

INVENTÁRIO FLORESTAL

Apontamentos para apoio às aulas teóricas

Margarida Tomé



Textos Pedagógicos TP 1/2014

PREFÁCIO

O principal objetivo destes apontamentos é o apoio ao ensino deste tema, quer ao nível de licenciatura, quer para apoio a cursos de pós-graduação e/ou formação avançada. Destina-se também à atualização de Engenheiros Florestais que necessitem de planear e/ou executar inventários florestais no exercício da sua profissão. É uma nova edição dos volumes 1, 2 e 4 do texto publicado em 2004 para apoio ao ensino na licenciatura de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia. Nos últimos anos tem-se verificado uma evolução notável no inventário florestal, em particular na abrangência dos objetivos com que é feito, com ênfase para a avaliação e monitorização de indicadores de gestão florestal sustentável. Esta evolução levou-nos a dar mais ênfase a estes temas nesta nova edição a qual nos capítulos relativos à medição das árvores e povoamentos é semelhante à anterior, embora tenha sido objeto de uma revisão detalhada. Salienta-se ainda a atualização das equações para a estimação de variáveis dendrométricas. Neste caso, os exemplos selecionados para a edição anterior, quando pertinente, foram substituídos por equações publicadas desde então. Tomei também a decisão de organizar os exercícios numa publicação separada. Mantém-se no final de cada capítulo um conjunto de perguntas sobre a matéria teórica para aferição dos conhecimentos adquiridos.

Os textos desta edição estão organizados num volume único que cobre todos os temas relevantes para a realização de um inventário florestal, com exceção das matérias relacionadas com cartografia e deteção remota. O volume contém, para além de um capítulo introdutório, que justifica a importância do tema e faz a interligação entre os assuntos abordados nos outros capítulos, os seguintes capítulos:

Capítulo 2 – Informação não dendrométrica

Capítulo 3 – Medição e avaliação de variáveis da árvore

Capítulo 4 – Variáveis do povoamento com base em parcelas

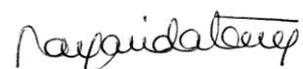
Capítulo 5 – Variáveis do povoamento com base na medição de um número de árvores fixo

Capítulo 6 – Variáveis do povoamento pelo método de Bitterlich

Capítulo 7 – Amostragem aplicada ao inventário florestal

Este texto, embora da minha responsabilidade, é o reflexo da colaboração de diversos colegas que me têm apoiado ao longo da minha carreira no Instituto Superior de Agronomia, aos quais expresso aqui o meu sincero agradecimento. Um agradecimento especial para os diversos co-autores dos manuais de apoio aos cursos de formação de chefes de brigadas de arborização – Paula Soares, Susana Barreiro, Manuel Luís, Marta Baptista Coelho, Joana Mendes Godinho, Sónia Pacheco Faias, Carla Patrícia Santos, Ana Cortiçada, Andrea Teixeira, Joana Amaral Paulo – os quais serviram, em parte, de material de apoio à 1ª edição do presente texto.

Lisboa, 30 de Junho de 2014



ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introdução ao Inventário Florestal | 13 |
| 1.1 | A necessidade de inventariação e monitorização de recursos florestais..... | 13 |
| 1.2 | Elementos a obter num inventário florestal | 15 |
| 1.2.1 | Descrição da área florestal e avaliação de áreas..... | 18 |
| 1.2.2 | Informação dendrométrica e não dendrométrica..... | 21 |
| 1.2.3 | Variáveis dendrométricas da árvore | 22 |
| 1.2.4 | Variáveis dendrométricas do povoamento (por unidade de área) | 25 |
| 1.2.5 | Avaliação de indicadores de gestão florestal sustentável | 26 |
| 1.3 | O papel da amostragem na caracterização dos povoamentos..... | 29 |
| 1.4 | Monitorização dos povoamentos florestais | 30 |
| 1.4.1 | Avaliação de acréscimos | 31 |
| 1.4.2 | Avaliação de percas | 32 |
| 1.4.3 | Monitorização de indicadores de gestão florestal sustentável..... | 32 |
| 1.5 | Erros de observação e medição | 32 |
| 1.5.1 | Causas dos erros de medição e observação | 33 |
| 1.5.2 | Tipos de erros de medição e observação | 35 |
| 1.5.3 | Os conceitos de enviesamento, exatidão e precisão | 36 |
| 1.6 | Planeamento de um inventário florestal | 37 |
| 1.6.1 | Definição de objetivos e caracterização da informação pretendida..... | 37 |
| 1.6.2 | Tempo e orçamento associados à realização do inventário..... | 38 |
| 1.6.3 | Compilação e estudo de dados sobre a área a inventariar | 39 |
| 1.6.4 | Caracterização da informação pretendida | 40 |
| 1.6.5 | Decisões a tomar na fase de planeamento de um inventário..... | 40 |
| 1.7 | Perguntas sobre a matéria do capítulo | 46 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2 | Informação não dendrométrica..... | 49 |
| 2.1 | Identificação da parcela..... | 50 |
| 2.2 | Acesso à parcela e tempos de trabalho..... | 50 |
| 2.3 | Caracterização da mancha florestal..... | 51 |
| 2.3.1 | Verificação da fotointerpretação..... | 51 |
| 2.3.2 | Caracterização fisiográfica..... | 52 |
| 2.3.3 | Caracterização do povoamento onde a parcela se insere..... | 52 |
| 2.3.4 | Outras características..... | 53 |
| 2.3.5 | Observações e inquirição local..... | 55 |
| 2.4 | Caracterização da parcela de inventário..... | 55 |
| 2.4.1 | Tipo de parcela..... | 55 |
| 2.4.2 | Utilização do sub-coberto..... | 55 |
| 2.4.3 | Caracterização da diversidade vegetal da parcela de inventário..... | 56 |
| 2.4.4 | Estrutura vertical do povoamento..... | 56 |
| 2.4.5 | Regeneração..... | 59 |
| 2.4.6 | Avaliação da biomassa do sub-bosque ou dos matos..... | 60 |
| 2.5 | Caracterização da madeira morta..... | 61 |
| 2.5.1 | Snags..... | 62 |
| 2.5.2 | Logs..... | 62 |
| 2.5.3 | Cepos..... | 62 |
| 2.5.4 | Estado de decomposição..... | 62 |
| 2.6 | Amostragem do solo e da folhada..... | 63 |
| 2.6.1 | Recolha de amostras de solo..... | 63 |
| 2.6.2 | Recolha de amostras de folhada..... | 65 |
| 2.7 | Caracterização das árvores..... | 65 |
| 2.7.1 | Classe social..... | 66 |
| 2.7.2 | Efeito de bordadura..... | 66 |
| 2.7.3 | Fitossanidade..... | 66 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.7.4 | Codificação de árvores | 67 |
| 2.8 | Perguntas sobre a matéria do capítulo | 68 |
| 3 | Medição e avaliação de variáveis da árvore | 70 |
| 3.1 | Idade | 70 |
| 3.1.1 | Observação | 71 |
| 3.1.2 | Contagem de verticilos | 71 |
| 3.1.3 | Contagem de anéis de crescimento..... | 72 |
| 3.2 | Diâmetros, perímetro e área seccional | 76 |
| 3.2.1 | O diâmetro à altura do peito, o perímetro e a área seccional..... | 76 |
| 3.2.2 | Regras para a medição de diâmetros | 77 |
| 3.2.3 | Aparelhos para medição de diâmetros e perímetros à altura do peito..... | 81 |
| 3.2.4 | Erros associados à medição de diâmetros com suta | 83 |
| 3.2.5 | Diâmetros a alturas superiores | 90 |
| 3.3 | Casca | 92 |
| 3.3.1 | Avaliação da espessura da casca..... | 93 |
| 3.3.2 | Relação entre a espessura da casca e o diâmetro à altura do peito | 94 |
| 3.3.3 | Espessura da casca ao longo do tronco | 95 |
| 3.3.4 | O caso particular da cortiça | 95 |
| 3.4 | Altura total | 97 |
| 3.4.1 | Métodos para a medição de alturas..... | 97 |
| 3.4.2 | Regras para a medição de alturas | 106 |
| 3.4.3 | Erros associados à medição de alturas | 107 |
| 3.4.4 | Estimação da altura com recurso a relações hipsométricas..... | 111 |
| 3.5 | A copa da árvore | 113 |
| 3.5.1 | A altura da base da copa, a profundidade da copa e a proporção de copa..... | 114 |
| 3.5.2 | Raios da copa e área da copa | 115 |
| 3.5.3 | Área foliar | 117 |
| 3.6 | Forma..... | 119 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.6.1 | A família das parábolas generalizadas | 119 |
| 3.6.2 | Parabolóides de revolução | 121 |
| 3.6.3 | Coeficientes e quocientes de forma..... | 123 |
| 3.6.4 | O perfil do tronco | 126 |
| 3.7 | Volume | 128 |
| 3.7.1 | Tipos de volumes | 129 |
| 3.7.2 | Cubagem de parabolóides de revolução | 130 |
| 3.7.3 | Métodos de cubagem directa..... | 134 |
| 3.7.4 | Métodos de cubagem indirecta | 134 |
| 3.7.5 | Métodos de estimação indirecta de volume | 145 |
| 3.8 | Biomassa..... | 159 |
| 3.8.1 | Biomassa total e por componentes..... | 159 |
| 3.8.2 | Avaliação indirecta | 160 |
| 3.8.3 | Estimação com recurso a equações alométricas | 164 |
| 3.8.4 | O caso particular da cortiça | 164 |
| 3.9 | Perguntas sobre a matéria do capítulo | 173 |
| 4 | Avaliação de variáveis do povoamento com base em parcelas de inventário..... | 177 |
| 4.1 | A parcela de inventário | 178 |
| 4.1.1 | Forma e dimensão das parcelas..... | 178 |
| 4.1.2 | Tipo de parcelas | 180 |
| 4.1.3 | Delimitação de parcelas no terreno | 184 |
| 4.1.4 | Delimitação de parcelas de amostragem em terreno declivoso | 188 |
| 4.1.5 | Parcelas de amostragem na bordadura do povoamento..... | 190 |
| 4.1.6 | Subdivisão das parcelas de acordo com os estratos | 192 |
| 4.1.7 | Marcação de parcelas permanentes..... | 194 |
| 4.2 | O número de árvores por ha..... | 197 |
| 4.3 | Distribuições de diâmetros, área basal e diâmetros médios | 198 |
| 4.3.1 | Distribuições de diâmetros | 198 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.2 | A área basal de um povoamento | 199 |
| 4.3.3 | Área basal média e diâmetro quadrático médio | 204 |
| 4.4 | Lotação e densidade do povoamento | 206 |
| 4.4.1 | Avaliação da lotação..... | 206 |
| 4.4.2 | Medidas para avaliação da densidade..... | 206 |
| 4.5 | Alturas dos povoamentos | 218 |
| 4.5.1 | Altura média do povoamento | 218 |
| 4.5.2 | Altura dominante | 219 |
| 4.5.3 | Relação hipsométrica de um povoamento | 220 |
| 4.6 | Qualidade da estação..... | 220 |
| 4.6.1 | Avaliação da qualidade da estação | 221 |
| 4.6.2 | O índice de qualidade da estação..... | 223 |
| 4.6.3 | Curvas de classe de qualidade..... | 223 |
| 4.6.4 | Estimação do índice de qualidade da estação com funções de crescimento em altura dominante | 224 |
| 4.6.5 | Equações para a predição do índice de qualidade da estação | 227 |
| 4.7 | Volume por unidade de área..... | 228 |
| 4.7.1 | Volume total e volumes por categorias de aproveitamento..... | 228 |
| 4.7.2 | Avaliação directa do volume por unidade de área..... | 229 |
| 4.7.3 | Estimação do volume por unidade de área..... | 238 |
| 4.8 | Índice de área foliar | 244 |
| 4.8.1 | Métodos baseados em árvores modelo | 244 |
| 4.8.2 | Estimação com equações alométricas da árvore | 245 |
| 4.8.3 | Avaliação indirecta com base na luz interceptada | 245 |
| 4.9 | Biomassa do povoamento | 246 |
| 4.9.1 | Método das árvores modelo de biomassa | 246 |
| 4.9.2 | Estimação com base em equações de biomassa da árvore | 246 |
| 4.9.3 | Estimação com equações de biomassa do povoamento | 247 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.10 | Estimação de stocks de carbono | 247 |
| 4.11 | Perguntas sobre a matéria do capítulo | 249 |
| 5 | Avaliação de variáveis dendrométricas do povoamento pelo método de Bitterlich | 253 |
| 5.1 | Amostragem pontual horizontal – o método de Bitterlich | 253 |
| 5.2 | Parcelas de amostragem simples, combinadas e método de Bitterlich | 257 |
| 5.3 | Aparelhos para a amostragem pontual horizontal | 258 |
| 5.3.1 | Aparelhos sem correcção automática de declive | 258 |
| 5.3.2 | Aparelhos com correcção automática de declive | 259 |
| 5.4 | Seleção de um factor de área basal | 261 |
| 5.5 | Avaliação das variáveis dendrométricas do povoamento com amostragem pontual horizontal | 261 |
| 5.5.1 | Área basal por hectare | 261 |
| 5.5.2 | Número de árvores por ha e distribuição de diâmetros | 262 |
| 5.5.3 | Volume | 263 |
| 5.5.4 | Altura dominante | 264 |
| 5.5.5 | Avaliação de qualquer variável do povoamento (método geral) | 264 |
| 5.6 | Comparação entre a amostragem pontual e a amostragem por parcelas | 264 |
| 6 | Referências bibliográficas | 267 |

1 Introdução ao Inventário Florestal

1.1 A necessidade de inventariação e monitorização de recursos florestais

O modo como o homem interage com a floresta tem sofrido grandes modificações (figura 1.1). A atitude das antigas sociedades humanas para com as florestas – nessa altura florestas naturais - foi apenas a de utilizar os seus produtos, em alguns casos a de as destruir para aumentar a área disponível para a agricultura e pastoreio. Nesta fase inicial, designada por pré-silvicultura, o homem imaginava a floresta como um recurso inesgotável, não imaginando que os recursos florestais pudessem vir a transformar-se em recursos escassos. Há alguns séculos surgiu uma nova pressão sobre as áreas florestais em consequência da procura de madeira como combustível para a indústria, em particular a indústria do ferro. Estas atitudes levaram a uma desflorestação generalizada que deu origem a grandes áreas de solos tornados marginais por uso excessivo pela agricultura, a qual originou, a médio prazo, uma falta generalizada de madeira. A falta de madeira e a superabundância de terras marginais sem capacidade para serem utilizadas pela agricultura deram origem ao desenvolvimento da silvicultura a qual surge, assim, como a ciência que permite definir um conjunto de tecnologias de intervenção sobre a floresta com o objetivo de garantir uma produção sustentada de madeira. A revolução industrial do século dezanove incentivou grandemente o desenvolvimento de práticas silvícolas conducentes a uma produção sustentada de madeira.

