes circulares de área de 500 m<sup>2</sup> em povoamentos de pinheiro manso na ESACB (Set02-Mar03). Realizou-se a identificação exacta de cada local de amostragem na carta militar à escala de 1:25000 e em fotografia aérea à escala de 1:15000. Anotou-se em ficha de campo os seguintes aspectos:

- aspectos qualitativos do local como o concelho, freguesia, local, carta militar nº, fiada, foto nº, fotoponto, escala, instituição e data de voo da fotografia aérea;
- identificação do número da parcela, da data da medição e dos operadores;
- anotados na ficha de campo informação quanto à situação fisiográfica do local, exposição, inclinação e altitude;
- caracterização do estado do povoamento quanto à instalação, intervenções culturais, ocorrência de pragas e doenças e ocorrência de fogo.

As parcelas foram delimitadas no terreno através da identificação das árvores de bordadura. Seguidamente procedeu-se à identificação das árvores da parcela através das suas coordenadas polares (distância ao centro da parcela e azimute magnético). Para tal realizaram-se estas medições efectuando um giro de 360° no sentido dos ponteiros do relógio com início na árvore mais próxima ao Norte magnético. As medições foram efectuadas respectivamente, com fita métrica e bússola arredondando os valores ao cm e ao grau. Em paralelo colocou-se em cada árvore da parcela uma chapa metálica ao nível do DAP, voltada para o centro da parcela, com o seu número de identificação. Os cepos não foram numerados realizando-se apenas a sua contagem.

Em cada parcela realizam-se anualmente (de Set a Mar) as seguintes medições em todas as árvores que a compõem:

- 
- DAP com fita de diâmetros e arredondando os valores ao mm;
  - altura total e altura até à copa com Blume-Leiss e arredondando os valores ao dm. Considera-se como início da copa a meia distância dos dois primeiros ramos verdes;
  - raios da projecção horizontal das copas segundos os pontos cardeais (N, S, E e W) com fita métrica e bússola arredondando os valores respectivamente, ao cm e ao grau. No caso das árvores inclinadas encontra-se o centro da projecção da copa e efectua-se apenas uma medição segundo a direcção que melhor traduz o raio médio.





## LIÇÃO Nº 5

### TEÓRICA

#### 4. DENSIDADE E LOTAÇÃO DOS POVOAMENTOS

A medida ideal da densidade dos povoamentos ainda não foi até hoje encontrada. Esta deveria ser o mais objectiva e maleável possível (Spurr, 1952), dando indicações sobre o grau de utilização do espaço e sendo independente da idade, qualidade de estação (fertilidade) e da espécie florestal em causa (Oliveira, 1984). A densidade dos povoamentos é usualmente avaliada através de medidas absolutas como o número de árvores por hectare ( $N$ ), a área basal por hectare ( $G$ ) e o volume por hectare ( $V$ ). Já, a avaliação da lotação é usualmente expressa em termos relativos, através de índices de densidade. Quando ocorre a sobrelotação dos povoamentos os efeitos da competição intraespecífica agravam-se reprimindo o crescimento da árvore individual, embora, a produção final tende a aumentar, até determinado limite, com o aumento da densidade.

##### 4.1. Avaliação da densidade dos povoamentos

O número de árvores por hectare ( $N$ ), é o parâmetro de mais fácil determinação, sendo bastante comum o seu uso como indicador da densidade, no entanto, apresenta uma alta correlação com a idade do povoamento e a qualidade de estação, sendo por isso, a densidade inicial do povoamento uma medida bastante deficiente. O mesmo se passa com a variável volume por hectare ( $V$ ), para além das dificuldades inerentes à sua determinação. A área basal por hectare ( $G$ ) é o parâmetro mais utilizado. A sua determinação é relativamente fácil e objectiva sendo empregue isoladamente como expressão da densidade dum povoamento e usada como referência para outras medidas. Dentro das três medidas de densidade absoluta referidas, apenas o número de árvores por hectare ( $N$ ) é usado exclusivamente como expressão da densidade do povoamento (Oliveira, 1984).

Em povoamentos regulares e não desbastados ou desbastados mas quando se conheça a história da sua condução, o número de árvores por hectare ( $N$ ) e a área basal por hectare ( $G$ ) são boas medidas da densidade do povoamento. O uso conjugado destes dois parâmetros melhora a avaliação da densidade do povoamento (Figura 4.1.). Assim, é frequente referir o número de árvores por hectare ( $N$ ) para uma determinada área basal ( $G$ ), em especial nos povoamentos idosos (Clutter *et al.*, 1983).

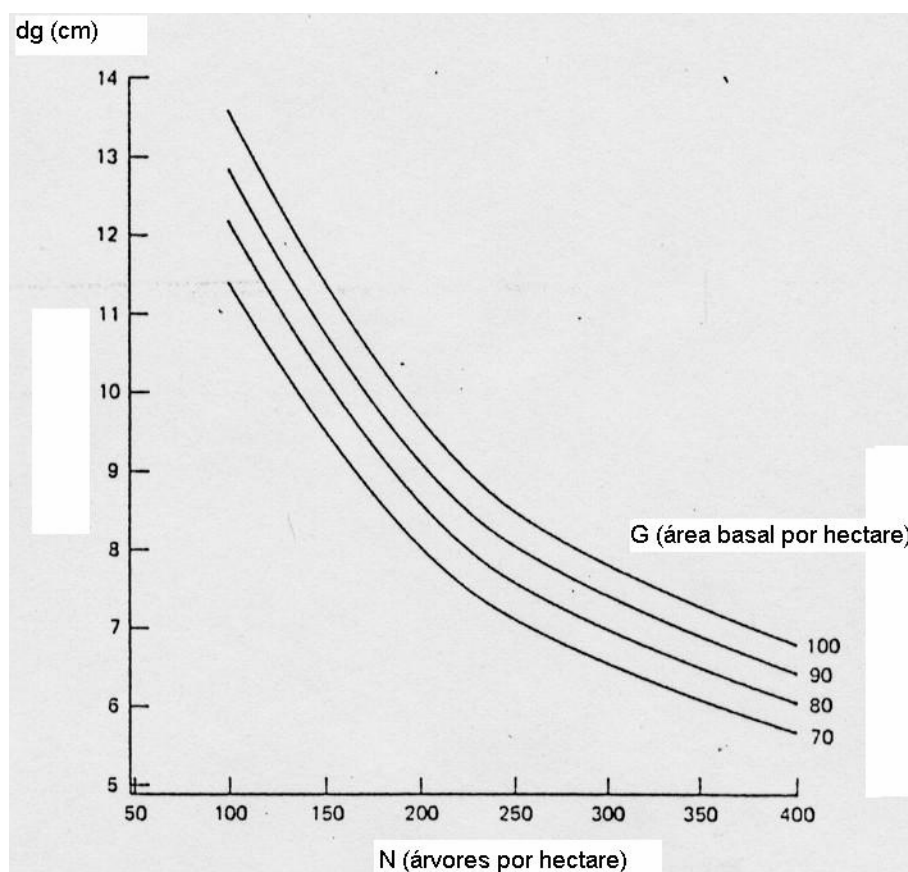


FIGURA 4.1. Interrelação entre as variáveis diâmetro médio, área basal por hectare e o número de árvores por hectare (Clutter *et al.*, 1983)

## 4.2. Avaliação da lotação dos povoamentos

Diversos autores estabeleceram índices de densidade relativa com vista à avaliação da lotação dos povoamentos como medida orientadora para a regulação de desbastes. Na base de construção de alguns destes índices estão variáveis como sejam a largura das copas, a projecção horizontal das copas, o DAP, o diâmetro médio do povoamento, o número de árvores por hectare, entre outras. São exemplos o factor de competição das copas (Krajicek *et al.*, 1961), o índice de densidade do povoamento (Reineke, 1933) e o factor de Wilson (Wilson, 1946).

### 4.2.1. Índice de densidade do povoamento (SDI)

O índice de densidade do povoamento (*SDI*) é baseado na relação limite, observada por Reineke (1933) em povoamentos regulares normais, entre o número de árvores por hectare e o diâmetro médio (*dg*) do povoamento ou da parcela de amostragem, independentemente da sua idade ou qualidade de estação. Define-se povoamento de

densidade normal quando neste as copas das árvores que o compõem se tocam. A relação entre o número de árvores por hectare e o diâmetro médio ( $dg$ ) do povoamento (Figura 4.2.) pode expresso pelo modelo

$$N = b_1 \times dg^{b_2}$$

cuja linearização do modelo corresponde a

$$\ln(N) = \ln(b_1) + b_2 \times \ln(dg) .$$

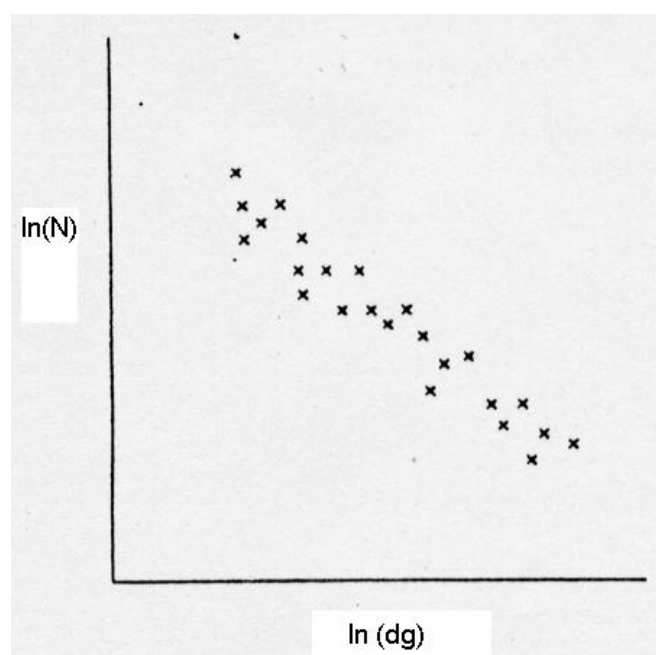


FIGURA 4.2. Relação entre o número de árvores por ha ( $N$ ) e o diâmetro médio ( $dg$ ) em povoamentos normais regulares (Clutter *et al.*, 1983)

O índice de densidade do povoamento ( $SDI$ ) exprime o número de árvores por hectare que o povoamento teria para um diâmetro médio de referência, p.e. de 25 cm, de acordo com:

$$SDI = N \times \left( \frac{25}{dg} \right)^{b_2} .$$

O índice de densidade do povoamento (Stand Density Index -  $SDI$ ) tem sido utilizado para a regulação dos desbastes em povoamentos de pinheiro bravo em Portugal

(Luís *et al.*, 1991; Oliveira, 1985). Luís *et al.* (1991) estabeleceram a partir dos dados do Inventário Florestal Nacional da ACEL/DGF decorrido em 1987, a linha de máxima densidade efectiva (Figura 4.3.) e a necessidade de intervenção através de um índice classificativo, definido como a razão entre o número de árvores por hectare do povoamento e o equivalente número de árvores por hectare estimado pela linha de máxima densidade efectiva,

$$\ln(N_{max}) = 12.554 - 1.815 \times \ln(dg)$$

com,  $n=22$ ,  $R^2=0.96$ .

onde,  $N_{max}$  - número de árvores por hectare;

$dg$  - diâmetro médio do povoamento (cm).

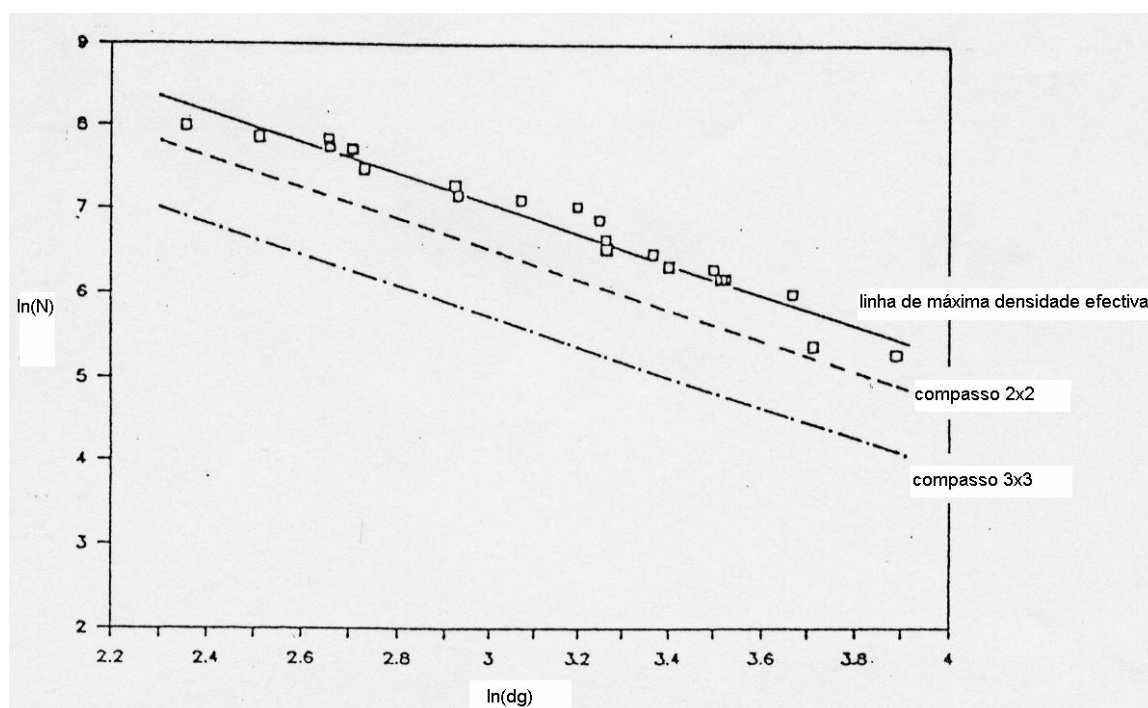


FIGURA 4.3. Linha de máxima densidade efectiva com base em 22 pontos fronteira (Luís *et al.*, 1991)

Estabeleceram empiricamente quatro classes de lotação, considerando que os povoamentos se apresentavam em sobrelotação quando as suas densidades eram superiores à linha máxima de densidade. À altura do primeiro desbaste de carácter comercial, i.e.  $dg = 10$  cm, idade de 10 anos, a linha de máxima densidade corresponde a um compasso aproximado de  $1.5 \times 1.5$ . Em lotação normal quando as suas densidades se encontravam compreendidas entre a linha máxima de densidade efectiva e a linha de

densidade correspondente ao compasso de 2x2 (2500 árvores por hectare na referida situação). Em sub-lotação os povoamentos com densidades entre as linhas de densidade correspondente ao compasso 2x2 e ao compasso 3x3 (1111 árvores por hectares para a mesma situação). E finalmente, em muito sub-lotação os povoamentos cujas densidades se situam abaixo da linha de densidade correspondente ao compasso 3x3.

Desta forma, o índice classificativo ( $c = N / N_{max}$ ) que define as quatro classes de lotação corresponde aos seguintes valores:

- 1 - sobrelotação ( $c > 1$ ) - necessita de intervenção;
- 2 - lotação normal ( $c \in ]0.58, 1]$ ) - necessita de intervenção;
- 3 - sub-lotação ( $c \in ]0.26, 0.58]$ ) - poderá de futuro necessitar de intervenção;
- 4 - muito sub-lotação ( $c < 0.26$ ) - não necessita de intervenção.

Caso o povoamento necessite de intervenção, assumindo que o tipo de desbaste a realizar é mecânico, o número de árvores a desbastar ( $Ndx$ ) será obtido por

$$Ndx = N - (0.58 \times N_{max}).$$

Caso o povoamento venha a necessitar no futuro de intervenção, o número de anos que medeia até futura intervenção poderá ser determinado realizando os seguintes cálculos:

- 1º - acréscimo médio anual em diâmetro médio ( $\text{cm.ano}^{-1}$ );
- 2º -  $N_{0.58} = 0.58 \times N_{max}$ ;
- 3º -  $N_{0.58}$  corresponde na linha de densidade efectiva máxima a determinado  $dg$ ;
- 4º - número de anos até à futura intervenção será obtido pela diferença entre o  $dg$  correspondente a 0.58 e o  $dg$  actual a dividir pelo acréscimo médio anual em  $dg$ .

#### 4.2.2. Factor de competição das copas (CCF)

Outro índice de densidade, o factor de competição das copas (Crown Competition Factor - CCF), proposto por Krajicek *et al.* (1961), apresenta-se particularmente interessante por ser adequado quer para povoamentos regulares quer para povoamentos irregulares. Este índice parte do pressuposto de que a área da projecção da copas de

árvores isoladas, cujo crescimento não foi perturbado por pressões de concorrência, é um bom indicador da dimensão radicular (Oliveira, 1984).

O *CCF* é desenvolvido a partir do ajustamento por regressão linear do diâmetro médio da projecção da copa em metros (*dcp*) em função do DAP das árvores isoladas em centímetros (*dg*)

$$dcp = b_0 + b_1 \times d$$

onde,  $b_0$  e  $b_1$  - coeficientes de regressão ajustados a partir da amostra.

A área de projecção da copa (*apc*) será definida por

$$apc = \frac{\pi}{4} \times dpc^2 = \frac{\pi}{4} \times (b_0 + b_1 \times d)^2 .$$

O valor de *CCF* para um povoamento com  $n$  árvores e uma área  $A$  é definido por

$$CCF = \frac{1}{A} \times \sum_{i=1}^n apc_i \times 100 = \frac{\pi \times 25}{A} \times \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 \times d)^2$$

que em termos práticos define a percentagem da ocupação da área de projecção das copas das  $n$  árvores do povoamento relativamente à superfície total  $A$  de ocupação da área florestal do povoamento. Assim, um  $CCF = 100$  significa que foi atingida a densidade mínima abaixo da qual a estação está sub-utilizada. Valores de *CCF* superiores a 100 significam que se agrava a concorrência entre as árvores (Clutter *et al.*, 1983).

#### 4.2.3. Factor de espaçamento de Wilson (*Fw*)

O Factor de espaçamento de Wilson (*Fw*) é outro índice de densidade com aplicação na regulação de desbastes e é definido como

$$Fw = \frac{a}{hdom}$$

onde,  $a$  - distância média entre árvores (m);

$hdom$  - altura dominante do povoamento ou parcela de amostragem (m).

A distância média entre árvores quando o compasso é, respectivamente, triangular, quadrado e irregular pode ser obtida pelas seguintes fórmulas:

$$a = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.866}}$$

$$a = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

$$a = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.933}}$$

O factor de espaçamento de Wilson pode ser expresso em função da altura dominante e do número de árvores por hectare, respectivamente, para os compassos triangular, quadrado e irregular:

$$Fw = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.866} \times hdom}$$

$$Fw = \frac{100}{\sqrt{N} \times hdom}$$

$$Fw = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.933} \times hdom}$$

Segundo Alves (1975) e Oliveira (1980)  $Fw$  de 0.11, 0.16, 0.20, 0.23 e 0.28 correspondem, respectivamente, aos graus de desbaste A (mortalidade natural), C, C/D, D e E. Alves (1975) recomenda para os povoamentos de pinheiro bravo em Portugal, quando não se conhece o tratamento anterior, a aplicação do grau de desbaste C/D a partir do momento em que a altura dominante seja próxima de 10 metros (Oliveira, 1984).

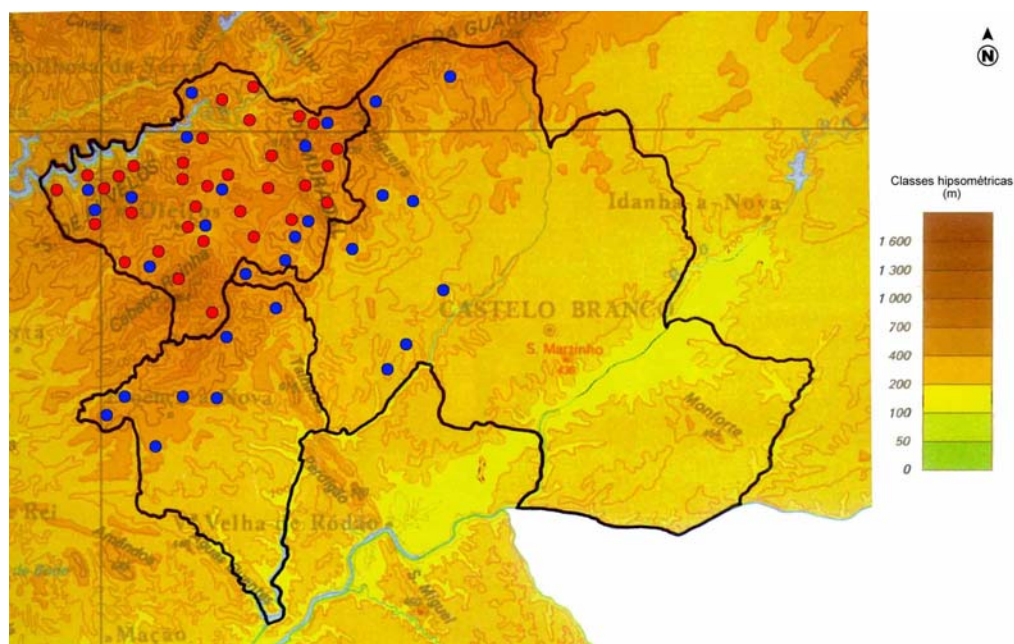
Uma ilustração do uso do espaçamento relativo de Wilson será, definido o grau de desbaste pretendido, para determinada altura dominante observada determinar o número de árvores por hectare correspondente e estimar o número de árvores por hectare a sair em desbaste (Tabela 4.1.).

TABELA 4.1. Número de árvores por hectare para os graus de desbaste A, C, C/D, D e E (Oliveira, 1984)

hdom	Número de árvores por hectare (N)				
	"A" Fw = 0.11	C Fw = 0.16	C/D Fw = 0.20	D Fw = 0.23	E Fw = 0.28
8	12 913	6 104	3 906	2 954	1 993
10	8 264	3 908	2 500	1 890	1 276
12	5 739	2 713	1 736	1 313	886
14	4 216	1 993	1 276	964	651
16	3 228	1 526	977	738	498
18	2 550	1 206	772	583	394
20	2 066	954	625	472	319
22	1 708	807	516	390	264
24	1 435	678	434	328	221
26	1 222	578	370	280	189
28	1 054	498	319	241	163
30	918	434	278	210	142
32	807	381	244	184	128
34	715	338	216	164	110
36	638	301	193	146	98

#### 4.3. Caso de estudo - Caracterização dos povoamentos de pinheiro bravo na região de Castelo Branco

É nos concelhos da extremidade ocidental do distrito de Castelo Branco que o pinheiro bravo domina. Assim, durante os anos de 1991 e 1994 foram instaladas 62 parcelas temporárias, circulares de área de 500 m<sup>2</sup>, nos povoamentos puros de pinheiro bravo dos concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova (Carvalho, 1992; Almeida, 1994). Os locais de amostragem foram seleccionados segundo um esquema de amostragem sistemático com recurso à fotointerpretação por grelha de pontos da fotografia aérea relativa ao voo do Instituto Geográfico e Cadastral de 1989 à escala média de 1:15000. Na figura 4.4. podem ser visualizados os locais de amostragem das 62 parcelas temporárias instaladas em 1991 e 1994.



Escala aproximada de 1:355 932

FIGURA 4.4. Locais de amostra relativos às 62 parcelas temporárias instaladas em povoamentos puros de pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Proença-a-Nova e Castelo Branco em 1991 e 1994 (CNA, 1982; Alegria, 1994)

Estes estudos disponibilizaram informação quanto à variabilidade de diversas variáveis dendrométricas ao nível do povoamento, nomeadamente quanto às variáveis:

- número de árvores por hectare ( $N$ ),
- área basal por hectare ( $G$ ),
- diâmetro médio ( $dg$ ),
- altura média ( $\bar{h}$ ),
- diâmetro dominante ( $ddom$ ),
- altura dominante ( $hdom$ ),
- índice de densidade factor de competição das copas ( $CCF$ ),
- índice de densidade do povoamento ( $SDI$ ),
- índice de densidade factor de Wilson ( $Fw$ ),
- idade média ( $\bar{t}$ ),
- acréscimo médio anual em DAP com casca ( $\bar{id}$ ),
- acréscimo médio anual em altura total ( $\bar{ih}$ ) e
- acréscimo médio anual em volume por hectare ( $\bar{iV}$ ).

O critério utilizado na selecção das árvores dominantes foi o das 100 árvores mais grossas por ha (Assman, 1961).

Em 1991 as árvores amostra foram seleccionadas 3 por parcela (uma árvore dominante, uma árvore codominante e uma árvore dominada), sendo nestas que se efectuaram as verrumadas (Páscoa *et al.*, 1981). Em 1994 as árvores amostra foram seleccionadas proporcionalmente à sua frequência diamétrica (1ª, 5ª, 10ª, ... de cada classe diamétrica) (PORTUCEL, s.d.) e as verrumadas incidiram sobre uma subamostragem das árvores amostra de cada classe diamétrica. As classes de DAP consideradas para a selecção das árvores amostra são as constantes na tabela 4.2. que se segue. Não foram consideradas como árvores amostra aquelas que se apresentassem com mal formações, mortas em pé e/ou resinadas.

TABELA 4.2. Classes de DAP consideradas na selecção das árvores amostra

Classe de DAP	Código	Classe de DAP	Código
morta em pé	99	[30, 35[	6
cepo no solo	88	[35, 40[	7
< 5 cm	0	[40, 45[	8
[5, 10[	1	[45, 50[	9
[10, 15[	2	[50, 55[	10
[15, 20[	3	Amostra	A
[20, 25[	4	Dominante	D
[25, 30[	5	Resinada	R

Ao nível da árvore individual, através da medição de 258 árvores amostra verrumadas, obteve-se informação, nomeadamente quanto às variáveis:

- DAP ( $d$ ),
- altura total ( $h$ ),
- idade ( $t$ ),
- idade mínima das árvores amostra da parcela ( $t_{min}$ ),
- idade máxima das árvores amostra da parcela ( $t_{max}$ ),
- variação de idades das árvores amostra da parcela ( $\Delta t$ ) e
- acréscimo periódico anual em DAP com casca nos últimos 10 anos ( $id'10$ ).

As árvores verrumadas apresentaram DAP's entre 5.0 cm a 44.5 cm, alturas totais entre 4.3 m a 26.0 m e idades entre 14 a 70 anos.

Considerou-se que os povoamentos apresentavam estrutura regular quando as variações de idade observadas nas árvores verrumadas da parcela eram inferiores ou iguais a 5 anos (Páscoa *et al.*, 1981). Observaram-se também os desvios padrão dos DAP das árvores das parcelas. Pode-se afirmar, que na sua maioria os povoamentos de pinheiro bravo da região apresentam estrutura irregular (85%) e que tal decorre provavelmente do facto destes povoamentos se terem instalados por regeneração natural. De facto, estes povoamentos regeneram ao longo de um período de vários anos que pode ir até aos 10 ou 20 anos, tendo-se observado variações até 39 anos (Alegria, 1994).

Também se verificou que os desvios padrão dos DAP das árvores das parcelas consideradas como regulares são pequenos, mas que no entanto, desvios padrão dos DAP das árvores das parcelas pequenos não implicavam necessariamente a regularidade da estrutura da parcela.

Observou-se ainda, uma forte taxa de resinagem à vida e a ocorrência de cortes selectivos sem qualquer critério técnico. Este último aspecto fica na mão dos madeireiros que naturalmente extraem as melhores árvores deixando no terreno os exemplares mais débeis, que acabam por ser os produtores de sementes na futura recobertura florestal da área e que a longo prazo originarão cada vez mais uma floresta de pinheiro bravo de pior qualidade. No que concerne à resinagem esta actividade tem vindo a diminuir significativamente nos últimos anos, porém a maioria das árvores de maior dimensão foram sujeitas a uma resinagem à vida o que desvaloriza grandemente a zona mais nobre do tronco destas árvores.

A avaliação da lotação dos povoamentos foi realizada recorrendo ao factor de competição das copas (CCF), proposto por Krajicek *et al.* (1961) por ser adequado quer para povoamentos de estrutura regular quer para povoamentos de estrutura irregular (p.e., Clutter *et al.*, 1983).

Este índice de densidade foi ajustado, a partir de dados do diâmetro da projecção horizontal das copa (*dpc*) e DAP recolhidos em 70 árvores isoladas (em crescimento livre) amostradas nos concelhos de Oleiros, Castelo Branco e Proença-a-Nova (Alegria, 1994):

$$dpc = 0.335229 + 0.171785 \times d$$

com,  $n=70$ ;  $R^2=0.86$  e  $QMR=0.7349$ .

Observou-se, quanto à lotação, que cerca de 71% dos povoamentos necessitavam de ser intervencionados (desbastados) por se encontrarem sujeitos à competição intraespecífica ( $CCF > 100$ ).

Calcularam-se, também, o índice de densidade do povoamento (Stand Density Index - *SDI*) (Reineke, 1933) e o factor de Wilson (*Fw*) (Wilson, 1946), que têm sido utilizados para a regulação dos desbastes em povoamentos de pinheiro bravo em Portugal (Oliveira, 1985; Luís *et al.*, 1991).

Para o caso dos povoamentos instalados com compasso irregular (p.e., Oliveira, 1984), como é o caso dos povoamentos originados por regeneração natural, a fórmula de cálculo do factor de Wilson a utilizar é

$$Fw = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.933 \times hdom}}$$

Posteriormente, realizou-se a análise comparativa dos três índices de densidade. Na figura 4.5. apresentam-se os gráficos da relação das variáveis dos índices de densidade e destes entre si.

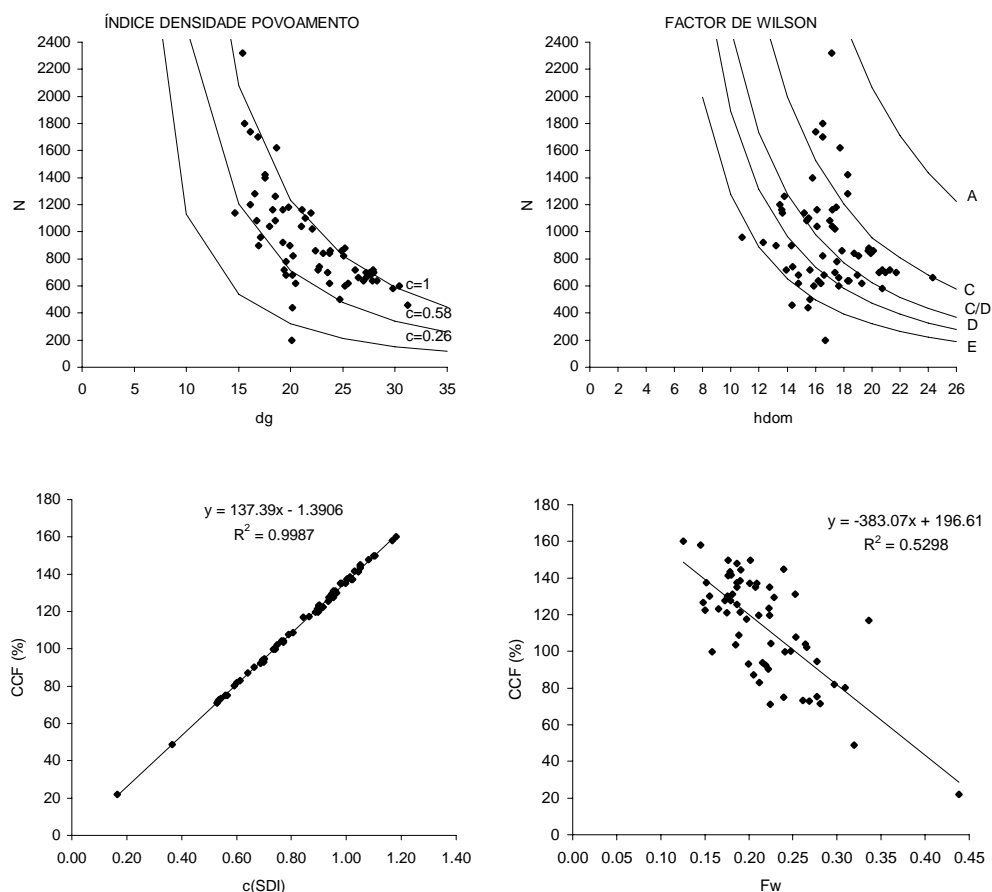


FIGURA 4.5. Gráficos da relação das variáveis relativas aos índices de densidade e destes entre si

Observando a relação entre o  $CCF$  e o índice  $c(SDI)$ , verifica-se uma forte correspondência entre os dois índices, embora o  $c(SDI)$  subavalié a lotação dos povoamentos de pinheiro bravo da região, na medida em que um  $CCF=100\%$  (que corresponde à situação das copas do povoamento a tocaram-se, i.e. lotação normal) é equivalente a um  $c(SDI)=0.74$ . Tal situação, situa-se abaixo da linha de densidade efectiva máxima ajustada por Luís *et al.* (1991) para a espécie e para o País (Alegria, 1994). A correspondência entre o  $CCF$  e o  $Fw$  é relativamente fraca embora se possa considerar que em média um  $CCF=100\%$  corresponde a valores de  $Fw$  da ordem de 0.25, o que se situa entre os graus de desbaste D e E.

Uma síntese descritiva das variáveis atrás referidas assim como, o formulário usado no cálculo das variáveis explicitadas constam das tabelas 4.3. e 4.4. (p.e., Loestch *et al.*, 1973, Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983).

TABELA 4.3. Síntese descritiva das variáveis relativas às parcelas medidas em 1991 e 1994 nos concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova (mínimo, máximo, média e desvio padrão)

Variável	Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova (62 parcelas)				1991 Oleiros (33 parcelas)				1994 Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova (29 parcelas)			
	Min	Máx	Média	Desvio	Min	Máx	Média	Desvio	Min	Máx	Média	Desvio
$N$	200	2320	923	373.1	460	2320	958	398.2	200	1800	883	344.9
$G$	6.4	44.2	32.7	8.4	21.2	44.2	37.4	6.1	6.4	40.2	27.4	7.6
$dg$	14.6	31.2	22.0	4.3	15.4	31.2	23.3	4.5	14.6	28.3	20.4	3.6
$\bar{h}$	9.4	20.1	14.2	2.5	10.1	19.1	14.8	2.4	9.4	20.1	13.5	2.5
$ddom$	22.8	39.4	31.2	4.2	22.8	39.4	32.8	3.7	23.1	37.6	29.4	4.0
$hdom$	10.8	24.3	17.0	2.5	13.5	21.7	17.6	2.2	10.8	24.3	16.3	2.7
$CCF$	22	160	114	28.2	75	160	129	20.4	22	135	96	25.8
$c(SDI)$	0.17	1.18	0.84	0.2	0.56	1.18	0.95	0.2	0.17	0.98	0.71	0.2
$Fw$	0.13	0.44	0.22	0.1	0.13	0.34	0.20	0.1	0.15	0.44	0.23	0.1
$\bar{t}$	22	63	36	8.5	22	61	39	9.6	22	48	34	6.3
$\Delta t$	1	39	15	8.8	1	32	13	7.6	4	39	18	9.3
$\bar{id}$	0.4	0.9	0.6	0.1	0.4	0.9	0.6	0.1	0.4	0.9	0.6	0.1
$\bar{ih}$	0.2	0.6	0.4	0.1	0.2	0.6	0.4	0.1	0.3	0.6	0.4	0.1
$\bar{iV}$	0.8	13.3	6.3	2.4	2.3	13.3	7.0	2.2	0.8	10.7	5.5	2.4

Legenda: número de árvores por hectare ( $N$ ), área basal por hectare ( $G$ ), diâmetro médio ( $dg$ ), altura média ( $\bar{h}$ ), diâmetro dominante ( $ddom$ ), altura dominante ( $hdom$ ), índice de densidade factor de competição das copas ( $CCF$ ), idade média ( $\bar{t}$ ), variação de idades das árvores verrumadas da parcela ( $\Delta t$ ), acréscimo médio anual em  $DAP$  com casca ( $\bar{id}$ ), acréscimo médio anual em altura total ( $\bar{ih}$ ) e acréscimo médio anual em volume total com cascapor hectare ( $\bar{iV}$ ).