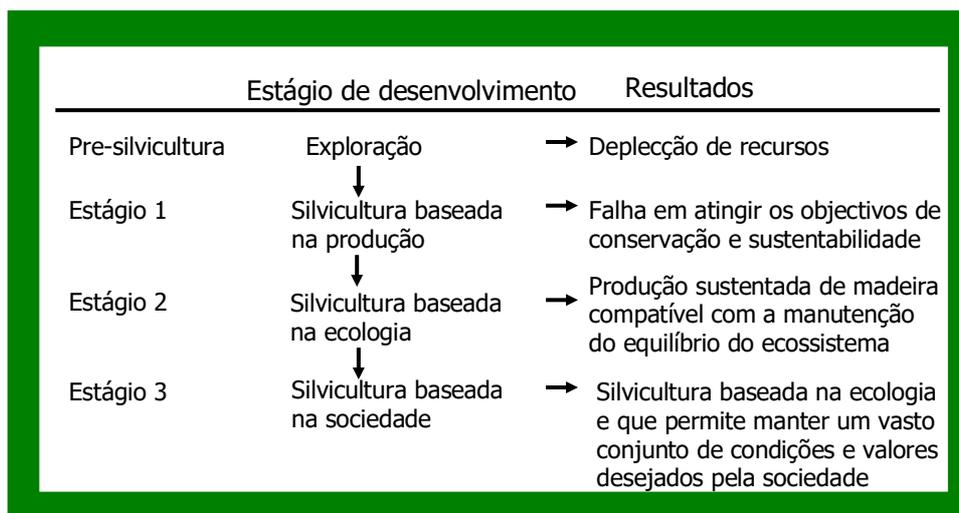


Figura 1.1. Evolução da relação entre o homem e a floresta (adaptado de Kimmins, 1997)

A relação entre o homem e a floresta passou a implicar a intervenção do homem na floresta, modificando-a para alcançar os seus objetivos. A tomada de decisões sobre a relação entre o homem e a floresta é hoje designada por gestão florestal. A gestão florestal levou à necessidade de caracterizar, com algum detalhe, a floresta. Datam dos anos 50 os primeiros inventários florestais, que tinham como objetivo a caracterização apenas das árvores, com ênfase especial para a madeira (figura 1.2). A prioridade dada pela silvicultura tradicional à produção de madeira – silvicultura baseada na produção - levou ao aparecimento de florestas intensivamente cultivadas, geralmente mono-específicas e regulares, muitas vezes geridas sem atender ao facto de que uma floresta tem de ser vista como um ecossistema onde interatuam diversos organismos, cujo desenvolvimento harmónico é condição da sua sustentabilidade. Assistiu-se a diversos insucessos e exageros, especialmente nos efeitos a longo-prazo de incorretas medidas de gestão, até que se reconheceu a necessidade de gerir a floresta dum modo holístico, com base em sólidos princípios de ecologia – silvicultura baseada na ecologia. Mesmo que o objetivo primário da gestão de uma floresta seja a produção de madeira, há que a tornar compatível com a manutenção da vitalidade e da fertilidade da própria floresta, assim como com os efeitos prejudiciais que as ações de gestão possam ter a jusante. A silvicultura baseada na ecologia fez aumentar largamente, como é óbvio, a necessidade de informação que é necessário obter num inventário florestal. Já não basta caracterizar as árvores, mas também o sub-bosque, o solo, os recursos não lenhosos, etc. (figura 1.2).

As necessidades de informação sobre os recursos florestais por parte dos "gestores" tem aumentado em paralelo com a evolução da silvicultura

| anos 50 | anos 60 | anos 70 | anos 80 | anos 90 | anos 2000 |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| lenho | lenho | lenho | lenho | lenho | lenho |
| | recursos múltiplos | recursos múltiplos | recursos múltiplos | recursos múltiplos | recursos múltiplos |
| | | biomassa | biomassa | biomassa | biomassa |
| | | | stocks de carbono | stocks de carbono | stocks de carbono |
| | | | | biodiversidade produtos não-lenhosos | biodiversidade produtos não-lenhosos |
| | | | | | outros usos do solo? |

Figura 1.2. Evolução das necessidades de informação para efeito de gestão florestal (adaptado de Lund e Smith, 1997)

Hoje em dia entrou-se num terceiro estágio da evolução da silvicultura – a silvicultura baseada na sociedade. Os produtos e serviços que a sociedade espera da floresta são cada vez mais diversos. A madeira ainda é, com certeza, um dos principais produtos que se esperam duma floresta, mas dá-se cada vez mais importância a outros valores que lhe estão associados, tais como abrigo, recreio, proteção da natureza e de habitats, conservação genética, etc. A urbanização da sociedade atual, com a maioria da população a viver em cidades e sem uma ligação real com a natureza, levou a uma atitude idealista, romântica, em relação às florestas (Koch e Skovsgaard, 1999) a qual tem, também, importantes consequências para a gestão florestal.

A gestão florestal atual preocupa-se não só em manter a produção de lenho numa base sustentada, mas também em garantir a estabilidade do ecossistema florestal e em satisfazer as exigências de uma sociedade em evolução. A intervenção que fazemos na floresta para dela obtermos os mais diversos produtos e serviços - produtos lenhosos e não lenhosos, recreio e lazer, atividade cinegética, etc. - tem de ser compatível com a manutenção da sua biodiversidade, produtividade, capacidade de regeneração e vitalidade, de modo a garantir que as gerações vindouras venham a ter igual oportunidade de a utilizar. Este conceito de interação “consciente” entre o homem e a floresta é conhecido por gestão florestal sustentável. Os diversos tipos de “gestores” de recursos florestais (políticos, gestores privados e públicos, florestais e proprietários) necessitam de dados fiáveis nos quais possam basear as suas opções de gestão e, também, de dados que lhes permitam avaliar, no futuro, as consequências das decisões tomadas. Os programas de inventariação e monitorização de recursos florestais fornecem precisamente esta informação. O inventário de recursos florestais implica a caracterização de uma determinada área florestal, enquanto que a monitorização de recursos florestais tem como objetivo a avaliação das alterações dos recursos, tentando avaliar as causas das mudanças observadas, assim como verificar se os planos de gestão florestal estão a decorrer de acordo com o previsto.

1.2 Elementos a obter num inventário florestal

Podem realizar-se inventários florestais de diversas escalas e com diversos objetivos, reportando-se também a diferentes tipos de utilizadores, desde proprietários privados que estão preocupados com a gestão do seu povoamento ou com a venda dos seus produtos, aos gestores de uma área florestal composta de vários povoamentos geridos em conjunto (por exemplo, a Mata Nacional de Leiria) até aos administradores públicos e políticos que pretendam uma caracterização do sector florestal que os ajude a definir medidas de política florestal (figura 1.3). Pode assim definir-se inventário florestal como o conjunto de procedimentos que permitem caracterizar uma determinada área florestal, tendo em vista um determinado objetivo.

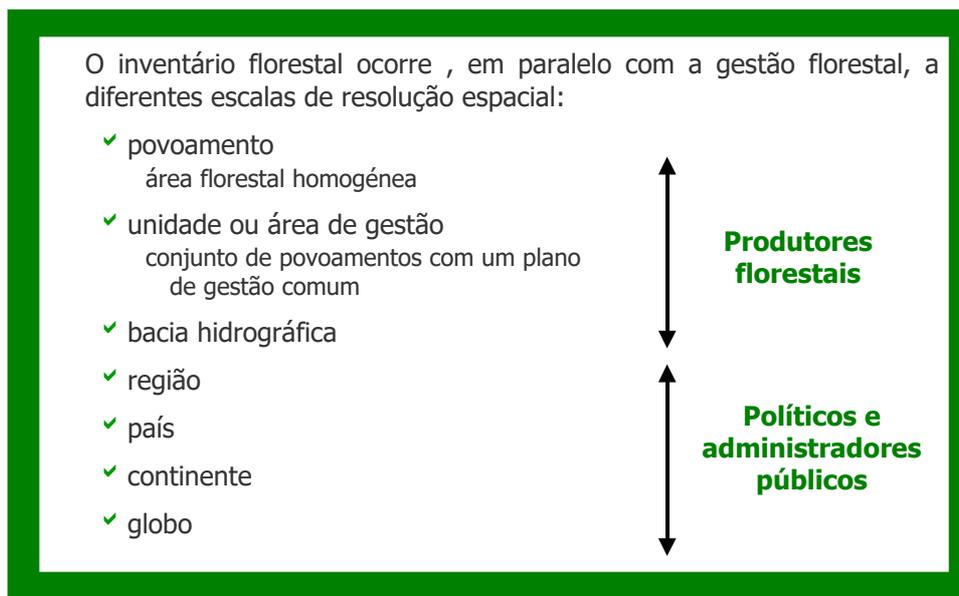


Figura 1.3. O inventário florestal ocorre a diversas escalas de resolução espacial

A caracterização da área florestal pode, assim, implicar a obtenção de diferentes elementos. Duma forma exaustiva, os elementos que são geralmente tidos em conta para a caracterização de uma área florestal são:

1. Descrição da área florestal e avaliação de áreas: definição da tipologia dos povoamentos florestais, eventual produção de cartografia, descrições topográfica e hidrográfica, regime de propriedade, acessibilidade, etc.; a correta avaliação das áreas dos diversos povoamentos florestais considerados é, como se verá, um dos elementos mais importantes para o sucesso do inventário florestal.
2. Caracterização dos povoamentos florestais: inclui informação dendrométrica e não dendrométrica; a informação dendrométrica implica a medição das árvores – geralmente em parcelas de amostragem - e os cálculos necessários para a estimação das variáveis dendrométricas que caracterizam os povoamentos; a informação não dendrométrica implica a recolha de outra informação importante para a caracterização do povoamento – sub-bosque, regeneração natural, estado sanitário, etc. – a qual não implica a medição de árvores.

A deteção remota, ou processo de aquisição de informação sobre a natureza ou dimensão dos objetos usando um sensor que não está em contacto físico direto com este, tem vindo a ganhar importância no inventário florestal. Em Portugal, contudo, as aplicações da deteção remota têm-se restringido à avaliação de áreas com recurso a fotografia aérea ou imagem de satélite. Assim, estes apontamentos restringem-se às técnicas de caracterização dos povoamentos florestais baseadas em medições de campo. Nos últimos anos, a tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging) está já a ser bastante utilizada noutros países como suporte ao inventário florestal, pelo que não podemos deixar de lhe fazer uma referência. Aliás, em Portugal começam também a aparecer algumas aplicações (Ferraz et al., 2012). É uma tecnologia de deteção remota baseada na medição da distância entre um avião (ou qualquer outra plataforma) e uma superfície iluminada por um feixe de laser. Estas medições são georreferenciadas utilizando um sistema híbrido GPS / INS. Dependendo da natureza da superfície, um pulso único pode resultar num ou vários retornos. Assim, o feixe laser penetra nas várias “camadas” da estrutura vertical da floresta produzindo uma nuvem de pontos 3D que permite, com o processamento adequado da nuvem de pontos originada, a avaliação de várias variáveis com interesse para o inventário florestal.

3. Caracterização dos matos: inclui a caracterização das zonas de matos, recolhendo-se geralmente a informação não dendrométrica que é recolhida para a caracterização dos povoamentos florestais
4. Avaliação de indicadores de gestão florestal sustentável: uma avaliação de um conjunto pré-selecionado de indicadores de gestão florestal sustentável (IGFS) faz hoje parte dos resultados esperados de um inventário florestal; note-se que nem todos os IGFS podem ser avaliados com base nas medições realizadas durante um inventário florestal. A avaliação de IGFS inclui geralmente a recolha de dados sobre o valor recreativo, a vida silvestre, a diversidade vegetal arbustiva em sub-coberto, a presença de espécies protegidas, o armazenamento de carbono, o perigo de incêndio, a desfoliação, deficiências nutricionais, etc.
5. Avaliação de acréscimos: estimação do acréscimo em volume, num determinado período, das diversas espécies presentes na área que está a ser objeto do inventário (o número de anos a que se referem os acréscimos depende da espécie).
6. Determinação de percas: inclui a estimação da quantidade de madeira que é cortada ou destruída por fogos, pragas e doenças no período considerado para o cálculo dos acréscimos.

Como é evidente, o objetivo do inventário tem influência determinante sobre o relevo que se dá a cada um dos elementos a recolher no inventário. Já em 1971, Husch dava exemplos de alguns tipos de inventários, apontando a importância dos principais elementos a registar em cada um dos tipos de inventário considerado (tabela 1.1). Estes exemplos mantêm-se atuais até aos dias de hoje. Dentre os exemplos da tabela 1.1 salientam-se, pela sua relevância, os seguintes: 1) inventário de um único povoamento, realizado com frequência para a venda de produtos lenhosos ou não lenhosos (por exemplo, cortiça); 2) inventário de uma área de gestão, composta geralmente de diversos povoamentos, para efeito da preparação de um plano de gestão; 3) inventário florestal nacional. Ao longo deste texto estes inventários serão referidos por diversas vezes, utilizando-se, respetivamente as designações: inventário de um povoamento, inventário para gestão florestal e inventário florestal nacional.

A definição clara dos objetivos que se pretende alcançar com um inventário é, assim, essencial para o seu correto planeamento. Um inventário florestal é uma tarefa complexa cujo planeamento implica um conjunto de decisões extremamente importantes para a qualidade do resultado final, quer em termos de exatidão, quer em termos do tempo e custos envolvidos. O sucesso de um inventário florestal depende definitivamente de um planeamento cuidadoso dos trabalhos a efetuar. Nesta fase devem ser considerados os vários aspetos listados acima e analisados com algum detalhe no ponto seguinte.

1.2.1 Descrição da área florestal e avaliação de áreas

Antes de mais, interessa definir exatamente os limites da área a inventariar, recorrendo a cartografia ou ortofotomapas existentes, ou, ainda, fazendo o levantamento da área com GPS ou com métodos mais precisos de cartografia, se necessário. É essencial compilar e analisar todos os dados existentes sobre a área em estudo, tais como inventários anteriores, relatórios, mapas e fotografia aérea. Se possível, deve fazer-se o reconhecimento da área a inventariar para tomar conhecimento dos tipos florestais existentes, os produtos florestais a avaliar, os limites de variação das características dos povoamentos, etc.

A descrição da área florestal está hoje em dia quase sempre associada à produção de algum tipo de cartografia florestal: 1) baseada em fotografia aérea retificada (ver volume II); por classificação de imagem de satélite; 3) por levantamento no campo com apoio de GPS.

Tabela 1.1 Importância relativa dos elementos de um inventário florestal numa escala de I (muito importante, necessário com detalhes), II (de importância intermédia, necessário mas sem grandes detalhes) e III (de pouca importância, podendo eventualmente suprimir-se).

(adaptado de Husch, 1971)

| Tipo de inventário | Elementos a obter no inventário florestal | | | | | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|
| | Avaliação de áreas | Descrição topográfica | Regime de propriedade | Acessibilidade | Avaliação de existências | Avaliação de acréscimos | Avaliação de percas | Outros dados (*) |
| Inventário florestal nacional | II | II | II | II | II | II | II | II |
| Inventário de reconhecimento geral da área | II | III | III | II/III | II/III | III | III | II |
| Inventário para gestão florestal | I | II | II | II | I | I | I | II |
| Inventário para exploração de madeiras | II | I | III | I | I | III | III | III |
| Estudo da viabilidade de indústrias florestais | II | II | I | I | I | I | I | II |
| Inventário para avaliação da madeira em pé | I | II | III | I | I | III | III | III |
| Estudo do uso do solo | I | I | I | I | II | II | III | I |
| Estudo do valor recreativo | II | II | I | I | III | III | III | I |
| Estudo de bacias hidrográficas | I | I | II | II | II | II | II | I |

* Dados relativos ao valor recreativo, vida selvagem, aproveitamento do solo, etc (serviços).

A fotografia aérea, cuja utilização teve um grande incremento durante a Primeira Guerra Mundial, encontrou no inventário florestal uma das suas aplicações mais importantes para a sociedade civil. A fotografia aérea fornece, de facto, uma impressão geral das áreas que cobre e uma riqueza de detalhes florestais que permite ao interpretador obter informação, no seu gabinete, com maior facilidade e menor custo do que no campo. O desenvolvimento das técnicas de utilização das fotografias aéreas para fins de inventário florestal começou, assim, logo após a Primeira Guerra Mundial. A avaliação estatística da informação obtida a partir das fotografias aéreas tem fornecido, nos últimos anos, valiosos conhecimentos e, conseqüentemente, tem levado a métodos de inventário mais práticos. O desenvolvimento destas técnicas continua ainda num ritmo rápido, havendo alguns campos para os quais a fotografia aérea é já indispensável, como, por exemplo, para a obtenção de mapas de zonas florestais ou para a estratificação para efeitos de amostragem.

É evidente que, embora a fotografia aérea se tenha tornado bastante importante, existem algumas limitações, sendo geralmente impossível recolher toda a informação necessária exclusivamente a partir deste tipo de fotografias.

No caso dos inventários para gestão florestal, a descrição da área florestal implica a definição dos povoamentos ou talhões. Um povoamento pode ser definido como uma área, não necessariamente contígua, suficientemente homogénea em termos de características edafo-climáticas, produtividade e estrutura da floresta que permite a tomada das mesmas decisões de gestão. Já no caso de um inventário florestal nacional (ou regional) há que definir a tipologia dos povoamentos florestais, ou seja, a definição de critérios segundo os quais a área florestal vai ser classificada e caracterizada: por ocupação do solo, por espécies, por tipos de estrutura de povoamento, etc.

A avaliação correta das áreas ocupadas por cada um dos povoamentos – caso dos inventários para gestão – e dos tipos florestais previamente definidos (ou de outros estratos definidos no delineamento da amostragem) é uma das principais condicionantes da exatidão dos resultados de um inventário. De facto, a determinação muito detalhada de variáveis para a caracterização dos povoamentos só tem significado se for conhecida de forma igualmente precisa a área respetiva.

A avaliação das áreas florestais pode ser feita por dois processos: 1) diretamente, a partir de um mapa ou ortofotomapa onde estejam delimitados os diversos tipos ou estratos florestais; 2) indiretamente, a partir de fotografia aérea e utilizando técnicas de amostragem. A opção por um dos métodos está intimamente relacionada com o tipo de inventário, estando a avaliação indireta de áreas com base em amostragem qualitativa reservada apenas para os inventários florestais nacionais (ou regionais)

A medição direta em mapas florestais, até há bem pouco tempo, era geralmente feita com um planímetro ou com recurso a qualquer outra das técnicas tradicionais de medição de áreas em mapas (veja-se, por exemplo, Loetsch *et al.*, 1973). Atualmente é obtida, após digitalização, com recurso a sistemas de informação geográfica (SIG). Este processo conduz a avaliações geralmente precisas da área, uma vez que inclui apenas o erro da cartografia, mas tem o inconveniente de exigir a preparação (ou disponibilidade) de um mapa florestal atualizado, o que implica a digitalização dos estratos cuja área se pretende obter. Por medição direta em fotografia aérea também é possível fazer uma avaliação de áreas, embora bastante grosseira, pois inclui todos os erros inerentes, quer à projeção cónica, quer à variação de escala, associados à fotografia aérea.

A avaliação indireta de áreas a partir de fotografia aérea baseia-se nas técnicas de amostragem qualitativa (estimação de proporções). Para uma única fotografia ou para uma pequena porção do mapa, os erros podem ser substanciais, mas as estimativas referentes a grandes áreas dão resultados bastante precisos. A amostragem pode ser feita por dois processos: contagem de pontos ou medição de transeptos. Para mais detalhes, veja-se o capítulo 7.

Em alguns dos inventários florestais nacionais realizados em Portugal, a avaliação de áreas foi realizada em duas etapas. Numa primeira etapa procedeu-se a uma avaliação preliminar de áreas com base em amostragem qualitativa: para tal, foi aplicada uma grelha de pontos sobre cada uma das fotografias fotointerpretadas, seguida de listagem dos pontos correspondentes a cada um dos tipos de povoamentos considerados. A área de um determinado tipo de povoamento foi então avaliada pelo produto da proporção de pontos correspondentes a esse estrato pela área total do país. Foi assim possível obter estimativas das áreas dos diferentes estratos florestais num espaço de tempo relativamente curto. A listagem de pontos correspondentes a cada estrato serviu também de base para a seleção de parcelas a medir no campo. Numa fase posterior, após a produção de mapas florestais a partir da fotointerpretação de fotografias aéreas retificadas, operação bastante morosa, a área dos diversos estratos foi obtida por medição com planímetro, operação também bastante demorada. Nessa altura, a avaliação de áreas implicava o uso de um planímetro, com toda a morosidade associada. O tempo e custos associados a esta avaliação definitiva de áreas, levaram a que, em inventários posteriores, se optasse pela não realização desta tarefa. Nos inventários atuais para gestão florestal, a preparação de mapas florestais em formato digital é a regra e, neste caso, as áreas estão automaticamente determinadas com recurso a um SIG. A avaliação de áreas com recurso a amostragem qualitativa continua, contudo, a ser utilizada no inventário florestal nacional.

1.2.2 Informação dendrométrica e não dendrométrica

A maior quantidade de elementos obtidos para caracterização dos povoamentos corresponde a informação dendrométrica, ou seja, aquela que se obtém com base na medição das árvores. A designação de variável dendrométrica refere-se genericamente a qualquer avaliação, geralmente quantitativa, que é feita em árvores ou povoamentos.

A caracterização dos povoamentos implica que, para além da informação dendrométrica, se obtenha informação sobre diversos aspetos importantes para a caracterização das florestas e para a avaliação da gestão sustentável de uma área florestal. Esta informação, caracterizada em maior detalhe no capítulo 2, inclui por exemplo: elementos para a correta localização da parcela de inventário, avaliação do sub-coberto arbustivo e herbáceo, caracterização fisiográfica, recolha de informação sobre fogos ou tratamentos culturais recentes, avaliação de sinais de erosão, etc.

Embora em capítulos posteriores se faça uma análise mais detalhada das medições que vulgarmente se fazem nas árvores e povoamentos e das respetivas metodologias, convém, desde já, definir as principais variáveis dendrométricas. Doutro modo, seria impossível uma análise dos problemas envolvidos no planeamento de um inventário florestal.

As variáveis dendrométricas que se pretendem obter num inventário florestal são geralmente relativas ao povoamento ao à área de gestão. No caso do povoamento as variáveis podem ser expressas no seu valor total – por exemplo, no caso de um inventário para venda de madeira a variável de interesse é o volume total no povoamento – ou expressas por hectare – por exemplo, num inventário para gestão do povoamento, as variáveis de interesse são o número de árvores por ha, a área basal por ha, etc. No caso de uma área de gestão estamos interessados em algumas variáveis para cada povoamento, nomeadamente todas as que são necessárias para a definição das operações de gestão a aplicar a cada povoamento, mas estamos também interessados em algumas variáveis para a totalidade da área de gestão, como é o caso, por exemplo, do stock de carbono.

Para a maior parte das variáveis de interesse, contudo, não existem métodos que permitam obter diretamente o valor da variável por ha, sendo este avaliado indiretamente através da medição das árvores que constituem o povoamento. Surgem assim variáveis dendrométricas ao nível da árvore e ao nível do povoamento. Como seria de esperar, grande parte das variáveis ao nível do povoamento têm a sua correspondente ao nível da árvore, obtendo-se simplesmente por soma ou média desta última, para todas as árvores que fazem parte do povoamento.

1.2.3 Variáveis dendrométricas da árvore

A figura 1.4 representa a maior parte das variáveis dendrométricas da árvore, as quais estão designadas pela nomenclatura utilizada pelo grupo de investigação ForChange – Forest ecosystem management under global change – do Centro de Estudos Florestais do ISA (Soares e Tomé, 2007), baseada, sempre que possível, na nomenclatura da IUFRO (Van Soest *et al.*, 1965), segundo a qual as variáveis da árvore são designadas por letras minúsculas. Para as variáveis não definidas pela IUFRO, procurou-se utilizar regras semelhantes, tendo-se também optado por definir os símbolos com base no nome das variáveis em inglês (por exemplo, altura total da árvore representa-se por *h*, do inglês *tree height*). Existem contudo alguns símbolos que foram derivados dos termos em alemão (por exemplo, área basal representa-se por *G*, do alemão *Grundfläche*), país responsável pelo desenvolvimento inicial da Silvicultura como ciência e onde foi fundada a IUFRO.

Passamos agora a definir as variáveis dendrométricas da árvore mais importantes:

1. Idade da árvore (*t*)

É o número de anos da árvore. No caso de uma plantação, a idade pode ser referida à germinação da planta no viveiro ou à data da plantação. Por vezes utilizam-se os termos idade desde a semente e idade desde a plantação para indicar a qual das idades nos estamos a referir.

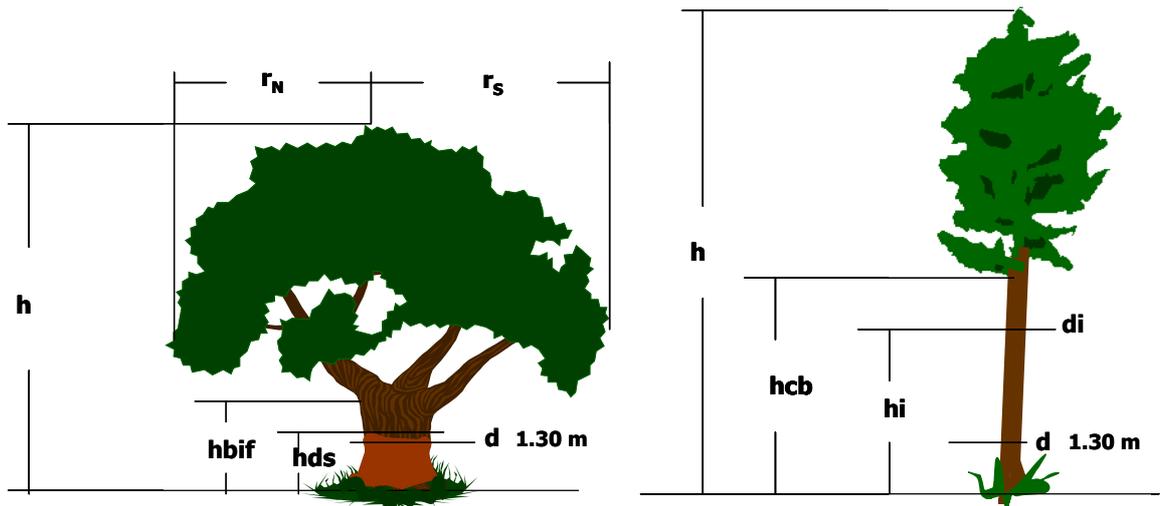


Figura 1.4. Algumas das variáveis dendrométricas da árvore.

2. Diâmetro à altura do peito (d)

O diâmetro à altura do peito é o diâmetro de um círculo com uma área igual à área da secção da árvore a 1.30 m do solo.

3. Área basal ou área seccional (g)

É a área da secção da árvore a 1.30 m do solo.

4. Altura total (h)

É a altura medida desde a base da árvore até ao fim do último lançamento.

5. Altura da base da copa (hcb) e altura da bifurcação ($hbif$)

A altura da base da copa costuma ser definida de modo diferente, consoante se trate de árvores com porte ereto (tipo pinheiro bravo) ou com uma copa ramificada (tipo sobreiro). No primeiro caso, a altura da base da copa é a altura desde a base da árvore até ao início da copa, sendo esta definida geralmente como o ponto do tronco no qual se inserem ramos vivos em, pelo menos, 3 quadrantes. Alternativamente, a base da copa pode ser definida como o ponto do tronco no qual se insere mais do que um ramo vivo. No caso das árvores com uma copa ramificada costuma definir-se a altura da base da copa como a altura desde a base da árvore até à linha imaginária que delimita inferiormente a copa, utilizando-se os termos “altura da bifurcação” para designar a altura desde a base da árvore até à parte superior do início da bifurcação do tronco, e “altura do fuste” para designar a altura desde a base da árvore até à

parte inferior do início da bifurcação do tronco (figura 1.5). No caso do sobreiro é ainda de interesse a altura de descortiçamento no fuste (hds) e, se pertinente, o comprimento de descortiçamento nas pernadas ($lbrid$), o qual é medido pelo lado exterior. A altura de descortiçamento total (hdt) é a soma da altura de descortiçamento no fuste com o comprimento de descortiçamento de cada perna descortçada. A altura de descortiçamento vertical (hdv) é a altura desde a base da árvore até à maior altura a que a árvore se encontra descortçada.

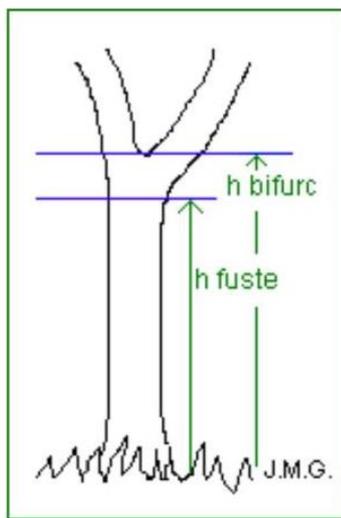


Figura 1.5 – Altura do fuste (h_s) e altura da bifurcação ($hbif$)

6. Raios de copa ($crdi$)

O raio da copa segundo a direcção i é a distância desde o centro da árvore até ao limite exterior da copa na direcção i . Numa árvore medem-se geralmente 4 ou 8 raios da copa, geralmente segundo os pontos cardeais. Nas plantações, contudo, os raios da copa são medidos segundo a direcção da linha de plantação e a direcção perpendicular a esta.

7. Pares (diâmetros, altura) a diferentes alturas do tronco (d_i, h_i)

A avaliação do perfil do tronco faz-se com base na medição de sucessivos pares (diâmetro, altura) a diferentes alturas do tronco (veja-se a figura 1.4)

8. Volume total (v)

O volume da árvore é o volume correspondente ao tronco da árvore. No caso das árvores com copa ramificada, considera-se o volume do tronco apenas até à altura do fuste. Quando a árvore possui pernadas de grandes dimensões (por exemplo, no sobreiro ou na azinheira), pode ainda calcular-se o volume das pernadas ou mesmo das braços de 1ª e 2ª ordem, devendo, nestes

casos, definir-se um diâmetro limite para além do qual as pernas/braças já não são consideradas para o cálculo do volume, o qual se designa então por *vd_i*.

9. Biomassa total (*w*)

Corresponde à biomassa total da árvore, com as suas diferentes componentes: lenho, casca, ramos, folhas e raízes.

10. Área foliar (*la*)

Corresponde à área total de folhas existentes na árvore.

Em inventário florestal estas variáveis podem ser medidas em todas as árvores ou só em algumas, designadas por “árvores modelo”.

No capítulo 3 serão descritos os diferentes métodos disponíveis para a avaliação destas variáveis, descrevendo-se ainda outras variáveis dendrométricas da árvore que aqui não foram referidas.

1.2.4 Variáveis dendrométricas do povoamento (por unidade de área)

As variáveis do povoamento são definidas com base nas variáveis da árvore, obtendo-se simplesmente pela respetiva soma ou média de todas as árvores do povoamento. Segundo a nomenclatura da IUFRO (Van Soest *et al.*, 1965) as variáveis do povoamento são designadas por letras maiúsculas, exceto se se referirem a uma média. Veja-se, mais uma vez, a simbologia adotada pelo ForChange (Soares e Tomé, 2007).