TABELA 4.4. Formulário usado no cálculo das variáveis

Variável	Formulário	Variável	Formulário
$N$	$N = n \times \frac{10000}{A}$	$CCF$	$CCF = \frac{25 \times \pi}{A} \times \sum_{i=1}^n (0.335229 + 0.171785 \times d_i)^2$
$G$	$G = \frac{10000}{A} \times \sum_{i=1}^n d_i^2$	$c(SDI)$	$c = \frac{N}{e^{12.544 - 1.815 \times \ln(dg)}}$
$dg$	$dg = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$	$\bar{t}$	$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{n_v} t_i}{n_v}$
$\bar{h}$	$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{n_a} h_i}{n_a}$	$\Delta t$	$\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$
$ddom$	$ddom = \frac{\sum_{i=1}^{n_d} d_i}{n_d}$	$\bar{i}d$	$\bar{i}d = \frac{dg}{t}$
$hdom$	$hdom = \frac{\sum_{i=1}^{n_d} h_i}{n_d}$	$\bar{i}h$	$\bar{i}h = \frac{\bar{h}}{t}$
$Fw$	$Fw = \frac{100}{\sqrt{N \times 0.933 \times hdom}}$	$\bar{i}V$	$\bar{i}V = \left( 0.004798 + 0.000036 \times dg^2 \times \bar{h} \right) \times \frac{N}{t}$

Legenda: número de árvores da parcela ( $n$ ), área da parcela ( $A$ ), DAP da árvore  $i$  ( $d_i$ ), altura total da árvore  $i$  ( $h_i$ ), número de árvores amostra da parcela ( $n_a$ ), número de árvores dominantes da parcela ( $n_d$ ), número de árvores amostra verrumadas da parcela ( $n_v$ ), idade da árvore amostra verrumada  $i$  ( $t_i$ ), idade máxima observada no conjunto das árvores amostra verrumadas da parcela ( $t_{\max}$ ), idade mínima observada no conjunto das árvores amostra verrumadas da parcela ( $t_{\min}$ ).

Para a identificação da variabilidade de condições de crescimento dos povoamentos puros de pinheiro bravo na região, conforme o proposto por Alder (1980), teve-se em consideração as variáveis  $N$ ,  $\bar{t}$  e  $\bar{i}V$ , respectivamente, para a classificação da densidade, idade e produtividade dos povoamentos medidos em 1991 e 1994. As classes de variação utilizadas tiveram como base os quartis daquelas variáveis, conforme se encontram descritos na tabela 4.5.

TABELA 4.5. Amplitude das classes para classificação dos povoamentos da região

DENSIDADE	BAIXA	MÉDIA	ALTA
árvores por hectare	$N < 680$	$N \in [680, 1140]$	$N \geq 1140$
IDADE	JOVEM	MEIA ROTAÇÃO	IDADE CORTE
anos	$\bar{t} < 30$	$\bar{t} \in [30, 39]$	$\bar{t} \geq 39$
ESTAÇÃO	POBRE	MÉDIA	ALTA
$m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$	$\bar{i}V < 4.9$	$\bar{i}V \in [4.9, 7.6]$	$\bar{i}V \geq 7.6$

Da combinação das classes estabelecidas, relativas aos parâmetros em análise, classificaram-se as 62 parcelas medidas nos anos de 1991 e 1994 (Tabela 4.6.).

TABELA 4.6. Síntese das classes ocorrentes na região de acordo com os dados de 1991 e 1994

DENSIDADE		Baixa			Média			Alta		
680-1140 arv/ha										
ESTAÇÃO		Baixa			Média			Alta		
4.9-7.6 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
IDADE	Jovem	–	–	–	•	•	•	*	•	×
30-39 anos	Meia rotação	•	•	•	•	•	•	•	•	–
	Idade de corte	•	•	–	*	•	•	*	×	–

Legenda: \* - existente apenas nos concelhos de Castelo Branco e/ou de Proença-a-Nova;

• - existentes no concelho de Oleiros;

× - existentes apenas em povoamentos de estrutura regular ( $\Delta t \leq 5$  anos).

Por fim, apresenta-se uma síntese dos valores médios e máximos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro para a espécie no concelho de Oleiros, relativos aos períodos de 1981 a 1991 de acordo com o estudo desenvolvido por Carvalho (1992) e de 1984 a 1994 de acordo com o estudo desenvolvido por Almeida (1994) (Tabela 4.7.).

Por se dispor de informação resultante da aplicação do método de análise de tronco, para as árvores abatidas no concelho de Oleiros (Alegria, 1990), apresenta-se também nesta tabela os valores médios e máximos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro do cepo sem casca e em altura total observados até 1990.

Na figura 4.6. apresentam-se os gráficos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro, relativos aos dados obtidos em 74 árvores de *DAP's* entre 6.4 a 44.5 cm, pesquisados em Almeida (1994) e os gráficos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro do cepo sem casca e em altura total, relativos aos dados obtidos em 23 árvores abatidas em quatro locais do concelho de Oleiros com *DAP's* entre 6.5 a 36.5 cm, pesquisados em Alegria (1990).

TABELA 4.7. Síntese comparativa dos crescimentos periódicos anuais em diâmetro do cepo sem casca, em DAP com casca e altura total para a espécie no concelho de Oleiros (mínimo, máximo, média e desvio padrão)

Autor	Método	nº de árvores	Variável	nº Obs.		Mín - Máx	Média	D.P
Alegria (1990)	Análise de tronco	23 abates	<i>idc5</i>	180	cm.ano <sup>-1</sup>	0.03 - 1.46	0.46	0.22
			<i>ihp</i>	144	m.ano <sup>-1</sup>	0.09 - 2.04	0.44	0.24
Carvalho (1992)	Verrumadas	33 dominantes	<i>id10</i>	—	cm.ano <sup>-1</sup>	0.09 - 0.53	0.28	0.10
Carvalho (1992)	Verrumadas	33 codominantes	<i>id10</i>	—	cm.ano <sup>-1</sup>	0.07 - 0.48	0.18	0.08
Carvalho (1992)	Verrumadas	33 dominadas	<i>id10</i>	—	cm.ano <sup>-1</sup>	0.04 - 0.22	0.09	0.03
Almeida (1994)	Verrumadas	74 (1 por classe DAP)	<i>id10</i>	—	cm.ano <sup>-1</sup>	0.18 - 1.00	0.48	0.17

Legenda: *idc5* - crescimento periódico anual em diâmetro do cepo sem casca relativo a períodos de 5 anos; *ihp* - crescimento periódico anual em altura total relativo a períodos com número de anos variável.

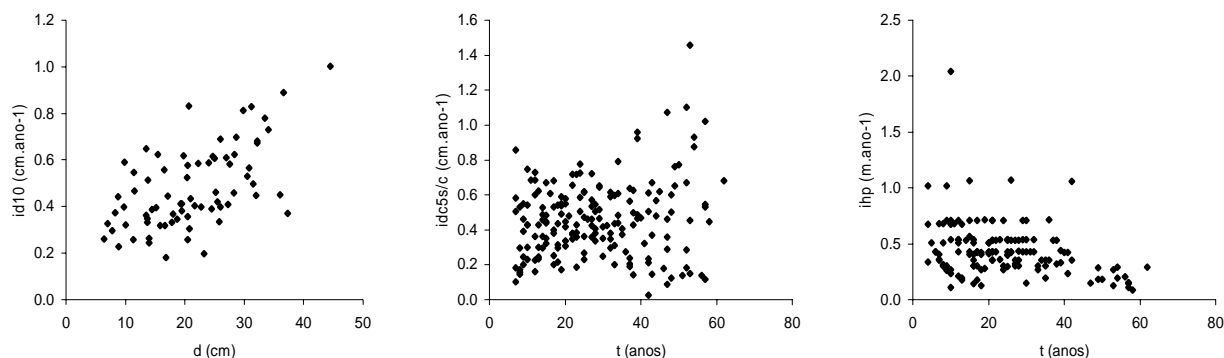


FIGURA 4.7. Gráficos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro relativos aos dados pesquisados em Almeida (1994) e os gráficos dos acréscimos periódicos anuais em diâmetro do cepo sem casca e em altura total relativos aos dados pesquisados em Alegria (1990)

## PRÁTICA

- **Densidade e lotação. Factor de Competição das Copas (FCC) para o pinheiro bravo no concelho de Oleiros, Castelo Branco e Proença-a-Nova e Índice de densidade do Povoamento (SDI) para o pinheiro bravo e País e Factor de Wilson. Intervenção produtiva - desbastes.**

**EXERCÍCIO 1** - Apresentam-se os dados recolhidos na parcela P3/91 de 500 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo de estrutura regular no concelho de Oleiros.

- Estime os parâmetros dendrométricos da parcela: número de árvores por hectare, área basal por hectare, diâmetro médio e altura dominante.
- Estime o Factor de Competição das Copas para a parcela realizando os cálculos por agregação dos dados segundo classes de distribuição diamétrica.

Classe de DAP	Código	Freq.	
[5, 10[	1		
[10, 15[	2		
[15, 20[	3		
[20, 25[	4		
[25, 30[	5		
[30, 35[	6		
[35, 40[	7		
TOTAL			

- Estime o Índice de Densidade do Povoamento para a parcela recorrendo ao modelo ajustado por Luís *et al.* (1991).
- Estime o Factor de Wilson para a parcela.
- Analise a lotação da parcela.
- Caso necessário, proponha um programa de desbastes para a parcela.



**EXERCÍCIO 2** - Considere os dados dendrométricos da parcela P7/91 de 500 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo de estrutura regular em Castelo Branco:

- número de árvores por hectare -  $N=720$
  - área basal por hectare -  $G=21.22 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
  - diâmetro médio -  $d_g=19.4 \text{ cm}$
  - altura média -  $\bar{h}=12.1\text{m}$
  - altura dominante -  $h_{dom}=13.9\text{m}$
  - idade média -  $\bar{t}=28 \text{ anos.}$
- a) Estime o Índice de Densidade do Povoamento para a parcela recorrendo ao modelo ajustado por Luís *et al.* (1991).
- b) Analise a lotação da parcela.
- c) Caso necessário. proponha um programa de desbastes para a parcela.

**LIÇÃO Nº 6**  
**TEÓRICA****5. COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA**

Segundo Vanclay (1994) o actual conhecimento sobre a competição entre as árvores em povoamento florestal pode ser sintetizado em cinco axiomas:

- as plantas modificam o seu ambiente à medida que crescem, reduzindo os recursos disponíveis para si e para as outras plantas (competição);
- o mecanismo primário da competição é a interacção espacial;
- a mortalidade devido à competição resulta da redução do crescimento após a delapidação dos recursos;
- as plantas ajustam-se à mudança ambiental, respondendo à competição e alterando a natureza da competição e
- existem diferenças entre espécies no processo da competição.

A competição a que as árvores estão sujeitas em povoamento e ao longo do seu crescimento pode ser de diferente natureza consoante se trata da disputa de recursos no solo ou de recursos como a luz. Assim, a competição pode ser analisada de acordo com dois modelos básicos:

- a competição unilateral ou assimétrica - característica de situações em que as árvores de maiores dimensões não são afectadas pelas suas vizinhas de menores dimensões e
- a competição bilateral - os recursos são partilhados igualmente (competição simétrica) ou em proporção à dimensão.

Diversos autores admitem que a competição pela luz é assimétrica enquanto que a competição pelos nutrientes e água é bilateral embora não necessariamente simétrica (Tomé *et al.*, 1994). Vários investigadores sugeriram que a competição entre plantas numa monocultura é predominantemente por luz, em vez de outros recursos ambientais. Isto sugere que a componente da competição é unilateral (i.e., as plantas maiores ensombram as mais pequenas mas o contrário não, embora tal dependa da arquitectura da copa da planta, logo, será mais correcto dizer que folhas mais altas ensombram as mais baixas). Então, a área basal das árvores maiores deverá ser um bom preditor, complementar à área basal do povoamento a qual indica uma competição bilateral (e.g., para os recursos que não a luz,

incluindo humidade e nutrientes). A importância relativa destas medidas complementares podem variar com a estação. Em solos frescos e férteis a luz pode ser o factor limitante, enquanto outros recursos podem ser limitantes em outras situações (Vanclay, 1994).

Reconhece-se então genericamente que a competição entre plantas é assimétrica ou unilateral, visto que as plantas maiores têm um efeito desproporcionado sobre as mais pequenas. A competição assimétrica leva à desigualdade de dimensões ou à distribuição das dimensões. Dentro de determinados limites, quanto maior é o espaço de crescimento por árvore maior será o seu crescimento individual. Para efeitos de competição também deve ser tido em conta a presença de outros tipos de vegetação como o sub-bosque.

Os efeitos da competição no crescimento das árvores individuais só explicam apenas uma parte da variação do crescimento da árvore (Carvalho, 1999). Numa determinada estação, o crescimento da árvore é influenciado por um grande número de factores tais como a sua idade, a sua dimensão, o micro-ambiente, as suas características genéticas e a competição a que está sujeita. Por outro lado, as condições que condicionaram o crescimento passado e as características genéticas da árvore são responsáveis pelas características actuais da árvore, como por exemplo, da sua dimensão e do seu vigor (Tomé, 1988).

### **5.1. Avaliação da competição intraespecífica**

A competição intraespecífica é uma medida de avaliação pontual da densidade recorrendo-se ao cálculo de índices de competição com vista a avaliar o ambiente geral de competição e a influência das árvores vizinhas no crescimento da árvore individual em povoamento.

Munro (1974) classificou os índices de competição consoante estes são calculados de forma independente da distância ou de forma dependente da distância designando-os, respectivamente, de:

- índices de competição independente da distância e
- índices de competição dependente da distância.

Os índices de competição independente da distância são obtidos em função apenas da dimensão de cada árvore e de variáveis do povoamento dispensando, por isso, o conhecimento das coordenadas das árvores. Estes índices conseguem traduzir os factores relativos às influências micro-ambientais e genéticas e ao ambiente geral de competição. São exemplos de índices de competição independente da distância: a área basal, a área

basal das árvores maiores que a árvore central, a razão entre a dimensão da árvore e a dimensão da árvore média ou a razão entre a dimensão da árvore e a dimensão das árvores dominantes, o índice de densidade do povoamento de Reineke (1933), o factor de competição das copas de Krajicek (Krajicek *et al.*, 1961), o factor de Wilson (Wilson, 1946) e a razão da copa (p.e., Walsh, 1986; Tomé, 1989; Biging & Dobbertin, 1992; Carvalho, 1999).

Os índices de competição dependentes da distância são utilizados para traduzir a influência dos vizinhos, sendo obtidos através de uma expressão matemática em função da dimensão dos vizinhos, da dimensão da árvore central e das distâncias entre os vizinhos e a árvore central.

Segundo Doyle (1983), dentro dos índices dependentes da distância podemos considerar ainda três grupos de índices:

- *ratio* de dimensão,
- de copa ou de sobreposição de zona de influência e
- de espaço de crescimento.

Vanclay (1994) classifica os índices de competição nas seguintes quatro grandes categorias (Figura 5.1.):

- zona de influência competitiva (CIZ - “competitive influence zone”);
- área potencialmente disponível (APA - “area potentially available”);
- dimensão-distância (incluindo variantes horizontal e vertical) (SDh e SDv - “horizontal and vertical size-distance”) e
- visualização do céu e intercepção da luz (SV - “sky view” e LI - “light interception”).

Os índices da categoria zona de influência competitiva (CIZ) correspondem à designação de Doyle (1983) de índices de copa ou de sobreposição de zona de influência.

As abordagens à zona de influência competitiva (ou área de sobreposição) são baseadas nos seguintes pressupostos:

- cada árvore tem uma zona de influência determinada pela dimensão da árvore e
- a competição experimentada por cada árvore pode ser medida pela sobreposição potencial das zonas de influência.

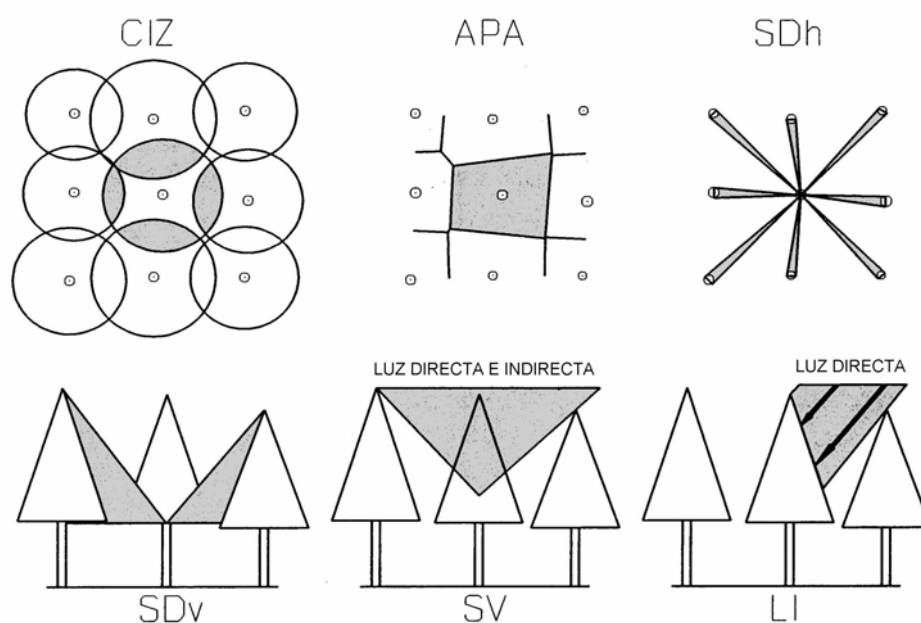


FIGURA 5.1. Categorias de índices de competição (Vanclay, 1994)

É difícil definir a zona de influência que deve ser considerada num índice de competição para as árvores individuais, visto que a competição pelos recursos acima do solo e os recursos do solo ocorrem em zonas de dimensão diferente, já que a primeira se situa dentro da área que ocupam as copas e a segunda, a competição das raízes é difusa e imprevisível para uma dada árvore (Biging & Dobbertin, 1992).

O índice de competição pode representar a área de sobreposição potencial (e.g.,  $m^2$ ) ou pode ser escalada como uma área relativa (e.g., uma razão entre 0 a 1) e pode ser ponderada pela dimensão da árvore ou outros factores. Uma variante não espacial deste índice é o factor de competição das copas (*CCF*) o qual expressa a área da copa potencial em crescimento livre de todas as árvores em percentagem, em que 100% ocorre quando as copas se fecham e valores mais elevados indicam mais competição.

Estes índices são obtidos realizando o cálculo da área da projecção da copa ou da área da zona de influência à volta da árvore relativa à sua dimensão. O somatório da razão das áreas de sobreposição entre a zona de influência da árvore objecto e as zona de influência das suas vizinhas competidoras é usado como índice de competição. Muitos dos estudos recentes de competição intraespecífica usam o conceito de zona de influência de competição em torno de cada árvore e assumem que a área, na projecção horizontal, sobre a qual a árvore compete pelos recursos da estação pode ser representada por um círculo cujo raio é uma função da dimensão da árvore. O stress de competição experimentado por uma dada árvore é então assumido ser uma função da extensão em que o seu círculo de

competição sobrepõe o das árvores vizinhas. Em geral, o círculo de competição pode ser obtido como uma função do DAP ou, dada a estreita relação entre o DAP e o diâmetro do cepo, como função deste (Figura 5.2.).

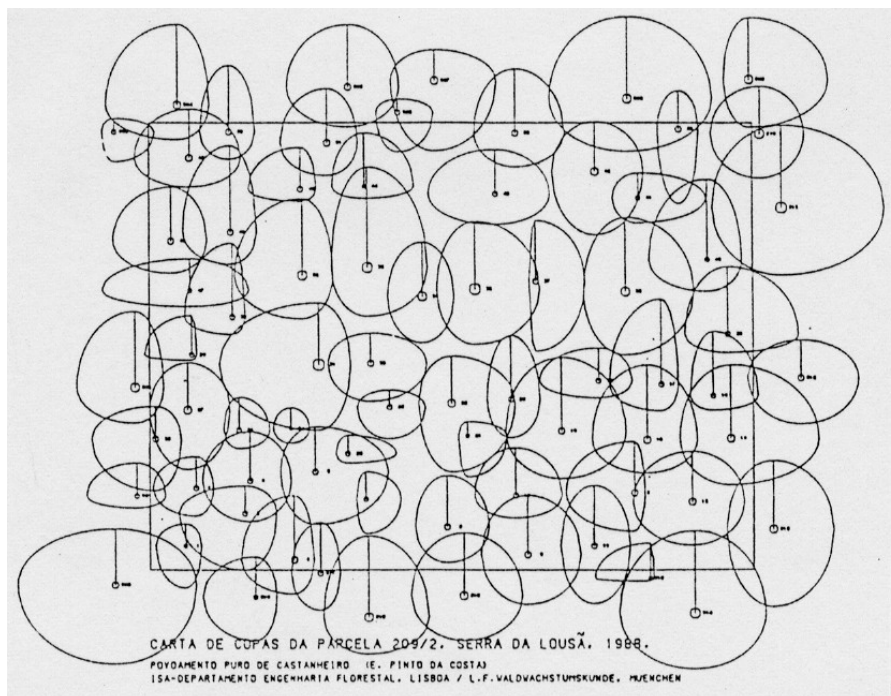


FIGURA 5.2. Carta de copas (Costa e Preuhler, 1994)

Os índices de área potencialmente disponível (APA) correspondem à designação de Doyle (1983) de índices de espaço de crescimento.

Nestes índices é calculado um polígono à volta da árvore, particionando o povoamento em áreas potencialmente disponíveis para cada árvore. Esta área é determinada posicionando bissetores a meia distância ou numa posição proporcional às dimensões relativas da árvore central de cada uma das suas vizinhas competidoras. A intercepção destes bissetores perpendiculares representam os vértices do polígono da árvore central (Biging & Dobbertin, 1992). A área potencialmente disponível a cada árvore é mais correctamente calculada por repartição da área total da parcela (simulada) entre as árvores de acordo com a sua dimensão e posição, usando um peso de acordo com a dimensão da árvore. Em geral, é muito complexo assegurar que os polígonos não se sobreponham e que não ocorram falhas, especialmente quando são calculados índices ponderados pela dimensão para povoamentos irregulares. Estudos empíricos sugerem que a área potencialmente disponível, ponderada pela dimensão da árvore é um dos melhores índices de competição disponíveis para a predição do crescimento em área basal em plantações de monoculturas.

Os índices dimensão-distância (SD) correspondem à designação de Doyle (1983) de índices de *ratio* de dimensão.

Calculam um índice de competição baseado na dimensão e distância a cada competidor potencial. Estes são obtidos pelo cálculo do somatório das razões da dimensão da árvore central pela dimensão das vizinhas competidoras. Estas razões são por vezes ponderadas pela distâncias das vizinhas competidoras à árvore central. As variáveis mais usualmente utilizadas para traduzir a dimensão são o *DAP*, a altura total e a área basal. O índice pode ser calculado no plano horizontal (SDh) (e.g., baseado no diâmetro ou diâmetro da copa da árvore central e das árvores vizinhas) ou no plano vertical (SDv) (e.g., baseado nas alturas das árvores vizinhas). Em qualquer dos casos, a altura de referência pode ser variável para obter estimativas com maior significado (e.g., altura do peito, base da copa da árvore central, topo da árvore central). Para limitar os efeitos de bordadura e tempo de cálculo, é necessário especificar um raio de procura, dentro do qual a competição é avaliada. A selecção do raio adequado pode ser ajustado por dados obtidos de árvores em crescimento livre.

Finalmente a abordagem visualização do céu (SV) determina a proporção de céu “visto” por cada árvore, às vezes ponderando partes do céu diferencialmente (e.g., mais peso para o céu imediatamente por cima e menos para os horizontes). O ponto de referência não precisa de ser o topo da árvore, mas pode ser o centroíde da copa ou pode envolver um ajustamento para ter em consideração a maior actividade fotossintética da folhagem mais nova, de forma que o ponto de referência pode variar de acordo com o desenvolvimento recente da copa da árvore objecto. A variante mais complexa desta abordagem envolve a intercepção da luz (LI) por cada árvore, ajustada para a hora do dia e estação do ano. Isto pode ser uma tarefa difícil, e uma simplificação é usar a posição do sol ao meio dia, o qual pode dar um resultado similar ao método mais convencional de visualização do céu ponderada, especialmente nos trópicos.

Estudos realizados não têm mostrado evidência de existir uma índice de competição superior relativamente a outros, dependendo o seu comportamento da espécie e das situações. Igualmente, diversos autores têm obtido resultados não uniformes quanto ao comportamento de diversos índices de competição na explicação do crescimento das árvores individuais (Biging & Dobbertin, 1992). Estudos empíricos sugerem que os índices de competição raramente providenciam melhores estimativas do acréscimo do que medidas simples como a área basal do povoamento, e os custos de determinação das posições individuais da árvore no povoamento é raramente assegurada para efeitos de previsão da produção (Vanclay, 1994). Algumas das limitações para definir um índice de competição geral são:

- a performance dos índices de competição está intimamente ligada às funções de crescimento em que são usados;
- os resultados podem ser influenciados pela dimensão da parcela usada e pelos pressupostos usados para estimar a competição das árvores próximas da bordadura da parcela e
- a maioria de estudos terem sido feitos a partir de dados de povoamentos puros regulares e não incluírem desbastes, o que não providencia o melhor teste ao índice de competição.

Quando não existe desbaste, as condições futuras serão mais ou menos como as passadas e como a dimensão presente da árvore (p.e., diâmetro, altura, razão da copa) é determinada por condições passadas, o índice pode ser o melhor indicador do crescimento futuro. O teste mais adequado aos índices de competição é cortar a correlação entre a dimensão da árvore e as condições de crescimento, em geral, com um desbaste pelo alto, desramação da copa verde e talvez removendo as flechas de algumas árvores. Será pouco provável que um único intervalo de tempo seja suficiente para avaliar o índice de competição apropriadamente após este distúrbio experimental (Vanclay, 1994).

## **5.2. Caso de estudo - Avaliação da competição intraespecífica em povoamentos puros irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros**

Foram instaladas 30 parcelas circulares semi-permanentes de área de 1000 m<sup>2</sup> no concelho de Oleiros (Figura 5.3.). As árvores das parcelas foram identificadas através de um sistema de coordenadas polares (*dist*, *az*) e medidas anualmente, sempre na mesma época do ano, durante o período de repouso vegetativo, e ao longo de três anos sucessivos (Set96-Mar97, Set97-Mar98 e Set98-Mar99). Os dados obtidos para todas as árvores da parcela de área de 1000 m<sup>2</sup> foram:

- DAP (*d*),
- altura total (*h*),
- altura até à copa (*hc*),
- razão da copa (*rc*) e
- diâmetro da copa (*dc*).

E ainda, para as árvores amostra à altura da 1ª medição mediram-se as variáveis:

- idade ao 1.3 m das árvores amostra da parcela ( $t_{1.3}$ ) e
- idade das árvores amostra da parcela ( $t = t_{1.3} + a_{1.3}$ ).

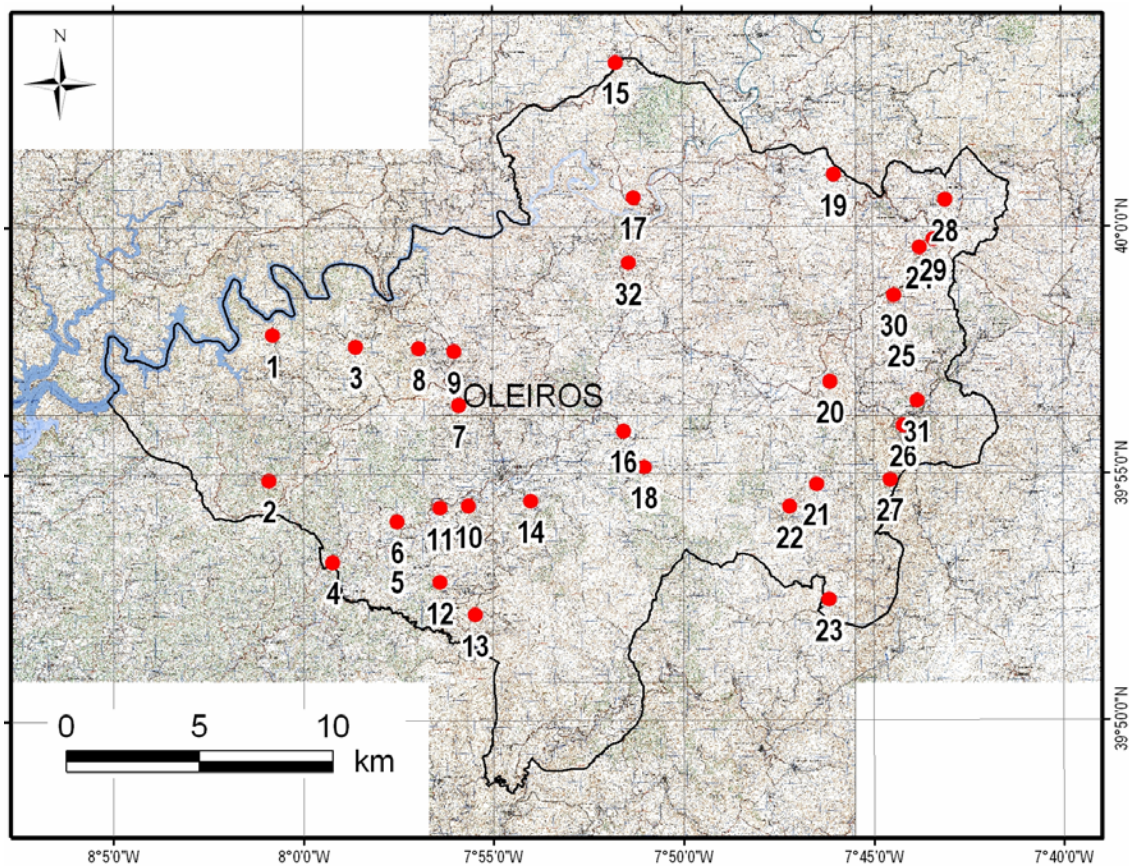


FIGURA 5.3. Localização da rede de parcelas semi permanentes instaladas no concelho de Oleiros  
- Cartas militares de Portugal nº254, nº255, nº265, nº266, nº267, nº277, nº278, nº279 e nº290 do Instituto Geográfico do Exército (1997)

A modelação do crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual em povoamento foi realizada modelando o crescimento individual potencial e depois afectando-o de uma função modificadora, de forma a quantificar os efeitos da competição e os factores da estação (p.e., Tomé, 1988; Carvalho, 1999),

$$id = (\text{crescimento potencial}) \times (\text{função modificadora}) = idpot \times (\text{função modificadora}).$$

A modelação dos crescimentos potenciais anuais em diâmetro com casca foi realizada considerando as variáveis ao nível da árvore recolhidas nas árvores em crescimento livre (livres de competição). Optou-se para o efeito, pelo modelo de Lundqvist-

Korf, com  $k$  como parâmetro livre, pela sua boa prestação na tradução dos crescimentos em altura dominante e em diâmetro dominante para a espécie eucalipto (p.e., Carvalho, 1999).

Ao nível da modelação do crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual foram testados diversos índices de competição independentes e dependentes da distância, através da sua inclusão na função modificadora. A modelação foi realizada ao nível das árvores amostra da parcela sub concêntrica de área de 500 m<sup>2</sup>, considerando as variáveis ao nível da árvore e ao nível do povoamento, para o global dos dados nos dois períodos de crescimento.

De entre as variáveis consideradas explicativas do crescimento em diâmetro da árvore individual foram contempladas, à priori, no modelo de crescimento potencial anual em diâmetro com casca da árvore individual:

- as características actuais da própria árvore (variáveis  $dt1$ ,  $t1$  e  $t2$ ) e
- a produtividade da estação ( $Sh25$ ).

Ao nível da função modificadora consideraram-se, ainda, as variáveis relativas aos índices de competição independentes da distância que expressam:

- as influências micro-ambientais e genéticas - através da razão entre a dimensão da árvore e a dimensão da árvore média e a razão entre a dimensão da árvore e a dimensão das árvores dominantes (p.e.,  $d/dg$ ,  $d/ddom$  e  $h/hdom$ ) e
- o ambiente geral de competição (p.e., a área basal por hectare, a área basal das árvores maiores que a árvore central, o factor de competição das copas, o diâmetro médio e a razão da copa).

E também, as variáveis que expressam a influência dos vizinhos através do cálculo dos índices de competição dependentes da distância. De entre estes, testaram-se apenas índices do tipo dimensão-distância e uma medida de densidade pontual (DP) baseada no método de amostragem pontual de Bitterlich (Spur, 1960) (p.e., Tomé, 1988; Tomé & Burkhart, 1989; Tomé, 1990; Biging & Dobbertin, 1992; Carvalho, 1999).

De entre os índices de competição dependentes da distância foram ensaiados índices do tipo dimensão-distância (SD) e de densidade pontual (DP). As formulações dos índices de competição ensaiados e respectivos critérios de selecção das árvores vizinhas competidoras da árvore central apresentam-se nas tabelas 5.1., 5.2. e 5.3..

TABELA 5.1. Fórmulas dos índices de competição ensaiados (Tomé, 1988; Biging &amp; Dobbertin, 1992; Carvalho, 1999)

<i>Tipo</i>	<i>Índice</i>	<i>Formulário</i>
Dimensão-distância (SD)	<i>H</i>	$H = \sum_{i \neq j} \left( \frac{d_j}{d_i \times (dist_{ij} + 1)} \right)$
	<i>H_U</i>	versão unilateral de <i>H</i>
	<i>CC</i>	$CC = \sum_{i \neq j} \left( \frac{dc_j}{dc_i \times (dist_{ij} + 1)} \right)$
	<i>CC_U</i>	versão unilateral de <i>CC</i>
	<i>CCU</i>	$CCU = \sum_{i \neq j} \left( \frac{dc_j}{dc_i} \right)$
	<i>CCU_U</i>	versão unilateral de <i>CCU</i>
Densidade pontual (DP)	<i>DP</i>	$DP = \frac{2500}{n} \times \left( \sum_{j=1}^n (j - 0.5) \times \left( \frac{d_j}{dist_{ij}} \right)^2 \right)$
	<i>DP_U</i>	versão unilateral de <i>DP</i>

Legenda:  $d_i$  - DAP da árvore central  $i$ ;  $d_j$  - DAP das árvores competidoras ( $j \neq i$ );  $dist_{ij}$  - distância da árvore central  $i$  à árvore competidora  $j$ ;  $dc_i$  - diâmetro da projecção horizontal da copa da árvore central  $i$ ;  $dc_j$  - diâmetro da projecção horizontal da copa das árvores competidoras ( $j \neq i$ ).