As variáveis do povoamento são referidas ao hectare, com exceção dos casos em que se tratam de médias de variáveis das árvores que constituem o povoamento. Nos casos em que, como já foi referido, seja necessário calcular o valor de uma variável para todo o povoamento, este valor é obtido por multiplicação do valor da variável por ha pela área do povoamento. Para obter o valor de uma variável por ha num determinado local do povoamento, podem utilizar-se 3 métodos, os quais serão estudados em detalhes nos capítulos 4, 5 e 6: 1) medição de todas as árvores dentro de uma determinada área, a parcela de amostragem; 2) medição das *n* árvores mais próximas do ponto de amostragem; 3) medição de um conjunto de árvores em redor do ponto de amostragem, com probabilidade de medição proporcional à respetiva dimensão (método de Bitterlich).

Passamos a definir as variáveis dendrométricas do povoamento mais importantes:

1. Idade do povoamento (*t*)

A idade do povoamento só tem sentido em povoamentos regulares, sendo neste caso igual à idade das árvores que o constituem. Daí a designação desta variável com uma letra minúscula.

2. Área basal do povoamento (G)

É a soma da área seccional das árvores do povoamento, referida ao ha.

3. Número de árvores por ha (N)

É o número de árvores que existem no povoamento, referido ao ha.

4. Diâmetro quadrático médio (dg)

É o diâmetro correspondente à árvore média, avaliado com base na área seccional média.

5. Altura média (\bar{h}), altura da árvore média (hg) e altura dominante ($hdom$)

A altura média do povoamento é a média aritmética das alturas das árvores do povoamento e a altura da árvore média é uma avaliação da altura da árvore média do povoamento, avaliada mais uma vez com base na área seccional média. A altura dominante é uma variável que é essencial para avaliar a capacidade produtiva da estação e que é definida como a altura média das árvores dominantes do povoamento. As árvores dominantes do povoamento são as árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare. Assim, e exemplificando, numa parcela de 500 m² as árvores dominantes serão as 5 árvores mais grossas. Como se verá no capítulo 4, no caso dos montados de sobro e nos povoamentos de pinheiro manso, com densidades muito baixas, a altura dominante é baseada nas 25 árvores mais grossas por hectare.

6. Volume total do povoamento (V)

Corresponde à soma do volume total de todas as árvores do povoamento, referida ao ha.

7. Biomassa total do povoamento (W)

Corresponde à soma da biomassa total de todas as árvores do povoamento, referida ao ha.

8. Índice de área foliar (Lai)

Corresponde à soma da área de folhas de todas as árvores do povoamento expressa por unidade de área.

1.2.5 Avaliação de indicadores de gestão florestal sustentável

O conceito mais abrangente de gestão florestal sustentável, o qual implica a gestão integrada de todo o ecossistema florestal de forma a garantir que as suas múltiplas funções estejam asseguradas no futuro, tornou-se mais evidente na Europa na sequência das Conferências Ministeriais para a Proteção das Florestas nas quais os responsáveis pelas florestas europeias foram adotando sucessivas resoluções que garantissem o caminho para uma gestão florestal mais sustentável.

Na Terceira Conferência Ministerial, realizada em Lisboa em 1998, adotou-se uma resolução designada “Critérios, Indicadores e Linhas Orientadoras ao Nível Operacional Pan-Europeus, para a Gestão Florestal Sustentável” (Liaison Unit Lisbon, 1998), na qual se definiram os 6 critérios que, desde então, têm sido utilizados para a análise da sustentabilidade da gestão florestal:

1. Manutenção e aumento apropriado dos recursos florestais e o seu contributo para os ciclos globais do carbono
2. Manutenção da saúde e vitalidade dos ecossistemas florestais
3. Manutenção e fomento das funções produtivas das florestas (lenhosas e não lenhosas)
4. Manutenção, conservação e fomento apropriado da diversidade biológica nos ecossistemas florestais
5. Manutenção e fomento apropriado das funções protetoras na gestão das florestas (principalmente solo e água)
6. Manutenção das outras funções e condições sócio-económicas

No âmbito de cada critério foram definidas as “áreas conceptuais” a ter em conta, assim como sugeridos alguns indicadores quantitativos e descritivos que podem ser utilizados para avaliar de que modo a gestão florestal está ou não a modificar as funções da floresta relacionadas com a respetiva “área conceptual”. Um exemplo de “área conceptual” é o balanço de carbono, à qual correspondem, entre outros, o indicador quantitativo “carbono total armazenado e alterações no armazenamento dos povoamentos florestais” e o indicador descritivo “existência e capacidade de um quadro institucional que desenvolva programas para o aumento do uso de produtos florestais para energia”.

Na Conferência Ministerial de Viena, realizada em 2003, definiram-se, com maior detalhe, um conjunto de indicadores operacionais destinados a operacionalizar a avaliação da gestão florestal sustentável com base em indicadores (Liaison Unit Vienna, 2003).

Os indicadores propostos nos documentos citados são apenas um “guião” que deve ser tido em conta ao definir os objetivos e condicionantes de cada caso a que se faça a sua aplicação. Na tabela 1.2 resumem-se, a título de exemplo, os indicadores que foram testados no projeto FORSEE (gestion durable des FORêts : un réSeau de zonEs pilotEs pour la mise en œuvre opérationnelle, ver site <http://www.iefc.net>) para a avaliação da gestão florestal a nível regional. Estes indicadores foram selecionados a partir de três fontes: 1) dentre os propostos pela Conferência Ministerial de Viena; 2) dentre os propostos pelo IPCC; 3) indicadores propostos pelos grupos de trabalho do projeto.

Tabela 1.2. Lista dos indicadores selecionados para o projeto FORSEE

| Critério | Código | Descrição |
|-------------------------|---|---|
| 1 – Recursos florestais | C1.1 | Área florestal – área de floresta e de outras formações lenhosas, classificada por tipo de floresta e por disponibilidade para o fornecimento de madeira e correspondentes percentagens em relação ao total |
| | C1.2 | Stock em pé – volume em pé na floresta e noutras formações lenhosas, classificado por tipo de floresta e por disponibilidade para o fornecimento de madeira |
| | C1.4 | Stock de carbono C1.4.1. Nas árvores (acima do solo e nas raízes) C1.4.2. Nos solos C1.4.3 Na madeira morta C1.4.4 Na folhada C1.4.5 No sub-bosque |
| | 2 | C2.4 |
| 3 – Funções produtivas | C3.1 | Acréscimos e cortes |
| | C3.2 | Madeira redonda extraída (volume e valor) |
| | C3.3 | Produtos não-lenhosos |
| | C3.5 | Área de floresta com plano de gestão |
| | C3.6 | Acessibilidade |
| | C3.7 | Facilidade de extração de madeira |
| 4 – Diversidade biótica | C4.1 | Composição da floresta – espécies florestais |
| | C4.2 | Regeneração |
| | C4.3 | Proximidade da natureza |
| | C4.4 | Área de espécies exóticas |
| | C4.5 | Madeira morta |
| | C4.7 | Padrão da paisagem (landscape pattern) |
| 5 – Funções protectoras | C5.1 | % do comprimento das linhas de água com vegetação ripícola |
| | C5.2 | Risco de erosão USLE |
| | C5.3 | Características do solo C5.3.1. Stock de carbono e capacidade de retenção de água C5.3.2. Estado nutritivo da camada superficial |
| | C5.4 | Distúrbios no solo C5.4.1. Distúrbios no solo provocados por ações de gestão C5.4.2. % de solo com diferentes tipos de distúrbio |
| | 6 – Outras funções e condições sócio-económicas | C6.1 |
| C6.3 | | Receita líquida |
| C6.4 | | Gastos com serviços |
| C6.5 | | Mão de obra no sector florestal |
| C6.6 | | Saúde e proteção no trabalho |
| C6.10 | | Acesso para recreio |
| C6.12 | | Valor económico total da floresta |

A aplicação e operacionalização dos critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável em Portugal ao nível da unidade de gestão encontra-se especificada na Norma Portuguesa NP 4406 (CT 145, 2003).

1.3 O papel da amostragem na caracterização dos povoamentos

Em pequenas áreas florestais pode fazer-se um inventário exaustivo da totalidade da área, como foi o caso dos inventários realizados até aos anos 70 para a preparação do plano de ordenamento de algumas florestas da Europa, nas quais uma equipa de 5 homens inventariava entre 10 a 15 ha por dia. A exatidão das avaliações era, neste caso, muito alta, mas, como é óbvio, o método torna-se impraticável para grandes zonas florestais. É por este facto que a maior parte dos inventários florestais implica a realização de uma amostragem, ou seja, a observação de uma parte da área a inventariar e posterior generalização à totalidade da área. É importante que se tenha este facto presente, especialmente na interpretação dos resultados de um inventário. Como veremos no capítulo 7, o resultado de uma amostragem é apenas uma estimativa do parâmetro da população que se pretende avaliar, sujeito portanto ao erro de amostragem, e como tal deve ser interpretado.

Para efeitos de delineamento da amostragem é essencial definir a unidade de amostragem ou elemento da população a amostrar. Embora a árvore surja como o indivíduo que constitui o povoamento, do ponto de vista prático seria impossível utilizar a árvore como unidade de amostragem, quer pela dificuldade de encontrar um método adequado para seleccionar a amostra, quer pela subsequente dificuldade de localizar os elementos da amostra no campo ou ainda porque seria difícil generalizar os resultados para o povoamento (implicaria saber o número total de árvores no povoamento).

Assim, surgem diversos métodos para a avaliação de variáveis dendrométricas por unidade de área, geralmente o hectare. Quando seja pertinente obter o valor de uma variável para todo o povoamento basta multiplicar o valor por ha pela área. Existem diversos métodos para avaliar variáveis por unidade de área, vulgarmente designadas por variáveis do povoamento:

1) inventário tradicional ou por parcelas de amostragem

No inventário tradicional a amostragem é baseada na divisão da população em parcelas de amostragem, sendo a amostra constituída por um subconjunto da totalidade das parcelas existente na população. Em cada local seleccionado para realizar uma medição, estas incidem sobre todas as árvores incluídas numa parcela de terreno com uma determinada forma e área pré-definidas. Os problemas relacionados com o inventário por parcelas de amostragem serão abordados no capítulo 4.

2) amostragem pontual com um número fixo de árvores

Na amostragem pontual não há delimitação de parcelas no campo. Um dos métodos de amostragem pontual baseia-se na medição das n árvores mais próximas de cada ponto selecionado para realizar uma medição, assim como da distância do ponto de amostragem à n -ésima árvore medida. Esta distância permite calcular a área de uma parcela fictícia que inclui as n árvores medidas. Como veremos no capítulo 5, este método leva a estimativas enviesadas por excesso, especialmente se o número de árvores medidas for pequeno, mas existem métodos para corrigir, ou pelo menos minimizar, o enviesamento. Este método é bastante prático quando os povoamentos têm uma estrutura espacial irregular.

3) amostragem pontual pelo método de Bitterlich

No método de Bitterlich as árvores a medir em cada ponto de amostragem são selecionadas em função da sua dimensão e o valor das variáveis dendrométricas por hectare avaliado diretamente em cada ponto de amostragem, através de metodologia que será apresentada no capítulo 6.

4) Outros métodos como sejam a amostragem 3P, ou amostragem proporcional a uma predição e a amostragem proporcional à importância, as quais saem fora do âmbito destes apontamentos.

O inventário por parcelas de amostragem é, sem dúvida, o método mais utilizado em Portugal, embora a amostragem pontual com base num número fixo de árvores seja também aplicado, nomeadamente no inventário da qualidade da cortiça. O método de Bitterlich é a base dos inventários realizados em diversos países da Europa Central e do Norte da Europa, pelo que será também tratado com algum detalhe.

1.4 Monitorização dos povoamentos florestais

Com exceção de alguns inventários que se realizam uma única vez (por exemplo, um inventário para avaliação da madeira para efeitos de venda), os inventários são vulgarmente repetidos ao longo do tempo, com o objetivo de avaliar as alterações verificadas entre as medições, com a consequente avaliação de acréscimos e perdas. Para além da evolução das áreas dos estratos, devem ainda avaliar-se as alterações no que diz respeito às diversas características das árvores (diâmetro, altura, volume, etc.) e dos povoamentos (composição, densidade, qualidade, distribuição de diâmetros, área basal, volume, etc.) e, em particular, devem avaliar-se as alterações nos indicadores de gestão florestal sustentável.

1.4.1 Avaliação de acréscimos

Existem diversos métodos para fazer a atualização dos inventários, consoante o modo como se realizam as amostragens em que os sucessivos inventários se baseiam:

1. Inventários sucessivos independentes

Este método baseia-se em amostragens sucessivas delineadas independentemente umas das outras, pelo que apenas podemos obter avaliações brutas do acréscimo do povoamento (sem contabilização da mortalidade ou dos cortes), uma vez que não se voltam a medir as mesmas unidades de amostragem, nem as mesmas árvores. O acréscimo é estimado, neste caso, pela diferença entre dois inventários sucessivos, incluindo portanto os erros de amostragem de ambos os inventários.

2. Método do controle

Neste método não é efetuada amostragem, fazendo-se em cada inventário a medição exaustiva de toda a área florestal. O método conduz a avaliações bastante corretas do acréscimo, permitindo inclusive incluir os cortes, mas, como é evidente, só pode aplicar-se em áreas florestais reduzidas, de exploração intensiva. Contudo, e como já foi mencionado, este método ainda foi utilizado em algumas florestas intensivamente ordenadas da Europa Central.

3. Inventário florestal contínuo

Esta designação corresponde à realização de inventários sucessivos baseados numa única amostragem, ou seja, em cada inventário são medidas as parcelas já medidas no primeiro inventário (parcelas permanentes). As avaliações do acréscimo são, deste modo, bastante mais precisas, mas a amostra é sempre a mesma todos os anos ou num determinado número de anos, pelo que a área florestal "visitada" no conjunto de vários inventários sucessivos é bastante inferior em relação aos inventários sucessivos independentes. Além disso há uma tendência para tratar duma maneira especial as parcelas permanentes, pelo que as avaliações nelas baseadas tendem a tornar-se enviesadas com o tempo.

4. Inventário contínuo com reposição parcial (Ware e Cunia, 1962)

Neste tipo de inventário as amostras obtidas nas sucessivas ocasiões não são totalmente coincidentes, mas estão relacionadas umas com as outras, sendo algumas das unidades da primeira amostragem selecionadas como parte de todas as amostragens posteriores (parcelas permanentes). Obtém-se deste modo uma avaliação dos acréscimos bastante mais precisa do que com os inventários independentes, mas um pouco inferior à obtida com o inventário florestal contínuo. No entanto, a estimação do volume num determinado instante é muito mais precisa

neste tipo de inventário do que no inventário florestal contínuo. Em Gregoire (2005) pode consultar-se uma lista de bibliografia sobre o tema.

1.4.2 Avaliação de percas

Entre dois inventários ocorrem percas nos povoamentos: abates (desbaste e corte final), pragas e doenças, fogos, etc. A proporção de ocorrência destes eventos, em relação com a área florestal total, é geralmente pequena, pelo que a precisão com que esta informação é obtida apenas com base na análise que é feita nas parcelas de inventário é menor do que a que se consegue para a caracterização dos povoamentos.

A avaliação das percas é assim frequentemente realizada em estudos paralelos, sendo muitas vezes obtida por processos indirectos. Um exemplo é a cartografia anual de incêndios florestais que é realizada, desde há alguns anos, pelo Instituto Superior de Agronomia (Grupo de Detecção Remota e Análise Geográfica) por encomenda da Direcção Geral das Florestas. Esta cartografia, realizada com base em classificação de imagem de satélite, pode ser usada para avaliar as percas devidas a fogos.

Um outro exemplo é a avaliação dos cortes realizada, em muitos países da Europa, a partir das declarações de corte de madeira que são feitas pelos proprietários.

1.4.3 Monitorização de indicadores de gestão florestal sustentável

O valor dos indicadores de gestão florestal sustentável está associado à monitorização de recursos florestais. Em muitos casos, não é o valor absoluto do indicador que avalia a qualidade da gestão proposta mas sim o efeito que a aplicação de uma determinada ação de gestão teve num conjunto de indicadores que são afetados por essa medida de gestão. Mesmo no caso daqueles indicadores para os quais haja um “valor padrão”, e em que se tenha detetado um afastamento não desejável desse valor padrão, a avaliação da adequação das medidas corretivas de gestão propostas só será possível por comparação do valor dos indicadores em dois momentos temporais.

A correta monitorização de indicadores de gestão florestal sustentável implica o recurso a inventário florestal contínuo ou, pelo menos, a inventário contínuo com reposição parcial.

1.5 Erros de observação e medição

Existem sempre erros associados ao ato de medir um objeto. Durante a realização de um inventário florestal são realizadas diversas medições, desde as medições das árvores efetuadas no campo, até à medição de áreas no campo ou sobre mapas ou fotografias aéreas (ortoretificadas ou não).

Todas estas medições poderão estar, em maior ou menor grau, afetadas por erros. Estes erros são de extrema importância para a correção dos resultados do inventário. Como já vimos, em consequência do facto dos inventários serem realizados com base em amostragem, os resultados de um inventário florestal são sempre apresentados sob a forma de um intervalo de confiança, ou seja, como uma estimativa do valor médio da variável em questão (geralmente volume) e de um erro associado. É importante reter que este erro se refere apenas ao erro de amostragem, o qual é calculado com base na hipótese de que não existem erros associados às medições. A verdade é que, pelo contrário, os erros associados às medições podem ser de amplitude bastante grande e comprometer a correção do inventário, sem que, contudo, o seu valor seja geralmente referido nos resultados do inventário. É assim de grande importância conhecermos quais os tipos de erros que mais vulgarmente se cometem em qualquer medição, os quais serão tratados neste capítulo, assim como os erros associados a uma medição particular, de modo a que estes erros sejam minimizados. Outro aspeto a considerar é o conhecimento (ou estudo) do erro que em média está associado a um determinado instrumento de medição. Se este erro for conhecido e se houver indicação dos instrumentos de medição utilizados nas diferentes etapas de um inventário florestal, o utilizador dos resultados do inventário, com base nesta informação, tem uma ideia do erro adicional que poderá estar associado ao inventário.

Neste capítulo faz-se a análise dos diversos tipos de erros de medição e observação que ocorrem durante um inventário florestal.

1.5.1 Causas dos erros de medição e observação

Antes de analisar as principais fontes de erro em inventário florestal, convém distinguir entre os termos ingleses “mistake” e “error”, ambos designados geralmente em português pelo termo “erro”, sendo necessário deduzir do contexto em que o termo está a ser utilizado se estamos perante um “mistake” ou um “error”. Talvez fosse preferível utilizar o termo “engano”, como tradução de “mistake”, e “erro” como tradução de “error”, mas, na prática, será difícil modificar a utilização do termo “erro” com ambos os significados.

A noção de “mistake” está associada ao conceito de “errado” ou “incorreto”, significando que a tarefa de medição foi realizada de modo totalmente errado ou que o registo do valor medido foi incorretamente feito. Por exemplo, o operador responsável pelo registo de dados no campo não ouviu corretamente o operador responsável pela medição e registou o valor 3 em vez de 13. Outro exemplo são os erros cometidos ao transcrever os dados de uma ficha de campo para formato digital. Este tipo de erros ocorrem sempre em qualquer inventário e o único método de os combater é através de uma realização bastante cuidada de todas as operações.

A noção de “error”, por seu lado, significa desvio em relação ao verdadeiro valor devido a imprecisões da medição, as quais podem ser devidas a (Loetsch *et al.*, 1973):

1. Incertezas do procedimento de medição

Regra geral, qualquer operação de medição inclui sempre uma certa margem de erro. A colocação da suta a uma altura ligeiramente acima ou abaixo da altura de referência ou os erros de arredondamento quando os dados são classificados em classes (em vez de registados individualmente) pertencem a este tipo de erros. Um exemplo simples é o da medição repetida diversas vezes de um determinado comprimento com a mesma fita métrica com precisão ao mm. Haverá pequenas diferenças entre as diversas medições.

2. Particularidades do objeto a ser medido

Os objetos medidos em inventário florestal não têm uma forma geométrica regular, o que dificulta a sua medição exata. Por exemplo, a secção da árvore a 1.30 m não é um círculo perfeito, sendo por vezes bastante irregular.

3. Imprecisões do aparelho de medição

Os aparelhos de medição estão sempre sujeitos a alguns erros. Por exemplo, todos os instrumentos que incluem sistemas óticos baseados em prismas (prismas de ângulos retos, hipsómetros de Blum-Leiss) apresentam sempre alguns desvios no ângulo de refração.

4. Influências físicas ou topográficas

As influências ambientais desempenham sempre um papel importante nas medições realizadas no campo. As alterações de temperatura podem produzir deformações nos aparelhos de medição que resultam em desvios importantes nas medições. Por exemplo, as fitas métricas, embora atualmente construídas em materiais bastante resistentes a variações de dimensão resultantes das variações de temperatura, apresentam sempre alguma variação para valores extremos de temperatura. A chuva também prejudica a visão aquando da utilização de certos aparelhos, e o vento, provocando oscilações nas árvores, dificulta ou, em casos extremos, impede a medição da altura das árvores.

5. Imperfeição dos sentidos humanos

A imperfeição dos sentidos humanos é particularmente importante quando as medições são realizadas com instrumentos óticos e o operador tem algum problema de visão.

Na prática, uma determinada operação de medição é afetada por diversas fontes de erro, sendo geralmente bastante difícil identificar as várias componentes do erro total de acordo com as respectivas fontes ou calcular o erro total a partir das suas diferentes componentes. Contudo, a identificação e separação dos erros de medição é fundamental para evitar interpretações incorretas. Nos pontos que se seguem, apresentam-se algumas considerações gerais, as quais são universalmente válidas para qualquer tipo de medição, sobre os tipos de erros e sua determinação, assim como a sua influência no resultado da medição.

1.5.2 Tipos de erros de medição e observação

Tendo em vista a influência que os erros podem ter no resultado de uma medição, os erros de medição e observação podem ser classificados do seguinte modo:

1. Erros sistemáticos

Consideram-se como erros sistemáticos todos os erros unilaterais (ou seja, por excesso ou por defeito) de amplitude regular e determinável, uma vez detetada a causa do erro. A amplitude, embora regular, pode ser constante ou variável. O erro que se comete na delimitação de uma parcela circular, em terreno plano, com uma corda com um comprimento ligeiramente superior ao pretendido, é um erro sistemático de amplitude constante. Já o erro cometido na delimitação de uma parcela circular numa encosta, sem realizar a correção do declive nas medições do raio, é também um erro sistemático, mas de amplitude variável, consoante o declive presente em cada raio segundo o qual se faz a medição.

Os erros sistemáticos, mesmo se de pequena amplitude, podem afetar grandemente os resultados de um inventário pois, em consequência do seu carácter unilateral, têm tendência a ser ampliados na generalização das medições que se fazem em cada parcela (ou ponto de amostragem) para toda a área que está a ser objeto do inventário. Contudo, quando detetados, podem, na maior parte dos casos, ser corrigidos nas medições futuras que se venham a realizar. Em alguns casos, é mesmo possível proceder à correção das medições posteriormente à sua realização.

2. Erros aleatórios

Os erros aleatórios são erros bilaterais (ou seja, numa mesma medição, tanto podem ocorrer por excesso, como por defeito) de amplitude aleatória. Por exemplo, os resultados repetidos da medição de um mesmo comprimento com o mesmo aparelho diferem sempre ligeiramente. As diferenças entre as medições são consequência dos erros aleatórios que lhe estão associados. Os erros aleatórios são caracterizados por: a) os desvios pequenos são mais frequentes que os

desvios grandes; b) a frequência dos desvios positivos é semelhante à frequência dos desvios negativos; c) não existe uma sequência cronológica entre desvios grandes e pequenos ou positivos e negativos.

De um modo geral, pode afirmar-se que a distribuição dos erros aleatórios é aproximadamente normal. Este tipo de erros ocorre em qualquer medição.

3. Erros aleatórios unilaterais

Os erros aleatórios unilaterais são, como o próprio nome indica, erros unilaterais mas de amplitude aleatória. Muitas vezes são o resultado combinado de um erro sistemático com um erro aleatório. A medição de um comprimento pode servir outra vez de exemplo. Se a fita métrica nunca estiver bem esticada, todas as medições serão afetadas por um erro por excesso de amplitude aleatória, uma vez que a curvatura da fita nem sempre será igual.

1.5.3 Os conceitos de enviesamento, exatidão e precisão

Como vimos no ponto anterior, os erros sistemáticos de medição e observação originam os desvios mais graves em relação ao valor correto. O termo “enviesamento” (“bias”, em inglês) refere-se a todos os tipos de desvios sistemáticos em relação ao valor correto, independentemente da sua causa. O enviesamento pode ocorrer quer na medição de uma variável, quer na estimação de um parâmetro da população. As principais causas do enviesamento numa medição são os erros humanos. Podem ocorrer erros humanos diversos, tais como erros de escrita, de audição, nos cálculos, etc., os quais, se forem sistemáticos, podem originar enviesamentos. Já no caso do erro de amostragem, o enviesamento na seleção das unidades de amostragem ocorre quando as unidades de amostragem (geralmente parcelas) não são representativas da população. Este problema, assim como o enviesamento originado pela utilização de métodos de estimação inconsistentes, será discutido com detalhe no capítulo 7, o qual trata da amostragem aplicada ao inventário florestal.

O enviesamento afeta obviamente a eficiência da informação facultada pelo inventário e deve ser eliminado através de um planeamento cuidadoso de todos os detalhes antes do início dos trabalhos.

Os termos “exatidão” e “precisão” (respetivamente “accuracy” e “precision” em inglês) são, por vezes, utilizados como sinónimos na linguagem corrente. Em inventário florestal, contudo, atribui-se um significado diferente a cada um destes termos. A qualidade de uma medição ou da estimativa de um parâmetro de uma população é influenciada por duas componentes: enviesamento e erro padrão (ou desvio padrão da média, “standard error” em inglês). O conceito de precisão cobre a influência do erro padrão. Numa medição, o erro padrão mede quão afastadas são medições sucessivas realizadas no mesmo objeto. Numa amostragem, o erro padrão depende, como veremos no capítulo 7, dedicado à amostragem, da variância da população e do número de observações.

O termo “exatidão” significa semelhança com o verdadeiro valor e reflete, de um modo global, a qualidade dos resultados do inventário. Compreende, assim, quer o enviesamento, quer a precisão. Loetsch *et al.* (1973). Encontramos um resumo da relação entre os dois termos na tabela 1.3.

O termo exatidão deve ser utilizado, portanto, para a definição do desvio em relação ao verdadeiro valor, causado quer pelo enviesamento, quer pelo erro padrão. O termo precisão, por seu lado, não tem qualquer relação com o enviesamento. A medida da precisão é o erro padrão. Uma medida da exatidão é a combinação do erro padrão e do enviesamento com base na fórmula da propagação dos erros (Loetsch *et al.*, 1973).

Tabela 1.3. Os conceitos de exactidão, precisão e enviesamento

| | Enviesamento | |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Erro padrão | Pequeno | Grande |
| Pequeno | exacto preciso | não exacto preciso |
| Grande | não exacto impreciso | não exacto impreciso |

1.6 Planeamento de um inventário florestal

O planeamento cuidado de um inventário florestal é essencial para garantir que o resultado do inventário serve os objetivos para o qual foi realizado. Discutem-se de seguida os diferentes aspetos que devem ser considerados durante o planeamento de um inventário florestal.

1.6.1 Definição de objetivos e caracterização da informação pretendida

Como já vimos, podemos realizar inventários florestais por diversas razões e com objetivos totalmente diferentes. Os objetivos de um inventário florestal vão influenciar definitivamente o

ênfase a dar a cada um dos elementos a recolher no inventário, pelo que uma definição clara dos objetivos é, com certeza, um bom ponto de partida para um inventário florestal bem sucedido. Convém, nesta fase inicial do inventário, reunir os técnicos responsáveis pelo inventário com os futuros utilizadores, de modo a que o inventário seja realmente planeado para os fins a que se destina.

Antes de planear a amostragem associada ao inventário e o trabalho de campo, é bastante importante caracterizar tão detalhadamente quanto possível a informação que se pretende, nomeadamente:

1. Listagem dos tipos de povoamentos em relação aos quais se pretendem resultados individualizados
2. Listagem das variáveis do povoamento a avaliar, as suas características (volumes com ou sem casca, limites das categorias de aproveitamento), e a precisão das medições associadas a esta avaliação. Deve também definir-se se a avaliação de acréscimos e percas é uma componente importante do inventário.
3. Fixação do erro de amostragem admissível (em %), bem como o nível de confiança a utilizar na amostragem. O erro admissível deve ser fixado de acordo com a utilização futura dos resultados do inventário; um erro demasiado grande torna inúteis os resultados, mas um erro menor do que o suficiente implica percas do ponto de vista económico.
4. Decisão sobre o tipo de apresentação de resultados pretendida: tabelas, divisão dos resultados por classes (de dimensão, por exemplo), unidades de medição, variáveis a reportar por ha e para a totalidade da área, etc. O tipo e escala de mapas que devem acompanhar os resultados do inventário, bem como os métodos de preparação e reprodução destes mapas, devem também fixar-se desde o início dos trabalhos.

1.6.2 Tempo e orçamento associados à realização do inventário

O tempo e orçamento disponíveis são extremamente importantes, pois condicionam todo o inventário. Deste modo, devem estar sempre presentes durante todo o planeamento.

Uma grande precisão nas estimativas (obtida quer à custa de medições mais precisas quer à custa do aumento da dimensão da amostra) é incompatível com a exigência de resultados a curto prazo. Há que encontrar uma solução que garanta uma precisão aceitável, sem alongar demasiado a duração do inventário. Na fase do planeamento, se dispusermos de um tempo limitado, há que planear todo o inventário de modo a estar acabado no tempo previsto com a maior precisão possível.

O problema põe-se de modo semelhante no que respeita ao orçamento: podemos ter de planear todo o inventário com base num orçamento disponível, de modo a obter a maior precisão possível, ou podemos planear o inventário para uma dada precisão e fazer então uma estimativa do custo. Diversos fatores influenciam o custo de um inventário. Por exemplo:

- Pessoal de diversos níveis (profissional, técnico, laboral) e os salários respetivos. Os custos com pessoal podem ser atribuídos de acordo com os tempos estimados para o trabalho preliminar de gabinete (fotointerpretação, preparação do trabalho de campo), o trabalho de campo e o trabalho final de gabinete (tratamento de dados e elaboração de relatórios).
- Número de veículos (ou outro equipamento de transporte) necessários e os respetivos custos.
- Gasóleo e custos de manutenção dos veículos.
- Aluguer ou compra de escritórios ou sede e compra da mobília e equipamento respetivo.
- Instrumentos técnicos de gabinete e de campo.
- Aquisição de fotografia aérea.
- Fichas de campo ou pda's para registo das medições.
- Alojamento das equipas de campo ou, eventualmente, aquisição de equipamento de campismo.
- Processamento dos dados.
- Preparação do relatório final.