Os índices do tipo dimensão-distância (SD) e de densidade pontual (DP) na sua versão tradicional assumem a competição como bilateral. Para o cálculo dos índices nas suas versões unilaterais considerou-se que a árvore central não era afectada pelas vizinhas mais pequenas, ou seja na selecção das vizinhas competidoras consideraram-se apenas aquelas que observaram a condição  $d_j > d_i$  reflectindo desta forma a competição como unilateral.

TABELA 5.2. Critérios ensaiados na selecção das vizinhas competidoras (Tomé, 1988; Biging &amp; Dobbertin, 1992; Carvalho, 1999)

<i>Tipo</i>	<i>Critério de selecção</i>	<i>Formulário</i>
Dimensão-distância (SD)	<i>D1</i>	$dist_{ij} < \frac{d_i + d_j}{8}$
	<i>DC</i>	$dist_{ij} < dcl_i + dcl_j$
	<i>H1</i>	$dist_{ij} < \frac{h_i + h_j}{8}$
	<i>H2</i>	$dist_{ij} < \frac{h_j - hc_i}{1.19}$
	<i>H3</i>	$dist_{ij} < \frac{h_j - hc_i}{2}$
	<i>H4</i>	$dist_{ij} < 0.25 \times h_j$
Densidade pontual (DP)	<i>T</i>	sem critério de selecção, todas as árvores da parcela foram utilizadas no cálculo
	<i>F4</i>	$dist_{ij} < 0.25 \times d_j$ com FAB= 4 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>

Legenda:  $d_i$  - DAP da árvore central  $i$ ;  $d_j$  - DAP das árvores competidoras ( $j \neq i$ );  $dist_{ij}$  - distância da árvore central  $i$  à árvore competidora  $j$ ;  $dcl_i$  - diâmetro da projecção horizontal da copa em crescimento livre da árvore central  $i$ ;  $dcl_j$  - diâmetro da projecção horizontal da copa em crescimento livre das árvores competidoras ( $j \neq i$ );  $h_i$  - altura total da árvore central  $i$ ;  $h_j$  - altura total das árvores competidoras ( $j \neq i$ );  $hc_i$  - altura até à copa da árvore central  $i$ .

TABELA 5.3. Combinações índice x critério ensaiados

<i>índice x critério</i>	<i>D1</i>	<i>DC</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>H4</i>	<i>T</i>	<i>F4</i>
<i>H</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>H_U</i>	X					X		X
<i>CC</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>CC_U</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>CCU</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>CCU_U</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>DP</i>								X
<i>DP_U</i>								X

Nos índices do tipo SD e DP a selecção das vizinhas competidoras à árvore central foi realizada considerando um raio de procura dentro do qual a competição foi avaliada:

$$dist_{ij} < \text{raio de procura.}$$

Para a avaliação da distância da árvore central às suas árvores vizinhas converteram-se as coordenadas polares recolhidas no campo (*dist*, *az*) nas suas respectivas coordenadas cartesianas (*x*, *y*) da seguinte forma (Domenech, 1981):

$$x = dist \times sen(az)$$

$$y = dist \times cos(az) .$$

Posteriormente a avaliação da distância da árvore central às árvores vizinhas foi obtida por

$$dist_{ij} = \sqrt{|x_i - x_j|^2 + |y_i - y_j|^2} .$$

A selecção das vizinhas competidoras à árvore central foi realizada considerando as seguintes regras, dependendo do tipo de índice de competição a utilizar (p.e., Tomé, 1988; Biging & Dobbertin, 1992; Carvalho, 1999):

- no plano horizontal (SDh - baseado no diâmetro da árvore central e das árvores vizinhas e ainda a partir de dados obtidos de árvores em crescimento livre - diâmetro da projecção horizontal da copa).
- no plano vertical (SDv - baseado nas alturas totais e nas alturas até à base da copa da árvore central e das árvores vizinhas - equivalente à realização de um giro de 360° no plano vertical segundo uma determinada abertura angular, com ponto estação na árvore central ao nível da base da copa da árvore central) ;
- com base num determinado factor de área basal - FAB (realização de um giro de 360° no plano horizontal segundo uma determinada abertura angular, com ponto estação na árvore central e ao nível do 1.30 m segundo o método de amostragem pontual de Bitterlich . Assim,

$$dist_{ij} < L , \text{ com } L = \frac{0.5}{\sqrt{FAB}} \times d_j$$

onde, *L* - distância da árvore central à árvore vizinha.

Não foram ensaiados critérios que recorrem a distâncias fixas para o raio de procura, ou a um número fixo de competidoras vizinhas à árvore central, ou à sobreposição de áreas de influência, devido à fraca prestação destes relatada na bibliografia.

Os modelos de crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual obtidos foram os seguintes:

□ *Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual*

- *Crescimento potencial anual em diâmetro*

$$idpot = (20.94348 + 1.7417 \times Sh25) \times \left( \frac{dt1}{20.94348 + 1.7417 \times Sh25} \right)^{\left( \frac{t1}{t2} \right)^{1.1325}} - dt1$$

com,  $t2 = t1+1$

$R^2=0.99517$ ;  $R^2 AJ=0.99517$ ;  $QMR=0.3277$ ;  $APRESS=0.4598097$ ;  $PRESS=0.2007835$ ;  $n=52$ ; coeficientes obtidos pelo método IRLS.

- *Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual independente da distância*

$$dt2 = dt1 + idpot \times e^{0.2051 - 0.002444 \times G > d + 0.6152 \times \frac{d}{dg} + 0.6333 \times r\bar{c} - 0.00064 \times N}$$

com,  $t2 = t1+1$

$R^2=0.99402$ ;  $R^2 AJ=0.99396$ ;  $QMR=0.3789$ ;  $APRESS=0.5166953$ ;  $PRESS=0.2573812$ ;  $n=454$ ; coeficientes obtidos pelo método IRLS.

- *Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual dependente da distância*

$$dt2 = dt1 + idpot \times e^{70.9221 - 0.00047 \times G > d + 0.568 \times \frac{d}{dg} + 0.6615 \times r\bar{c} - 0.00061 \times N} \times \frac{1}{1 + e^{70.69971 + 0.385 \times F4H\_U}}$$

com,  $t2 = t1+1$

$R^2=0.99460$ ;  $R^2 AJ=0.99454$ ;  $QMR=0.3427$ ;  $APRESS=0.5001216$ ;  $PRESS=0.2259497$ ;  $n=454$ ; coeficientes obtidos pelo método IRLS.

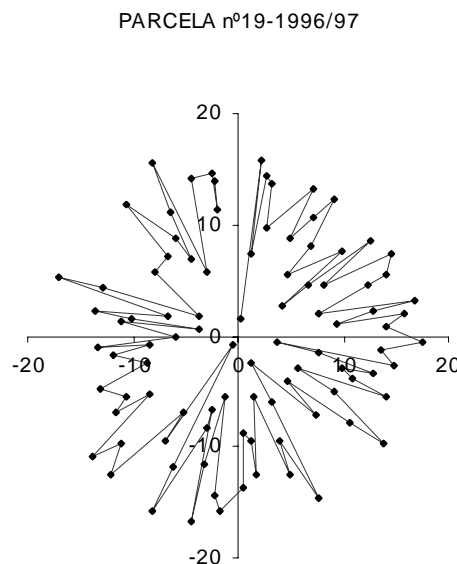
## PRÁTICA

- Avaliação da competição intra específica em povoamentos de pinheiro bravo da região.

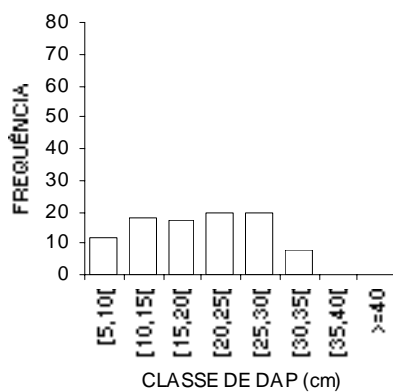
**EXERCÍCIO 1** - Considere a parcela de estudo P19 96/97 de área de 1000 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo no concelho de Oleiros cuja ficha de campo se apresenta.

- a) Calcule para a árvore nº1 o índice de competição de Hegyi recorrendo ao critério de selecção F4 das vizinhas competidoras na sua versão unilateral. Visualize a distribuição espacial das árvores na parcela e os histogramas de distribuição diâmetrica e de altura total.

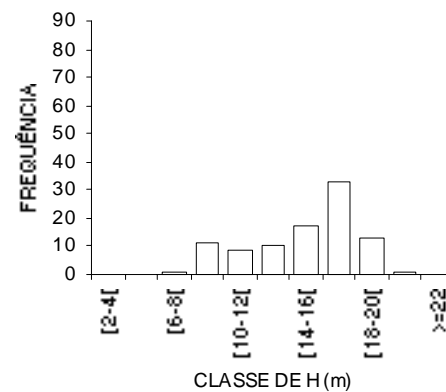
Classe de DAP	Código
[5, 10[	1
[10, 15[	2
[15, 20[	3
[20, 25[	4
[25, 30[	5
[30, 35[	6
[35, 40[	7
TOTAL	



PARCELA nº19- 1996/97



PARCELA nº19 - 1996/97



P19 96/97

Arvn	dist.	az.	d	h	hc	dc	t1.3(+12)
1	1.42	7	9.9	11.6	8.5	2.025	20
2	16	8	8.6	8.2	6.6	2.08	
3	7.5	9	14.3	15	9.5	2.365	27
4	14.7	11	8.3	8.8	7.2	1.34	
5	14	13	24.7	16.8	9.5	3.645	
6	10.1	16	29.8	16.3	9.3	3.93	
7	15.1	28	24.9	16	8.5	3.545	
8	10	29	18.1	16.2	9.2	2.885	
9	12.7	34	23.9	17.2	10.8	3.47	
10	15.3	37	25.7	16.9	9.4	4.905	
11	10.7	41	17.7	14.5	8.2	2.56	
12	7.3	41	22.4	16.2	9.5	3.585	34
13	12.4	52	15.8	12.5	8	2.81	
14	5	56	14.1	12.6	6.5	3.095	31
15	8.15	56	15.9	14.2	9.2	2.35	33
16	15.1	56	22.9	13.1	6.6	4.665	
17	9.32	60	12	12.8	9	2.06	
18	16.34	63	7.9	8.5	5.9	2.235	
19	15.2	69	8.8	10	6.9	2.215	
20	13.2	70	15.4	12.8	7.7	2.365	
21	7.8	75	13.7	14.7	10	2.485	
22	17.1	79	8.1	6.8	5.8	1.54	
23	13.12	80	20.9	14.3	8.7	3.325	
24	9.38	83	27.7	19.7	10.7	3.885	
25	15.95	83	10.7	10.8	7.1	1.9	
26	14	87	14.3	11.3	6.2	2.2	
27	17.65	92	7.7	8.4	5.6	2.195	
28	13.66	95	8.2	8.5	5.3	2.84	
29	15	100	18.5	14.6	7.8	2.39	
30	3.8	100	22	16.1	11.1	2.625	
31	7.75	102	19.9	16.9	8	2.795	36
32	13.27	105	22.8	14.9	8.2	3.045	
33	10.4	106	22.9	16.6	8.4	3.29	
34	11.55	110	23.9	17.1	8.6	3.235	
35	15.2	111	32.5	18.4	9.3	4.56	
36	6.45	117	11.2	13	9.2	1.84	
37	10.4	119	18.8	17.8	12.4	1.925	
38	16.96	125	32.4	18.4	9.4	3.85	

<i>Arvn</i>	<i>dist.</i>	<i>az.</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>hc</i>	<i>dc</i>	<i>t1.3(+12)</i>
39	13.2	126	28.5	17.2	9.8	3.875	
40	6.3	131	27.5	17.8	10.9	3.395	33
41	10.35	134	10.1	9.4	7.4	2.24	
42	2.8	152	28.8	18.6	10.6	3.33	38
43	6.68	152	25.3	16.5	9.5	2.875	
44	16.5	152	23	14.7	9.5	2.995	
46	10.3	157	26	17.5	9.9	3.53	
47	13.5	158	8.2	8.1	6.4	1.3	
48	5.75	165	32.3	20.1	11.7	3.335	30
49	12.68	172	29.7	17.1	9.2	3.935	
50	9.6	173	15.6	14.9	10.4	2.125	
51	8.82	176	12.2	12.7	8.7	2.59	
52	13.75	178	26.4	18.5	10.4	3.865	
53	15.91	186	15.5	14.2	9.2	1.1	
54	14.64	189	12.9	13.1	9.6	1.52	
55	5.63	193	7.8	8.4	6.5	1.8	
56	12	195	20.2	17.6	12	2.58	
57	17.3	195	24.7	17	9.2	4.2	
58	7	200	16.3	17.3	11.9	2.425	
59	8.8	200	9.7	11.6	8.2	2.285	24
60	17.7	207	11.3	10.7	8.1	1.4	
61	13.35	207	26.9	18	10.2	3.81	
62	1	211	10.4	14	10.1	2.665	
63	11.7	216	31	18.9	7.9	3.53	
64	8.68	217	25.2	16.9	10	3.375	
65	17.4	224	14	12.8	9.1	1.9	
66	14.83	229	17.2	14.7	8.2	2.1	
67	17.7	232	24.1	15.6	8.1	3.445	
68	9.88	238	30.5	18.4	10	4.55	42
69	13.46	239	22.4	14.1	9.8	3.14	
70	11.89	242	26.3	18.1	10	3.145	
71	13.8	250	11.3	11.2	7.8	1.7	
72	8.88	254	8.7	9.3	7.5	1.73	
73	11.9	261	25.8	17.4	8.9	3.705	
74	8.55	265	27.1	17.7	10.8	3.39	
75	13.28	265	10.8	8.9	5.7	1.6	
77	5.97	270	14.2	11.4	7.3	3	
78	11.25	277	25.2	16.7	8.6	2.925	
79	3.65	279	26.9	18.2	10.4	3.7	

<i>Arvn</i>	<i>dist.</i>	<i>az.</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>hc</i>	<i>dc</i>	<i>t1.3(+12)</i>
80	10.25	279	18.9	16.7	10.4	2.99	
81	13.75	279	10	9	6.1	1.72	
82	6.98	284	23.8	17.6	10.6	3.845	36
83	17.73	287	23.4	18.1	9.9	3.18	
84	13.65	289	31.3	17.4	10.6	4.78	
86	4.1	296	10.4	10.8	8.9	2.2	
87	9.7	306	17.3	16.6	9.7	2.675	
88	9.6	317	23.3	17.3	9.7	2.53	
89	15.75	318	32.9	18.7	10.3	4.9	
90	10.7	326	15.6	14.3	8.7	2.195	
91	8.19	328	18.4	13.7	8.7	2.3	
92	12.75	330	26.7	17.6	10.1	3.7	
93	17.5	332	28.4	15.7	8.8	3.845	
94	6.52	333	23.2	17.6	9.9	3.175	
95	14.9	343	29.5	16.7	8.6	4.675	
96	14.87	350	33.4	18.4	10.5	4.815	
97	11.57	350	17.9	15.7	10.6	2.685	
98	14.2	351	24.8	16.6	10.4	4.195	

Legenda:

*dist.* - distância do centro da parcela ao eixo da árvore;

*az.* - azimuth magnético do alinhamento definido do centro da parcela ao eixo da árvore

*d*- DAP (cm);

*h*- altura total (m);

*hc*- altura até à base da copa (m);

*t1.3(+12)*- idade a 1.30m (acrescer 12 anos);

*dc*- diâmetro da projecção da copa.

## LIÇÃO Nº 7

### TEÓRICA

## 6. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ESTAÇÕES FLORESTAIS

No caso dos povoamentos regulares as relações entre os parâmetros intervenientes na predição do crescimento e produção são bem conhecidos, dependendo a precisão da sua estimativa, fundamentalmente, da precisão com que é possível classificar a estação (Alder, 1980). No contexto da gestão florestal a qualidade da estação expressa a produtividade média ou o potencial produtivo de uma designada área para o crescimento de uma espécie particular ou tipo florestal (Husch *et al.*, 1982). Assim, é possível recorrer ao uso do acréscimo médio anual em volume total observado a uma idade pré estabelecida ou na sua idade de culminância ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) para a avaliação da qualidade de estação (p.e., Clutter *et al.*, 1983; Husch *et al.*, 1982; Avery & Burkhardt, 1983; Davis & Johnson, 1987).

### 6.1. Métodos de avaliação da qualidade de estação

Segundo Husch *et al.* (1982) a qualidade de estação pode ser avaliada de acordo dois critérios gerais:

- medindo um ou mais dos factores individuais da estação que se relacionem fortemente com o crescimento. Esta aproximação estima a classe de qualidade em termos dos efeitos dos factores casuais do ambiente, são por isso conhecidos por "environmental methods";
- medindo algumas características das árvores ou da vegetação menor que se considerem sensíveis à qualidade da estação. Esta aproximação estima a qualidade da estação a partir de efeitos do ambiente na vegetação através de avaliações dendrométricas, sendo por isso conhecidos como "mensurational methods".

Como refere Marques (1987) "uma vez que o crescimento é determinado pelas potencialidades genéticas e pelos factores do meio susceptíveis de actuar sobre os processos fisiológicos e condições internas dos organismos, as duas perspectivas completam-se, se bem que obriguem a algumas distinções na terminologia a adoptar".

Em termos práticos podemos expressar a qualidade de estação de acordo com:

- os registos históricos da produção, caso estes existam e desde que os povoamentos se tenham desenvolvidos em condições semelhantes (nomeadamente quanto à densidade, intervenções culturais, idade de rotação) e a sua proveniência genética seja idêntica;
- os dados sobre o volume dos povoamentos a uma determinada idade, desde que os povoamentos se tenham desenvolvido em condições de crescimento semelhantes e a sua proveniência genética seja idêntica;
- os dados em altura dos povoamentos visto que a produção em volume se encontra correlacionada com o crescimento em altura e por sua vez o crescimento em altura ser na maioria dos casos pouco afectado pela densidade dos povoamentos e cortes intermédios (excepção seja feita ao desbaste pelo alto);
- relações intra específicas se a espécie em causa não estiver presente, procura-se a relação entre os padrões de crescimento entre a espécie em causa e ausente e outra vegetação presente;
- as características do sub-bosque, já que este reflecte a fertilidade dos horizontes superficiais, assim a presença e abundância relativa das espécies servirão apenas de indicadores da qualidade de estação, dado ao carácter pouco permanente (alteração devido ao fogo, preparação do solo, pastoreio, etc.) e porque pouco ou nada reflectem das características do solo mais profundo e de grande impacto no crescimento das árvores;
- factores topográficos, climáticos e edáficos como sejam determinadas propriedades do solo (espessura do horizonte A, água no horizonte B, etc), a quantidade de precipitação, a ocorrência de geadas, a duração da estação seca, a altitude, entre outras.

De entre estes processos os três primeiros incluem-se nos métodos directos da avaliação da qualidade de estação e os os três últimos representam métodos de avaliação indirecta. Como na maioria das situações não se dispõe de informação quanto à produção dos povoamentos, o método de aplicação mais generalizada para a avaliação da qualidade de estação é o que recorre à altura dos povoamentos. Os métodos baseados na altura das árvores para a obtenção da qualidade de estação recorrem à aplicação de curvas de classe de qualidade, através da representação gráfica da função  $h = f(t)$  (Marques, 1987). A relação entre a idade e a altura é expressa sobre a forma de um índice de qualidade de estação. Tal, justifica-se já que a variável altura se encontra correlacionada com o volume,

além de que, quer a idade quer a altura serem duas variáveis de fácil determinação (Husch *et al.*, 1982).

De facto, desde há muito que a relação entre a altura dominante ou a altura média dos povoamentos com a sua idade tem sido usada para a classificação da produtividade das estações florestais (Oliveira, 1982). Como a altura média do povoamento é normalmente sensível à idade, qualidade da estação e densidade do povoamento é aconselhável, quando possível, recorrer antes à altura dominante do povoamento visto que tem a vantagem desta se poder considerar praticamente insensível às variações da densidade do povoamento (p.e., Alder, 1980; Husch *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983; Davis & Johnson, 1987).

O índice de qualidade de estação, define-se como a altura dominante ou a altura média do povoamento a uma dada idade índice, de referência ou de base. A idade de referência é selecionada de forma a situar-se perto da idade de rotação média para a espécie e região. É importante compreender que os índices de qualidade variam de acordo com as espécies (p.e., no caso do pinheiro bravo, idades de referência de 35, 40 e 50 anos são comuns).

No entanto, chama-se à atenção de que, sendo a altura apenas uma das componentes do volume dos povoamentos, o índice de qualidade de estação não é sinónimo de produtividade em volume, além de que, este pouco nos diz sobre as relações ecológicas que frequentemente exercem papel dominante na determinação da produtividade atingida (Curtis, 1964).

Nos povoamentos irregulares a relação altura-idade já não pode ser usada para expressar a qualidade de estação. Nestes povoamentos o crescimento em altura não se encontra correlacionado com a idade, variando com as condições que afectaram o povoamento durante a sua vida (p.e., Alder, 1980; Husch *et al.*, 1982). Segundo McLintock & Bickford (1957), para a avaliação da qualidade da estação nos povoamentos irregulares, a relação entre a altura e o DAP de árvores dominantes é a medida mais sensível e de confiança, definindo-se o índice de classe de estação como a altura dominante atingida a um DAP dominante standard (Husch *et al.*, 1982). Stout & Shumway (1982) observaram que os povoamentos da mesma espécie que se desenvolvem em condições de estação distintas têm uma evolução da altura-diâmetro das árvores que o constituem igualmente distinta. Zuniga & Gonzalez (1988) avaliaram a qualidade de estação de povoamentos de *Pinus sylvestris* utilizando a relação altura-diâmetro.

Vanclay (1994) refere a utilização da altura a um diâmetro índice de 25 cm para caracterizar a qualidade da estação em povoamentos irregulares de coníferas, designando esta medida de classe de estação. A sua estimativa mostrou-se relativamente insensível

aos cortes, mantendo-se constante por longos períodos de tempo. Os cortes causam alguma perturbação na estimativa por alguns anos mas a estimativa estabiliza ao fim de poucos anos quando os povoamentos se mantêm sem distúrbios. A classe de estação mostrou-se estar positivamente correlacionada com o acréscimo em área basal do povoamento e o acréscimo em diâmetro das árvores individuais e com outros indicadores da qualidade da estação. A experiência de campo sugere que o método resulta melhor em povoamentos puros bem lotados.

A qualidade da estação nos povoamentos irregulares também pode ser avaliada em termos dos factores casuais do ambiente, medindo um ou mais dos factores individuais da estação que se relacionem fortemente com o crescimento como, por exemplo, factores topográficos, climáticos e edáficos, como sejam determinadas propriedades do solo (espessura do horizonte A, água no horizonte B, etc), a quantidade de precipitação, a ocorrência de geadas, a duração da estação seca, a altitude, entre outras (Alder, 1980).

## 6.2. Curvas de qualidade de estação

As curvas de qualidade de estação construídas a partir da relação altura-idade são preparadas para povoamentos regulares de modo a permitirem a classificação da estação para um povoamento em qualquer idade. A preparação das curvas de classe de qualidade tem na base a medição da altura média e idade das árvores dominantes de uma série de parcelas de amostra. Pode-se recorrer a:

- parcelas permanentes desde que em número suficiente e distribuídas de modo a cobrir toda a amplitude de classes de qualidade na zona. Caso se recorra a parcelas temporárias terão ser distribuídas não de forma a cobrir toda a amplitude de classes de qualidade mas também a cobrir toda a amplitude de classes de idade (séries de crescimento) (Husch *et al.*, 1982);
- parcelas temporárias aplicando o método de análise de tronco limitamos a imposição de representatividade apenas à variedade de estações de forma idêntica à das parcelas permanentes, o que nos permite reduzir a intensidade de amostragem comparativamente ao procedimento da realização de séries de crescimento (Marques, 1987).

Avery e Burkhart (1983) consideram que as regressões utilizadas para avaliar os índices de qualidade de estação podem originar três modelos distintos de feixes de curvas (Figura 6.1.). Quando, para quaisquer duas curvas do feixe, a altura de uma delas a qualquer idade é proporção constante da altura da outra para a mesma idade, trata-se de um feixe de curvas anamórficas. Se tal proporcionalidade não se verificar e as curvas não se cruzarem, estas dizem-se polimórficas disjuntas. Finalmente, se as curvas do feixe gerado não forem proporcionais e se cruzarem, são denominadas polimórficas não disjuntas, e neste caso há que empregar outra variável além da altura e da idade do povoamento, para determinar a qual das duas curvas pertence um ponto situado na intercepção (Marques, 1987).

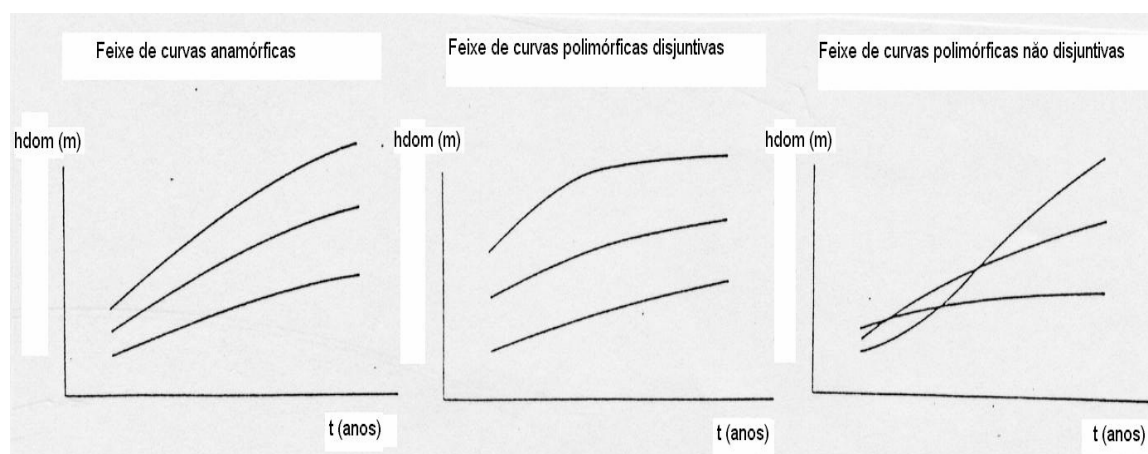


FIGURA 6.1. Feixes de curvas anamórficas e polimórficas disjuntivas e não disjuntivas Clutter *et al.*, 1983)

Dados provenientes quer de parcelas permanentes quer de parcelas temporárias com aplicação do método de análise de tronco permitem o estabelecimento de qualquer um dos tipos de feixes referidos. Dados provenientes de parcelas temporárias segundo séries de crescimento apenas permitem o estabelecimento de feixes de curvas anamórficas (Clutter *et al.*, 1983).

Tennent e Burkhart (1981) propõem a aplicação do método de análise de tronco para a construção de curvas de classe de qualidade a apenas duas árvores dominantes de entre as cinco dominantes correspondentes a uma parcela de área de 500 m<sup>2</sup>, de acordo com os seguintes critérios:

- seleccionar as três árvores com valores de DAP mais perto do diâmetro médio das 100 árvores mais grossas por hectare;

- de entre estas seleccionar as duas árvores cujas alturas se situem dentro de um intervalo de variação de 5% da altura média de topo.

A objecção mais consistente que é feita ao método de análise de tronco é a de que o crescimento em altura de árvores individuais não representa, necessariamente, o crescimento em altura dos respectivos povoamentos (Marques, 1987). De facto, a situação ideal segundo Spurr seria concentrar as medições numa única árvore, a mais alta do povoamento, embora tal não invalide a possibilidade de esta o não ter sido no passado e não continuar a sê-lo no futuro. Por outro lado, o critério de selecção das árvores dominantes é feita de acordo com o seu DAP, critério este que não nos garante em absoluto que as árvores seleccionadas para dominantes sejam de facto as mais altas, embora em regra tanto a altura como o diâmetro estejam correlacionados positivamente com a idade e também entre si (Marques, 1987).

Oliveira (1985) a partir de dados recolhidos em 57 parcelas temporárias (séries de crescimento) distribuídas nos distritos de Castelo Branco, Guarda, Coimbra, Viseu, Aveiro, Porto, Vila Real, Braga e Viana do Castelo (regiões montanas e sub-montanas) em povoamentos de pinheiro bravo suficientemente equiênicos para serem considerados de estrutura regular e sujeitos a intervenções culturais, ajustou utilizando a equação de Schumacher na descrição do crescimento em altura dominante expressa pela seguinte equação:

$$\ln(h_{dom}) = 3.2865 - 14.2234 \times \frac{1}{t}.$$

Recorrendo ao método da curva guia estabeleceu as curvas de classe de qualidade, considerando a idade de referência os 40 anos que podem visualizar na figura 6.2.

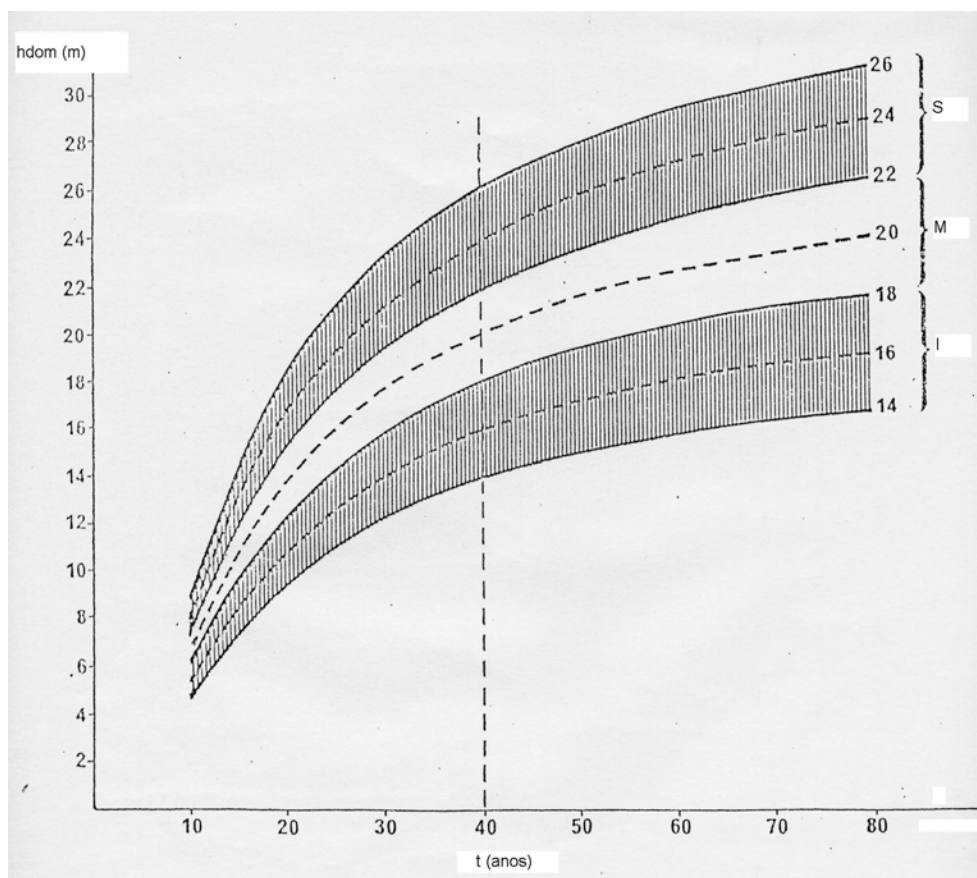


FIGURA 6.2. Curvas de classe de qualidade para os povoamentos de pinheiro bravo a Norte do Tejo (Oliveira, 1985)

Poder-se-ão considerar valores indicativos de produtividade expressos pelo acréscimo médio anual em volume total com casca para povoamentos regulares de pinheiro bravo com alturas dominantes à idade de 40 anos de 16m, 20m e 24m, respectivamente, 9, 11 e 13  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ .

Marques (1987), com base na análise de tronco de 325 árvores dominantes abatidas em 65 parcelas de amostragem temporárias em povoamentos de pinheiro bravo regular no vale do Tâmega, desenvolveu uma equação para a avaliação da qualidade de estação para estes povoamentos e região. Considerou como idade de referência os 35 anos. Ajustou as seguintes relações:

Altura dominante =  $f(\text{Idade}, \text{Índice de qualidade de estação})$

Índice de qualidade de estação =  $f(\text{Idade}, \text{Altura dominante})$

Na descrição do crescimento em altura dominante recorreu à função de crescimento de Hossfeld obtendo a seguinte equação:

$$h = \frac{t^2}{11.9947 + 0.611719 \times t + 0.030010 \times t^2}$$

onde,  $Sl_{35}$  - índice de qualidade de estação à idade de referência de 35 anos;

$h_{dom}$  - altura dominante do povoamento (parcela) (m), i.e. as 100 árvores mais grossas por hectare;

$t$  - idade do povoamento (parcela) (anos).

Em consequência a estimativa do índice de qualidade de estação é obtida pela seguinte equação:

$$Sl_{35} = \frac{1225 \times t \times h_{dom}}{35 \times t^2 + 11.9947 \times h_{dom} \times (t - 35) + 1.05035 \times h_{dom} \times t \times (35 - t)}$$

Páscoa (1987) ajustou para os povoamentos de pinheiro bravo da Mata Nacional de Leiria (originados de sementeira e de plantação, onde ocorreram desbastes) as seguintes equações, respectivamente de crescimento em altura e de classe de qualidade:

$$h_{dom} = 10^{1.640880 - 2.694076 \times t^{-0.5}}$$

$$Sl_{50} = h_{dom} \times 10^{1.640880 - 2.694076 \times t^{-0.5}}$$

Páscoa *et al.* (1989) ajustaram para o pinheiro bravo e para o País a seguinte equação de classe de qualidade:

$$Sl_{35} = h_{dom} \times 10^{-0.307636 + 1.820 \times t^{-0.5}}$$

Tomé (1989) para dados obtidos em parcelas permanentes instaladas em povoamentos de eucalipto da CELBI ajustou as curvas de classe de qualidade, segundo a equação de Lundqvist- $k-n$ . Poder-se-ão considerar valores indicativos de produtividade expressos pelo acréscimo médio anual em volume total com casca para povoamentos regulares de eucalipto com alturas dominantes à idade de 10 anos de 15m, 19m e 21m, respectivamente, 9, 16 e 21  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ .

### 4.3. Caso de estudo - Curvas de qualidade de estação para povoamentos irregulares de pinheiro bravo no concelho de Oleiros

A modelação da qualidade de estação, dos povoamentos irregulares do concelho de Oleiros, foi realizada através da construção de curvas de qualidade de estação pelo método da curva guia, recorrendo à relação entre a altura total e o DAP.

O modelo de altura total da árvore  $h = f(d)$  para a curva guia e para cada uma das parcelas, de área de 1000 m<sup>2</sup>, baseado em Zuniga & Gonzalez (1988), teve por base a função Monomolecular ou de Mitscherlich (1910) e modificada por Meyer (1940) de acordo com as características biológicas da relação altura total-diâmetro:

$$h = 1.3 + A \times (1 - e^{-Kd})$$

ou seja, da existência de uma assíntota que descreve a altura máxima típica da espécie naquele local e da restrição: quando  $d = 0$  cm então  $h = 1.3$  m.