1.6.3 Compilação e estudo de dados sobre a área a inventariar

Antes de mais, interessa definir exatamente os limites da área a inventariar, recorrendo, sempre que possível, a limites naturais tais como estradas, rios ou outras características topográficas que sejam facilmente identificáveis no campo e na fotografia aérea ou ortofotomapas. Se for importante apresentar os resultados do inventário de acordo com determinadas subdivisões da área total, estas subdivisões devem também ficar claramente definidas nesta fase. De qualquer modo, pode sempre proceder-se à subdivisão da área total em secções que permitam controlar melhor o trabalho do inventário.

É essencial compilar e analisar todos os dados existentes sobre a área em estudo, tais como inventários anteriores, relatórios, mapas e fotografia aérea. Se possível, deve fazer-se o reconhecimento da área a amostrar para tomar conhecimento com os tipos florestais existentes, os produtos florestais a avaliar, os limites de variação das existências, etc.; este reconhecimento é particularmente importante nos casos em que seja necessário fazer fotointerpretação. Em alguns casos (por exemplo em inventários de florestas tropicais), é também importante estudar os meios

de transporte disponíveis, pois podem ser importantes na definição dos meios de deslocação e procedimentos de campo.

1.6.4 Caracterização da informação pretendida

1.6.5 Decisões a tomar na fase de planeamento de um inventário

Lista-se de seguida um conjunto de decisões que devem ser tomadas na fase de planeamento do inventário florestal.

Seleção de uma metodologia para a produção de cartografia

Com o acesso generalizado às novas tecnologias, em particular aos sistemas de informação geográfica (SIG), a produção de cartografia é hoje um elemento indispensável de um inventário florestal. Deve fixar-se desde o início quais as diferentes cartas que o inventário deve produzir, as escalas e legendas respetivas, assim como a metodologia a utilizar na produção das cartas.

Aquisição de fotografia aérea e/ou de imagem de satélite para a produção de cartografia

Dependendo da metodologia selecionada para a produção de cartografia, será necessário adquirir fotografia aérea ou ortofotomapas e/ou imagens de satélite.

A fotografia aérea ou os ortofotomapas são, como veremos, de grande importância para o inventário florestal, pelo que a sua aquisição deve ser objeto de ponderação durante a fase de planeamento. Muitas das vezes, contudo, somos obrigados a utilizar fotografia aérea ou ortofotomapas obtidos com um objetivo diferente, pois a realização de um voo especialmente para o inventário aumentaria de tal modo os custos que estes se tornariam insustentáveis.

Em Portugal as fotografias aéreas eram, antigamente, tiradas pela Força Aérea e comercializadas pelos Serviços Geográfico-Cadastrais. As fotografias utilizadas nos Inventários Florestais Nacionais até 1990 eram obtidas sequencialmente para diferentes regiões do país, pelo que não existe, até essa data, nenhuma cobertura fotográfica completa do país. Estas fotografias eram a preto e branco, obtidas com filme infravermelho, e com uma escala média de 1:15000. Em 1985, a Associação das empresas de celulose (ACEL), com o objetivo de atualizar as áreas de eucalipto, realizou uma cobertura fotográfica parcial do país com filme pancromático e uma escala média também de 1:15000. Este voo cobriu o país num curto espaço de tempo, em fiadas Este-Oeste separadas de 10 km. Em 1990, a ACEL realizou a primeira cobertura aérea total do país com filme infravermelho falsa cor, ainda com uma escala de 1:15000. Em 1995, foi realizada, pelo consórcio CELPA (ex-ACEL), IF (Instituto Florestal) e CNIG (Centro Nacional de Informação Geográfica) uma

nova cobertura fotográfica total do país com filme infra-vermelho falsa cor, com uma escala média de 1:40000, posteriormente ampliada, para efeito de fotointerpretação, para uma escala média de 1:10000. Para além destes voos, cuja fotografia foi utilizada nos Inventários Florestais Nacionais, foram realizadas algumas coberturas fotográficas localizadas, algumas das quais são comercializadas pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE).

Definição de povoamentos em inventários para gestão florestal

No caso dos inventários para gestão florestal a definição dos povoamentos (também designados por talhões, estratos ou unidades de gestão) é feita na fase de planeamento do inventário, embora por vezes seja necessário fazer correções com base nos resultados das medições.

Definição da tipologia dos povoamentos ou de um sistema de classificação florestal em inventário florestal nacional ou regional

É nesta fase que, no caso de um inventário florestal nacional ou regional, se define a tipologia dos povoamentos florestais ou um sistema de classificação florestal que permita a subdivisão da floresta em classes ou estratos. É importante que se defina nesta altura a área mínima a que corresponde a individualização de um povoamento, assim como as características que definem cada um dos povoamentos considerados. Por exemplo, no Inventário Florestal Nacional português adotaram-se as seguintes definições para os estratos Floresta e Matos (DGRF, 2005a):

Floresta – extensão de terreno com área ≥ 5000 m² e largura ≥ 20 m, com um grau de coberto (definido pela razão entre a área da projeção horizontal das copas e a área total da parcela) $\geq 10\%$, onde se verifica a presença de arvoredos florestais que pelas suas características ou forma de exploração tenha atingido, ou venha a atingir, porte arbóreo (altura superior a 5 m), independentemente da fase em que se encontre no momento da observação, incluindo os seguintes tipos de uso florestal:

1. Povoamentos florestais, os quais se podem subdividir, de acordo com a composição, em: 1) povoamentos puros, quando só uma espécie é responsável por mais de 75% do coberto; 2) povoamentos mistos, quando, havendo várias espécies em presença, nenhuma atinge os 75% de coberto; neste caso, considera-se espécie dominante a que for responsável pela maior parte do coberto.
2. Cortes e Áreas Queimadas

3. Outras Áreas Arborizadas, extensão de terreno com área ≥ 5000 m² e largura ≥ 20 m que possuem uma das seguintes características: 1) com grau de coberto de 5-10%, onde se verifica a presença de espécies florestais que na maturidade atingem porte arbóreo; 2) com um grau de coberto $\geq 10\%$, nos casos em que se verifique a presença de espécies florestais que, devido às condições em que vegetam, não conseguem atingir os 5 m de altura; 3) onde vegetem espécies florestais de porte sub-arbóreo como, por exemplo, medronheiro e carrasco.
4. Matos – extensão de terreno com área ≥ 5000 m² e largura ≥ 20 m, com cobertura de espécies lenhosas de porte arbustivo, ou de herbáceas de origem natural, onde não se verifique actividade agrícola ou florestal, que podem resultar de um pousio agrícola, constituir uma pastagem espontânea ou terreno pura e simplesmente abandonado.

A figura 1.6 resume a classificação dos estratos que foi adotada no IFN 2005/2006. Mais detalhes podem ser vistos em DGRF (2005b).

Fotointerpretação e/ou classificação com base em imagem de satélite

O sistema de classificação florestal definido deve ser traduzido em regras que permitam simplificar e homogeneizar o trabalho dos fotointérpretes. É comum que estas regras sejam expressas sob a forma de uma chave, designada por chave de fotointerpretação, a qual permite a identificação progressiva do estrato com base na identificação de um conjunto hierárquico de características. Veja-se o exemplo apresentado na figura 1.6.

O treino dos fotointérpretes deve ser cuidadosamente planeado de modo a garantir a minimização dos erros de fotointerpretação, uma das mais importantes fontes de erro em inventários florestais, principalmente em inventários florestais nacionais ou regionais. Um grande auxiliar para o treino dos fotointérpretes é a constituição de uma biblioteca de estereogramas, ou seja, de pares estereoscópicos representativos dos diversos estratos que podem ocorrer na região em estudo, devendo cada estrato estar presente em mais do que um estereograma. Durante a fase de treino deve ser feita uma aferição dos critérios utilizados pelos diversos fotointérpretes, através da fotointerpretação de um conjunto de fotografias por todos os elementos da equipa, seguida de análise e discussão dos casos em que um mesmo estrato tenha sido classificado de maneira diferente por alguns dos elementos da equipa. É também importante seleccionar uma metodologia para avaliar os erros cometidos pelos diversos fotointérpretes recorrendo, por exemplo, a uma equipa de verificação que foto interprete, pela segunda vez, um subconjunto das fotografias ou à verificação de um subconjunto de fotografias (ou foto-pontos) no campo.

Seleção da metodologia para a avaliação de áreas

Já vimos que a avaliação correta das áreas ocupadas por cada um dos povoamentos ou tipos florestais previamente definidos é uma das principais condicionantes da exatidão dos resultados de um inventário. É na fase de planeamento do inventário que, ponderando o orçamento e o tempo disponíveis *versus* a precisão pretendida, assim como o método selecionado para a produção de cartografia, se opta por um método para a avaliação de áreas. Esta decisão é particularmente importante em inventários florestais nacionais ou regionais, já que, hoje em dia, a existência de cartografia é um requisito em qualquer inventário para gestão florestal. No caso de se optar por uma avaliação de áreas com base em amostragem qualitativa, todo o planeamento desta amostragem tem que ser realizado na fase de planeamento.

Delineamento da amostragem para a caracterização dos povoamentos e para a avaliação de serviços

O delineamento da amostragem para a caracterização dos povoamentos e para a avaliação de acréscimos é extremamente importante, podendo condicionar a precisão e exatidão dos resultados do inventário. Já vimos anteriormente qual a diferença entre precisão e exatidão. O resultado de uma amostragem é apresentado sob a forma de um intervalo de confiança ao qual está associado um determinado erro de amostragem (de acordo com o nível de confiança fixado). O termo “precisão” está associado à dimensão do erro de amostragem, não considerando os diversos enviesamentos associados à estimativa (erros de medição, etc.). O termo “exatidão”, pelo contrário, refere-se à totalidade dos erros. Embora estejamos interessados neste último, falamos mais frequentemente de precisão porque esta é facilmente determinada e, de certo modo, controlada através da dimensão da amostra e de um correto delineamento da amostragem, como veremos no volume III. Nós tentamos alcançar resultados exatos no inventário planeando a intensidade de amostragem necessária para garantir uma precisão previamente fixada e tentando eliminar ou reduzir o enviesamento ao mínimo.

Na preparação da amostragem há que considerar:

- A definição dos povoamentos ou estratos que se devem considerar em cada área, os quais são geralmente definidos de acordo não só com a composição, idade, densidade, etc. dos povoamentos, mas também com os próprios objetivos do inventário. Geralmente nos resultados de um inventário florestal para avaliação de madeira é apresentado um intervalo de confiança para cada espécie, pois não interessa considerar uma avaliação conjunta da existência em duas espécies distintas, por exemplo. Se, por outro lado, o objetivo do inventário for caracterizar os povoamentos para preparar o plano de gestão, interessa-nos avaliar separadamente cada povoamento, pois as técnicas de silvicultura a aplicar a cada um serão, obviamente, diferentes.

- Decidir sobre a utilização de amostragem convencional (por parcelas), amostragem pontual, baseada num número fixo de árvores ou no método de Bitterlich. No caso da amostragem por parcelas, há ainda que considerar a dimensão e forma das parcelas de amostragem e na amostragem pontual o número de árvores ou o fator de área basal.
- Decidir sobre o esquema de obtenção da amostra: aleatória ou sistemática.
- Seleção de um esquema de amostragem (a aplicar para o cálculo de cada variável): amostragem simples, amostragem estratificada, amostragem por fases, etc.. Em Loetsch e Haller (1973), por exemplo, podem ver-se uma série de exercícios com diferentes esquemas de amostragem. No capítulo 7 serão tratados com detalhe os esquemas de amostragem que nos parecem mais importantes para as aplicações mais comuns em inventário florestal.
- Estimação do número de unidades a amostrar em cada povoamento para que a estimativa final esteja dentro dos limites de precisão desejados.
- Distribuição das unidades de amostragem (nas fotografias, no campo, ou em ambos) para cada povoamento.

Seleção das metodologias para a caracterização dos povoamentos

Na fase de planeamento do inventário deve ficar definido qual o método a utilizar para a avaliação de cada variável, venha ela a ser obtida por medição direta ou indireta ou por estimação com equações de regressão. No caso de avaliações por medição, deve ser selecionado, para cada variável, um aparelho de medição e fixada a precisão de registo dos dados. Por exemplo: “as alturas das árvores serão medidas com um hipsómetro VERTEX e os dados registados com precisão ao décímetro.

Seleção das metodologias para a avaliação de serviços

A avaliação de outros recursos e características florestais, tais como recursos faunísticos, produção de produtos não lenhosos, avaliação de recursos de lazer, etc., são, cada vez mais, um requisito para a gestão florestal sustentada. Há que definir as metodologias mais adequadas para a avaliação destes recursos, as quais são, nalguns casos, particularmente difíceis de planear uma vez que não têm sido objeto de avaliação nos inventários tradicionais.

Preparação do protocolo para as medições de campo e treino das equipas de campo

A preparação cuidada de um protocolo de campo, que contemple a descrição detalhada de todas as operações que a equipa de campo deverá efetuar, é um fator essencial para o sucesso do inventário, em particular da caracterização dos povoamentos e da avaliação de acréscimos. Este protocolo deve prever todas as dificuldades que a equipa possa vir a encontrar e apresentar a solução para cada uma delas. Deve ainda dar um particular ênfase à descrição dos erros que é mais vulgar cometer em cada operação, de modo a garantir que estes erros sejam evitados pela equipa durante a realização do trabalho de campo. O protocolo de campo utilizado no projeto FORSEE (Faias et al. 2005) é um bom exemplo uma vez que foi preparado para um inventário que contempla a estimação de uma grande variedade de informação não dendrométrica.

O treino das equipas de campo é também, como é óbvio, essencial para o sucesso do inventário. Este treino deve iniciar-se por algumas exposições teóricas que permitam aos elementos das equipas ficar com uma ideia dos trabalhos envolvidos no inventário. Em seguida deverá ser feita uma cuidadosa apresentação do manual de campo, esclarecendo quaisquer dúvidas que possam surgir. Só então se deverá iniciar o treino de campo propriamente dito, durante o qual cada equipa deverá ser responsável pela medição de parcelas em cada um dos diversos tipos de povoamentos presentes na região. O papel do chefe de cada uma das equipas de campo é bastante importante na coordenação dos trabalhos futuros, assim como para a aferição dos critérios utilizados pelas diferentes equipas. Esta deve ser feita através da medição de um conjunto de parcelas por todos os chefes de equipa, com análise e discussão dos critérios a utilizar. Os chefes de equipa ficarão então responsáveis pela aferição do critério no interior da sua equipa, geralmente constituída por 2 a 3 membros (incluindo o próprio chefe de equipa).

É também importante selecionar uma metodologia para avaliar os erros cometidos pelas diversas equipas recorrendo, geralmente, a uma equipa de verificação responsável pela medição, pela segunda vez, de um subconjunto das parcelas. O objetivo do trabalho da equipa de verificação não é o de “castigar” as equipas que cometem erros, mas antes de detetar erros sistemáticos que podem ser corrigidos antes que o seu efeito comprometa os resultados do inventário.

Planeamento do apoio logístico

Durante a fase de planeamento do inventário, não se deve descurar o planeamento do apoio logístico necessário para a realização do inventário, nomeadamente:

1. Seleção e aquisição de aparelhos de medição;
2. Planeamento dos meios de transporte;
3. Planeamento do alojamento das equipas de campo;

4. Planeamento do sistema de comunicações a utilizar.

Definição da organização dos dados em computador e dos procedimentos de cálculo

Embora o tratamento de dados seja uma das últimas tarefas a realizar num inventário florestal, convém que o planeamento, quer da organização dos dados em computador, quer dos procedimentos de cálculo, seja pensado desde o início. Este planeamento antecipado pode traduzir-se em algumas vantagens.

A introdução de dados em suporte magnético pode ser realizada simultaneamente com a medição, desde que se utilizem computadores de registo de dados (tipo *Husky* ou *palmtops*). Neste caso, há que escrever os programas de recolha de dados ou, caso se opte por introduzir os dados com editor de texto, planear o formato dos dados. No caso de não se dispor deste tipo de ferramenta, o planeamento prévio da organização de dados em computador permitirá que a sua introdução em suporte magnético seja feita em simultâneo com o trabalho de campo, permitindo, por um lado, que sejam revistas algumas parcelas em que surgem dúvidas e, por outro lado, permitindo que o tratamento de dados se inicie imediatamente após a conclusão do trabalho de campo.

O planeamento antecipado dos procedimentos a utilizar no tratamento de dados permitirá detetar algumas falhas que, porventura, possam ocorrer no protocolo de medições antes do início dos trabalhos de campo, evitando o posterior “remediar” de falhas detetadas em fase posterior.

1.7 Perguntas sobre a matéria do capítulo

1. O conceito de inventário florestal
 - a) Defina inventário florestal
 - b) Diga quais os principais elementos que se podem recolher num inventário florestal e refira qual a importância relativa que os diversos elementos representam para o sucesso do inventário
2. Durante um inventário florestal podem ser recolhidos elementos de carácter diferente. Diga quais os principais elementos de um inventário florestal e discuta a importância relativa que se dá a cada um deles de acordo com os objetivos de um inventário particular. Concretize com dois exemplos.
3. “A correta definição dos objetivos de um inventário florestal é essencial para decidir sobre a importância a dar aos diversos elementos que se podem obter durante a sua realização”
 - a) Concorda com esta afirmação? Justifique, servindo-se para tal de alguns exemplos

- b) Quem é que deve definir os objetivos do inventário?
4. Planeamento de um inventário florestal
- a) “O sucesso de um inventário florestal depende definitivamente de um planeamento cuidadoso dos trabalhos a efetuar”
- b) Concorda com esta afirmação? Justifique
- c) Diga quais os diversos aspetos que devem ser ponderados durante o planeamento de um inventário
5. Variáveis dendrométricas
- a) Defina variável dendrométrica, explicando a diferença entre variáveis dendrométricas da árvore e do povoamento (ou por unidade de área)
- b) As variáveis dendrométricas da árvore podem ser avaliadas por medição direta, medição indireta ou estimação. Diga, recorrendo a um exemplo, o que entende por cada um destes processos de avaliação de variáveis dendrométricas da árvore
6. Métodos para a avaliação de variáveis dendrométricas por unidade de área
- a) Quais os métodos que conhece para a avaliação de variáveis dendrométricas por unidade de área? Explique, resumidamente, o que entende por cada um deles
- b) Quais as vantagens e inconvenientes de cada um dos métodos que referiu em a)?
7. O que entende por gestão florestal sustentável? No âmbito da avaliação da sustentabilidade da gestão florestal, explique o que são critérios e indicadores de gestão florestal sustentável.
8. “O conceito de monitorização é essencial para a avaliação de indicadores da sustentabilidade da gestão florestal”. Concorda com esta afirmação? Justifique.
9. “A avaliação de acréscimos é um dos elementos a obter em qualquer inventário florestal”.
- a) Concorda com esta afirmação? Justifique.
- b) Diga quais os métodos que conhece para a avaliação de acréscimos (atualização de inventários).
10. Explique qual a importância da amostragem para a avaliação de áreas e existências em inventário florestal. Concretize a sua explicação com um exemplo.
11. Existem sempre erros associados ao inventário florestal.
- a) Explique a diferença entre erro de amostragem e erros associados às medições.
- b) Explique os conceitos de enviesamento, exatidão e precisão.

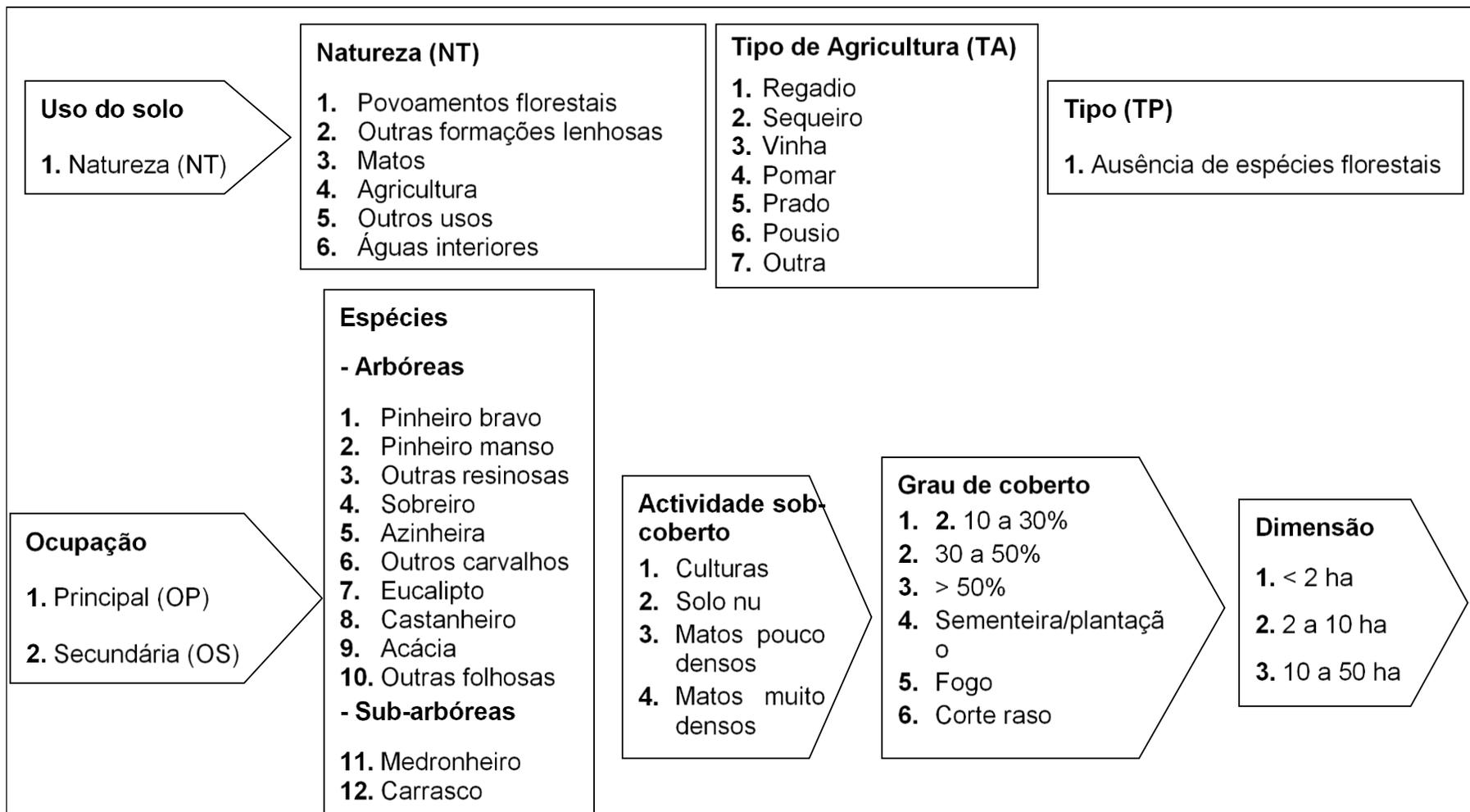


Figura I.6. Sistema de classificação utilizado na fotinterpretação do IFN 2005/2006

2 Informação não dendrométrica

A caracterização de povoamentos e matos é feita a partir das observações e medições realizadas em parcelas ou pontos de amostragem representativos da área que se pretende caracterizar. A informação registada é posteriormente processada, com recursos a cálculos mais ou menos complexos, de forma a produzir toda a informação necessária para a caracterização de uma área florestal a qual, no presente, inclui uma lista de indicadores de gestão florestal sustentável seleccionada para a área em estudo.

Tradicionalmente a informação recolhida dizia respeito essencialmente à medição das árvores com o objetivo de avaliar o volume disponível em cada povoamento. No presente, a informação que se pretende obter com um inventário florestal é cada vez maior face à necessidade de avaliar os diversos indicadores de gestão florestal sustentável definidos para a área em estudo. Daí que a informação não diretamente relacionada com as árvores tenha vindo a ganhar importância. Esta informação, por vezes designada por “não dendrométrica”, deve ser registada, quer nas parcelas coincidentes com o estrato “Floresta”, quer nas parcelas coincidentes com o estrato “Matos”. Da informação não dendrométrica faz parte, entre outra, a seguinte informação:

1. a identificação e caracterização da parcela de inventário
2. a caracterização do povoamento em que a parcela de inventário se insere
3. avaliação do sub-bosque
4. avaliação da estrutura vertical e da riqueza vegetal
5. avaliação da madeira morta
6. caracterização do solo e da folhada

A metodologia a utilizar na recolha da informação não dendrométrica não está, contudo, ainda tão estandardizada como acontece para o caso da informação dendrométrica. Neste texto optou-se por apresentar, a título de exemplo, alguma da informação dendrométrica registada no Inventário Florestal Nacional (DGRF, 2005) ou no protocolo de campo do projeto FORSEE (Faias et al., 2005). Os detalhes da informação a registar devem contudo ser analisados para cada inventário particular.

Nos pontos que se seguem será feita a análise da informação dendrométrica e não dendrométrica que é registada em inventários florestais, bem como a metodologia a utilizar para o respetivo processamento.

2.1 Identificação da parcela

A informação relativa à identificação da parcela é obtida durante o planeamento do inventário, complementada com informação do estrato com o qual a parcela coincide, obtida por cruzamento com a cartografia ou fotografia aérea selecionadas. A identificação da parcela inclui:

Número da parcela. Cada parcela é identificada através de um número ou código

Carta militar e concelho. Número da folha da Carta Militar (na escala de 1:25 000) e concelho onde a parcela se situa.

Coordenadas teóricas do centro da parcela. Determinadas a partir da localização planeada para as parcelas.

Estrato de fotointerpretação. Caso tenha sido realizada fotointerpretação, por pontos ou com delimitação, o estrato de fotointerpretação faz também parte da identificação da parcela

2.2 Acesso à parcela e tempos de trabalho

A caracterização da parcela ou ponto de amostragem inicia-se pela localização, no campo, do respetivo centro. A forma como se acedeu à parcela é a primeira informação a ser registada:

Data de medição. Data de instalação e medição da parcela

Local de Partida. Regista-se o ponto de partida, ou seja, o ponto selecionado na carta militar ou fotografia aérea, a partir do qual, se pretende atingir o centro da parcela.

Acessibilidade. A descrição da acessibilidade à parcela deve ser feita para a deslocação com e sem viatura:

1. Sem viatura:

- a) Boa – Quando a inclinação do percurso, os matos, a orografia ou a existência de obstáculos não dificultam o acesso às parcelas a pé;
- b) Má – Quando é difícil chegar a pé ao centro da parcela devido à existência de matos, rochas ou acidentes;
- c) Inacessível – quando é impossível alcançar o centro da parcela, devendo, nesse caso, identificar a causa da inacessibilidade (declive excessivo, mato excessivo, acesso negado, etc.)

2. Com viatura

- a) Boa – Quando se consegue chegar com a viatura a menos de 100 m do centro da parcela, por estrada de alcatrão ou estrada de terra de boa qualidade;

- b) Má – Quando, com viatura, é impossível chegar a menos de 100 m do centro da parcela e quando o acesso é em caminho de péssima qualidade.

Registo das coordenadas reais. Uma vez chegado ao centro da parcela, deve registar-se as coordenadas do centro com GPS e/ou azimute e distância do centro às três árvores mais próximas deste.

Tempos de trabalho. Para contabilização dos tempo de trabalho devem registar-se: a hora de início da deslocação para a parcela, a hora de chegada à parcela, assim como as horas do início e fim das medições.

2.3 Caracterização da mancha florestal

É muito importante que seja feita a descrição da mancha florestal onde a parcela se localiza, uma vez que esta poderá apresentar características difíceis de avaliar apenas com base nas medições efetuadas na parcela

2.3.1 Verificação da fotointerpretação

A verificação da fotointerpretação é efetuada para a confirmação do(s) estrato(s) fotointerpretado(s). A verificação da fotointerpretação refere-se à mancha (povoamento) na qual a parcela se insere, e não apenas à parcela em si. Para uma correta verificação da fotointerpretação, há que ter em conta a área mínima do estrato considerada, segundo as regras da fotointerpretação

Estrato verificado igual ao estrato fotointerpretado. A fotointerpretação está correta.

Estrato verificado diferente do estrato fotointerpretado. Neste caso podem verificar-se diversas situações:

1. Erro de fotointerpretação, se a parcela ocorrer numa mancha de área superior à área mínima do estrato considerada, cujo tipo florestal é diferente do registado na fotointerpretação;
2. Alteração do uso do solo, quando no período ocorrido entre a captação da fotografia e o trabalho de campo, ocorreu uma alteração da utilização do solo, por exemplo, para área social ou agricultura;
3. Conversão, quando no período ocorrido entre a captação da fotografia e o trabalho de campo, ocorreu uma substituição de espécie;
4. Fogo, quando no período ocorrido entre a captação da fotografia e o trabalho de campo, ocorreu um fogo;

5. Corte raso, quando no período ocorrido entre a captação da fotografia e o trabalho de campo, ocorreu um corte raso;

Note que em nenhum destes sete casos, houve erro de fotointerpretação.

2.3.2 Caracterização fisiográfica

Exposição. A exposição dominante é avaliada utilizando a bússola, segundo a linha de maior declive e de costas para a parte mais alta da parcela. É geralmente indicada de acordo com os pontos cardeais e colaterais: Norte (N); Sul (S); Nordeste (NE); Sudoeste (SO); Este (E); Oeste (O); Sudeste (SE); Noroeste (NO)

Altitude. A altitude é registada em metros (m), segundo o valor de altitude indicado pelo recetor GPS. Quando não existe GPS, a avaliação da altitude é efetuada pela transposição do centro da parcela para a carta militar.

Declive. O declive na parcela de amostragem é determinado através do hipsómetro Vertex, efetuando uma visada para a mira (transponder), colocada à altura dos olhos do observador, sempre segundo a linha de maior declive e registado em graus ($^{\circ}$). O declive poderá ainda ser determinado com os hipsómetros Blume-Leiss ou Haga ou com um clisímetro.

Situação fisiográfica. A situação fisiográfica refere-se à característica do terreno onde se localiza a parcela. Deve ser registada do seguinte modo: Vale (V); Encosta Inferior (EI); Encosta Superior (ES); Cumeada (C); Meia Encosta (ME); Planície (P).

2.3.3 Caracterização do povoamento onde a parcela se insere

Origem do povoamento. Deve ser registada informação relativa à origem do povoamento, que pode ser de regeneração natural ou artificial, quer seja por sementeira ou plantação.