De acordo com o procedimento proposto por Bailey & Clutter (1974) ajustou-se o modelo de Meyer (1940) aos dados globais relativos às 2783 árvores medidas em 32 parcelas de área de 1000 m<sup>2</sup>, no período de Set96 a Mar97, de forma a obter a curva guia. Na figura 6.3. apresentam-se o gráfico da curva guia ajustada aos dados e o gráfico dos resíduos. O modelo ajustado foi o seguinte:

$$h = 1.3 + 20.3423 \times (1 - e^{-0.0469 \times d}).$$

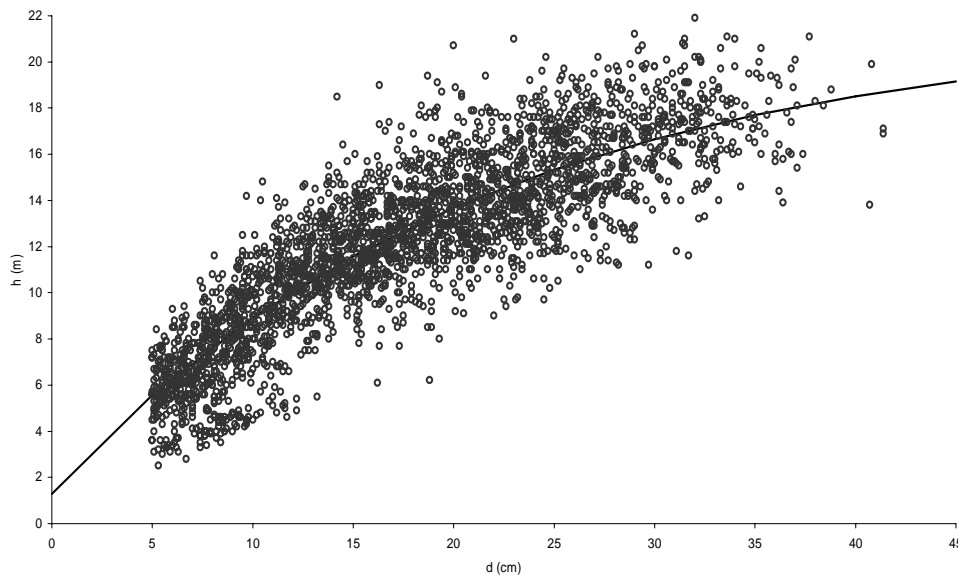


FIGURA 6.3. Gráfico das variáveis  $h = f(d)$  com a curva guia ajustada

As curvas de qualidade de estação, de acordo com o método da curva guia, são uma família de curvas anamórficas, assim as curvas índice são paralelas entre si com uma inclinação constante mas com ordenada na origem variável. A equação para uma curva índice particular pode ser obtida visto que a curva se expressa da seguinte forma:

$$h = 1.3 + A_i \times (1 - e^{-Kd})$$

onde,  $A_i$  - é o coeficiente associado a cada curva índice.

Considerou-se como índice de qualidade de estação ( $Shd$ ) a altura total do povoamento a um diâmetro (DAP) índice de 25 cm, visto que um diâmetro médio de 25 cm ocorrer nos povoamentos com cerca de uma idade média de 50 anos e portanto perto da idade de corte. Assim, por definição, quando nesta equação a variável  $d = 25$  cm então  $h = Shd$ , logo

$$A = \frac{Shd - 1.3}{1 - e^{-K \times 25}}$$

Substituindo esta equação na da curva guia obtemos a equação da família de curvas de altura total

$$h = 1.3 + (Shd - 1.3) \times \frac{1 - e^{-K \times d}}{1 - e^{-K \times 25}}$$

a qual é algebricamente equivalente à equação explicitando o índice de qualidade de estação

$$Shd = 1.3 + (h - 1.3) \times \frac{1 - e^{-K \times 25}}{1 - e^{-K \times d}}$$

que permite obter a família de curvas de qualidade de estação.

Assim, a família de curvas de qualidade de estação foi obtida pelo seguinte modelo:

$$h = 1.3 + (Sh25 - 1.3) \times \frac{(1 - e^{-0.0469 \times d})}{(1 - e^{-0.0469 \times 25})}$$

o qual é equivalente algebricamente a

$$Sh25 = 1.3 + (h - 1.3) \times \frac{(1 - e^{-0.0469 \times 25})}{(1 - e^{-0.0469 \times d})}$$

Na figura 6.4. apresenta-se o gráfico das curvas de qualidade de estação obtidas por este procedimento.

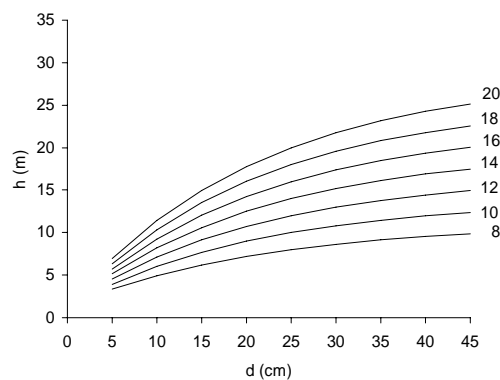


FIGURA 6.4. Gráfico das curvas de qualidade de estação obtidas pelo método da curva guia e procedimento de Bailey & Clutter (1974)

**PRÁTICA****• Avaliação da qualidade de estação**

**EXERCÍCIO 1** - Considere os dados dendrométricos da parcela P3/91 de 500 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo regular no concelho de Oleiros:

- número de árvores por hectare -  $N=1620$
  - área basal por hectare -  $G=44.15 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
  - diâmetro médio -  $dg=18.6 \text{ cm}$
  - altura média -  $\bar{h}=15.6\text{m}$
  - altura dominante -  $hdom=17.7\text{m}$
  - idade média -  $\bar{t}=24 \text{ anos.}$
- a) Estime o índice de qualidade de estação da referida parcela recorrendo aos modelos de Páscoa *et al.* (1989) e de Oliveira (1985).
- b) Comente o significado dos resultados obtidos.
- c) Compare as estimativas dos índices de qualidade estação proporcionados por cada um dos modelos.

**EXERCÍCIO 2** - Considere os dados dendrométricos relativos à parcela P19 96/97 de 1000 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo irregular no concelho de Oleiros:

- número de árvores por hectare -  $N=950$
  - área basal por hectare -  $G=33.35 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
  - diâmetro médio -  $dg=24.1 \text{ cm}$
  - altura média -  $\bar{h}=14.8\text{m}$
  - altura dominante -  $hdom=18.2\text{m}$
  - idade média -  $\bar{t}=32 \text{ anos.}$
- a) Estime o índice de qualidade de estação da referida parcela recorrendo ao modelo do item 4.3.
- b) Comente o significado do resultado obtido.

**LIÇÃO Nº 8**  
**TEÓRICA****7. MODELOS DE PREDIÇÃO DA ÁRVORE INDIVIDUAL****7.1. Predição da altura total da árvore individual**

Em inventário florestal é costume proceder à medição de todos os diâmetros nas amostras, pois que se trata de uma variável de fácil mensuração e através de uma sub-amostragem, apenas à medição de algumas alturas (e.g., árvores amostra e árvores dominantes). Os modelos que nos estimam a altura total da árvore em função do seu DAP, vulgarmente designados de curva hipsométrica expressam a relação  $h = f(d)$ , tornam possível estimar as restantes alturas, diminuindo-se deste modo os custos de recolha de dados.

A forma das curvas hipsométricas dependem bastante da diferenciação social que as árvores apresentam em povoamento. Nas estações boas, essa diferenciação é acelerada e conseqüentemente a curva hipsométrica de povoamentos regulares nestas situações apresenta uma forma mais em escada, ao contrário das estações mais pobres em que esta é mais achatada (Loetsch *et al.*, 1973). Assim que a altura característica da espécie em questão for atingida, o crescimento em altura e em diâmetro são bastante reduzidos e as diferenças na curva hipsométrica tornam-se muito pequenas. Nos povoamentos irregulares esta curva é muito mais pronunciada que nos regulares.

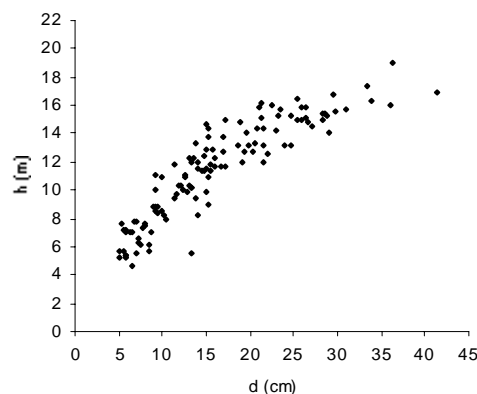


FIGURA 7.1. Gráfico da relação  $h = f(d)$

Actualmente, os modelos de predição da altura total da árvore individual recorrem a variáveis explicativas ao nível do povoamento como o número de árvores por hectare e a altura dominante, para além do DAP, o que melhora grandemente o nível de precisão e ajustamento destes modelos.

## 7.2. Predição de volumes da árvore individual

Na prática do dia-a-dia o volume das árvores não é obtido por cálculo mas pela aplicação de equações de predição de volumes. Deste modo, os volumes da árvore individual podem ser obtidos a partir de diversos tipos de equações: equações de volume clássicas, equações de volume percentual e/ou equações de perfil de tronco.

### 7.2.1. Equações de volume clássicas

As equações de volume clássicas são equações de regressão que relacionam um volume específico, e.g. o volume total com casca ou sem casca, ou um volume parcial, mercantil ou não, com casca ou sem casca, com variáveis dendrométricas da árvore, de medição expedita e directa, como o diâmetro à altura do peito (1.30 m do solo), a altura total da árvore e um factor de forma (coeficiente de forma, quociente de forma ou outro parâmetro que traduza a forma da árvore) (Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Avery e Burkhart, 1983):

$$v = f ( d, h, f )$$

onde,  $v$  - volume total (com casca ou sem casca); volume parcial, mercantil ou não (com casca ou sem casca) ( $m^3$ );

$d$  - DAP, diâmetro à altura do peito (1.30 m do solo) (cm);

$h$  - altura total da árvore (m);

$f$  - factor de forma.

As equações de volume podem ser apresentadas sobre a forma de tabelas, bastando para isso aplicá-las para os valores centrais de classe de diâmetro e/ou altura ou formal estabelecidas. Consoante as variáveis independentes utilizadas as equações/tabelas de volume podem ser classificadas de:

- simples entrada ou locais, cuja variável independente é o DAP;
- dupla entrada ou gerais, cujas variáveis independentes são o DAP e a altura;
- formais, cujas variáveis independentes são o DAP a altura total e parâmetros de forma das árvores.

As grandes vantagens das equações de simples entrada são a simplicidade e rapidez de elaboração. Contudo, são menos exactas, só podendo conduzir a resultados aceitáveis desde seja construída a partir de dados de povoamentos vegetando em condições ecológicas semelhantes. De uma maneira geral, as equações de simples entrada são mais precisas quando se referam às matas exploradas em alto-fuste regular, relativamente aos povoamentos jardinados. Assim, só para os povoamentos equiênicos é que estas equações atingem a sua máxima eficiência (Gomes, 1957).

Para o caso das equações de volume de simples entrada, i.e.  $v = f(d)$ , a tendência dos dados desenvolve-se como um ramo de parábola com a concavidade voltada para o eixo das ordenadas:

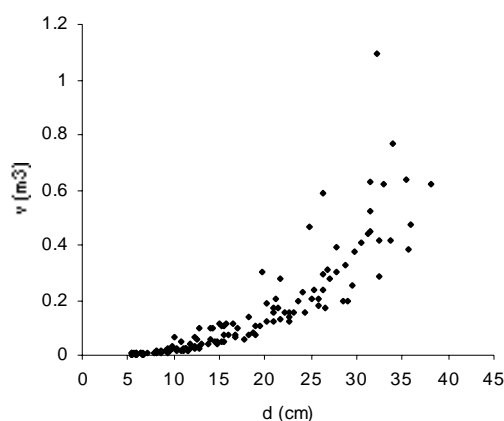


FIGURA 7.2. Gráfico da relação  $v = f(d)$

Como diferentes qualidades de estação podem provocar, para árvores com o mesmo DAP, um volume de tronco muito distinto, tornou-se necessário precisar melhor a determinação do volume recorrendo não só à medição do DAP mas também à medição da altura das árvores. As equações de dupla entrada, i.e.  $v = f(d, h)$ , apresentam uma maior precisão que as anteriores, sendo o seu campo de aplicação mais vasto, podendo visar uma única espécie ou um conjunto de espécies. Estas são aplicáveis em outras localidades para além daquelas para que foi construída, desde que a forma das árvores a que se pretende aplicar a equação, seja idêntica à forma daquelas para as quais a equação foi construída.

A prática de inventário florestal emprega predominantemente um procedimento de amostragem, para selecção de uma amostra representativa das árvores de toda a área em estudo. Assim, através da implantação de parcelas de amostra, p.e. circulares poder-se-ão seleccionar as duas ou três árvores mais próximas do centro da parcela para a realização da cubagem rigorosa. Este, poderá ser um sistema de recolha de dados para a construção deste tipo de equações, no entanto, outras modalidades podem ser ensaiadas, como será o caso da implantação de parcelas rectangulares onde as árvores a cubar rigorosamente, serão eleitas segundo uma amostragem sistemática e de acordo com a sua distribuição em classes de frequência de DAP. Não é aconselhável recorrer-se a árvores abatidas no decurso ou no fim da exploração da mata pois que em geral, estas podem não ser representativas do povoamento em causa.

Para a recolha dos dados, as árvores amostradas são, em geral abatidas, no entanto, também é possível obtê-los com a árvore em pé, recorrendo a aparelhos de medição indirecta que nos proporcionem a medição de diâmetros e alturas conjugadas ao longo do tronco, como é o caso do Relascópio de espelhos de Bitterlich e do Telerelascópio. A recolha de dados deve ser feita com o maior rigor possível, de modo a minimizar os possíveis erros de medição.

As equações de volume podem expressar volumes totais ou volumes parciais com e sem casca, dependendo tal, do modo como estas foram construídas. A variável dependente, o volume desejado da árvore, como regra geral é determinado por seccionamento do tronco e posterior cubagem rigorosa. A predição de volumes mercantis para limites de despona mercantis variáveis tem sido conseguida através do ajustamento de uma equação de regressão separada para cada um dos limites de despona mercantis pretendidos (Clutter *et al.*, 1983). Tal implica a existência de tantas equações quantos os limites de despona mercantis pretendidos. Assim, às equações de volume clássicas pode-se imputar uma importante limitação de aplicabilidade, visto que uma vez construídas só podem ser aplicadas para estimar sempre o mesmo tipo de volume (Tomé, 1991). Caso pretendamos outro tipo de volume, como seja um determinado volume mercantil definido por um determinado limite mercantil ou ainda diversos volumes mercantis definidos por limites mercantis variáveis, será necessário construir novas equações específicas para cada uma das situações pretendidas (p.e. Ormerod, 1973; Burkhardt, 1977). São assim, ferramentas pouco flexíveis.

Para além desta limitação, segundo Burkhardt (1977) e Cao *et al.* (1980), quando equações para diferentes volumes mercantis são ajustadas independentemente têm a indesejável característica de produzir superfícies volúmicas que se podem cruzar

ilógicamente dentro da amplitude de variação dos dados, obtendo-se estimativas inconsistentes para os diferentes volumes mercantis do tronco de uma mesma árvore.

De acordo com Clutter *et al.* (1983), diversos estudos propuseram equações de volume que utilizam o limite de despona como variável independente (p.e. Honer, 1964; Burkhart, 1977; Queen e Pienaar, 1977; Brister *et al.*, 1980). Desta forma, torna-se possível estimar volumes mercantis segundo diferentes limites de despona recorrendo apenas a uma única equação, as equações de volume percentual.

### 7.2.2. Equações de volume percentual

As equações de volume percentual (Burkhart, 1977; Cao *et al.*, 1980; Deusen, 1981; Clutter *et al.*, 1983) são equações de regressão que vão relacionar as percentagens do volume total (com casca ou sem casca) abaixo de diversos limites de despona com variáveis como o diâmetro à altura do peito (1.30m do solo), a altura total da árvore e os respectivos limites de despona (com casca ou sem casca), i.e. diâmetros de despona (com casca ou sem casca) ou alturas de despona medidas a partir do solo:

$$r = f ( d, h, dh \text{ ou } hd )$$

onde,  $r$  - percentagem do volume total (com casca ou sem casca) abaixo do limite de despona pretendido, seja ela,  $vm/vt$ ;

$d$  - DAP, diâmetro à altura do peito (1.30m do solo) (cm);

$h$  - altura total da árvore (m);

$dh$  e  $hd$  - diâmetro do tronco (com casca ou sem casca) (cm) e altura do tronco medida a partir do solo (m), que correspondem aos limites de despona pretendidos;

$vt$  - volume total (com casca ou sem casca) (m<sup>3</sup>);

$vm$  - volume (com casca ou sem casca) desde o solo até à despona pretendida (m<sup>3</sup>).

Não obstante, a aplicação deste tipo de equações pressupõe à priori a existência de uma equação de volume para a predição do volume total da árvore. Isto é, a equação de volume percentual necessita ter associada implicitamente uma equação de volume gerando assim, um sistema de equações (Clutter *et al.*, 1983).

Visto que estas equações dependem da predição do volume total da árvore (com casca ou sem casca), para evitar incongruências nas estimativas destes volumes parciais relativamente ao volume total do tronco da árvore, é de extrema importância que o sistema de equações, equação de volume total e equação de volume percentual, seja um sistema de equações compatíveis, i.e., para  $dh=0$  ou  $hd=h$ , deverá estimar um volume igual ao volume total estimado pela equação de volume, ou seja,  $r$  deverá ser igual a 1 (100% do volume total) (Tomé, 1991).

Estas equações permitem também, a estimativa de volumes de porções de lenho compreendidas entre dois diâmetros ou duas alturas ao longo do tronco por subtracção dos respectivos volumes mercantis estimados para cada um destes diâmetros ou alturas (Burkhart, 1977).

Todavia, desde longa data que autores como Kozak *et al.* (1969), Ormerod (1973), entre outros, referem que para a exploração mercantil do tronco das árvores pode não ser suficiente apenas a quantificação de um volume mercantil originado a partir de uma altura do cepo (altura de abate ou corte) e de um limite de despona mas também, ser necessário saber o volume do material lenhoso de acordo com classes de aproveitamento da madeira em associação com as dimensões dos toros: toros para serração, toros para vedações, toros para estilha, etc.

É frequente estas especificações mercantis para o aproveitamento do lenho variarem em função das exigências do mercado havendo assim, a necessidade de criar modelos que tenham a flexibilidade de permitir um qualquer fraccionamento do tronco segundo as especificações de utilização comercial do lenho que se pretendam no momento (toragem comercial e diâmetros limite de aproveitamento da madeira).

Nesse sentido, a modelação do perfil do tronco, na medida em que o perfil do tronco afecta grandemente o volume mercantil da árvore (Cao *et al.*, 1980), foi ensaiada por diversos autores (p.e. Kozak *et al.*, 1969; Ormerod, 1973; Demaerschalk, 1973).

### 7.2.3. Equações de perfil do tronco

Uma equação de perfil do tronco expressa a relação entre um diâmetro a um determinado nível do tronco da árvore (com casca ou sem casca) como função da altura a partir do solo até ao respectivo nível do tronco, do diâmetro à altura do peito e da altura total da árvore (Clutter *et al.*, 1983) :

$$dh = f ( hd, d, h )$$

onde,  $dh$  e  $hd$  - diâmetro do tronco (cm) e respectiva altura do tronco a partir do solo (m);

$d$  - DAP, diâmetro à altura do peito (1.30 m a partir do solo) (cm);

$h$  - altura total da árvore (m).

A estimativa dos volumes parciais segundo classes de aproveitamento do lenho do tronco, de acordo com restrições ao comprimento dos toros e aos diâmetros de aproveitamento comercial dos mesmos, pode realizar-se por integração da equação de perfil do tronco entre os limites de altura correspondentes aos limites de aproveitamento comercial do tronco pretendidos (Biging, 1984). Ou através da reconstituição do perfil da árvore através da equação de perfil do tronco e subsequente cubagem rigorosa para a obtenção dos volumes segundo os limites de aproveitamento comercial do tronco pretendidos.

Desta forma, as equações de perfil do tronco permitem obter uma informação mais desagregada dos volumes parciais do tronco da árvore. São assim, ferramentas complementares dos sistemas de equações, equação de volume - equação de volume percentual, na predição dos volumes do tronco (Clutter *et al.*, 1983). Também, para as equações de perfil do tronco se levanta o problema da compatibilidade de estimativas do volume total pela equação de volume e pela equação de perfil de tronco. Segundo Demaerschalk (1971, 1972, 1973), uma equação de perfil do tronco é compatível quando a sua integração entre zero e a altura total gera uma estimativa do volume total da árvore idêntica à de uma dada equação de volume que lhe está associada. Caso contrário, define-se de equação de perfil do tronco não compatível (Cao *et al.*, 1980).

Como se referiu realizando a reconstituição do perfil da árvore através da equação de perfil do tronco e subsequente cubagem rigorosa é possível obter o volume total e volumes parciais do tronco da árvore, como p.e. a estimativa dos volumes parciais segundo classes de aproveitamento do lenho do tronco, de acordo com restrições ao comprimento dos toros e aos diâmetros de aproveitamento comercial dos mesmos.

Outra abordagem possível para a estimativa de volumes da árvore individual a partir de uma equação de perfil de tronco é obtida por integração desta entre os limites de altura correspondentes aos limites de aproveitamento comercial do tronco pretendidos.

Por exemplo, considerando o seguinte polinómio do 3º grau para descrever o perfil do tronco:

$$dh = b_0 + b_1 \times (h - hd) + b_2 \times (h - hd)^2 + b_3 \times (h - hd)^3$$

onde,  $dh$  - diâmetro (cm) ao nível  $h$  (m);

$h-hd$  - afastamento ao topo da árvore (m).

O volume será obtido por integração da equação polinomial, ou seja representará o integral da área definida pela curva de perfil de tronco. Assim, Podemos obter os volumes segundo categorias de aproveitamento especificando os limites de integração que as definem (Figura 7.3.). Por exemplo, o volume total, o volume de madeira e o volume de rolaria podem ser obtidos, respectivamente, de acordo com

$$v_{total} = \frac{\pi}{4} \times \int_0^h dh^2 dh ,$$

$$v_{madeira} = \frac{\pi}{4} \times \int_{hc}^{hd20} dh^2 dh ,$$

$$v_{rolaria} = \frac{\pi}{4} \times \int_{hd20}^{hd7} dh^2 dh .$$

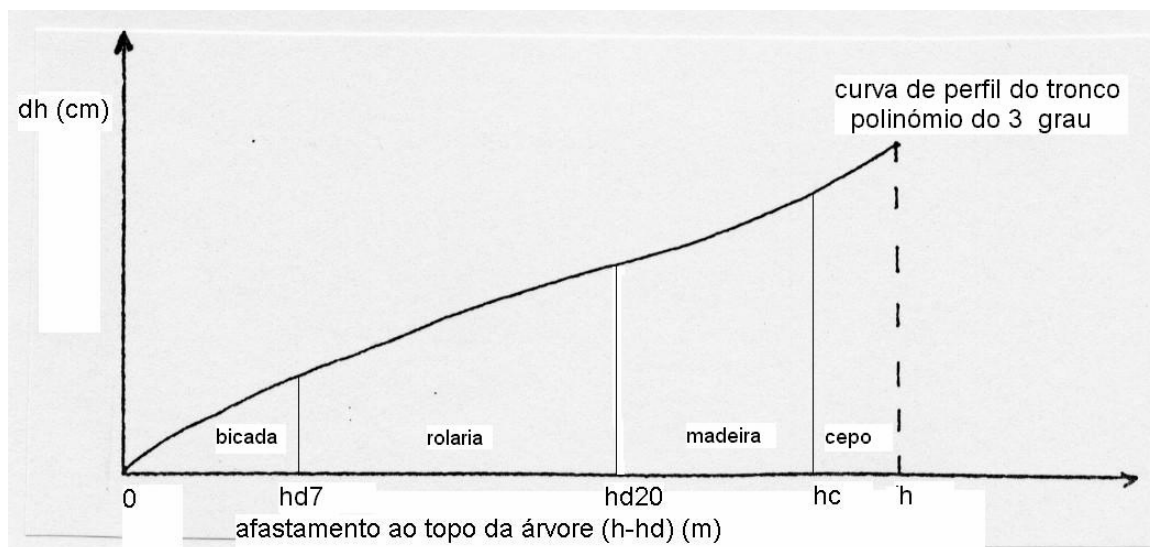


FIGURA 7.3. Curva de perfil de tronco e categorias de aproveitamento da madeira - restrições ao comprimento dos toros e aos diâmetros de aproveitamento comercial dos toros

### 7.3. Outros modelos

É possível estabelecer uma relação entre o diâmetro do cepo e o DAP. Tal, terá particular interesse quando se pretenda reconstituir os DAP de uma área de povoamento já abatida a partir da medição dos respectivos cepos deixados no solo. Deste modo, obter-se-á a informação necessária para a posterior estimativa do volume saído em corte. A relação entre o DAP e o diâmetro do cepo é, geralmente, linear e directamente proporcional.

$$d = b_0 + b_1 \times d_c$$

onde,  $d$  e  $d_c$  - são o DAP e o diâmetro do cepo, respectivamente;

$b_0$  e  $b_1$  - são os coeficientes da regressão.

Outra variável de interesse é casca. A casca apresenta um padrão de variação ao longo do tronco, sendo a espessura de casca maior na base e diminuindo para o topo. Para além deste padrão genérico, a sua espessura ainda varia de espécie para espécie, com a idade da árvore, sendo bastante influenciada pela qualidade da estação. No entanto, por facilidade de execução é costume fazer-se a determinação da espessura da casca ao nível do DAP. Sendo assim, de interesse a modelação da relação entre o DAP e a dupla espessura de casca ( $2e$ ), embora não seja possível criar equações universais para a determinação da casca para países ou zonas florestais, dada a grande variabilidade que esta apresenta.

Alternativamente, pode-se modelar a relação que permite converter os DAP com casca ( $dc/c$ ) em DAP sem casca ( $ds/c$ ):

$$dc / c = b_0 + b_1 \times ds / c .$$

É também, possível modelar a percentagem da casca em relação ao volume total com casca da árvore individual em função do se DAP e altura total. Na tabela 7.1. apresenta-se uma tabela que nos fornece o volume de casca do tronco em percentagem do respectivo volume total com casca em função do DAP com casca e da altura total da árvore para os povoamentos de pinheiro bravo da Mata Nacional de Leiria.

TABELA 7.1. Percentagem do volume da casca em função do DAP com casca e altura total da árvore - Pinhal de Leiria (Gomes, 1957)

ALTURA (m)	Diâmetro à altura do peito (cm)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
8	40.6	41.6	42.3								
9	39.7	40.7	41.4								
10	38.7	39.8	40.4	40.8							
11	37.8	38.8	39.5	39.9							
12	36.8	37.8	38.5	38.9	39.1						
13	35.9	36.9	37.6	38.0	38.2						
14	35.0	36.0	36.7	37.1	37.3	37.4					
15	34.0	35.0	35.7	36.1	36.3	36.4					
16	33.1	34.1	34.8	35.2	35.4	35.5					
17	32.1	33.1	33.8	34.2	34.4	34.5	34.5				
18	31.2	32.2	32.9	33.3	33.5	33.6	33.6	33.4			
19	30.2	31.2	31.9	32.3	32.5	32.6	32.6	32.4	32.0		
20		30.3	31.0	31.4	31.6	31.7	31.7	31.5	31.1	30.6	30.1
21		29.3	30.0	30.4	30.6	30.7	30.7	30.5	30.1	29.6	29.1
22		28.4	29.1	29.5	29.7	29.8	29.8	29.6	29.2	28.7	28.2
23			28.1	28.5	28.7	28.8	28.8	28.6	28.2	27.7	27.2
24			27.2	27.6	27.8	27.9	27.9	27.7	27.3	26.8	26.3
25			26.2	26.6	26.8	26.9	26.9	26.7	26.3	25.8	25.3
26			25.3	25.7	25.9	26.0	26.0	25.8	25.4	24.9	24.4
27			24.3	24.7	24.9	25.0	25.0	24.8	24.4	23.9	23.4
28				23.8	24.0	24.1	24.1	23.9	23.5	23.0	22.5
29				22.8	23.0	23.1	23.1	22.9	22.5	22.0	21.5
30				21.9	22.1	22.2	22.2	22.0	21.6	21.1	20.6

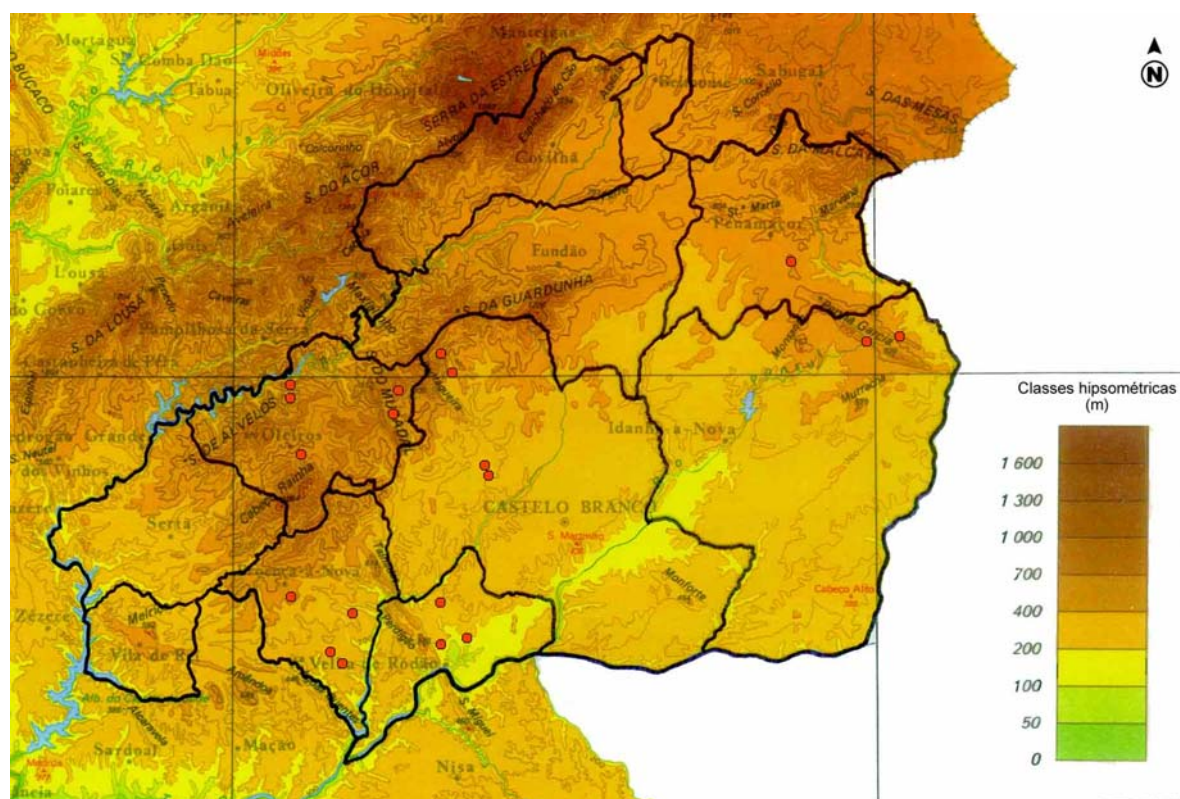
O cálculo da percentagem de casca pode ser obtido do seguinte modo:

- 1º - Recolha de diâmetros com casca e sem casca e respectivas alturas;
- 2º - Cubagem rigorosa para avaliação dos respectivos volumes totais com casca e sem casca;
- 3º - Cálculo do volume da casca por diferença do volume com casca em relação ao volume sem casca.
- 4º - A percentagem da casca é obtida em relação ao volume total com casca.

#### 7.4. Caso de estudo - Modelos da árvore individual para os povoamentos de pinheiro bravo da região de Castelo Branco

Os modelos de volume total, de volume percentual e de perfil de tronco, que se dispõem para a espécie e região, foram ajustados a partir de dados recolhidos em 1987 e 1989, em diversos povoamentos de pinheiro bravo do distrito de Castelo Branco, embora

com maior incidência na zona do pinhal, onde ocorriam cortes culturais e de exploração (Alegria, 1993). Na figura 7.4. podem-se visualizar os locais de amostragem.



Escala aproximada de 1:1 000 000

FIGURA 7.4. Mapa do distrito de Castelo Branco com os locais de amostragem relativos ao abate de árvores em povoamentos puros de pinheiro em 1987 e 1989 (CNA, 1982; Alegria, 1993)

Num total de 146 árvores abatidas (1588 observações), amostraram-se árvores com os DAP (com casca) compreendidos entre os 6.5 cm e os 47.6 cm e alturas totais compreendidas entre os 6.4 m e os 24.1 m. As toragens realizadas variaram desde toros de 2.0 m ou 2.1 m ou 2.2 m ou 2.5 m ou 2.6 m, com o cepo a 0.15 m ou variável entre 0.05 m e 1.1 m, e desponta a 7 cm ou variável consoante era praticada no local pelo empresário florestal. Todos os dados recolhidos foram obtidos medindo os diâmetros até aos mm e as alturas totais até aos dm. O cálculo dos volumes parciais e total (com casca) foi realizado usando a fórmula de Smalian para estimar o volume individual de cada toro, usando a fórmula do cilindro para avaliar o volume do cepo e usando a fórmula do cone para avaliar o volume da bicada (p.e., Avery & Burkhart, 1983).

Testaram-se 22 modelos de equações de volume, 7 modelos de equações de volume percentual em função da altura da desponta e 9 modelos de equações de volume

percentual em função do diâmetro da despona e ainda 16 modelos de equações de perfil do tronco. Na tabela 7.2. apresentam-se os modelos seleccionados e ajustados para a espécie e região.

TABELA 7.2. Modelos para a predição de volumes da árvore individual para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco (Alegria, 1993)

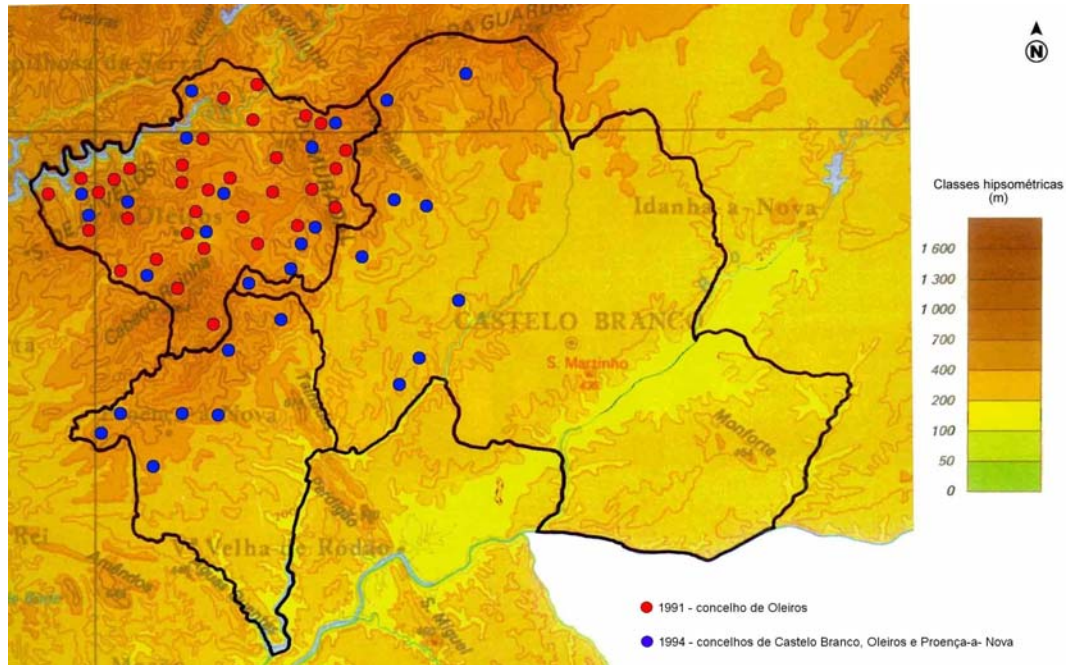
<i>Modelos e estatísticas de ajustamento e predição</i>	
EV	$v = 0.004798 + 0.000036 \times d^2 \times h$ <p><math>R^2=0.992</math>; <math>QMR=0.2575</math>; <math>MAR=0.0245</math>; <math>n=146</math>.</p>
EVP h	$rh = 1 + \left[ -0.8084 \times \frac{(h-h_d)^{2.44923}}{h^{2.3744}} \right]$ <p><math>R^2=0.993</math>; <math>QMR=0.0008</math>; <math>MAR=0.0064</math>; <math>n=1164</math>.</p>
EVP d	$rd = e^{-1.3923 \times \left( \frac{dh}{d} \right)^{4.4379}}$ <p><math>R^2=0.954</math>; <math>QMR=0.0055</math>; <math>MAR=0.0160</math>; <math>n=1164</math>.</p>
EPT	$dh = d \times \left[ 2400.49 \times \left( \frac{1}{d^2 \times h} \right) \times \left( \frac{h-h_d}{h} \right)^{74.9701} + 1.112139 \times \left( \frac{h-h_d}{h} \right)^{1.40299} \right]^{0.5}$ <p><math>R^2=0.976</math>; <math>QMR=2.4750</math>; <math>MAR=1.0117</math>; <math>n=1164</math>.</p>
EVC	$v = 0.002482 + 0.00003635 \times d^2 \times h$ <p><math>MAR=0.0235</math></p>

Legenda: EV - equação de volume; EVPh - equação de volume percentual em função da altura de despona; EVPd - equação de volume percentual em função do diâmetro de despona; EPT - equação de perfil do tronco; EVC - equação de volume compatível com EPT;  $d$  - diâmetro à altura do peito com casca (cm);  $dh$  - diâmetro do tronco com casca (cm) a determinada altura do tronco;  $h$  - altura total (m);  $hd$  - altura acima do solo (m) a determinado diâmetro com casca do tronco;  $v$  - volume total da árvore com casca (m<sup>3</sup>);  $vh$  ou  $vd$  - volume com casca (m<sup>3</sup>) desde o solo, respectivamente, até uma determinada altura ou diâmetro do tronco;  $rh$  ou  $rd$  - proporção do volume total da árvore abaixo, respectivamente, de uma determinada altura ou diâmetro do tronco.

O modelo da altura total da árvore foi ajustado a partir de dados recolhidos durante os anos de 1991 e 1994 em 62 parcelas temporárias, circulares de área de 500 m<sup>2</sup>.

Os locais de amostragem foram seleccionados segundo um esquema de amostragem sistemático com recurso à fotointerpretação por grelha de pontos da fotografia

aérea relativa ao voo do Instituto Geográfico e Cadastral de 1989 à escala média de 1:15000. Os locais de amostragem podem ser visualizados na figura 7.5. Na tabela 7.3. apresenta-se o modelo ajustado para a espécie e região.



Escala aproximada de 1:355 932

FIGURA 7.5. Locais de amostra relativos às 62 parcelas temporárias instaladas em povoamentos puros de pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Proença-a-Nova e Castelo Branco em 1991 e 1994 (CNA, 1982; Alegria, 1994)

TABELA 7.3. Modelo para a predição da altura total da árvore individual para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco (Almeida, 1998)

*Modelo e estatísticas de ajustamento e predição*

Modelo de Prodan modificado (Tomé, 1988)

$$h = hdom \times \left( 1 + \left( 0.783629 - 0.158945 \times \frac{N}{1000} \right) \times hdom \times \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{ddom} \right) \right)^{-1}$$

$$R^2=0.8592; R^2_{AJ}=0.8590; QMR=2.09950; APRESS \text{ médio}=1.124518; PRESS \text{ médio}=0.0755628; n=959.$$

Legenda:  $h$  - altura total (m);  $hdom$  - altura dominante (m);  $N$  - número de árvores por hectare;  $d$  - DAP (cm);  $ddom$  - diâmetro dominante (cm).

**PRÁTICA**

- **Curva hipsométrica. Equações de volume. Equações de volume percentual. Equações de perfil de tronco. Predição de volumes (total e parciais por classes de aproveitamento da madeira) para árvore individual. Cubagem de povoamentos. Predição de volumes por hectare por somatório dos volumes obtidos por classes de frequência diamétrica.**

**EXERCÍCIO 1** - Considere os dados dendrométricos relativos à parcela de estudo P10 96/97 de área de 1000 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo no concelho de Oleiros:

- número de árvores por hectare -  $N=490$
- área basal por hectare -  $G=27.82 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
- diâmetro médio -  $dg=26.88\text{cm}$
- altura média -  $\bar{h}=16.3\text{m}$
- altura dominante -  $h_{dom}=18.9\text{m}$
- idade média -  $\bar{t}=54$  anos.

Considere, ainda, a árvore nº 17 cujo DAP é de 26.4 cm e as equações ajustadas, para o pinheiro bravo e para a região de Castelo Branco.

- a) estime o volume total com casca da árvore.
- b) estime o volume do cepo com casca da árvore para uma altura de corte de 0.15 m.
- c) reconstitua o perfil da árvore para os níveis de toragem realizados na árvore.
- d) estime o volume comercial de madeira com casca da árvore, considerando toros de 2.3 metros e diâmetro limite de aproveitamento maiores ou iguais a 20 cm.
- e) estime o volume comercial de rolaria com casca da árvore, considerando toros de 2 metros e diâmetros limite de aproveitamento entre 7 e 20 cm.

**EXERCÍCIO 2** - Avalie o volume da parcela P10 96/97, por classes de aproveitamento do lenho considerando as seguintes especificações:

- altura de corte a 0.15 m;
- rolaria de 7 a 20 cm;
- madeira superior a 20 cm;
- toros de 2.30 m.

- a) Estime o volume total por ha.
- b) Estime o volume de madeira por ha.
- c) Estime o volume de rolaria por ha.

Considere a reconstituição do perfil das árvores da parcela, agregando os dados por classes de frequência diamétrica, conforme tabela que se segue:

	EPT								
COD	hi=0.15	hi=2.45	hi=4.75	hi=7.05	hi=9.35	hi=11.65	hi=13.95	hi=16.25	hi=18.55
1	11.73817107	6.414370441	4.859899709	3.04988994					
2	15.7678342	11.24980385	9.296688823	7.14878272	4.674329595				
3	20.29256851	16.16349638	13.87819521	11.41911113	8.707783515	5.565561272			
4	25.09258543	21.12368371	18.54756648	15.808616	12.84941432	9.562403839	5.682765306		
5	30.04601985	26.11565508	23.27751066	20.2833485	17.08704442	13.61093387	9.700402924	4.91449725	
6	35.09055999	31.13115206	28.05248537	24.82249664	21.40212864	17.73002949	13.69756581	9.067248504	2.92611091
7	40.19266636	36.16498393	32.86264825	29.41244784	25.78017473	21.9147211	17.73222853	13.07343527	7.53398913

4

Considere, ainda, as estimativas da altura total e volume da árvore de DAP central de acordo com os modelos para a espécie e região conforme se expressam na tabela que se segue:

Classe de DAP	h (m)	v (m <sup>3</sup> )
7.5	9.489339284	0.024013912
12.5	12.11298782	0.072933556
17.5	14.22596635	0.161639279
22.5	16.04127422	0.297150223
27.5	17.6557224	0.485475042
32.5	19.12297354	0.731949069
37.5	20.47642659	1.041417096

## LIÇÃO Nº 9

### PRÁTICA

#### 8. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Na actividade florestal é comum a necessidade de realizar previsões a longo prazo, sobre a produção segundo diversos planos de gestão das matas com vista à melhoria da produtividade dessas áreas florestais, em resposta às solicitações do mercado, à medida que a procura de madeira aumenta e as áreas destinadas às florestas diminuem. Nestas circunstâncias, a instalação de parcelas permanentes por si só não chega, sendo uma metodologia demasiadamente estática e pouco flexível, não permitindo responder às contínuas alterações introduzidas pelas práticas culturais para estimular a produtividade das florestas.

No fim do século 19 começaram a desenvolver-se os primeiros modelos de crescimento. Os modelos iniciais foram baseados em métodos gráficos e usados como tabelas de produção. As tabelas de produção aplicam-se fundamentalmente a povoamentos regulares. Estas mostram a evolução dos parâmetros do povoamento com o tempo e baseiam-se em dados de parcelas temporárias e/ou permanentes. Estão ligadas a um sistema de silvicultura - espaçamento, regime de desbaste e outras opções - pré definidos e conseqüentemente apenas podem ser utilizadas para fazer avaliações consistentes em povoamentos desenvolvidos em condições semelhantes. As primeiras tabelas de produção, tabelas de produção normais, foram construídas com dados obtidos em povoamentos em densidade normal. Julgava-se, então, que a um total aproveitamento do espaço correspondia a densidade ideal.

Mais tarde aparecem as tabelas de produção empíricas que diferem das anteriores porque os povoamentos utilizados têm uma densidade média. Embora com algumas restrições no que respeita às condições de aplicabilidade, este tipo de tabelas teve a sua época quando os meios de cálculo eram reduzidos e se tornava difícil relacionar mais do que duas variáveis.

Com o aparecimento dos computadores electrónicos nos anos 30, as técnicas de regressão multivariada começaram a ser utilizadas e a densidade do povoamento pode ser introduzida como uma variável, aparecendo então as tabelas/equações de produção de densidade variável.

O rápido aumento da facilidade de cálculo permitiu o desenvolvimento de modelos mais complexos com um grande número de parâmetros e mesmo utilizar informação baseada na árvore individual de modo a produzir modelos mais realistas com melhores

fundamentos biológicos. As técnicas de simulação também dão uma contribuição importante na elaboração destes modelos mais sofisticados. Os modelos de simulação do crescimento e produção são uma metodologia bastante flexível, já que permitem imitar (simular) a dinâmica dum povoamento artificialmente de modo a obter um modelo cujo comportamento seja semelhante ao da mata real. O comportamento do modelo pode, assim, ser estudado cobrindo as mais diversas alternativas e a custos de tempo e dinheiro muito mais baixos. Apesar da inegável importância e contributo dos modelos de simulação nos estudos de crescimento e produção florestal, estes não podem no entanto substituir por completo os resultados das experiências de longo prazo, já que estas pelo menos serão indispensáveis para a validação e manutenção e também muitas vezes, para a construção do próprio modelo. Por outro lado, os resultados obtidos com o modelo podem dar ótimas sugestões para o tipo de experiências que devem ser montadas, de modo a esclarecer certos pontos pouco claros que tenham surgido na fase de construção do modelo (Tomé, 1989).

### **8.1. Abordagens à modelação do crescimento e produção**

Têm sido feitas várias tentativas para encontrar uma terminologia comum e classificar os métodos de modelação do crescimento e produção. Munro (1974) classificou as diferentes aproximações à modelação, em três categorias de acordo com a unidade primária dos parâmetros utilizados e da dependência de medição de distância entre árvores:

- modelos baseados nas variáveis do povoamento;
- modelos baseados na variáveis da árvore individual, independentes da distância e
- modelos baseados na variáveis da árvore individual, dependentes da distância, ou seja, que requerem informação sobre a distribuição espacial das árvores.

Estas três filosofias de modelação reflectem sequencialmente uma maior complexidade estrutural dos modelos a obter, maior detalhe e quantidade de informação a recolher no campo e maior exigência no hardware e software com vista à modelação de crescimento e produção (Figura 8.1.). É de notar que estas filosofias não representam classes discretas entre si mas formam um *continuum* (Vanclay, 1994).

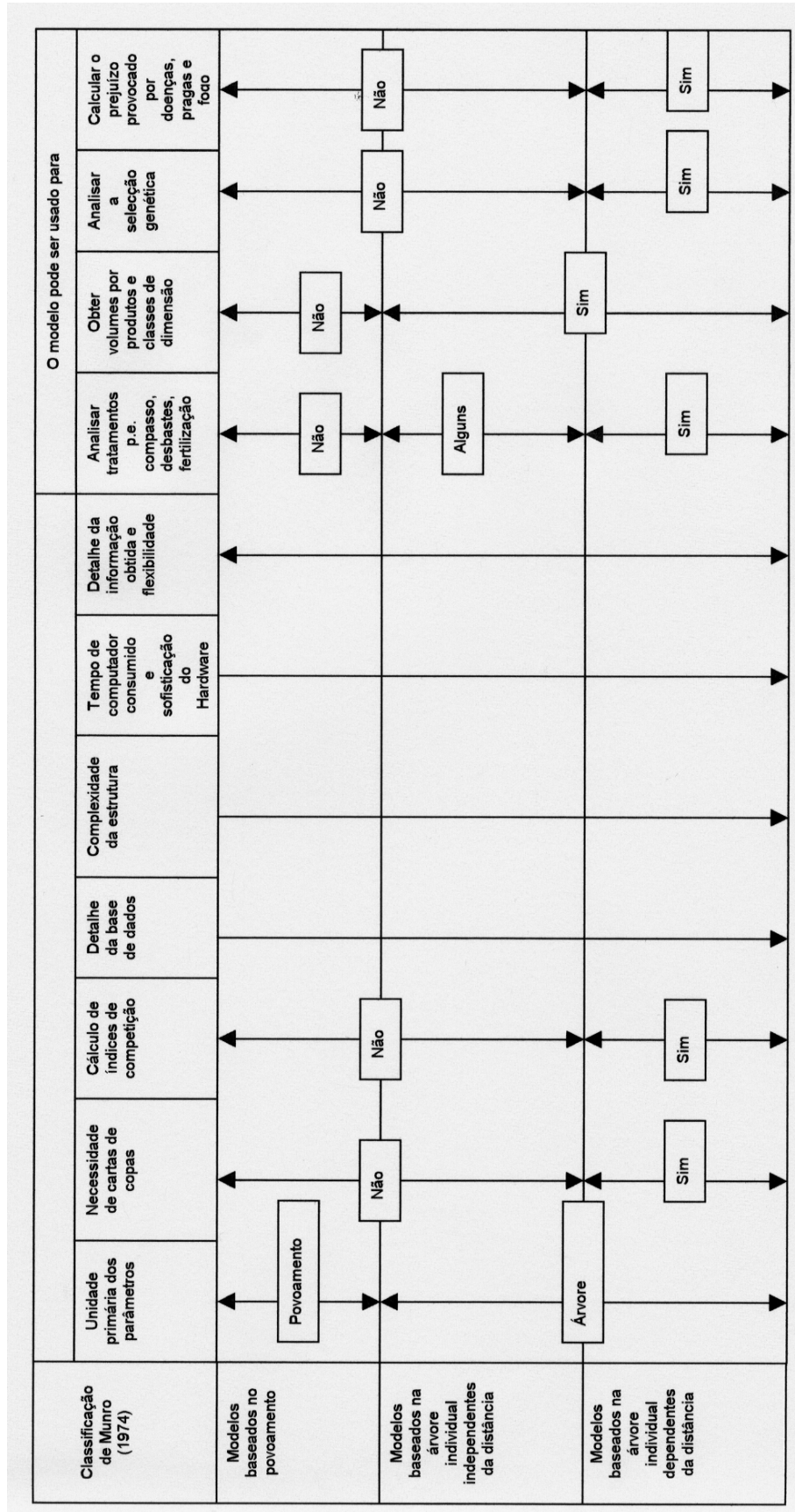


FIGURA 8.1. Filosofias de modelação (Tomé, 1983)

Outras classificações posteriores são extensões ou modificações da classificação básica de Munro. Uma das extensões mais importantes é a separação dos modelos baseados em distribuições de diâmetros porque de facto estes modelos têm sido utilizados com grandes vantagens sobre outros modelos também baseados no povoamento (Tomé, 1983).

Os modelos baseados nas variáveis do povoamento utilizam variáveis como o número de árvores por hectare, área basal e volume do povoamento para prever o crescimento ou a produção do povoamento. Estes modelos têm sido muito úteis na modelação de plantações (Vanclay, 1994). Para a predição da densidade futura é possível recorrer a modelos de predição da densidade ou de crescimento em área basal ou ainda a funções de mortalidade que estimam o número de árvores sobreviventes (Clutter *et al.*, 1983).

Os modelos baseados em classes de dimensão, recorrem aos métodos de distribuições diamétricas. Todos os modelos de produção baseados nas distribuições diamétricas preveem o número de árvores por hectare por classe de diâmetro e altura média por classe de diâmetro, que usado em conjugação com as apropriadas equações de volume da árvore individual permitem a estimativa da produção por hectare. As equações que geram a predição das frequências por classes de diâmetro e altura média, em geral, utilizam como variáveis independentes a idade do povoamento, índice de qualidade de estação ou altura dominante e número de árvores sobreviventes por hectare. Estes modelos fornecem uma informação mais detalhada que as equações de produção e equações de cubagem. As distribuições de probabilidades Normal e de Weibull têm sido utilizadas na modelação da estrutura do povoamento, sendo a última preferida porque existe uma expressão analítica para a sua função de distribuição acumulada e esta é de simples aplicação (Clutter *et al.*, 1983). Estes modelos têm sido usados extensivamente para modelar o crescimento e produção em muitos tipos de florestas, desde plantações puras regulares até a florestas tropicais (Vanclay, 1994).

Os modelos baseados na variáveis da árvore individual, cuja unidade base de modelação é a árvore individual, necessitam da lista de todas as árvores no povoamento com a sua dimensão. Alguns modelos requerem também a posição espacial das árvores, ou a altura total e a classe de copa.

Designam-se independentes da distância ou não espaciais os modelos baseados na variáveis da árvore individual que não requerem qualquer tipo de dados espaciais, podendo modelar o desenvolvimento do povoamento tendo por base a parcela ou o hectare. Os modelos baseados em lista de árvores são um exemplo de modelos de árvore individual não espaciais (Vanclay, 1994). Os modelos de lista de árvores, que modelam

“pequenos” grupos de árvores (e.g., por similaridade de espécie ou de dimensão) podem por um lado ser considerados semelhantes aos modelos de distribuições de classes de dimensão mas por outro lado como um aperfeiçoamento dos modelos da árvore individual não espaciais. De facto, os modelos da árvore individual mantêm uma lista de atributos de cada árvore. A abordagem à lista de árvores faz isso mas simula também o número de árvores por hectare representado por cada registo da árvore. Isto simplifica a predição determinística da mortalidade. A abordagem da lista de árvores têm sido largamente utilizada para florestas mistas irregulares de climas temperados e tropicais e aparentemente oferecem a maior versatilidade de todas as alternativas apresentadas (Vanclay, 1994).

Designam-se dependentes da distância ou espaciais os modelos da árvore individual que simulam as árvores individuais ou as suas componentes (p.e., copas e ramos) usando dados espaciais (e.g., mapas da localização das árvores) indicando a sua posição no povoamento. A necessidade de dados espaciais usualmente restringe estes modelos a simulações de parcelas relativamente pequenas. A designação de modelos da árvore individual espaciais é preferível pois que estes modelos podem requerer dados espaciais tridimensionais e não apenas a distância às árvores vizinhas (Vanclay, 1994).

Os modelos de crescimento e produção da árvore individual que usam informação espacial sobre a posição e dimensão das árvores vizinhas para simular o desenvolvimento de cada árvore individual no povoamento (ou parcela), são os mais complexos e mais exigentes em dados. São construídos a partir das relações observadas ao nível da árvore individual e tendo em consideração o efeito da distância entre árvores, ou seja em última instância, o efeito da competição intraespecífica. Requerem informação ao nível da árvore individual através do conhecimento da lista de árvores que constituem a parcela e do mapa da sua localização através de um sistema de coordenadas. Normalmente, dispõe-se para cada árvore informação relativa ao seu DAP, altura total e por vezes a proporção da copa ou o diâmetro da copa. Toda esta informação ao nível da árvore individual é utilizada na simulação do crescimento, caracterizando as árvores em termos de diversos parâmetros de dimensão e forma, que são depois projectados ao longo do tempo (Clutter *et al.*, 1983).

Finalmente, é de referir que os modelos de crescimento espaciais oferecem um grande potencial para investigações detalhadas das alternativas silvícolas em qualquer povoamento, mas principalmente se for heterogéneo, que não são possíveis com outras abordagens de modelação. No entanto, existem algumas limitações que restringem a utilidade destes modelos, visto que:

- os dados de parcelas permanentes raramente contêm as medições detalhadas necessárias à sua formulação;
- os custos de obtenção destes dados restringe a aplicação destes modelos, porém desde que se disponha de um módulo de simulação do povoamento inicial será possível utilizar o modelo mesmo em parcelas em que se não tenha obtido toda a informação;
- os índices de competição, os quais providenciam a base de muitos destes modelos raramente se comportam melhor que as medidas de competição ao nível do povoamento (como p.e., a área basal) (Vanclay, 1994).

De facto, estudos empíricos sugerem que as medidas não espaciais da competição como a área basal e do povoamento e a área basal das árvores maiores são tão eficazes como outros índices. Por exemplo, a área basal das árvores maiores que a árvore central ( $G_{>d}$ ) é um preditor útil para o acréscimo em diâmetro em florestas temperadas e tropicais. Por outro lado, os índices de competição requerem dados espaciais o que limita a sua aplicação aos modelos não espaciais (Vanclay, 1994).

Seja qual for o método utilizado na construção do modelo, o seu funcionamento pode basear-se, essencialmente, segundo dois processos:

- Processos estáticos - aqueles em que a produção ( $V$  em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) é estimada directamente como função das variáveis, ao nível do povoamento, idade, qualidade da estação e história da sua densidade (p.e., equação de produção:  $V = f(t, SI, G$  ou  $N)$ ). A produção pode também ser obtida como função da área basal por hectare do povoamento e da sua altura média ou altura dominante (p.e., equação de cubagem:  $V = f(G, \bar{h}$  ou  $h_{dom})$ ). Estes métodos são estáticos na medida em que as funções de produção não permitem qualquer variação na história do tratamento do povoamento, excepto dentro de classes muito amplas de tratamentos alternativos de desbastes que já estivessem presentes nos dados recolhidos. As componentes da produção de maior interesse são o volume e o diâmetro médio. É possível determinar o volume do povoamento sabendo o número de árvores do povoamento, a sua altura média e o diâmetro médio recorrendo às equações de volume de dupla entrada. A variável número de árvores é utilizada para definir os tratamentos de desbaste, enquanto a altura é o modo mais corrente para a classificação da qualidade de estação (Alder, 1980).

As limitações dos modelos estáticos de produção, embora de construção mais simples, são:

- ❑ a dificuldade em combinar situações radicalmente diferentes ou variáveis dos vários tratamentos ocorridos e obter um modelo consistente;
  - ❑ após o modelo construído, não ser possível prever produções para tratamentos alternativos para além daqueles consignados no modelo;
  - ❑ a determinação da produção saída em desbaste (volume secundário) ser difícil, excepto se existirem registos de confiança das árvores cortadas, o que nem sempre se verifica mesmo quando se trata de parcelas permanentes.
- ❑ Processos dinâmicos - aqueles em que se modelam as taxas de variação dentro do sistema. Isto significa que a base da predição são os acréscimos em diâmetro, em área basal ou em volume. Representam de uma forma mais realista a verdadeira causa e efeitos da dependência entre a densidade e a produção do povoamento. Estão livres da limitação de que os dados devam representar séries consistentes da história da densidade do povoamento e consequentemente podem ser usados como base para analisar e sintetizar dados de uma grande variedade de tipos de ensaios e de parcelas permanentes. Têm como base funções que predizem os acréscimos em diâmetro médio, área basal ou volume por hectare em pequenos intervalos de tempo, como função da densidade do povoamento e expresso em termos da área basal e/ou idade e classe de qualidade. Para se obterem as predições da produção, a função de crescimento é integrada matematicamente, o que por vezes é difícil, ou iterativamente somada ao longo de anos sucessivos (Alder, 1980).

Para realizar a simulação do modelo construído consideram-se as seguintes fases de operação:

- ❑ Fase inicial - onde se indicam os valores iniciais, como p.e., da área basal, altura e número de árvores do povoamento;
- ❑ Fase dinâmica - quando o crescimento do povoamento é calculado e somado às existências, as operações de corte são realizadas se necessário, a idade do

povoamento é incrementada, repetindo-se o processo, que terminará quando o povoamento é cortado ou o período a analisar chegar ao fim (Alder, 1980).

## 8.2. Componentes do crescimento florestal

### 8.2.1. Ao nível do povoamento

A predição da produção corrente do povoamento é facilmente obtida recorrendo a equações de produção  $V = f(t, SI, G \text{ ou } N)$  ou a equações de cubagem  $V = f(G, \bar{h} \text{ ou } hdom)$  por substituição directa das variáveis explicativas nos modelos obtidas dos dados recolhidos em parcelas de inventário, respectivamente, sabendo a idade, índice de qualidade de estação e área basal actuais do povoamento ou sabendo a área basal e altura média ou altura dominante actuais do povoamento.

É, ainda, possível determinar a produção actual do povoamento recorrendo às equações de volume aplicando-a individualmente a cada uma das árvores do povoamento, sendo a produção obtida por somatório dos volumes das árvores que compõem o povoamento e extrapolando para o hectare. Volumes por classes de aproveitamento da madeira podem igualmente ser obtidos por este processo.

A estimativa da produção futura dos povoamentos recorrendo a uma equação de produção, p.e. para os próximos 10 anos, é possível desde que se saiba o índice de qualidade de estação (admitindo que se mantém constante ao longo do tempo), a idade de projecção e a densidade do povoamento à idade projectada. Para a predição da densidade futura é possível recorrer a modelos de predição da densidade no futuro ou de predição do crescimento em área basal ou ainda a funções de mortalidade que estimam o número de árvores sobreviventes (Clutter *et al.*, 1983).

Assim, podemos considerar que para a predição da produção futura se torna necessário actualizar as variáveis explicativas densidade ou área basal do povoamento para a idade de projecção, assim como, a variável altura média ou altura dominante, para aplicar depois ou a equação de produção ou a de cubagem.

Outra abordagem à a predição da produção futura é através do recurso a modelos de crescimento em volume que iterativamente somado os crescimentos ao longo de anos sucessivos à produção actual fornecerá à idade de projecção a produção futura (Clutter *et al.*, 1983).

Os modelos do povoamento baseados em distribuições de frequências diamétricas são um caso particular dos modelos ao nível do povoamento e fornecem informação mais

detalhada da produção corrente ou futura que as equações de produção e equações de cubagem, e.g. desgregada por classes de frequência diamétrica.

Os modelos do povoamento baseados em distribuições de frequências diamétricas predizem o número de árvores por hectare por classe de diâmetro e altura média por classe de diâmetro, que usado em conjugação com apropriadas equações de volume da árvore individual permitem a estimativa da produção por hectare. As equações que geram a predição das frequências por classes de diâmetro e altura média, e.g. utilizam como variáveis independentes a idade do povoamento, índice de qualidade de estação ou altura dominante e número de árvores sobreviventes por hectare. As distribuições de probabilidades Normal e de Weibull (Figura 8.2.) têm sido utilizadas na modelação da estrutura do povoamento, sendo a última preferida porque existe uma expressão analítica para a sua função de distribuição acumulada e esta é de simples aplicação (Clutter *et al.*, 1983).

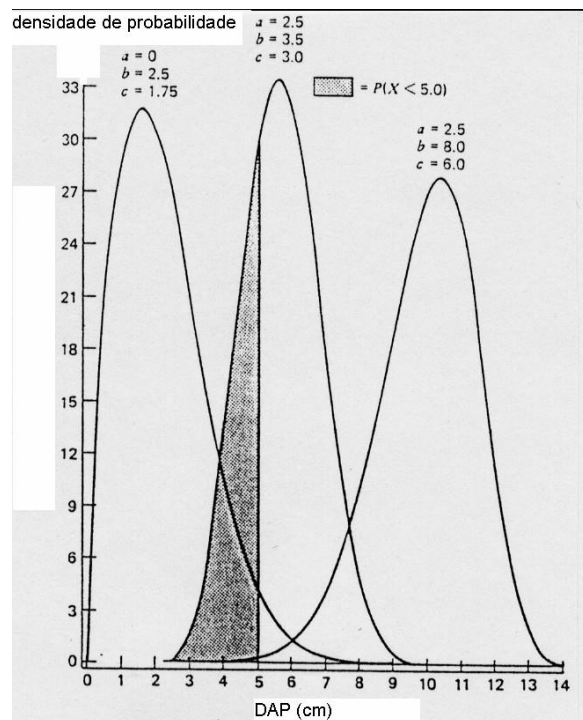


FIGURA 8.2. Distribuição de Weibull (Clutter *et al.*, 1983)

### 8.2.2. Ao nível do povoamento

As abordagens mais detalhadas à modelação dos povoamentos florestais não se baseiam no crescimento global do povoamento florestal e necessitam de discriminar diversas componentes de crescimento por forma a modelar estes processos de uma forma mais

eficaz (Vanclay, 1994). Nos modelos baseados em distribuições de frequências diamétricas e modelos baseados na variáveis da árvore individual, as componentes usualmente identificadas são o acréscimo em diâmetro (ou em área basal), a mortalidade e o ingresso (Figura 8.3.).

O crescimento em diâmetro é relativamente fácil de medir e de prever. O aumento da dimensão do tronco das árvores individuais pode ser modelado como:

- acréscimo em diâmetro,
- acréscimo em área basal,
- diâmetro futuro, ou
- área basal futura.

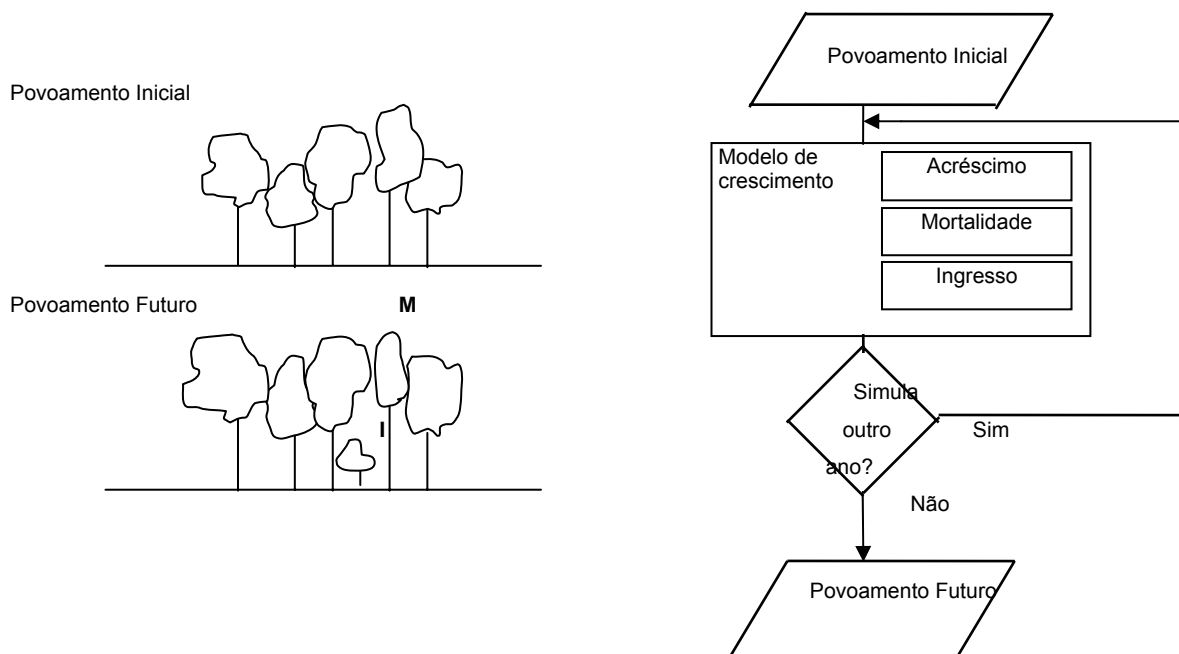


FIGURA 8.3. Componentes do crescimento florestal e representação análoga num modelo de crescimento do povoamento (Vanclay, 1994)

Estas quatro opções estão matematicamente relacionadas e portanto existem poucas diferenças entre elas. A relação entre o acréscimo em diâmetro e o acréscimo em área basal é

$$\partial g = \partial(kd^2) = 2kd(\partial d)$$

onde,  $g$  - área basal;  
 $d$  - DAP.

As equações de crescimento podem ser obtidas por diferenciação das equações de produção e portanto originar estimativas do crescimento e produção compatíveis. Assim, o aumento do diâmetro do tronco pode ser expresso como uma função de produção que estima o diâmetro futuro

$$d_n = F(d_0, t) + e_1$$

ou como uma função de crescimento que estima o acréscimo ao longo de um período específico

$$i_d = f(d) + e_2$$

onde,  $e_1$  e  $e_2$  - erros associados às estimativas.

ão mostram evidências de qualquer diferença na precisão das estimativas do diâmetro futuro pelas equações de acréscimo em diâmetro ou em área basal. Qualquer das quatro alternativas (crescimento ou produção do diâmetro ou área basal) podem ser formuladas de forma a providenciar estimativas razoáveis (Vanclay, 1994).

As equações de crescimento são ajustadas usualmente com dados de parcelas permanentes em que todas as árvores foram individualmente identificadas. Existem outras alternativas quando estes dados não estão disponíveis, embora estas abordagens sejam menos precisas.

Diversos autores têm modelado o crescimento individual potencial, em geral, avaliado em árvores em crescimento livre, o qual é depois afectado de uma função modificadora de forma a quantificar os efeitos da competição e os factores da estação por forma a traduzir os crescimentos da árvore individual em povoamento,

$$\text{crescimento esperado} = (\text{crescimento potencial}) \times (\text{função modificadora}).$$

A taxa de crescimento potencial pode ser avaliada em árvores em crescimento livre ou livres de competição. A função modificadora pretende quantificar numa expressão simples os efeitos das árvores vizinhas (ou outras plantas) no crescimento de um indivíduo num povoamento florestal. Nesta função modificadora podem utilizar-se índices de competição, a área basal ou um outro qualquer índice relativo que compare o crescimento da árvore com o crescimento esperado em condições ideais.

Nas florestas naturais, a mortalidade e o ingresso são aspectos importantes na dinâmica do povoamento e podem influenciar consideravelmente a produção em volume do

povoamento. A previsão da mortalidade deve não só estimar o número de árvores mas também as dimensão das árvores mortas. O ingresso deve ser previsto como sendo as árvores que atingiram o 1.30 m, no entanto é comum adoptar um critério mais amplo, em geral, as árvores novas cujo DAP é igual ou superior a 5 cm.

É usual admitir que nos povoamentos obtidos por plantação e conduzidos com desbastes não ocorre mortalidade significativa. Este pressuposto pode ser razoável para plantações conduzidas intensivamente mas não é apropriado para florestas naturais onde a mortalidade é significativa e deve ser tida em conta (Vanclay, 1994).

A idade da árvore pode ser um factor contributivo na morte de árvores, mas pode não ser a causa de morte. Muitas das mortes podem ser atribuídas à competição, pragas e doenças e ao acaso. A dimensão da árvore não parece ser a causa de morte da árvore, mas é na prática um bom preditor da probabilidade da mortalidade. O clima também influencia os padrões de mortalidade nos povoamentos florestais (p.e, a secura, os relâmpagos, o vento e os incêndios). Outras mortes podem ser atribuídas ao acaso, dado que no pode ser dada nenhuma explicação satisfatória. A mortalidade ou remoção de árvores do povoamento como resultado da intervenção humana (cortes) também deve ser simulada nos estudos de crescimento e produção florestal. Do ponto de vista da modelação, o tratamento silvícola deve ser simulado da mesma forma que o abate. Danos devido à actividade de abate também contribuem para a mortalidade em povoamento florestal.

De entre a mortalidade natural, podem ser distinguidas duas categorias:

- a mortalidade regular - refere-se principalmente ao envelhecimento, às relações de dominância e competição, mas também, à devido ao acaso, à incidência normal de pragas e doenças e a fenómenos do clima (secura, tempestades e eventos que tipicamente ocorrem com uma frequência menor a uma vez em cada dez anos);
- a mortalidade catastrófica - inclui incêndios e perdas severas ocasionais devido a condições anormais de clima e ataque de pragas e doenças.

Uma forma fiável e eficiente de modelar a mortalidade, mercantabilidade e relações similares, é ajustar a função logística aos dados da árvore individual usando a estimação pela máxima verossimilhança ou por modelação linear generalizada. A função logística oferece uma forma conveniente de restringir as predições ao intervalo (0, 1) e providencia uma distribuição realista dos erros (binomial),

$$p = \left(1 + e^{-f(X)}\right)^{-1} = 1 - \left(1 - e^{f(X)}\right)^{-1} = \frac{e^{f(X)}}{1 + e^{f(X)}}$$

onde,  $p$  - probabilidade da ocorrência;

$f(X)$  - função de várias variáveis explicativas.

Na medida em que a sobrevivência, ao contrário da mortalidade, é um processo de Markov, o que permite que a sobrevivência ao longo de um período de  $n$  anos possa ser calculada pela  $n^{\text{ésima}}$  potência da probabilidade anual de sobrevivência e ainda, ser estimada para intervalos de medição com um período de anos variável, opta-se em geral, por modelar a probabilidade de sobrevivência ( $p$ ), sendo a probabilidade de mortalidade obtida por  $1-p$  (Vanclay, 1994).

A maioria dos modelos logísticos de mortalidade/sobrevivência utilizam variáveis explicativas como o diâmetro, a altura, a classe de copa e a área basal do povoamento. Sendo porém, útil incluir duas transformações da dimensão da árvore  $d^{0.5}$  e  $d^{-1}$  ou  $d$  e  $\ln(d)$  de forma a permitir um bom ajustamento quer para as árvores pequenas quer para as árvores grandes e ainda, a dimensão relativa das árvores individuais através da inclusão de variáveis como  $d/dg$  e  $G>d/G$  (Vanclay, 1994).

Para além da mortalidade natural, um modelo de crescimento deve ter a capacidade de prever a mortalidade antropogénica, incluindo o abate final, tratamento silvícola e quaisquer mortes ou danos que daí podem resultar indirectamente destas actividades. Uma operação de corte raso é fácil de modelar já que todas as árvores com aproveitamento mercantil são removidas do povoamento. Os desbastes e os cortes selectivos são de modelação mais complexa visto que tem que se prever a distribuição de dimensão das árvores a remover ou alternativamente prever a distribuição de dimensão das árvores do povoamento residual. A melhor abordagem para a predição da distribuição das árvores a remover é especificar as regras de corte, como por exemplo:

- o número de árvores em cada classe de dimensão a serem removidas à altura do corte ou;
- a percentagem de árvores em cada classe de dimensão a serem removidas ou
- o número de árvores em cada classe de dimensão que ficam após o corte.

No caso dos povoamentos puros regulares a caracterização dos cortes, particularmente dos desbastes executados de forma sistemática, é fácil e pode ser realizada através da análise das distribuições de frequência diamétrica do povoamento

principal antes e depois da execução dos desbastes. A alteração no perfil do histograma permite-nos indicar o tipo de desbaste executado, por exemplo, desbaste pelo alto ou desbaste pelo baixo (Alves, 1982). Para efeitos da modelação de crescimento e produção dos povoamentos têm sido utilizadas variáveis *ratio* de desbaste definidas a partir de variáveis como o diâmetro médio das árvores saídas a desbaste em relação ao diâmetro médio das árvores do povoamento principal antes e depois da execução do desbaste (p.e., Walsh, 1986; Silva, 1991) permitindo a distinção entre povoamentos não desbastados e desbastados e a caracterização do tipo de desbaste executado. Também, as variáveis da dimensão relativa das árvores individuais atrás referidas são bons indicadores do tipo de desbaste executado (p.e., a variável  $d/dg$  aumenta quando se trata de um desbaste pelo alto e decresce quando se trata de um desbaste pelo baixo).

Nos povoamentos de estrutura irregular, em geral, existe uma maior variação nas condições dos povoamentos e os cortes selectivos tendem a remover as árvores de maiores dimensões, por exemplo segundo determinados limites de dimensão (limites de corte). Alguns modelos logísticos de probabilidade de corte da árvore individual utilizaram variáveis explicativas como o diâmetro da árvore, o número de anos desde a última intervenção e o limite de corte (Vanclay, 1994).

É frequente assumir que o ingresso pode ser negligenciado ou não influencia as estimativas da produção no curto prazo. Porém, este pressuposto é insatisfatório para simulações longas em florestas naturais, visto que o ingresso pode contribuir substancialmente para a área basal do povoamento futuro e logo influencia as previsões do crescimento e produção. Os modelos de ingresso predizem o número de troncos que atingem ou excedem um limite específico de dimensão (e.g., 1.30 m de altura ou *DAP* de 10 cm). Existem duas abordagens de modelação a considerar:

- estática - a qual tem em pouca consideração as condições do povoamento e logo prediz uma quantidade aproximadamente constante de ingresso que indica a expectativa média a longo prazo sobre condições típicas, e
- dinâmica - a qual responde às condições do povoamento, predizendo o ingresso em função da densidade do povoamento, composição e outros parâmetros (Vanclay, 1994).

Uma das dificuldades na modelação do ingresso é a grande variabilidade na regeneração, podendo esta ocorrer ou não durante um determinado período, sendo um processo predominantemente estocástico. Outra abordagem aconselhável é realizada em duas fases:

- fase 1 - predição da probabilidade de que algum ingresso irá ocorrer, usualmente utilizando para o efeito a função logística;
- fase 2 - predição da quantidade de ingresso, p.e. por regressão linear (Vanclay, 1994).

Para além da simulação do crescimento em diâmetro da árvore individual, que representa uma das principais componentes na predição do crescimento e produção da árvore individual, são necessários outros modelos da árvore individual como os modelos de altura total da árvore e os modelos de volume da árvore (equações de volume total, de volume percentual e de perfil de tronco). A modelação de outras variáveis de medição não expedita, como a proporção da copa e a área da projecção da copa, poderá ser conveniente caso estas sejam consideradas variáveis explicativas para a modelação das principais componentes do modelo de crescimento e produção.

Na elaboração de um modelo de produção ao nível da árvore individual e dependente da distância deverão ser consideradas as seguintes fases (Clutter *et al.*, 1983):

- 1ª - Cálculo de diversos índices de competição para cada árvore da parcela. Estes índices são definidos segundo diferentes funções da dimensão da árvore central para determinar o raio do círculo de competição e diferentes procedimentos para a aproximação ou cálculo das áreas de sobreposição e ponderação destes com as dimensões relativas das suas árvores vizinhas competidoras. A identificação das vizinhas competidoras requer uma análise prévia para a sua identificação. Da análise de diversos índices de competição será eleito o que melhor traduzir o estatuto competitivo das árvores dos povoamentos em questão.
- 2ª - A análise das probabilidades de mortalidade das árvores, que serão calculadas em função dos índices de competição. Estas probabilidades são definidas para um determinado período de crescimento. A decisão é, então, realizada relativamente à sobrevivência de cada árvore. Esta decisão baseia-se em simulação monte-carlo, ou seja, no sorteio de números casuais e interpretação do resultado relativamente às probabilidades de mortalidade previamente estimadas. As árvores mortas são removidas da lista de árvores da parcela.
- 3ª - Após o estatuto competitivo de cada árvore estar avaliado, a estimativa do crescimento periódico para as variáveis da árvore é calculado e adicionado ao correspondente valor corrente. O período de projecção envolvido é curto (e.g., 1 ano).

- 4ª - As fases 1, 2 e 3 repetem-se iterativamente até a projecção para o período desejado ser atingido.
- 5ª - Os volumes da árvore individual são calculados a partir das dimensões finais da árvore e acumulados para obter o volume da parcela, extrapolando depois para o hectare.

A lista de árvores da parcela permite-nos fazer a passagem da árvore individual para o povoamento referenciando as estimativas ao hectare. Da mesma forma, a actualização das variáveis da árvore individual, nomeadamente o *DAP* e altura total, permitem posteriormente o cálculo das variáveis do povoamento consideradas explicativas da dinâmica do crescimento e produção e utilizadas no modelo de simulação do crescimento e produção. Este processo realiza-se iterativamente até ao termo do período de projecção desejado.

### 8.3. Casos de estudo

#### 8.2.1. Modelo de crescimento e produção ao nível do povoamento - GLOBUS

Os dados usados na construção do modelo GLOBUS foram obtidos de 77 parcelas permanentes e 37 parcelas de dois ensaios de compasso em povoamentos de *Eucalyptus globulus* da empresa de celulose CELBI, originando um conjunto de 748 períodos de crescimento. O modelo é composto por três componentes funcionais (Tabela 8.1.):

- ❑ crescimento em altura dominante,
- ❑ crescimento em área basal e
- ❑ volume do povoamento.

TABELA 8.1. Modelo de crescimento e produção - GLOBUS

<i>MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - GLOBUS</i>	
<i>COMPONENTES FUNCIONAIS</i>	
❑	Crescimento em altura dominante
- Centro Litoral	
$h_{domt2} = 140.38822 \times \left( \frac{h_{domt1}}{140.38822} \right)^{\frac{t1^{0.3469}}{t2^{0.3469}}}$	
- Centro Interior	
$h_{domt2} = 140.38822 \times \left( \frac{h_{domt1}}{140.38822} \right)^{\frac{t1^{0.2545}}{t2^{0.2545}}}$	
❑	Crescimento em área basal
$Gt2 = (43.5499 + 1.35663 \times h_{domt1})^{1 - \left( \frac{t1}{t2} \right)^{0.6490}} \times Gt1 \times \left( \frac{t1}{t2} \right)^{0.6490}$	
❑	Volume do povoamento
$V = 0.3636 \times G^{0.9171} \times h_{dom}^{1.1025}$	

O principal ponto fraco do modelo GLOBUS é ter como presuposto a não ocorrência de mortalidade, o que é válido para muitas estações do centro de Portugal Continental mas não se observa no interior ou em estações pobres. A simulação da produção para diferentes compassos iniciais é também fraca visto ser baseada em apenas na informação de dois ensaios de compasso no litoral (Tomé *et al.*, 1994).

### **8.3.2. Modelo de crescimento e produção baseado em distribuição de frequências diamétricas - PBRAVO**

Em Portugal foram construídas, desde os anos 30, para diversas matas estatais de pinheiro bravo, tabelas de produção baseadas em variáveis do povoamento (p.e., Hall, 1931; Velez, 1954; Gomes & Alves, 1965; Hall & Martins, 1966; Carrascalão, 1969; Oliveira, 1985; Silva, 1991).

Páscoa (1987) desenvolveu um modelo de crescimento e produção para o pinheiro bravo na Mata Nacional de Leiria, ao nível do povoamento baseado na distribuição de frequências diamétricas recorrendo para o efeito à distribuição de Weibull. Esse modelo foi depois alargado para o País a partir dos dados do Inventário Florestal Nacional (Páscoa, 1990).

O modelo PBRAVO foi desenvolvido a partir de dados obtidos em inventários florestais contínuos nos povoamentos de pinheiro bravo da Mata Nacional de Leiria, que tiveram a sua origem por sementeira e por plantação e portanto que apresentam estrutura regular. Estes povoamentos estão sujeitos a um plano de ordenamento, sendo a Mata gerida com o objectivo de produção de madeira de qualidade. As limpezas são efectuadas por volta dos 4 e os 7 anos nos povoamentos originados por sementeira. Os desbastes, são na sua maioria pelo baixo, em que a primeira intervenção ocorre normalmente por volta dos 10 e os 15 anos sucedendo-se as seguintes com uma periodicidade aproximada de 5 anos. Quando o povoamento é originário por sementeira ou plantação por linhas, regra geral, o primeiro desbaste efectuado é um desbaste mecânico, em que se retira uma dada percentagem do número de árvores, com uma percentagem equivalente na área basal. Se a origem do povoamento é por sementeira, o primeiro desbaste é um desbaste selectivo (Páscoa, 1987). O corte é tradicionalmente definido aos 80 anos. A resina é explorada como produto secundário nos últimos 3 anos antes do corte final do povoamento (Tomé *et al.*, 2000).

Os dados foram obtidos num total de 241 parcelas, onde ocorreram 73 desbastes. Os volumes foram obtidos em 600 árvores, divididas por 12 classes de 2 metros de altura (dos 6 aos 28 m), por cubagem rigorosa com casca e sem casca com toragens realizadas

às alturas de 0.30 m e 1.3 m e depois daí para cima de 2.0 m em 2.0 m com despona variável.

O modelo PBRAVO pode originar tabelas de povoamento para diferentes combinações de produtividade de estação, idade, densidade e gestão do povoamento. Permite também simular os povoamentos para um período específico, durante o qual opções de desbaste estão disponíveis em qualquer momento (Tomé *et al.*, 2000).

As tabelas de povoamento produzidas pelo modelo PBRAVO consideram as classes de diâmetro com uma amplitude 5 cm sendo a primeira definida entre [2.5, 7.5[ cm. As variáveis projectadas nestas tabelas são o número de árvores por hectare, a área basal por hectare, a altura total e os volumes por hectare decompostos por classes de aproveitamento (volume total, volume de madeira com  $d \geq 20$  cm e corte a 0.15 m e volume de rolaria com  $20 > d \geq 7$  cm). Os volumes total, de madeira e rolaria são obtidos por integração das equações de perfil de tronco de Kozac *et al.* (1969) ajustadas segundo as classes de altura, para os limites de integração correspondentes às alturas em que ocorrem os diâmetros de aproveitamento do tronco, respectivamente, considerados (Páscoa, 1987).

Para a simulação da distribuição de frequências diamétricas Páscoa (1987) optou pela função de Weibull a três parâmetros ( $a$ ,  $b$  e  $c$ ) dado à sua flexibilidade (assume as formas de “J” invertido para  $c \leq 1$ , assimétrica à esquerda para  $c \in ]1, 3.6[$  e à direita  $c \in ]3.6, \infty [$  e simétrica  $c = 3.6$ ), à facilidade de estimação dos parâmetros e simplicidade de manipulação algébrica. A sua função de densidade de probabilidade é definida por

$$f(x) = \frac{c}{b} \times \left( \frac{x-a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left( \frac{x-a}{b} \right)^c}$$

onde,  $a \geq 0$ ;  $b > 0$ ;  $c > 0$ ;  $x \geq a$ .

A correspondente função de distribuição é

$$F(x) = 1 - e^{-\left( \frac{x-a}{b} \right)^c}$$

O parâmetro de localização ( $a$ ) corresponde ao valor mínimo assumido pela distribuição de Weibull e obtem-se a partir do diâmetro mínimo do povoamento. O parâmetro de escala ( $b$ ) é uma medida da amplitude da distribuição e o parâmetro ( $c$ ) da forma da distribuição (Páscoa, 1987). Em termos gerais, o processo consiste na resolução de um sistema de três equações a três incógnitas a partir de valores de variáveis do

povoamento que caracterizam a distribuição de Weibull nos pontos notáveis requeridos e que neste caso são: o diâmetro mínimo da distribuição de frequências diamétrica (*dmin*) para definir o ramo esquerdo da curva, o segundo momento para definir a parte média e o percentil da distribuição de frequências diamétrica, em geral, percentis entre o 90 e 95, para definir a parte direita da distribuição (Páscoa, 1987). O segundo momento é obtido em função das variáveis do povoamento número de árvores por hectare e a área basal por hectare. Assim, os parâmetros *b* e *c* são soluções do sistema de equações:

$$b = \frac{x_p - a}{[-\ln(1 - p)]^{\frac{1}{c}}}$$

$$a^2 + 2a(x_p - a) \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}{-\ln(1 - p)^{\frac{1}{c}}} + (x_p - a)^2 \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right)}{-\ln(1 - p)^{\frac{2}{c}}} - E(X^2) = 0$$

em que,  $x_p$  - percentil da distribuição ( $0 < p < 1$ );

$\Gamma(x)$  - função gama;

$E(X^2)$  - segundo momento da distribuição.

O parâmetro *c* pode ser calculado a partir desta última equação por métodos iterativos segundo o método da bissecação onde os valores da função gama são obtidos de acordo com uma expressão de Zarnoch (1985) (Páscoa, 1987). Conhecidas as estimativas de *a* e *c* o parâmetro *b* pode ser calculado a partir da 1ª equação do sistema de equações apresentado. O programa do modelo PBRAVO elaborado em linguagem FORTRAN pode ser consultado em Páscoa (1987). Esta versão do modelo recorre ao cálculo do 95º percentil da distribuição de frequências diamétricas.

No ISA-DEF foi desenvolvida uma aplicação em MS-DOS (Barreto, 1993) do programa PBRAVO mas que recorre, antes, ao cálculo do 90º percentil da distribuição de frequências diamétricas. Nas tabelas 8.2. a 8.5. apresentam-se as equações que compõem esta versão do modelo PBRAVO nas suas diversas componentes. Na figura 8.4. ilustra-se uma das opções de funcionamento do programa possíveis (a partir das variáveis iniciais: *N*, *G*, *dmin* e *P90*).

TABELA 8.2. Equações de predição do modelo PBRAVO para povoamentos não desbastados anteriormente

Variáveis	Modelo	
diâmetro mínimo (cm)	$d_{\min} = 12.302998 \times hdom^{1.617991} \times N^{-0.687786}$	
90º percentil (cm)	$P90 = 2.754927 \times hdom^{1.445365} \times N^{-0.161445}$	
área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	$G = 0.000984 \times hdom^{2.103402} \times N^{0.797707} \times e^{\frac{-8.702327}{t}}$	
nº árvores por hectare	$N = 1324.485 \times hdom^{-0.382656} \times G^{0.231516} \times e^{\frac{5.407995}{t}}$	
parâmetros de Weibull	$a = 0.5 \times d_{\min}$ $b = \frac{P90 - a}{(2.995732)^{\frac{1}{c}}}$	$E(X^2) = \frac{G}{0.00007854 \times N}$ c = (no texto)

Legenda: *hdom* - altura dominante; *t* - idade do povoamento; *dmin* - diâmetro mínimo da distribuição de diâmetros; *P90* - 90º percentil da distribuição de diâmetros; *G* - área basal por hectare; *N* - número de árvores por hectare.

TABELA 8.3. Equações de predição do modelo PBRAVO para povoamentos que já tenham sido desbastados anteriormente

Variáveis	Modelo	
índice de qualidade de estação (m)	$SI_{50} = hdom^{10^{-0.380999 + 2.694076 \times t^{-0.5}}}$	
altura da árvore (m)	$h = 1.891036 \times hdom^{0.890695} \times G^{-0.146749} \times N^{0.075548} \times e^{2.000723 \times t^{-1} - 11.96184 \times d^{-1}}$	
volume da árvore (m <sup>3</sup> )	$v = \frac{\pi \times d^2 \times h}{40000} \times 0.336 \times e^{\frac{0.94}{h} + \frac{3.79}{d}}$	
parâmetros de Weibull	$a = 0.9 \times d_{\min}$ $b = \frac{P90 - a}{(2.995732)^{\frac{1}{c}}}$	$E(X^2) = \frac{G}{0.00007854 \times N}$ c = (no texto)

Legenda: *SI<sub>50</sub>* - índice de qualidade de estação, segundo a média das alturas da 100 árvores mais grossas por hectare à idade de referência de 50 anos; *d* - diâmetro à altura do peito com casca; *h* - altura total; *v* - volume total da árvore com casca.

TABELA 8.4. Equações de projecção (crescimento) do modelo PBRAVO

Variáveis	Modelo
altura dominante (m)	$h_{dom} = Sl_{50} \times 10^{0.380999 - 2.694076 \times t^{-0.5}}$
diâmetro mínimo (cm)	$d_{\min t_2} = 44.99529 \times \left( \frac{G_{t_1} \frac{t_1}{t_2}}{N_{t_1}} \right)^{-0.5} \times e^{f(t_1, t_2, h_{dom})}$ $f(t_1, t_1, h_{dom}) = 0.062039 \times (t_2 - t_1) + \left( 1 - \frac{t_1}{t_2} \right) \times (-6.721703 + 0.039053 \times h_{dom})$
90º percentil (cm)	$P_{90 t_2} = 154.155144 \times \left( \frac{G_{t_1} \frac{t_1}{t_2}}{N_{t_1}} \right)^{-0.5} \times e^{f(t_1, t_2, h_{dom})}$ $f(t_1, t_1, h_{dom}) = -0.009172 \times (t_2 - t_1) + \left( 1 - \frac{t_1}{t_2} \right) \times (2.919335 - 0.034485 \times h_{dom})$
área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	$G_{t_2} = G_{t_1} \frac{t_1}{t_2} \times e^{\left( 1 - \frac{t_1}{t_2} \right) \times (4.178774 + 0.039053 \times h_{dom})}$
nº árvores por hectare	$N_{t_2} = N_{t_1}$
parâmetros de Weibull	$a = 0.9 \times d_{\min t_2}$ $E(X^2) = \frac{G_{t_2}}{0.00007854 \times N_{t_2}}$ $b = \frac{P_{90 t_2} - a}{(2.995732) \frac{1}{c}}$ $c = (\text{no texto})$

Legenda:  $t_1$  e  $t_2$  - índices indicativos às variáveis no momento  $t_1$  e no momento  $t_2$

TABELA 8.5. Equações de predição do modelo PBRAVO para o povoamento após o desbaste

Variáveis	Modelo
diâmetro mínimo (cm)	$d_{\min r} = 0.684456 + 1.07904 \times d_{\min}$
90º percentil (cm)	$P_{90 r} = 1.22143 + 0.981559 \times P_{90}$
área basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	o utilizador introduz a área basal residual após o desbaste
nº árvores por hectare	$N_r = N \times \left( 1 - \left( 1 - \frac{G_r}{G} \right)^{0.715154} \right)^{0.820574}$
parâmetros de Weibull	$a = 0.9 \times d_{\min r}$ $E(X^2) = \frac{G_r}{0.00007854 \times N_r}$ $b = \frac{P_{90 r} - a}{(2.995732) \frac{1}{c}}$ $c = (\text{no texto})$

Legenda:  $r$  - índice indicativo das variáveis do povoamento residual (após desbaste).

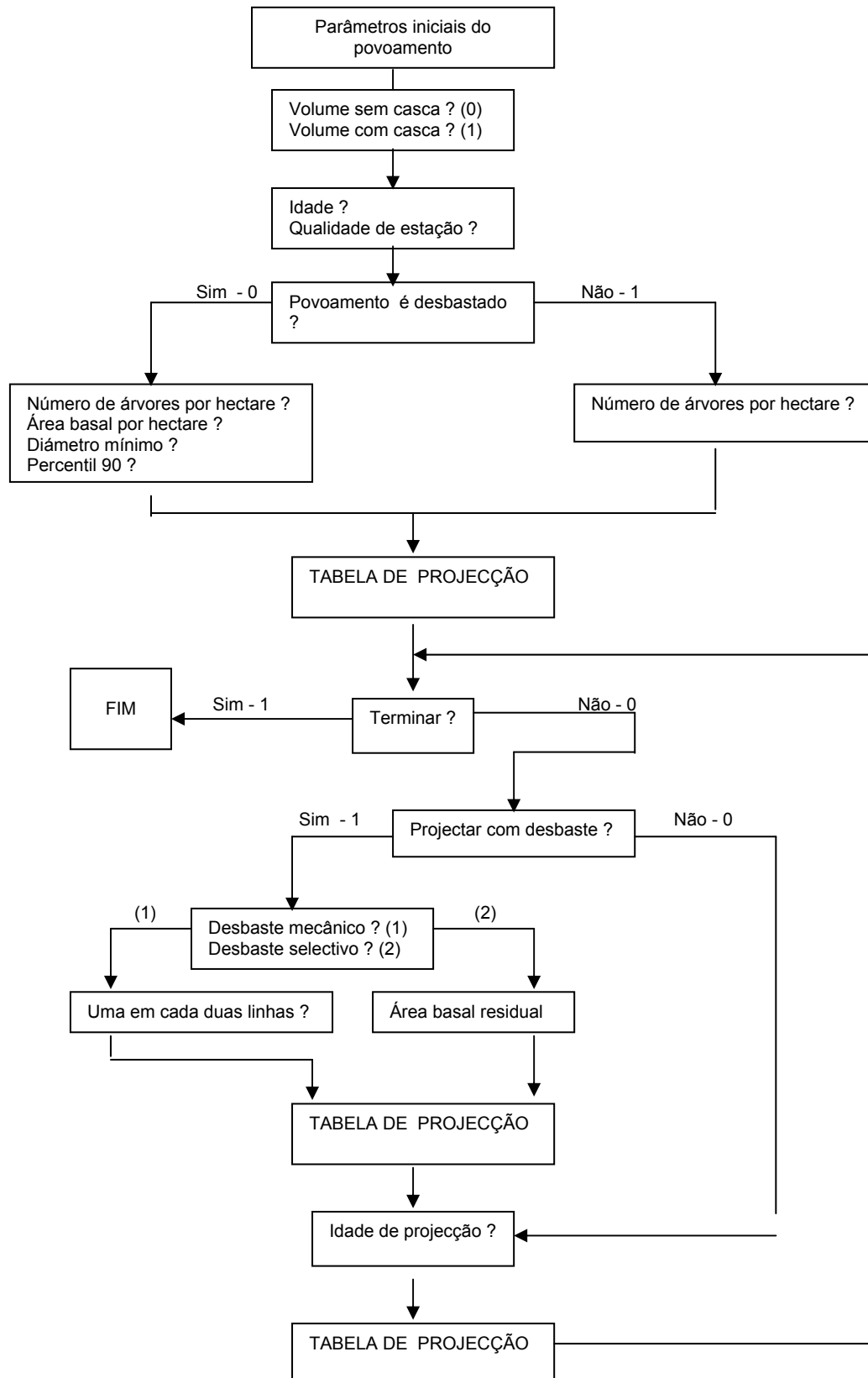


FIGURA 8.4. Exemplo de uma das opções de funcionamento do modelo PBRAMO (Páscoa, 1987)

### 8.3.3. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL

O modelo de crescimento e produção da árvore individual, PBIRROL, foi desenvolvido modelando as seguintes componentes funcionais:

- ❑ qualidade de estação,
- ❑ crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual,
- ❑ idade da árvore individual,
- ❑ crescimento anual em altura dominante,
- ❑ razão da copa média,
- ❑ lista de árvores futura (ingresso, mortalidade e cortes),
- ❑ altura total da árvore individual e
- ❑ volume total e volumes mercantis da árvore individual.

Na figura 8.5. apresenta-se a estrutura e componentes funcionais do modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual a construir - PBIRROL.

Em termos genéricos, as variáveis iniciais necessárias à simulação do modelo, na versão independente da distância, são apenas os *DAP* de todas as árvores e as alturas das árvores amostra e das árvores dominantes (critério das 100 árvores mais grossas por hectare). A simulação do modelo, na versão dependente da distância, necessita ainda das coordenadas das árvores. No momento  $t_1$ , é necessário realizar-se as predições da qualidade de estação, das alturas totais das árvores individuais, das idades das árvores individuais e da razão da copa média. A partir dos dados de campo calculam-se as variáveis explicativas necessárias à iniciação da simulação. Seguidamente, os modelos são aplicados de forma recorrente, na medida em que as variáveis preditas são sendo utilizadas, por si, ou transformadas, como variáveis explicativas do modelo seguinte.

A passagem do momento  $t_1$  ao momento  $t_2$ , implica a previsão da lista de árvores futura, ou seja prever o número e qualidade das árvores de ingresso (*DAP* e idade) a acrescentar à lista de árvores e quais as árvores a eliminar da lista de árvore devido à mortalidade e à execução de cortes. Após estabelecida a lista de árvores futura, prevêem-se os *DAP* de todas as árvores no momento  $t_2$  e cresce-se à idade das árvores individuais mais um ano. A predição do crescimento em altura dominante é necessária como variável explicativa no modelo de altura total individual. Novamente, as variáveis explicativas necessárias, ao processo de simulação, vão sendo calculadas e aplicadas de

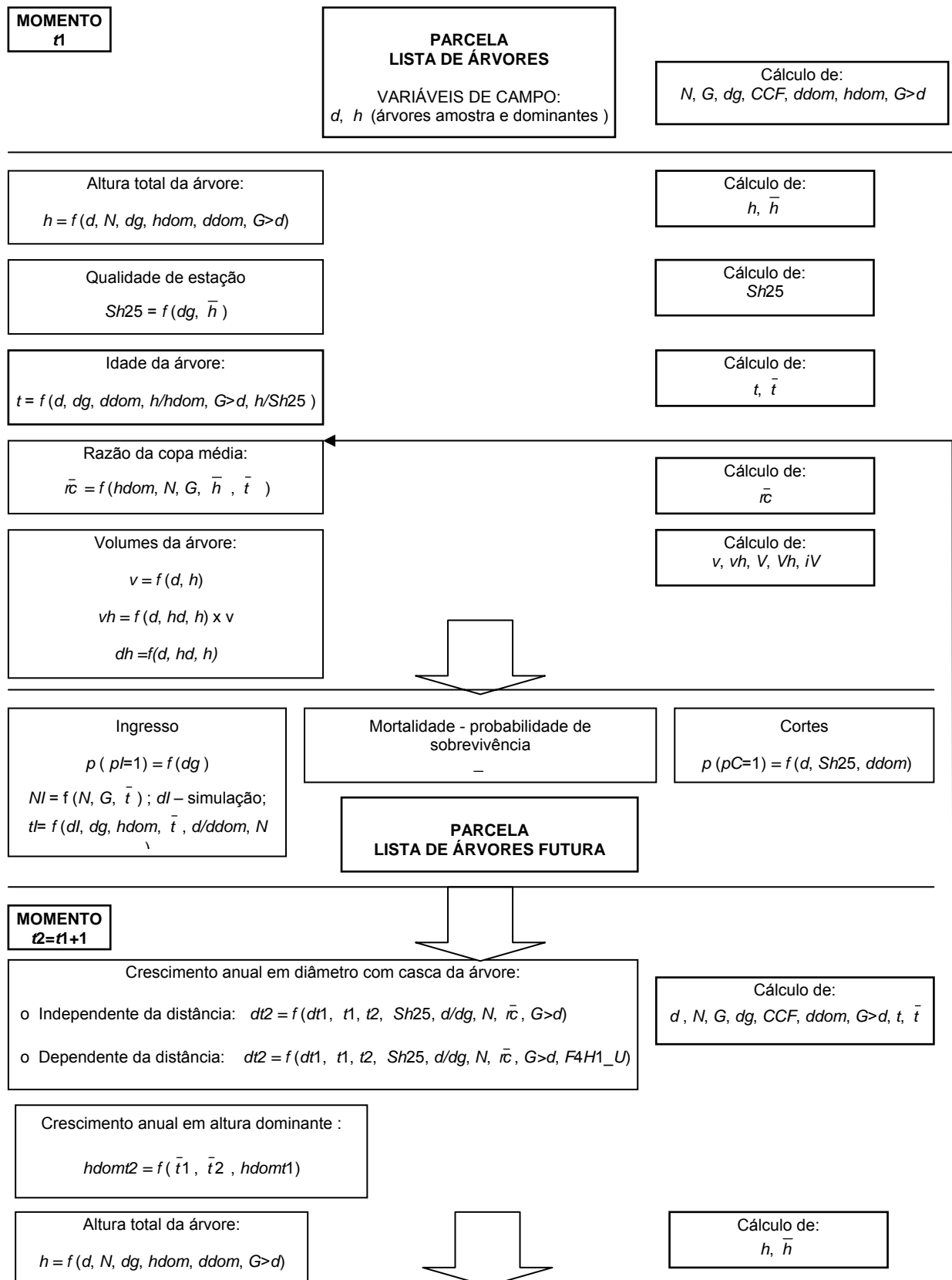


FIGURA 8.5. Concepção das componentes e funcionalidade do modelo de crescimento e produção PBIRROL

forma recorrente, no modelo seguinte. O ciclo retoma-se quando se procede à predição da razão da copa média.

É de referir que todas as componentes foram propositadamente modeladas neste trabalho com excepção dos modelos já existentes, para a predição da altura total, dos volume total e volume percentual e do perfil do tronco da árvore individual, que foram validados para a amostra de dados recolhida. A modelação foi realizada ao nível das sub parcelas de área de 500 m<sup>2</sup>, o que para algumas variáveis só foi possível ao nível das árvores amostra. Foram excepções, a modelação da qualidade de estação e a modelação da altura total da árvore individual as quais foi realizadas ao nível das parcelas de área de 1000 m<sup>2</sup>.

Os modelos que constituem as componentes funcionais do modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual construído para os povoamentos de pinheiro bravo puros irregulares do concelho de Oleiros - PBIRROL - encontram-se sintetizados na tabela 8.6.

TABELA 8.6. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL

MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO AO NÍVEL DA ÁRVORE INDIVIDUAL - PBIRROL

COMPONENTES FUNCIONAIS

☐ *Qualidade de estação - Índice de qualidade de estação*

$$Sh_{25} = 1.3 + (h - 1.3) \times \frac{(1 - e^{-0.04710743 \times 25})}{(1 - e^{-0.04710743 \times d})}$$

☐ *Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual*

- *Crescimento potencial anual em diâmetro*

$$idpot = (21.407368 + 1.755028 \times Sh_{25}) \times \left( \frac{dt1}{21.407368 + 1.755028 \times Sh_{25}} \right)^{\left( \frac{t1}{t2} \right)^{1.117579635}} - dt1$$

com,  $t2 = t1 + 1$

$R^2=0.9953; R^2_{AJ}=0.9953; QMR=0.31771; APRESS=0.4540585; PRESS=0.1921688; n=52.$

TABELA 8.6. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL (cont.)

## MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO AO NÍVEL DA ÁRVORE INDIVIDUAL - PBIRROL

## COMPONENTES FUNCIONAIS

- Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual independente da distância

$$dt2 = dt1 + idpot \times e^{6.5943 - 0.0998 \times G > d - 2.1425 \times \frac{d}{dg} - 2.5441 \times r\bar{c} - 0.00128 \times N}$$

com,  $t2 = t1 + 1$

$$R^2=0.9953; R^2AJ=0.9953; QMR=0.31771; APRESS=0.4540585; PRESS=0.1921688; n=881.$$

- Crescimento anual em diâmetro com casca da árvore individual dependente da distância

$$dt2 = dt1 + idpot \times e^{225.6 - 0.0688 \times G > d - 2.3978 \times \frac{d}{dg} - 2.7963 \times r\bar{c} - 0.00076 \times N} \times \frac{1}{1 + e^{219.2 + 0.3285 \times F4H\_U}}$$

$$R^2=0.9953; R^2AJ=0.9953; QMR=0.31771; APRESS=0.4540585; PRESS=0.1921688; n=881.$$

□ Idade da árvore individual

$$t = \frac{1}{-0.0136} \times \ln \left( \frac{-7.463E8}{592.8 + 8.749 \times d + 13.8458 \times dg - 8.6316 \times d5d + 1.627 \times G > d - 314.6 \times \frac{h}{h5d} + 322.6 \times \frac{h}{Sh25}} - 1 \right) - 1545918$$

$$R^2=0.7158579389; R^2AJ=0.713580024; QMR=28.3284; APRESS \text{ médio} = 4.240333; PRESS \text{ médio} = -0.0018853; n=881.$$

□ Crescimento em altura dominante

$$hdomt2 = 19.62270345 \times \left( \frac{hdomt1}{19.62270345} \right)^{\left( \frac{t1}{t2} \right)^{2.24166088}}$$

$$\bar{t}2 \neq \bar{t}1 + 1$$

$$R^2=0.9726374057; R^2AJ=0.9721488126; QMR=0.202337; APRESS \text{ médio} = 0.3460153; PRESS \text{ médio} = 0.0203667; n=58.$$

□ Razão da copa média

$$r\bar{c} = 1 - e^{-(-1.1414 + 0.000629 \times h5d + 0.000048 \times N - 0.00148 \times G + 0.00933 \times \bar{h} + 0.00164 \times \bar{t})^{10}}$$

$$R^2=0.705897911; R^2AJ=0.688111611; QMR=0.00265; APRESS \text{ médio} = 0.0416318; PRESS \text{ médio} = 0.000373459; n=90.$$

TABELA 8.6. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL (cont.)

## MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO AO NÍVEL DA ÁRVORE INDIVIDUAL - PBIRROL

## COMPONENTES FUNCIONAIS

□ *Ingresso*

- Probabilidade de ocorrência de ingresso nas parcelas

$$p(pI = 1) = \frac{e^{(8.5856 - 0.6491 \times dg)}}{1 + e^{(8.5856 - 0.6491 \times dg)}}$$

$nc=92.6$ ; Processo determinístico:  $p \leq 0.053$  - não ocorrência;  $p > 0.053$  - ocorrência;

Processo estocástico: Simulação Monte Carlo -  $n^\circ$  aleatório  $U [0, 1] \leq 0.053$  - ocorrência;  $n^\circ$  aleatório  $U [0, 1] > 0.053$  - não ocorrência.

- Número de árvores de ingresso por hectare

$$NI = 885.70652 - 0.98457 \times N + 4.32947 \times G + 5.10969 \times \bar{t}$$

$R^2=0.9977$ ;  $R^2AJ=0.9942$ ;  $QMR=17.90931$ ;  $APRESS \text{ médio} = 10.9247217$ ;  $PRESS \text{ médio} = 2.7483259$ ;  $n=6$ .

- Diâmetro das árvores de ingresso

Processo estocástico: Simulação Monte Carlo

- Idade das árvores de ingresso

$$t = \frac{1}{0.0152} \times \ln \left( \frac{6.386E14}{494529 + 5601.9 \times d - 2181.5 \times dg - 2932.0 \times h5d - 3060.1 \times \bar{t} - 174590 \times \frac{d}{d5d} - 30.4591 \times N} - 1 \right) \frac{1}{1.5767E9}$$

$R^2=0.830232616$ ;  $R^2AJ=0.817184616$ ;  $QMR=7.4501$ ;  $APRESS \text{ médio} = 2.3966478$ ;  $PRESS \text{ médio} = -0.0082553$ ;  $n=99$ .

TABELA 8.6. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL (cont.)

## MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO AO NÍVEL DA ÁRVORE INDIVIDUAL - PBIRROL

## COMPONENTES FUNCIONAIS

 Mortalidade

- Probabilidade de sobrevivência anual da árvore individual

$$p(pS = 1) = \frac{e^{\left(4.6877 + 0.3033 \times d - 1.9410 \times \bar{h} + 1.1763 \times h5d + 6.4176 \times \frac{h}{h5d}\right)}}{1 + e^{\left(4.6877 + 0.3033 \times d - 1.9410 \times \bar{h} + 1.1763 \times h5d + 6.4176 \times \frac{h}{h5d}\right)}}$$

$n_c=96.2$ ; Processo determinístico:  $p \leq 0.995$  - não ocorrência;  $p > 0.995$  - ocorrência;

Processo estocástico: Simulação Monte Carlo -  $n^\circ$  aleatório U [0, 1]  $\leq 0.995$  - ocorrência;  $n^\circ$  aleatório U [0, 1]  $> 0.995$  - não ocorrência.

 Cortes

- Probabilidade de corte anual da árvore individual

$$p(pC = 1) = \frac{e^{\left(0.8263 + 0.3417 \times d - 5.9013 \times \ln(d) + 0.5292 \times Sh25 - 0.0713 \times d5d\right)}}{1 + e^{\left(0.8263 + 0.3417 \times d - 5.9013 \times \ln(d) + 0.5292 \times Sh25 - 0.0713 \times d5d\right)}}$$

$n_c=76.4$ ; Processo determinístico:  $p \leq 0.027$  - não ocorrência;  $p > 0.027$  - ocorrência;

Processo estocástico: Simulação Monte Carlo -  $n^\circ$  aleatório U [0, 1]  $\leq 0.027$  - ocorrência;  $n^\circ$  aleatório U [0, 1]  $> 0.027$  - não ocorrência.

 Altura total da árvore individual

$$h = hdom \times \left(1 + a \times e^{0.092554249 \times hdom}\right) \times \left(1 - e^{-1.13313315 \times \frac{d}{hdom}}\right)$$

$$a = 0.032790185 + 0.053019639 \times \frac{N}{1000} + 0.004846732 \times dg - 0.005070421 \times d5d + 0.00017354 \times G > d$$

$R^2=0.8713730014$ ;  $R^2AJ=0.84752651$ ;  $QMR=1.83$ ;  $APRESS \text{ médio} = 1.0451653$ ;  $PRESS \text{ médio} = -0.0105222$ ;  $n=4215$ .

TABELA 8.6. Modelo de crescimento e produção ao nível da árvore individual - PBIRROL (cont.)

## MODELO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO AO NÍVEL DA ÁRVORE INDIVIDUAL - PBIRROL

## COMPONENTES FUNCIONAIS

□ Volumes da árvore individual

- EV - Volume total com casca

$$v = 0.004798 + 0.000036 \times d^2 \times h$$

$$R^2=0.912569809; R^2AJ=0.912154513; QMR=0.00296; APRESS \text{ médio} = 0.0265192; PRESS \text{ médio} = -0.00020885; n=314.$$

- EVPh - Volume percentual com casca em função da altura de despona

$$rh = 1 + \left[ -0.8084 \times \frac{(h - h_d)^{2.44923}}{h^{2.3744}} \right]$$

$$R^2=0.8713730014; R^2AJ=0.84752651; QMR=1.83; APRESS \text{ médio} = 1.0451653; PRESS \text{ médio} = -0.0105222; n=2353.$$

- EVPd - Volume percentual com casca em função do diâmetro de despona

$$rd = e^{-1.3923 \times \left( \frac{d_h}{d} \right)^{4.4379}}$$

$$R^2=0.8713730014; R^2AJ=0.84752651; QMR=1.83; APRESS \text{ médio} = 1.0451653; PRESS \text{ médio} = -0.0105222; n=2353.$$

- EPT - Diâmetro do tronco com casca

$$d_h = d \times \left[ 2400.49 \times \left( \frac{1}{d^2 \times h} \right) \times \left( \frac{h - h_d}{h} \right)^{74.9701} + 1.112139 \times \left( \frac{h - h_d}{h} \right)^{1.40299} \right]^{0.5}$$

$$R^2=0.8713730014; R^2AJ=0.84752651; QMR=1.83; APRESS \text{ médio} = 1.0451653; PRESS \text{ médio} = -0.0105222; n=2353.$$

- Sistema de equações compatíveis EV-EPT

$$v = 0.004798 + 0.000036 \times d^2 \times h$$

$$d_h = d \times \left[ 2400.49 \times \left( \frac{1}{d^2 \times h} \right) \times \left( \frac{h - h_d}{h} \right)^{74.9701} + 1.112139 \times \left( \frac{h - h_d}{h} \right)^{1.40299} \right]^{0.5}$$

$$MAR=0.0235$$

Com exceção da predição da lista de árvores futura, os modelos - componentes funcionais - em análise ajustados apresentaram-se, na generalidade, com bons níveis de ajustamento e de precisão. Apenas, os modelos de predição da idade da árvore individual e da razão da copa média apresentaram níveis de ajustamento e de precisão menos satisfatórios. No entanto, a principal fraqueza do modelo PBIRROL, encontrou-se na predição da lista de árvores futura, ao nível das componentes ingresso, mortalidade e cortes, na medida em que a amostra utilizada não inclui dados de ensaios de desbastes e estudos de regeneração.

**PRÁTICA**

- **Predição do crescimento e produção. Equações de cubagem. Equações de produção. Modelos de crescimento e produção.**

**EXERCÍCIO 1** - Considere um povoamento de eucalipto na zona Centro Interior País com as seguintes características dendrométricas:

- idade:  $t=10$  anos
  - área basal por hectare:  $G=23.6 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
  - altura dominante:  $h_{dom}=19.3 \text{ m}$ .
- a) Calcule a produção corrente do povoamento recorrendo ao modelo de crescimento e produção GLOBUS.
- b) Calcule a produção futura à idade de corte de 14 anos.

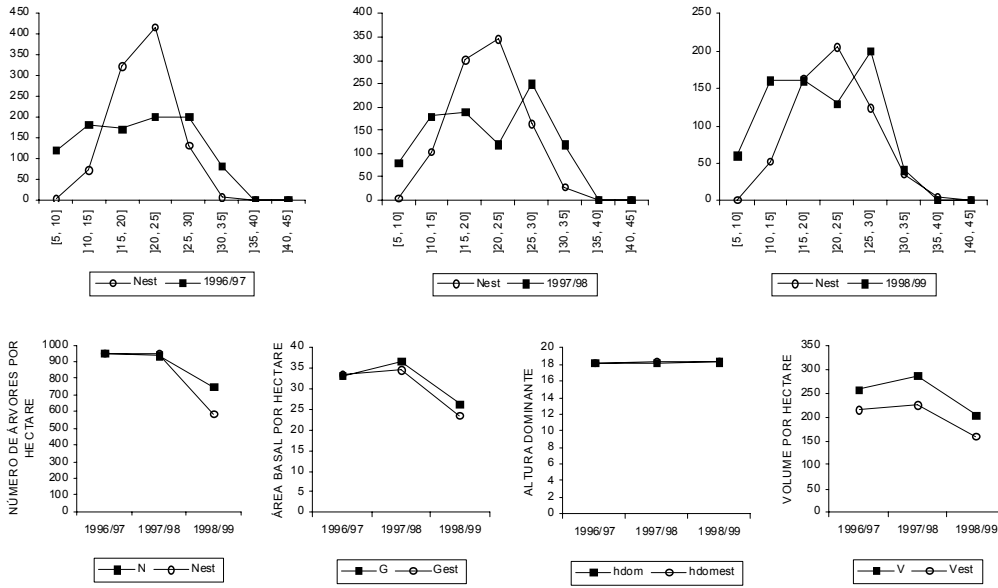
**EXERCÍCIO 2** - Considere a simulações do modelo PBRAVO para a parcela de estudo P19 instalada em povoamento puro irregular de pinheiro bravo no concelho de Oleiros ao longo de três medições anuais sucessivas 96/97 97/98 e 98/99.

- a) A partir das estimativas obtidas da distribuição de frequências diamétricas e das variáveis  $N$ ,  $G$ ,  $h_{dom}$  e  $V$  resultantes da aplicação do modelo PBRAVO realizaram-se os respectivos, gráficos dos valores observados e estimados para cada um dos períodos de medição. Comente os resultados.

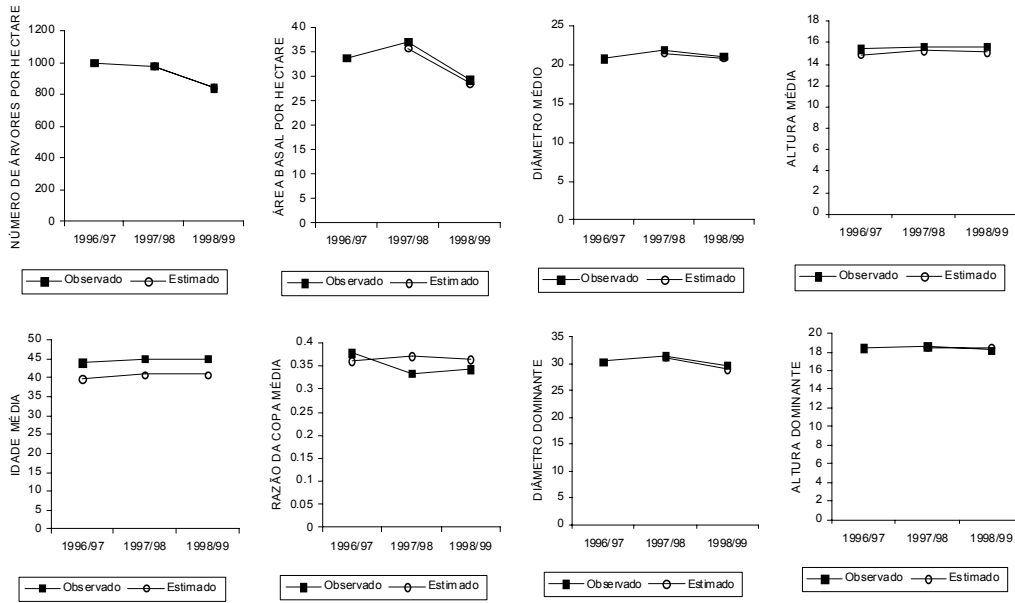
**EXERCÍCIO 3** - Considere a simulações do modelo PBIRROL para a parcela de estudo P19 instalada em povoamento puro irregular de pinheiro bravo no concelho de Oleiros ao longo de três medições anuais sucessivas 96/97 97/98 e 98/99.

- a) A partir das estimativas obtidas ao nível da árvore individual resultantes da aplicação do modelo PBIRROL realizaram-se para as variáveis ao nível do povoamento  $N$ ,  $G$ ,  $dg$ ,  $\bar{h}$ ,  $\bar{t}$ ,  $\bar{rc}$ ,  $ddom$  e  $h_{dom}$  os respectivos, gráficos dos valores observados e estimados para cada um dos períodos/momentos de medição. Comente os resultados.

MODELO P BRAVO - PINHAL BRAVO PURO IRREGULAR CONCELHO OLEIROS PARCELA nº19



MODELO PBIRROL PARCELA nº19



## LIÇÃO Nº 10

### TEÓRICA

#### 9. TABELAS DE PROJEÇÃO

Como foi anteriormente referido, existem duas abordagens possíveis para a estimativa da produção corrente ou futura dos povoamentos, através de:

- modelos de crescimento e produção ou
- procedimentos de inventário.

Se não existirem modelos apropriados para a predição de produção o recurso usual é utilizar os procedimentos de inventário para estimar o crescimento futuro do povoamento.

##### 9.1. Procedimentos de inventário para a predição do crescimento e produção

Recorrendo aos procedimentos de inventário para a estimativa do crescimento e produção dos povoamentos realizam-se sempre as seguintes operações agrupáveis em 3 fases:

- 1ª FASE - descrição do estado actual dos povoamentos mediante inventariação dos mesmos e definição das características presentes relacionadas com o crescimento: caracterização dos povoamentos;
- 2ª FASE - estimativa para o futuro das características presentes, para um certo período: estimativa dos povoamentos no futuro;
- 3ª FASE - correcção das previsões resultantes da estimativa das características actuais dos povoamentos, efectuada na fase anterior e a mortalidade, de uma maneira geral, "ajustamento da estimativa efectuada tendo em atenção aqueles factores não mensurados na caracterização inicial".

É a 2ª fase que serve para a classificação dos métodos de previsão do crescimento. A previsão do crescimento pode ser estabelecida fundamentalmente segundo dois métodos:

- Método do Inventário Contínuo e do Método do Controle, i.e. mediante inventários periódicos, ou seja recorrendo à instalação de parcelas permanentes;
- Método de Análise do Tronco (restrito), i.e. mediante a recolha de verrumadas em parcelas temporárias.

Na estimativa do crescimento do povoamento as árvores não podem ser dissociadas do conjunto a que naturalmente pertencem. Assim, ao longo do tempo a estrutura do povoamento florestal sofre alterações motivadas pelo crescimento; pelos cortes e pela mortalidade natural. Os cortes ( $C$ ), a mortalidade ( $M$ ) e o ingresso ( $I$ ) representam, respectivamente, o número ou volume de árvores que foram abatidas, que morreram devido a causas naturais e que atingiram as dimensões mínimas admitidas, como condição de serem inventariadas, durante qualquer altura do período considerado (Husch *et al.*, 1982). Podemos definir os seguintes tipos de crescimento do povoamento:

- crescimento bruto do volume inicial

$$G_g = V_2 + M + C - I - V_1$$

- crescimento bruto do volume inicial, incluindo o ingresso

$$G_{g+i} = V_2 + M + C - V_1$$

- crescimento líquido do volume inicial

$$G_n = V_2 + C - I - V_1$$

- crescimento líquido do povoamento inicial, incluindo o ingresso

$$G_{n+i} = V_2 + C - V_1$$

- acréscimo líquido do povoamento principal

$$G_d = V_2 - V_1$$

onde,  $V_1$  - o volume do povoamento no início do período;

$V_2$  - o volume do povoamento no fim do período;

$M$  - o volume correspondente à mortalidade;

$C$  - o volume correspondente aos cortes efectuados;

$I$  - o volume correspondente às árvores de ingresso (Husch *et al.*, 1982).

Repare-se que o crescimento bruto e líquido dos povoamentos podem ser muito distintos, digamos mesmo que o acréscimo líquido do povoamento principal pode ser negativo: quando o incremento verificado nas árvores que permanecem em pé ao terminar o período não haja compensado as quebras resultantes da mortalidade e do abate, quer através de cortes culturais e de produção quer de cortes de exploração. Do mesmo modo, ao efectuar-se o inventário no fim do período considerado várias árvores não incluídas no primeiro passam a ser inventariadas.

Quando usar algumas das noções atrás apresentadas deve-se assinalar, claramente, se o crescimento por ingresso está ou não incluído. Isto é particularmente importante no que respeita ao crescimento bruto. No crescimento líquido, no acréscimo líquido do povoamento principal, e na produção incluem usualmente o crescimento por ingresso.

Existe muitas vezes, o problema de estabelecer um modo prático de quantificar o material lenhoso, retirado do povoamento, quando se procedeu a cortes ou perante casos de mortalidade. Em geral, são apontadas três soluções:

- ❑ o material é avaliado na altura do corte;
- ❑ atribui-se ao material saído, o valor que ele apresentava, quando foi feito o primeiro inventário;
- ❑ a determinação do volume saído, por abate ou por mortalidade, é feita em função dos diâmetros dos cepos presentes no povoamento.

Para a aplicação de qualquer método de tabela de projecção é necessário a seguinte informação:

- ❑ crescimento em diâmetro (DAP);
- ❑ tabela actual do povoamento - distribuição de frequências diamétricas;
- ❑ equação de volume local;
- ❑ estimativa do ingresso;
- ❑ estimativa da mortalidade.

A informação sobre o crescimento em diâmetro é geralmente obtida a partir de verrumadas. No entanto, excelente informação pode ser obtida de medições repetidas em parcelas permanentes.

### **9.1.1. Método do inventário contínuo e método do controle**

Quer o método do Inventário Contínuo quer o método do Controle baseiam-se na medição periódica do arvoredo, em inventários sucessivos e pretendem quantificar as existências em crescimento em qualquer período e dar estimativas detalhadas do crescimento.

O método do Controle é usado na Europa enquanto que o método do Inventário Contínuo é usado na América, sendo este último mais sofisticado que o primeiro. Quando não se usarem as mesmas parcelas no 1º e 2º inventário, a precisão da estimativa e a confiança dos valores obtidos serão menores do que com parcelas permanentes. O método do Controle tem sido muito usado em povoamentos onde um inventário completo é exequível, sendo também aplicável a povoamentos extensos onde se implantem parcelas permanentes. Por vezes, fornece a informação desejada a menor custo que o método do Inventário Contínuo.

Iremos exemplificar o método do Controle. Este depende dos seguintes factores:

- protocolo bem definido para o procedimento das medições dos diâmetros;
- medição e determinação do volume das árvores abatidas assim como avaliação da mortalidade. O factor de correcção da estimativa por equações de volume ( $q$ ) será obtido por:

$$q = \frac{\text{Volume arvores abatidas}}{\text{Volume das árvores abatidas pela equação volume}}$$

- determinação do ingresso;
- equação de volume para a região e espécie.

Na tabela que se segue podemos observar como se pode calcular o acréscimo em diâmetro segundo classes de DAP pelo método do controle.

De acordo com a tabela em seguida explica-se o significado de cada coluna e/ou o procedimento de cálculo que permitem gerar essa coluna. A informação foi obtida em parcelas permanentes inventariadas na primavera de 1949 e de 1959. Os cálculos iniciam-se na classe de DAP mais elevada.

O significado e procedimento de cálculo das diversas colunas da tabela 9.1., para o cálculo do acréscimo periódico anual em diâmetro segundo classes de DAP pelo método do controle, são os seguintes:

- Coluna (1) - Classes de DAP presentes ordenadas decrescentemente;
- Coluna (2) distribuição de frequências diamétricas pelas classe de DAP no 1º inventário;
- Coluna (3) nº árvores removidas por classe de DAP (cortes e/ou mortalidade) entre os 2 inventários.
- Coluna (4) árvores removidas imediatamente a seguir ao 1º inventário: (4)=(2)-(3);

Para o cálculo desta coluna, em presença de cortes e mortalidade, é importante saber a distribuição temporal das árvores removidas entre os dois inventários. Caso estas tenham sido removidas imediatamente depois do 1º inventário estas devem-lhe ser descontadas. Caso estas tenham sido removidas imediatamente antes do 2º inventário estas devem-lhe ser adicionadas deste. Caso as árvores tenham sido removidas algures ao longo do período que medeia os 2 inventário, p.e sendo o período entre inventários de 10 anos e as árvores tenham sido removidas a 1/3 destes então devemos subtrair 7/10 das árvores ao 1º inventário e adicionar 3/10 ao 2º inventário, ou seja:

$$n^{\circ} \text{ arv.}-1^{\circ}\text{IF} = \frac{n^{\circ} \text{ anos da remoção ao } 2^{\circ}\text{IF}}{n^{\circ} \text{ anos do período}} \times n^{\circ} \text{ arv. remov. na classe}$$

$$n^{\circ} \text{ arv.}+2^{\circ}\text{IF} = \frac{n^{\circ} \text{ anos do } 1^{\circ}\text{IF à data da remoção}}{n^{\circ} \text{ anos do período}} \times n^{\circ} \text{ arv. remov. na classe}$$

- Coluna (5) distribuição de frequências diamétricas pelas classe de DAP no 2º inventário;

TABELA 9.1. Cálculo do acréscimo periódico anual em diâmetro segundo classes de DAP pelo método do controle (Husch *et al.*, 1982)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
dbh Class (inches)	Inventory Spring 1949 (number)	Trees Removed (number)	Inventory Spring 1949, Minus Trees Removed (number)	Inventory Spring 1959 (number)	Trees Rising (number)	Double Rising (number)	Double Effective (number)	DR/DE	Periodic Diameter Increment (inches)	Periodic Annual Diameter Increment (inches)
32	0		0	1	0	1	1	1.000	2.00	0.200
30	2		2	4	1	4	6	0.667	1.33	0.133
28	3		3	0	3	3	3	1.000	2.00	0.200
26	3	2	1	9	8	8	10	0.800	1.60	0.160
24	10	1	9	7	6	14	16	0.875	1.75	0.175
22	10	4	6	21	21	27	27	1.000	2.00	0.200
20	23	4	19	39	41	62	58	1.069	2.14	0.214
18	37	7	30	72	83	124	102	1.216	2.43	0.243
16	73	5	68	169	184	267	237	1.127	2.25	0.225
14	194	17	177	234	241	425	411	1.034	2.07	0.207
12	249	9	240	379	380	621	619	1.003	2.01	0.201
10	418	15	403	507	484	864	910	0.949	1.90	0.190
Total	1022	64	958	1442		2420	2400			
							$\frac{\sum DR}{\sum DE} = 1.008$			
								Average =	2.02	0.202

Number of trees ingrowth = 1442 - 958 = 484 (checks with last figure in Column 6). Trees were removed (Column 3) immediately following the 1949 inventory. Data from 143 permanent sample plots of  $\frac{1}{4}$  acre located on Morgan-Monroe State Forest, Indiana. Sample area: 28.6 acres, Growth period: 10 years.

- Coluna (6) subida de árvores, é obtida para cada classe específica por:
- $(6)_{i+1} = (5)_i - (4)_i + (6)_i$

ou seja,

$n^{\circ}$  arv. deslocadas para a classe =  $n^{\circ}$  arv. 2<sup>o</sup>IF -  $n^{\circ}$  arv. 1<sup>o</sup>IF menos arv. removidas +  
+  $n^{\circ}$  arv. deslocadas para fora da classe

- Coluna (7) dupla subida de árvores, soma das árvores que sobem para fora da classe com as que sobem para dentro da classe:  $(6)_i + (6)_{i+1}$
- Coluna (8) dupla efectiva, soma das árvores no 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> inventários após a correcção das árvores removidas:  $(8) = (4) + (5)$ ;
- Coluna  $(9) = (7) / (8)$
- Coluna (10) acréscimo periódico em diâmetro com casca:  $(10) = \text{amplitude da classe} \times (9)$ ;
- Coluna (11) acréscimo periódico anual em diâmetro com casca:  $(11) = (10) / n^{\circ}$  anos do período entre inventários.

O significado e procedimento de cálculo das diversas colunas da tabela 9.2., para o cálculo do crescimento em volume método do controle, são os seguintes:

- Coluna (1) classes de DAP presentes ordenadas decrescentemente;
- Coluna (2) volume da árvore, da classe de DAP, pela equação de volume;
- Coluna (3) distribuição de frequências diamétricas pelas classes de DAP no 1º inventário;
- Coluna (4) volume do povoamento no 1º inventário;
- Coluna (5) distribuição de frequências diamétricas pelas classes de DAP no 2º inventário;
- Coluna (6) volume do povoamento no 2º inventário;

TABELA 9.2. Cálculo do crescimento em volume pelo método do controle (Husch *et al.*, 1982)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
dbh Class (inches)	Volume per Tree (board feet)	Inventory— Spring 1949		Inventory— Spring 1959		Cut and Mortality	
		Trees (number)	Volume (board feet)	Trees (number)	Volume (board feet)	Trees (number)	Volume (board feet)
32	577	0		1	577		
30	538	2	1,076	4	2,152		
28	491	3	1,473	0			
26	442	3	1,326	9	3,978	2	884
24	386	10	3,860	7	2,702	1	386
22	329	10	3,290	21	6,909	4	1,316
20	273	23	6,279	39	10,647	4	1,092
18	217	37	8,029	72	15,624	7	1,519
16	161	73	11,753	169	27,209	5	805
14	112	194	21,728	234	26,208	17	1,904
12	68	249	16,932	379	25,772	9	612
10	30	418	12,540	507	15,210	15	450
Total		1,022	88,286	1,442	136,988	64	8,968

Type of Growth	Periodic (board feet)		Periodic Annual (board feet)	
	Total	Per Acre	Total	Per Acre
$G_{g+r}$	57,670	2,016	5,767	202
$I$	14,520	508	1,452	51
$G_g$	43,150	1,506	4,315	151
$G_d$	48,702	1,703	4,870	170

Total is for sample area of 28.6 acres.

Data from 143 permanent sample plots of  $\frac{1}{4}$  acre located on Morgan-Monroe State Forest, Indiana.  
Sample area: 28.6 acres. Growth period: 10 years.

- Coluna (5) distribuição de frequências diamétricas pelas classes de DAP relativa aos cortes e mortalidade;

- Coluna (6) volume de corte e de mortalidade do povoamento;

Conforme as definições anteriormente apresentadas, calcularam-se as variáveis  $G_{g+i}$ ,  $I$ ,  $G_g$  e  $G_d$ . O valor de  $I$  foi calculado na tabela. 9.1, ou seja  $484 \times 30 = 14520$ .

O significado e procedimento de cálculo das diversas colunas da tabela 9.3., para o cálculo do crescimento periódico em volume por classes de DAP pelo método do controle, são os seguintes:

- Coluna (1) classe de DAP presentes ordenadas decrescentemente;
- Coluna (2) distribuições de frequência diamétricas pelas classes de DAP relativas ao 1º inventário menos as árvores removidas;

TABELA 9.3. Cálculo do crescimento periódico em volume por classes de diâmetro pelo método do controle (Husch *et al.*, 1982)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
dbh Class (inches)	Inventory Spring 1949, Minus Trees Removed (number)	Inventory Spring 1959 (number)	Trees Rising (number)	Volume per Tree (board feet)	Volume Difference per Tree (board feet)	Periodic Volume Increment (board feet)
32	0	1		577		
30	2	4	1	538	39	39
28	3	0	3	491	47	141
26	1	9	0	442	49	—
24	9	7	8	386	56	448
22	6	21	6	329	57	342
20	19	39	21	273	56	1,176
18	30	72	41	217	56	2,296
16	68	169	83	161	56	4,648
14	177	234	184	112	49	9,016
12	240	379	241	68	44	10,604
10	403	507	380	38	38	14,440
			484			
Total	958	1,442				43,150

Data from 143 permanent sample plots of 1/4 acre located on Morgan-Monroe State Forest, Indiana. Sample area: 28.6 acres. Growth period: 10 years.

- Coluna (3) distribuições de frequências diamétricas pelas classes de DAP relativas ao 2º inventário;
- Coluna (4) subida de árvores;

- Coluna (5) volume da árvore, da classe de DAP, segundo a equação de volume;
- Coluna (6) diferença de volume por árvore, classe de DAP;
- Coluna (7) acréscimo periódico em volume:  $(7)=(6)\times(4)$ .

### 9.1.2. Método da análise de tronco

É possível elaborar tabelas de projecção a partir dos dados de inventários onde se tenha também procedido à extracção de verrumadas em diversas árvores da parcela para a contagem dos anéis de crescimento e subsequente medição do acréscimo radial observado ao nível do *DAP* referente aos últimos 10 anos (Clutter *et al.*, 1983).

De acordo com Clutter *et al.* (1983), de uma forma genérica, as tabelas de projecção que recorrem a dados de parcelas temporárias associado ao método de análise de tronco restrito (verrumadas) apresentam a seguinte estrutura:

- inventariação da área em estudo com vista à avaliação do nº de árvores, altura média e/ou volume médio por árvore e classe de DAP. A partir das variáveis, é possível obter-se uma estimativa do volume actual. Este procedimento de inventário pressupõe a medição dos DAP de uma vasta amostra de árvores;
- a partir de uma amostra menor de árvores, procede-se à medição das suas alturas totais ou mercantis e à extracção de verrumadas para a medição dos acréscimos periódicos radiais observados;
- a tabela de projecção é ajustada de forma a reflectir o crescimento em diâmetro esperado para o subsequente período de crescimento a partir dos dados dos acréscimos observados nas verrumadas;
- a partir de uma equação de volume é calculado o volume total projectado para o próximo período de crescimento com base na distribuição de diâmetros dos povoamentos que deve ter em consideração a movimentação das árvores segundo as classes de DAP consideradas em consequência do crescimento ocorrido, o ingresso de novas árvores e a taxa de mortalidade.

As tabelas de projecção pretendem estimar o crescimento futuro de um povoamento através da medição das taxas de crescimento passadas das árvores desse povoamento. Para tal assume-se que a taxa de crescimento periódica para os próximos  $n$  anos é idêntica à taxa de crescimento periódico observado nos  $n$  anos anteriores. Este pressuposto pode considerar-se admissível em povoamentos de crescimento lento, naturais e regulares e mesmo em povoamentos de resinosas irregulares que apresentem uma distribuição

diamétrica temporalmente estável (Clutter *et al.*, 1983). Admitem-se como verdadeiras as hipóteses:

- de que as distribuições diamétricas das parcelas nos últimos 10 anos se mantiveram estáveis;
- que a taxa de crescimento em DAP com casca no referido período se manteve constante.

Convém distinguir, desde já, a chamada análise de tronco completa da análise parcial, aquela que é de utilização corrente na prática florestal e se destina a registar e prever o crescimento dos povoamentos através de verrumadas ao nível do DAP.

Repare-se que as verrumadas servem para, investigando o crescimento no período anterior, projectar a tabela de frequências actual no próximo futuro. Do ponto de vista da eficiência da amostragem através da estratificação, o número de árvores a verrumar em cada classe de diâmetro deve ser determinado de acordo com o peso com que a classe intervém no crescimento total em volume. Normalmente, as árvores a analisar são amostradas proporcionalmente à sua representatividade no povoamento, a fim de evitar erros sistemáticos.

O procedimento de cálculo do acréscimo corrente em diâmetro com casca para a árvore individual a partir da medição realizada na respectiva verrumada recolhida ao 1.30m, i.e. do crescimento radial sem casca relativo e.g. ao últimos 10 anos ( $L$ ), do DAP com casca ( $d$ ) e da espessura da casca ( $2e$ ) (Marques, 1981) é o seguinte:

$$ac = \frac{2 \times L}{10} \times K = \frac{2 \times L}{10} \times \frac{dc/c}{dc/c - 2e}$$

onde,  $K$  - factor volumétrico da casca,

$dc/c$  - DAP com casca,

$2e$  - dupla espessura da casca.

Em geral, observa-se grande variação no acréscimo corrente em diâmetro com casca entre as árvores de uma mesma classe de diâmetro. Recorrendo ao ajustamento por regressão é possível estabelecer a lei média para o valor dos acréscimo corrente em diâmetro com casca para cada uma das classes de DAP (Gomes, 1957).

Para o cálculo do acréscimo em volume por árvore, i.e da classe de DAP, é preciso dispor de uma equação de volume, que forneça os volumes actuais das árvores presentes nas parcelas. A diferença entre quaisquer dois volumes consecutivos, representa

evidentemente, o acréscimo em volume, correspondente a um intervalo de classe de DAP (Marques, 1981).

O acréscimo corrente da floresta em volume, determina-se a partir do passado crescimento médio em diâmetro por classe de diâmetro. As previsões sobre as tendências do crescimento são, contudo, afectadas por erros de estima sérios, sendo preferível, em muitos casos, calcular o acréscimo corrente em volume de acordo com a hipótese de que as árvores de uma certa classe de diâmetro terão o mesmo crescimento médio em diâmetro que tiveram no passado as árvores de igual diâmetro (Gomes, 1957).

De qualquer forma, existem basicamente três maneiras da informação sobre o crescimento em diâmetro ser aplicada numa tabela actual do povoamento em conjugação com uma equação de volume para obter a estimativa do crescimento:

- ❑ assumindo que todas as árvores em cada classe de diâmetro estão concentradas no diâmetro central da classe e que todas as árvores crescerão à taxa média.
- ❑ assumindo que as árvores em cada classe de diâmetro estão uniformemente distribuídas ao longo da classe e que cada árvore crescerá à taxa média.
- ❑ reconhecendo a posição actual das árvores em cada classe de diâmetro e aplicar o crescimento individual em diâmetro a cada uma.

Assim, assumindo que todas as árvores em cada classe de diâmetro estão concentradas no diâmetro central da classe e que todas as árvores crescerão à taxa média. O significado e procedimento de cálculo das diversas colunas da tabela 9.4., para o cálculo do crescimento em volume por acre nos próximos 10 anos pelo método de análise de tronco, são os seguintes:

- ❑ Coluna (1) Classes de DAP presentes;
- ❑ Coluna (2) Acréscimo periódico (10 anos) em DAP com casca;

TABELA 9.4. Cálculo da estimativa do crescimento em volume por acre relativa aos últimos 10 anos, assumindo que todas as árvores em cada classe de diâmetro estão concentradas no diâmetro central da classe e que todas as árvores crescerão à taxa média (Husch *et al.*, 1982)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Present dbh Class (inches)	10-Year Increment (inches)	Future dbh (inches)	Future Volume per Tree (cubic feet)	Present Stand Table (number)	Present Volume per Tree (cubic feet)	Future Stock Table (cubic feet)	Present Stock Table (cubic feet)	Volume Production (cubic feet)
6	2.02	8.02		41.73				
8	1.88	9.88		28.73				
10	1.74	11.74	17.0	21.73	12.5	369.4	271.6	97.8
12	1.60	13.60	24.2	17.33	18.4	419.4	318.9	100.5
14	1.46	15.46	31.9	12.87	25.6	410.6	329.5	81.1
16	1.32	17.32	40.7	9.47	34.2	385.4	323.9	61.5
18	1.18	19.18	50.1	8.27	44.1	414.3	364.7	49.6
20	1.04	21.04	62.3	5.00	55.6	311.5	278.0	33.5
22	0.90	22.90	75.3	3.47	68.5	261.3	237.7	23.6
24	0.76	24.76	89.8	2.87	83.5	257.7	239.6	18.1
26					100.1			
Total				151.47		2829.6	2363.9	465.7

- Coluna (3) DAP futuro:  $(3)=(1)+(2)$ ;
- Coluna (4) Volume futuro: recorrendo a uma tabela ou equação de volume local e usando a coluna (3);
- Coluna (5) Distribuição de frequências diamétricas por classes de DAP para o povoamento por acre;
- Coluna (6) Volume presente: recorrendo à tabela ou equação de volume total e usando a coluna (1);
- Coluna (7) Volume futuro do povoamento:  $(7)=(4)\times(5)$ ;
- Coluna (8) Volume presente do povoamento:  $(8)=(6)\times(5)$ ;
- Coluna (9) Produção em volume:  $(9)=(7)-(8)$ .

Neste processo não se incluiu o ingresso. No entanto, quando se não tenha informação sobre o ingresso este método dá uma boa estimativa do crescimento bruto do volume inicial (Husch *et al.*, 1982).

Assumindo que as árvores em cada classe de diâmetro estão uniformemente distribuídas ao longo da classe e que cada árvore crescerá à taxa média. O significado e procedimento de cálculo das diversas colunas da tabela 9.5., para o cálculo do crescimento

em volume por acre nos próximos 10 ano pelo método de análise de tronco, são os seguintes:

- Coluna (1) Classes de DAP presentes;
- Coluna (2) Acréscimo periódico em DAP com casca;
- Coluna (3) Taxa de movimentação:

$$M = \frac{I}{C}$$

onde,  $I$  - acréscimo periódico em DAP com casca (2);

$C$  - amplitude da classe;

- Coluna (4) Distribuição presente de frequências diamétricas por classes de DAP no povoamento por acre;
- Coluna (5) Volume por árvore (da classe de DAP), obtido por tabela ou equação de volume usando a coluna (1);

TABELA 9.5. Cálculo da estimativa do crescimento em volume por acre relativa aos últimos 10 anos, assumindo que as árvores em cada classe de diâmetro estão uniformemente distribuídas ao longo da classe e que cada árvore crescerá à taxa média (Husch et al., 1982)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Dbh Class (inches)	10-Year dbh Increment (inches)	Movement Ratio ( $M$ )	Present Stand Table (number)	Volume per Tree (cubic feet)	Future Stand Table (number)	Number of Trees Moving			Future Stock Table (cubic feet)	Present Stock Table (cubic feet)	Volume Production (cubic feet)
						0 Classes	1 Class	2 Classes			
6	2.02	1.01	41.73								
8	1.88	0.94	28.73		43.03	1.72	41.31	0.42			
10	1.74	0.87	21.73	12.5	30.25	2.82	18.91		378.1	271.6	106.5
12	1.60	0.80	17.33	18.4	22.38	3.47	13.86		411.8	318.9	92.9
14	1.46	0.73	12.87	25.6	17.33	3.47	9.40		443.6	329.5	114.1
16	1.32	0.66	9.47	34.2	12.62	3.22	6.25		431.6	323.9	107.7
18	1.18	0.59	8.27	44.1	9.64	3.39	4.88		425.1	364.7	60.4
20	1.04	0.52	5.00	55.6	7.28	2.40	2.60		404.8	278.0	126.8
22	0.90	0.45	3.47	68.5	4.51	1.91	1.56		308.9	237.7	71.2
24	0.76	0.38	2.87	83.5	3.34	1.78	1.09		278.9	239.6	39.3
26				100.1	1.09				109.1		109.1
Total			151.47		151.47				3191.9	2363.9	828.0

- Coluna (6) Distribuição futura de frequências diamétricas por classe de DAP do povoamento por acre, obtida da seguinte maneira:

- classe 6cm

$$41.73 \times 1.01 = 42.15$$

como,

$$42.15 > 41.73$$

$42.15 - 41.73 = 0.42$  árvores subiram 2 classes

$41.73 - 0.42 = 41.31$  árvores subiram à classe seguinte

- classe 8cm

$28.73 \times 0.94 = 27.01$  subiram à classe seguinte

$28.73 - 27.01 = 1.72$  mantiveram-se na classe de 8cm

ficaram na classe de 8cm as 41.31 árvores que subiram da classe 6 para a 8 mais as que se mantiveram na mesma classe, logo

$$41.31 + 1.72 = 43.03$$

- classe 10cm

$21.73 \times 0.87 = 18.91$  subiram à classe seguinte

$21.73 - 18.91 = 2.82$  mantiveram-se na classe de 10cm

tendo a esta classe actualmente,

$$27.01 + 2.82 + 0.42 = 30.25$$

- classe 12cm

$17.33 \times 0.80 = 13.86$  subiram à classe seguinte

$17.33 - 13.86 = 3.47$  mantiveram-se na classe dos 12cm

obtendo-se  $18.91 + 3.47 = 22.38$  árvores nesta classe.

etc.

- Coluna (10) Volume futuro do povoamento:  $(10) = (6) \times (5)$
- Coluna (11) Volume presente do povoamento:  $(11) = (4) \times (5)$
- Coluna (12) Produção em volume:  $(12) = (10) - (11)$

Reconhecendo a posição actual das árvores em cada classe de diâmetro e aplicar o crescimento individual em diâmetro a cada uma. Outra maneira de determinar o movimento das árvores ao longo do período em estudo de modo a estimar a futura distribuição de frequências das árvores do povoamento por classes de diâmetro, p.e. para a classe 8 inches apresenta-se na tabela 9.6.

TABELA 9.6. Determinação da movimentação das árvores (percentagem) para a classe de DAP de 8 inches (Husch *et al.*, 1982)

Raw Data					Summary		
dbh Class (inches)	Present dbh (inches)	10-Year		Classes Move (number)	Classes Move (number)	Trees Moving (number)	Trees Moving (percent)
		dbh Increment (inches)	Future dbh (inches)				
8	7.1	1.5	8.6	0	0	3	30
	7.3	1.6	8.9	0	1	5	50
	7.4	1.5	8.9	0	2	2	20
	7.5	1.8	9.3	1	Total	10	100
	7.9	2.5	10.4	1			
	8.1	1.6	9.7	1			
	8.3	1.8	10.1	1			
	8.5	2.6	11.1	2			
	8.7	1.7	10.4	1			
	8.9	2.2	11.1	2			

A mortalidade não foi considerada nestes exemplos. Assim, não é possível conhecer o volume efectivo, resultante dos cortes, da mortalidade e do ingresso. A avaliação incide apenas sobre o acréscimo verificado nas árvores em pé (Marques, 1981).

No entanto, a mortalidade pode ser tomada em conta por uma das seguintes maneiras:

- deduzindo o nº de árvores mortas estimadas em cada classe de diâmetro na tabela de frequências actual do povoamento antes de se realizar a projecção desta para o futuro;
- deduzindo o nº de árvores mortas estimadas em cada classe de diâmetro da tabela de frequências futura, mas antes de se fazer o cálculo do volume total.

Boa informação sobre a mortalidade pode ser obtida a partir de parcelas permanentes. Sendo possível obter correlações desta com a idade, diâmetro, densidade do povoamento, espécie, entre outras variáveis.

Em conclusão, qualquer método de análise do tronco dará uma boa estimativa do crescimento bruto da área basal inicial, desde que se use informação de confiança acerca do crescimento em diâmetro. Claro que o crescimento em área basal é uma importante componente do crescimento em volume. Do mesmo modo, que o crescimento em altura, portanto, a determinação do crescimento bruto do volume inicial também depende da estabilidade, durante o referido período, da relação hipsométrica para a qual a tabela de volume foi construída. Assumindo-se também estabilidade da forma do tronco. Sempre que

se verifique dificuldade em prever a variação do crescimento em altura e na estimativa da mortalidade durante o período em estudo, não compensa a perda de tempo para a análise do crescimento em diâmetro, preconizando-se o recurso a métodos de análise de crescimento mais simples já que a precisão obtida será igualmente boa (Husch *et al.*, 1982).

**PRÁTICA****• Estimativa da produção. Tabelas de projecção: método de análise de tronco.**

Considere os dados recolhidos na parcela de estudo P10 96/97 de área de 1000 m<sup>2</sup> instalada em povoamento de pinheiro bravo no concelho de Oleiros, com as seguintes características dendrométricas:

- número de árvores por hectare -  $N=490$
- área basal por hectare -  $G=27.8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$
- diâmetro médio -  $dg=26.9 \text{ cm}$
- altura média -  $\bar{h}=16.3\text{m}$
- altura dominante -  $h_{dom}=18.9\text{m}$
- diâmetro dominante -  $ddom=34.4 \text{ cm}$
- idade média ponderada -  $\bar{t}=54 \text{ anos}$ .

**EXERCÍCIO 1-** Realize a tabela de projecção assumindo que todas as árvores em cada classe de diâmetro estão concentradas no diâmetro central da classe e que todas as árvores crescerão à taxa média.

- a) estime os acréscimos periódicos em DAP com casca.
- b) estime o crescimento periódico em volume total com casca.
- c) avalie a produtividade.

**EXERCÍCIO 2 -** Realize a tabela de projecção assumindo que as árvores em cada classe de diâmetro estão uniformemente distribuídas ao longo da classe e que cada árvore crescerá à taxa média.

- a) estime os acréscimos periódicos em DAP com casca.
- b) estime o crescimento periódico em volume total com casca.
- c) avalie a produtividade.

Modelos ajustados para a espécie e região:

$$v = 0.004798 + 0.000036 \times d^2 \times h$$

EV

$$R^2=0.992; QMR=0.2575; MAR=0.0245; n=146.$$

$$h = hdom \times \left( 1 + \left( 0.783629 - 0.158945 \times \frac{N}{1000} \right) \times hdom \times \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{d_{dom}} \right) \right)^{-1}$$

CH

$$R^2=0.8592; R^2AJ=0.8590; QMR=2.09950; APRESS \text{ médio} = 1.124518; PRESS \text{ médio} = 0.0755628; n=959.$$

Legenda:  $v$  - volume total da árvore com casca ( $m^3$ );  $h$  - altura total (m);  $h_{dom}$  - altura dominante (m);  $N$  - número de árvores por hectare;  $d$  - DAP (cm);  $d_{dom}$  - diâmetro dominante (cm).

P10 96/97

Arvn	d	h	hc	t1.3(+10)	2e	L10	ap10dcc	ap10h	dc
1	35.3	20.6	12.5	44	7.6	1.61		3.9	3
2	18.4	15.8	10.7						2.87
3	31.5	20.7	12.8						2.63
4	26.4	19.3	13.8						2.66
5	20.1	16.1	10.5	36	6.4	1.46		3.2	3.2
6	29.4	19.8	13.2						2.5
7	19.5	12.1	9.4						3.15
8	30.9	19.5	11.8						3.11
9	12.2	11.4	8.6	33	3.4	0.49		1.1	1.1
10	37	20.1	13.5						4.165
11	35.1	19.5	12.6						2.84
12	33.9	16	11.1						3.605
13	20.5	13.1	9						2.695
14	11.4	10.7	7.5						2
15	30.2	17.5	8.3						3.55
16	6.6	5.5	1.7						1.85
17	26.4	14.9	9.2	47	6.4	1.43		4	4.09
18	33.2	17.6	10.4						4.455
19	27.8	16.1	10.6						2.3
20	20.9	12.6	9.4						1.38
21	20	12.7	9.4						2.54
22	31.4	17.5	12.5	50	9.6	1.92		3	3.66
23	31.5	21	13.3						3.29
24	17.6	12.7	9.5						1.72
25	22.3	14.3	9.1						3.465

<i>Arvn</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>hc</i>	<i>t1.3(+10)</i>	<i>2e</i>	<i>L10</i>	<i>ap10dcc</i>	<i>ap10h</i>	<i>dc</i>
26	38.8	18.8	12.6						2.555
27	20.1	13.9	10.1	41	5.6	1.55		3	2.25
28	30.1	18.8	10.9						2.975
29	26.5	14.3	9.6						3.42
30	31.4	18.6	12.4	46	8.8	1.78		3.9	4.2
31	32.2	17.8	9.6						4.395
32	12.8	9.8	7.7						3.32
33	26.2	15.9	11.6						3.35
34	32.2	18	11.9						3.73
35	22.9	14.2	10.6						2.44
36	34	21	12.9	52	8.2	2.86		3.3	4.025
37	32.2	20.2	13.1						3.61
38	25.7	14.4	9.8						2.76
39	14.6	12.6	10	36	5	0.77		1.8	1.85
40	30	19.8	14.7						2.905
41	14.1	10.8	9.2						1.56
42	18.4	13	9						3.04
43	28.3	18	13.1						2.64
44	21.3	15	10.5						3.01
45	31.3	18.3	12.4						2.96
46	32.3	20	13.4						3.57
47	21.3	15.9	8						2.765
48	32	21.9	15.7						3.235
49	27	18.5	13	44	6.4	2.16		2.3	2.825

Legenda:

*d*- DAP (cm);

*h*- altura total (m);

*hc*- altura até à base da copa (m);

*t1.3(+10)*- idade a 1.30m a crescer de 10 anos;

*2e*- dupla espessura de casca (cm);

*L10*- crescimento em lenho nos últimos 10 anos ao 1.30 m do solo (cm);

*ap10dcc*- crescimento em diâmetro com casca nos últimos 10 anos (m);

*ap10h*- crescimento em altura total nos últimos 10 anos (m);

*dc*- diâmetro da projecção da copa.

---

<i>Amostra</i>	<i>cod.</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>t1.3</i>	<i>ap10dcc</i>	<i>ap10h</i>	<i>cod.</i>	<i>Freq.</i>	<i>ap10dcc</i>	<i>ap10h</i>
1	7	35.3	20.6	44		3.9	1	1		
5	4	20.1	16.1	36		3.2	2	5		
9	2	12.2	11.4	33		1.1	3	4		
17	5	26.4	14.9	47		4	4	9		
22	6	31.4	17.5	50		3	5	9		
27	4	20.1	13.9	41		3	6	17		
30	6	31.4	18.6	46		3.9	7	4		
36	6	34	21	52		3.3	n	49		
39	2	14.6	12.6	36		1.8				
49	5	27	18.5	44		2.3				

**LIÇÃO Nº 11**

**PROVA DE AVALIAÇÃO ESCRITA TEÓRICO-PRÁTICA**

## LIÇÃO Nº 12

### PRÁTICA

- **Exemplo de aplicações no Software EXCEL. Processamento do dados em computador. Avaliação dendrométrica da parcela. Análise exploratória de dados. Estatística descritiva. Cálculo automático para a avaliação da necessidade de intervenção produtiva nos povoamentos. Predição de volumes da árvore individual. Volumes por categorias de aproveitamento da madeira. Produção actual e futura de povoamentos.**

DADOS: Ficheiro da parcela P10 96/97.

Modelos ajustados para a espécie e região.

1. Cálculo das variáveis dendrométricas que caracterizam a parcela:
  - número de árvores por hectare.
  - área basal por hectare.
  - diâmetro médio.
  - altura média.
  - diâmetro dominante.
  - altura dominante.
  - índice de densidade CCF.
  - idade.
2. Análise exploratória de dados. Estatística descritiva:
  - tabela de frequências diamétricas.
  - gráfico do histograma de frequências diamétricas.
  - gráfico da variável altura total em função do DAP.
3. Avaliação automática da necessidade de intervenção produtiva de acordo com o Índice de Densidade do Povoamento ajustado para o pinheiro bravo por Luís et al., 1991.

4. Cubagem de povoamentos recorrendo a equações de volume (curva hipsométrica e equação de volume), equações de volume percentual e equações de perfil de tronco. Predição de volumes (total e parciais por categorias de aproveitamento da madeira) obtidos por somatório dos volumes das árvores individuais. Volumes da parcela e por hectare. Cálculo de:

- volumes totais.
- volume total da parcela e por ha.
- perfis do tronco.
- volumes do cepo (cepo a 0.30m).
- volumes da bicada ( $d < 7$ cm).
- volumes mercantis (toros de 2m).
- volume mercantil da parcela e por ha.
- volumes de madeira (limite de aproveitamento  $d > 20$  cm).
- volume de madeira da parcela e por ha.
- volumes de rolaria (limite de aproveitamento  $20 > d > 7$  cm).
- volume de rolaria da parcela e por ha.

5. Estimativa da produção. Tabelas de projecção: método de análise de tronco:

- 5.1. tabela de projecção assumindo que todas as árvores em cada classe de diâmetro estão concentradas no diâmetro central da classe e que todas as árvores crescerão à taxa média.
- 5.2. tabela de projecção assumindo que as árvores em cada classe de diâmetro estão uniformemente distribuídas ao longo da classe e que cada árvore crescerá à taxa média.

Cálculo de :

- acréscimos periódicos em DAP com casca.
- crescimento periódico em volume total com casca.
- produtividade.

**LIÇÃO Nº 13**  
**PRÁTICA****• Exemplo de aplicações. Modelos de crescimento e produção.**

1. O modelo PBRAVO
2. O modelo PBIRROL.

**LIÇÃO Nº 14**

**PROVA PRÁTICA - PROCESSAMENTO DE DADOS EM COMPUTADOR -  
SOFTWARE EXCEL**

**LIÇÃO Nº 15**  
**PRÁTICA**

- **Apresentação, discussão e avaliação do trabalho prático executado pelos alunos.**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alder, D. 1980. Forest Volume Estimation. Vol.2 - Yield Prediction. FAO Forestry Paper 22/2. FAO. Roma. 194 pp.
- Alegria, C. M. M. 1990. Análise de Funções de Crescimento. Aplicação do Método de Análise de Tronco a Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton na Região de Castelo Branco. Trabalho da disciplina de Biometria do Curso de Mestrado em Produção Vegetal do ano lectivo de 1989/90. ISA/UTL. Lisboa. 116 pp + anexos.
- Alegria, C. M. M. 1993. Predição do Volume Total, Volumes Mercantis, Perfil do Tronco e Sistemas de Equações Compatíveis para a *Pinus pinaster* Aiton no Distrito de Castelo Branco. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre. Curso de Mestrado em Produção Vegetal. ISA/UTL. Lisboa. 227 pp.
- Alegria, C. M. M. 1994. Crescimento e Produção do Pinheiro Bravo na Região de Castelo Branco. *III Congresso Florestal. Os Recursos Florestais no Desenvolvimento Rural*. 15/16/17 Dezembro. Figueira da Foz: 269-292.
- Alegria, C. M. M. 2003. Estudo da Dinâmica do Crescimento e Produção dos Povoamentos Naturais de Pinheiro Bravo na Região de Castelo Branco. Documento Provisório. Doutoramento em Engenharia Florestal. ISA/UTL. Lisboa. 498 pp.
- Almeida, A. M. M. 1994. Avaliação do Crescimento e da Produção em Povoamentos de Pinheiro Bravo nos Concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Bacharelato em Engenharia de Produção Florestal. Instituto Politécnico de Castelo Branco. Escola Superior Agrária. Castelo Branco. 158 pp.
- Almeida, A. M. M. 1998. Caracterização Dendrométrica de Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton da Região de Castelo Branco. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Licenciatura em Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 81 pp.
- Alves, A. A. M. 1975. Teoria Geral da Intervenção Produtiva. Ed. ciclostilada. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 100 pp.
- Alves, A. A. M. 1982. Técnicas da Produção Florestal. INIC. Lisboa. 331 pp.
- Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. B.L.V. Verlagsgesellschaft. Munchen. (cit. Oliveira, 1980).
- Avery, T. E. & Burkhart, H. E. 1983. Forest Measurements. 3ª ed. McGraw-Hill Book Company. New York. 381 pp. + anexos.
- Bailey, R. L. 1980. The Potential of Weibull - type Functions as Flexible Growth Curves: Discussion. *Can. J. For. Res.* 10:117-118.
- Biging, G. S & Dobbertin, M. 1992. A Comparison of Distance-dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. *For. Sci.* 38:695-720.
- Biging, G. S. 1984. Taper Equations for Second-growth Mixed Conifers of Northern California. *For. Sci.*, 30: 1103-1117.
- Burkhart, H. E. 1977. Cubic Foot Volume of Loblolly Pine to Any Merchantable Top Diameter. *So. J. Appl. For.* 1 (2): 7-9.
- Cao, Q. V., H. E. Burkhart & T. A. Max. 1980. Evaluation of Two Methods for Cubic Volume Prediction of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit. *For. Sci.* 26: 71-80.
- Carmean, W. 1972. Site Index Curves for Upland Oaks in the central States. *Forest Sci* **18**: 109-120. (cit. in MARQUES, 1987).
- Carrascalão, M. V. 1969. Tabelas Empíricas de Produção para o Pinheiro Bravo. ISA, RF. Lisboa.

- Carvalho, A. P. S. M. 1999. Modelação da Árvore em Eucaliptais em 1ª Rotação Localizados nas Regiões Norte e Centro Litoral. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Florestal. ISA/UTL. Lisboa. 369 pp.
- Carvalho, P. E. S. 1992. Estudos Dendrométricos em Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton do Concelho de Oleiros. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Bacharelato em Engenharia de Produção Florestal. Instituto Politécnico de Castelo Branco. Escola Superior Agrária. Castelo Branco. 79 pp + anexos.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister & R. L. Bailey. 1983. Timber Management. A Quantitative Approach. John Wiley & Sons, New York. 307 pp. + anexos.
- CNA. 1982. Atlas do Ambiente. Carta Administrativa. Instituto Geográfico e Cadastral. Comissão Nacional do Ambiente. Instituto Hidrográfico. Lisboa.
- CNA. 1982. Atlas do Ambiente. Carta Hipsométrica. Comissão Nacional do Ambiente. Instituto Hidrográfico. Lisboa.
- Costa, M. E. P.; T. Preuhler. 1994. Research Plots LOUSÃ. Long Term Investigation of Structure, growth and Stability of Pure and Mixed Mountainous Stands With Different Species and with Mixed Natural Regeneration in Serra da Lousã, Portugal. Mixed Stands: Research plots; Measurements and Results; Models. *Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups: S4.01-03: Design, performance and Evaluation of Experiments; S4.01-04: Growth Models for Tree and Stand Simulation.* April 25-29. Lousã/Coimbra.
- Curtis, R. O. 1964. A Stem-Analysis Approach to Site-Index Curves. *For. Sci.* 10: 241-256.
- Davis, L. S. & K. N. Johnson. 1987. Forest Management. 3ª ed. McGraw-Hill, Inc. New York. 256 pp.
- Delwiche, L. D. & S. J. Slaughter. 1998. The Little SAS Book. A primer. 2ª ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 288 pp.
- Demaerschalk, J. P. 1973. Integrated Systems for the Estimation of Tree Taper and Volume. *Can. J. For. Res.* 3: 90-94.
- Demaerschalk, J. P. 1971. Taper Equations can be converted to Volume Equations and Point Sampling Factors. *For. Chron.* 47: 352-354.
- Demaerschalk, J. P. 1972. Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations. *For. Sci.* 18: 241-245.
- Der, Geoff & B. S. Everitt. 2000. A Handbook of Statistical Analyses Using SAS. 2ª ed. Chapman & Hall/CRC. NY. 360 pp.
- Deusen, P. C. V., A. D. Sullivan & T. G. Matney. 1981. A Prediction System for Cubic Foot Volume of Loblolly Pine Applicable through Much of Its Range. *So. J. Appl. For.* 5: 186-189.
- Domenech, F. V. 1981. Topografia. Coleção construção e móveis nº 17. Edições CETOP. Lisboa. 328 pp.
- Doyle, T. W. 1983. Competition and Growth Relationships in a Mixed-aged, Mixed-species Forest Community. PhD Diss. University of Tenn. 86 pp.
- Draper, N. R. & H. Smith. 1981. Applied Regression Analysis. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. 709 pp.
- Gomes, A. 1957. A Medição dos Arvoredos. Col. A Terra e o Homem nº 30. Livraria Sá da Costa. Lisboa. 413 pp.
- Gracio, C. J. S. M. A. 1990. Aplicação do Método de Análise de Tronco a Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton no Distrito de Castelo Branco. Relatório de Trabalho de Fim de Curso de Produção Florestal. IPCB-ESA. Castelo Branco.
- Hall, F. A. S. & L. S. Martins. 1966. Inventário Florestal Nacional. Tabelas de Volume e Produção. DGFS. Lisboa.
- Hall, F. A. S. & L. S. Martins. 1986. A Previsão do Volume do Povoamento Total. Um Estudo para o Pinheiro Bravo. 1º Congresso Florestal Nacional. 2-6 Dezembro. Lisboa.

- Hall, F. A. S. 1931. Tabela de Produção Lenhosa para o Pinheiro Bravo. Separata do Boletim do Ministério da Agricultura. Ano XIII, nº1, 1ª Série. Lisboa.
- Harrison II, W. C. 1984. Growth Models for Appalachian Mixed Hardwoods after Thinning. MsC Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg. Virginia. USA. 173 pp.
- Husch, B. 1971. Planificación de un Inventario Forestale. FAO: Montes nº7; FAO: Estudios de Silvicultura y Productos Forestales nº17. Roma. 135 pp.
- Husch, B., C. I. Miller & T.W. Beers. 1982. Forest Mensuration. John Wiley & Sons. 3ª ed. N.Y. 402 pp.
- Krajicek, J. E., Brinkman, K. A. e Gingrich S. F. 1961. Crown Competition - a Measure of Density. *For. Sci.* 7: 35-42.
- Loetsch, F., F. Zohrer & K. E. Haller. 1973. *Forest Invenctory*. Vol. II. BLV Verlagsgesellschaft mbH, Munchen. 469 pp.
- Loetsch, F. & K. E. Haller. 1973. *Forest Invenctory*. Vol. I. BLV Verlagsgesellschaft mbH, Munchen. 436 pp.
- Luis, J. S., J. S. Bento & A. C. Oliveira. 1991. A Relação Alométrica na Condução de Povoamentos Florestais. O caso do *Pinus pinaster* Ait. em Portugal. *Encontro sobre Pinhal Bravo, Material Lenhoso e Resina*. 5 e 6 Dez. 1991. ESAC. Coimbra.
- Marques, C. M. P. 1981. Apontamentos de Dendrometria. UTAD. Vila Real. 175 pp.
- Marques, C. P. 1987. Qualidade das Estações Florestais. Povoamentos de Pinheiro Bravo no Vale do Tâmega. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor. UTAD. Vila Real. 185 pp. + anexos.
- McLintock, T. F. e C. A. Bickford. 1957. A Proposed Site Index for Red Spruce in the Northeast. *U.S.F.S. Northeast. For. Exp. Sta. Paper* nº 93. (cit. Husch *et al.*, 1982).
- Meyer, H. A.. 1940. A Mathematical Expresión for Height Curves. *J. For.*, 38: 415-520.
- Montgomery, D. C. 1976. Design and analysis of Experiments. John Willey & Sons, Inc. N.Y. 649 pp.
- Munro, D. D. 1974. Forest Growth Models - a prognosis. In: *Growth Models for Tree and Stand simulation*. Ed J. Fries. Royal College of Forestry, Research Notes nº 30. Stockholm.
- Myers, R. H. 1986. *Classical and Modern Regression With Applications*. 2ªed. PWS-KEN Publishing Company, Boston. 359 pp.
- Nille, B. 1974. Ertragskundliche Untersuchung von Aufforstungsbeständen im rekultivierungsgebiet der bayerischen Braunkolen-Industrie Ag in Wackersdorf/Oberpfalz § Forschungsberichte. Nr. 19. FFA. Muenchen. (cit. in OLIVEIRA, 1980).
- Oliveira, A. M. C. 1980. As Parcelas de Estudo na Produção Florestal. INIC. CEF. ISA-UTL. Lisboa. 26 pp.
- Oliveira, A. M. C. 1984. A Teoria da Produção Florestal. CEF. ISA/UTL. Lisboa. 531 pp. + anexos.
- Oliveira, A. M. C. 1985. Tabela de Produção Geral para o Pinheiro Bravo das Regiões Montanas e Submontanas. DGF. CEF. INIC. Lisboa. 37 pp.
- Páscoa, F. 1987. Estrutura, Crescimento e Produção em Povoamentos de Pinheiro Bravo. Um Modelo de Simulação. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor. ISA-UTL, Lisboa. 241 pp.
- Páscoa, F. 1990. Using Forest Invenctory Data to Build Growth and Yield Stands Models. In: L. C. Wensel and G. S. Biging (eds), *Forest Simulation Systems*, Proc. of the IUFRO Conf., Bull. 1926, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, pp. 279-286.
- Páscoa, F., J. S. Bento & C. M. P. Marques. 1989. Previsão da Produção Lenhosa para o Período de 1988/2048. Inventario Florestal. Pinheiro bravo. ACEL. Lisboa.
- Páscoa, F., R. Silva & M. Tavares. 1981. Tabelas de Produção. Metodologia para a Instalação, Medição e Cálculo. Notas Técnico-científicas, 3. EFN/INIC. Lisboa. 193 pp.
- Páscoa, M. F. M. 1984. Determinação do Volume Total em Povoamentos de Pinheiro Bravo. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre. Gab. Econ. Florestal E/84-3. ISA-UTL. Lisboa.

- Philip, M. S. 1994. *Measuring Trees and Forests*. 2ª ed. CAB INTERNATIONAL. Wallingford. U.K. 310 pp.
- Philippis, A. De. 1958. *Lezioni di selvicoltura*. Univ. Firenze. Firenze. (cit. Alves, 1982)
- Plantations of Slash Pine. *So. J. Appl. For.* 4 (3): 139-142. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a Stand Density Index for Even-Aged Stands. *J. Agric. Res.*, 46: 627-638.
- Soest, J. van, P. Ayrál, R. Schober & F. C. Hummel. 1965. *The Standardisation of Symbols in Forest Mensuration*. Univ. of Maine, Maine Agric. Expt. Stn., Tech. Bull. 15. 32 pp.
- Stout, B. B. & D. L. Shumway. 1982. Site Quality Using Height and Diameter. *For. Sci.*, 28(3): 639-645.
- Tomé, M. M. B. B. T., A. P. S. M. Carvalho, A. C. Oliveira, L. Martins & F. Páscoa. 2000. Modelos de Crescimento e Produção para o Pinheiro Bravo em Portugal (Modelos de Povoamento). Workshop do Pinheiro Bravo. Projecto PAMAF nº 8165 - Regeneração, Condução e Crescimento do Pinhal Bravo nas Regiões Litoral e Centro Interior. DEF/ISA-UTL. Lisboa.
- Tomé, J. A. 1990. Estimação do Volume Total, de Volumes Mercantis e Modelação do Perfil do Tronco em *Eucalyptus globulus* Labill. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre. Mestrado em Produção Vegetal. ISA-UTL, Lisboa. 63 pp.
- Tomé, M. & P. Soares. 1999. A Comparative Evaluation of Three Growth Models for Eucalypt Plantations Management in Coastal Portugal. In: A. Amaro e M. Tomé (edit.), *Empirical and Process-Based Models for Forest Tree and Stand Growth Simulation*. Edições Salamandra. Lisboa. Portugal. pp. 517-533.
- Tomé, M. & H. Burkhart. 1989. Distance Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. *For. Sci.*, 35: 816-831.
- Tomé, M. 1990. Distance Dependent Competition Measures to Model Growth of Individual Trees. In: H. Burkhart (edit), *Research in Forest Mensuration, Growth and Yield*. Blacksburg. USA, School of Forestry and Wildlife Resources. VPI & SU. Pub nº FWS-2-90. pp. 219-231.
- Tomé, M. 1990. Os Índices de Competição na Modelação do Crescimento das árvores e dos Povoamentos. *II Congresso Florestal. Floresta e Mudança*. Porto, 7-10 Novembro: 261-272.
- Tomé, M. M. 1983. Growth and Yield Studies in Portugal. A Review. *Workshop of Future Expectations of Portuguese Forestry*. Póvoa do Varzim, 13-16 December 1980.
- Tomé, M. M. 1988. Modelação do Crescimento da Árvore Individual em Povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. (1ª rotação) Região Centro Portugal. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor. ISA-UTL. Lisboa. 256 pp. anexos.
- Tomé, M. M., Tomé, J. A., Araújo, M. C. e Pereira, J. S. 1994. Intraspecific Competition in Irrigated and Fertilized Eucalypt Plantations. *For. Ecology and Management*. 69:221-218.
- Vanclay, J. K. 1994. *Modelling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB INTERNATIONAL. Wallingford. UK. 312 pp.
- Velez, J. C. 1954. Tabela Normal de Produção para o Pinheiro Bravo na Mata Nacional de Leiria. ISA, RF. Lisboa.
- Walsh, T. A. C. 1986. Diameter/Basal Area Increments Equations for Loblolly Pine Trees in Cutover, Site-prepared Plantations. MsC Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg. Virginia. USA. 74 pp.
- Wilson, F. G. 1946. Numerical Expression of Stocking in Terms of Height. *J. of Forestry*, 44:758-761.
- Wycoff, W. R. 1990. A Basal Area Increment Model for Individual Conifers in the Northern Rocky Mountains. *For. Sci.*, 36: 1077-1104
- Zuniga, A. O. & G. M. Gonzalez. 1988. Evaluation de la Calidad de la Estacion en Masas de *Pinus sylvestris* L. Utilizando la Relacion Altura-diámetro. *Simpósio sobre a Floresta e Ordenamento do Espaço de Montanha*. Maio. UTAD. SPCF. Vila Real : 69-78.