Regime cultural. No que se refere ao regime cultural, considera-se o povoamento como sendo de “alto fuste” quando este provém de regeneração natural ou plantação ou sementeira. Será, no entanto, considerado como sendo “talhadia simples” quando for proveniente de rebentos ou pôlas de origem caulinar ou radicular e, por último, considerado como “talhadia composta” quando se verificar a presença simultânea de alto fuste e talhadia. Para o caso de espécies exploradas em regime de talhadia, assinala-se a rotação, com base na observação de alguns aspetos simples. Se a árvore se apresentar sem qualquer marca de rebentação de toiça, o povoamento estará, muito provavelmente, na sua primeira rotação. Se as árvores apresentarem rebentação de toiça, sem que haja qualquer vestígio de anteriores cortes de varas, é provável que o povoamento esteja na sua segunda rotação. Por último, se as árvores apresentarem rebentação de toiça e vestígios de

anteriores cortes de varas, esse povoamento já terá experimentado três ou mais rotações. Se existirem dúvidas, poderá recorrer-se, sempre que possível, à inquirição local.

Estrutura. O povoamento é considerado “regular” quando todas as árvores que o constituem são da mesma classe de idade. No entanto, se se registar a presença de árvores pertencentes a diferentes classes de idade, o povoamento será considerado como sendo “irregular”. Note-se que um povoamento em que a maior parte das árvores são da mesma idade, ocorrendo um número pequeno de árvores de outra idade continua a ser classificado como regular. Pode ser útil classificar estes últimos povoamentos numa classe distinta, ficando:

- Povoamentos regulares
- Povoamentos regulares com algumas árvores de idade diferente
- Povoamentos irregulares

Classe de idade. Além da identificação das espécies presentes na parcela (na forma de árvore ou ceppo e seguindo as normas de fotointerpretação), deverá ser determinada a classe de idade, de acordo com os códigos previamente definidos. A tabela 1 exemplifica as classes de idade utilizadas no inventário florestal nacional.

Composição. O povoamento é considerado “puro” quando uma espécie ocupa mais de 75% do coberto e é considerado “misto” quando nenhuma das espécies ocupa mais de 75%.

2.3.4 Outras características

Fogo. Os indícios de fogo são assinalados conforme se verifique, ou não, a sua presença. No caso da existência de indícios de fogos, e sempre que possível, regista-se: a) o ano em que o ocorreu fogo; b) a danificação do arvoredado, segundo a classificação Parcial ou Total; c) a existência ou ausência de corte de arvoredado (Sim/ Não).

Erosão. Em terrenos declivosos podem verificar-se sinais de erosão, que se traduzem pela abertura de regos no terreno e descalçamento de toijas, por vezes com exposição de raízes. Deverá ser assinalado na ficha de campo, por estimativa ocular, o nível de erosão: “nula”, “pouco acentuada” ou “acentuada”.

Compactação. É necessário ainda indicar o nível de compactação: “nula”, “pouco acentuada”, “acentuada”. A compactação pode resultar do impacto da maquinaria florestal, presença de rede viária, lavouras, entre outras, devendo registar-se esta informação sempre que seja possível identificar a causa da compactação.

Pedregosidade. Deve assinalar-se se a pedregosidade é: “muita”, “média” ou “nula”.

Vestígios de fauna e/ou pastoreio. Os dejetos, as tocas, as pegadas e os rebentos na vegetação são considerados vestígios de presença animal, devendo esta ser registada. Se forem registados quaisquer outros vestígios para além dos acima citados, devem ser descritos em “outros”.

Tabela 1. Classes de idade e códigos utilizados no Inventário Florestal Nacional.

| | classe de idade (anos) | código |
|--|---|--------|
| povoamentos regulares | | |
| resinosas | 0-9 | 0 |
| | 10-19 | 1 |
| | 20-29 | 2 |
| | 30-39 | 3 |
| | 40-49 | 4 |
| | 50-59 | 5 |
| | 60 ou + | 6 |
| povoamentos de folhosas em regime de alto-fuste (inclui alfarrobeira) | plantações ou sementeiras recentes - <10 anos | P |
| | 10-35 jovem | Y |
| | 35-60 meia idade | M |
| | 60 ou + | A |
| povoamentos de folhosas em regime de talhadia e espécies de rápido crescimento em alto fuste ou talhadia | 0-3 | 10 |
| | 4-7 | 40 |
| | 8-11 | 8 |
| | 12-15 | 12 |
| | 16-19 | 16 |
| | >20 | 20 |
| povoamentos irregulares | irregular/jardinado | J |
| outras situações | cortes rasos | C |
| | povoamentos queimados | Q |

Linhas de água. As linhas de água, temporárias ou permanentes, devem se assinaladas.

Intervenções silvícolas. Deverá ser assinalada: a) a ocorrência, ou não, de desbaste, há mais ou menos de 5 anos; b) se, no geral, uma ou mais, espécies da parcela foi alvo de enxertia; c) a existência ou a ausência de poda ou desrama, monda ou limpeza, roça de mato, cortes rasos ou de algumas árvores; d) a presença de madeira empilhada nos arredores da parcela; e) a existência de resinagem, no caso de povoamentos de pinheiro bravo ou pinheiro manso.

Melhoramentos culturais necessários. A partir de uma avaliação da parcela florestal a inventariar, deve-se analisar a necessidade de se efetuar certas intervenções culturais.

2.3.5 Observações e inquirição local

Para a descrição ser o mais completa possível, devem ser incluídos todos os pontos que sejam definidos como sendo de interesse para a descrição das parcelas a inventariar.

A observação da parcela pode não permitir a obtenção de todo o tipo de informação necessária. Assim, a equipa de campo deve inquirir a população local sempre que isto seja possível e tomar nota da resposta. Neste ponto, encontram-se questões, tais como o registo da ocorrência de fogos há 10 ou 20 anos atrás, a preparação do terreno, a periodicidade da produção, a idade dos povoamentos, etc.

2.4 Caracterização da parcela de inventário

2.4.1 Tipo de parcela

A primeira avaliação a fazer é a comparação da parcela com a mancha florestal envolvente. Recorde-se que a fotointerpretação é sempre realizada com base numa área mínima, da ordem dos 0.2-0.5 ha, o que implica que a parcela, com uma área inferior à área mínima, nem sempre é idêntica ao povoamento envolvente. A parcela pode ser classificada como:

1. Povoamento, se a parcela é idêntica ao povoamento envolvente;
2. Clareira, se a parcela coincidir com uma clareira com uma área inferior à da área mínima de fotointerpretação;
3. Bosquete de outra espécie, se a parcela coincidir com um bosquete de outra espécie com uma área inferior à da área mínima de fotointerpretação.

2.4.2 Utilização do sub-coberto

Se o sub-coberto não for ocupado com espécies arbustivas, a classificação é geralmente feita de acordo com o seguinte critério: 1) caso se verifique a presença de culturas arvenses, hortícolas, etc., considera-se utilização agrícola; 2) caso se verifiquem ações de melhoramento da paisagem, nomeadamente recorrendo à sementeira de plantas enriquecedoras do pasto, considera-se pastagem artificial; 3) caso se verifiquem sinais de pastoreio sem qualquer intervenção humana na melhoria da pastagem, considera-se pastagem natural; 4) caso a ocupação do sub-coberto seja constituída por matos sem evidências de pastoreio, a classificação será a de matos.

2.4.3 Caracterização da diversidade vegetal da parcela de inventário

A caracterização do sub-coberto vegetal nos povoamentos florestais poderá ser efetuada de diferentes formas, dependendo das variáveis que se pretende analisar. Quanto mais detalhada for a caracterização do sub-coberto, mais completa será a caracterização dos povoamentos florestais.

Por “sub-coberto” entende-se a vegetação que cresce debaixo da copa das árvores adultas, geralmente constituída por espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas, líquenes e musgos. A caracterização do sub-coberto existente nos povoamentos florestais é justificada por:

- a) Permitir uma completa caracterização dos povoamentos como um ecossistema, e não só pela sua componente arbórea;
- b) Possibilitar uma avaliação aproximada das intervenções efetuadas nos povoamentos, bem como da sua intensidade;
- c) Dar uma visão aproximada do volume de biomassa (combustível vegetal) existente nos povoamentos, visto que a sua presença pode ser bastante relevante no que se refere à prevenção de incêndios, pela sua possibilidade para aproveitamento energético, para a caracterização da biodiversidade ou para análise da potencialidade do povoamento para cinegética.

2.4.4 Estrutura vertical do povoamento

Coberto por espécie. A estrutura vertical do povoamento é avaliada com base na análise de vários estratos definidos, segundo as classes de altura apresentadas no esquema da figura 1. Para cada estrato (classe de altura) indicam-se, por ordem decrescente de importância, as três primeiras espécies vegetais dominantes, bem como a respetiva percentagem de cobertura. Salienta-se que a mesma planta pode fazer parte de diferentes estratos de vegetação. A Tabela 2 permite uma melhor visualização do método utilizado.

Coberto total. Para cada classe de altura, regista-se a percentagem de cobertura total da vegetação, de acordo com o esquema da figura 2.

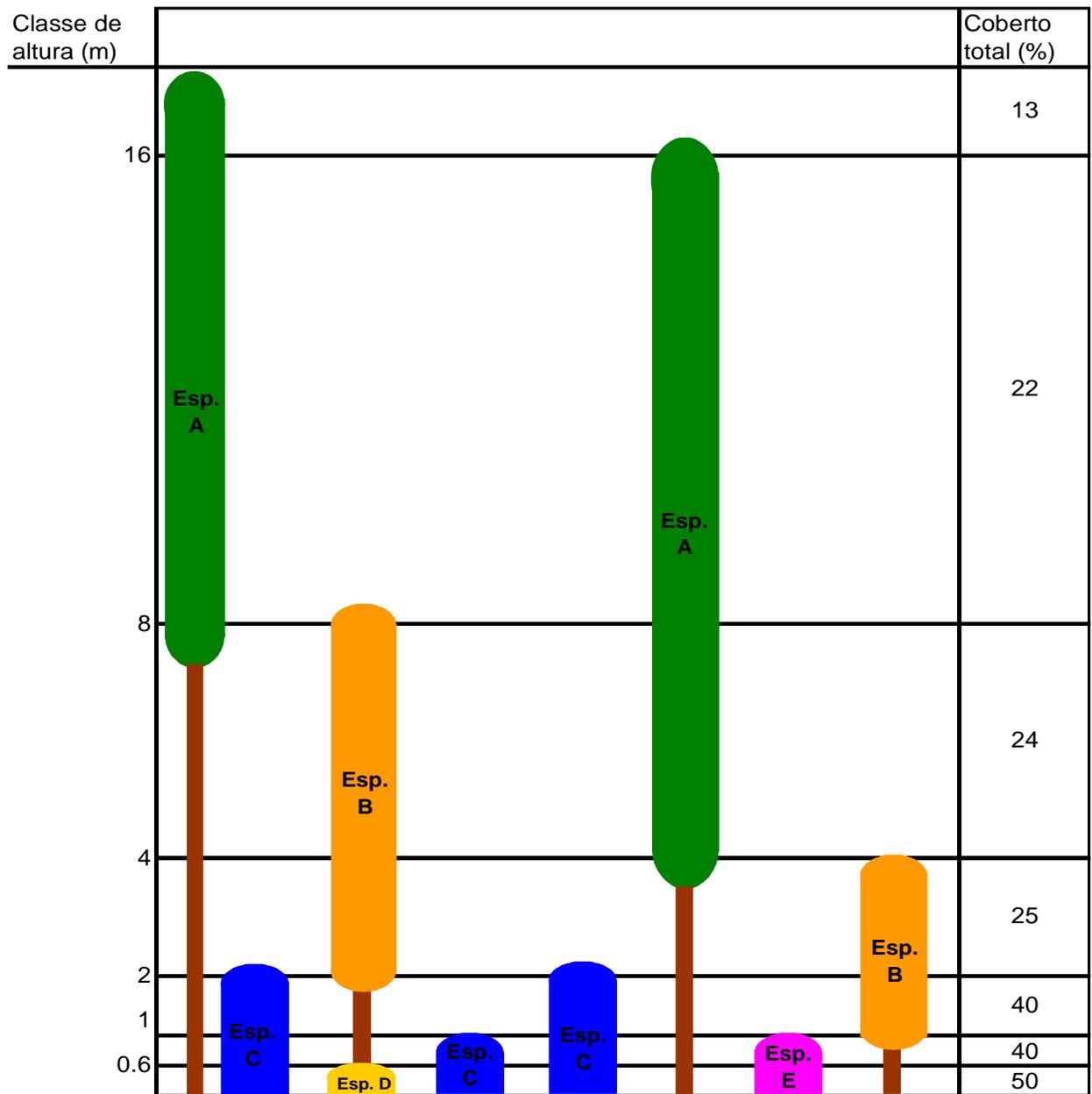


Figura 1. Coberto vegetal por espécie (DGF, 1999).

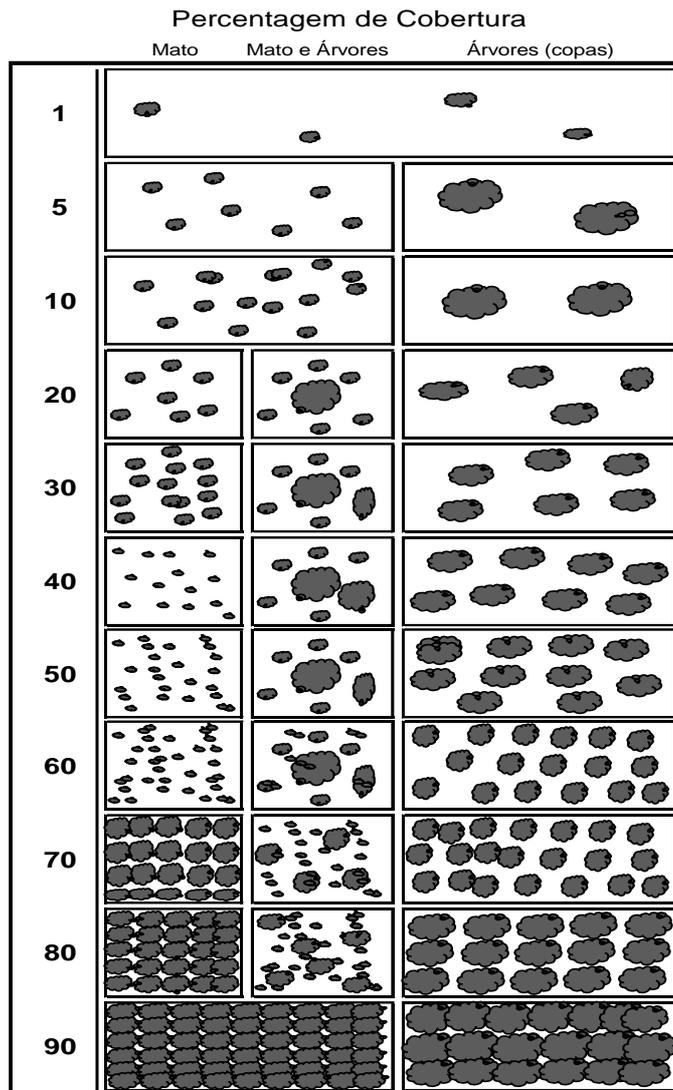


Figura 2. Percentagens de cobertura (DGF, 1999).

Tabela 2. Exemplo do coberto vegetal por espécie para uma parcela do IFN 1995.

| Coberto Total % | Coberto por Espécie | | | | | |
|-----------------|---------------------|----|---------|----|---------|----|
| | Espécie | % | Espécie | % | Espécie | % |
| 13 | A | 13 | | | | |
| 22 | A | 14 | B | 8 | | |
| 24 | A | 14 | B | 10 | | |
| 25 | B | 20 | A | 5 | | |
| 40 | C | 20 | B | 20 | | |
| 40 | C | 30 | E | 10 | | |
| 50 | C | 30 | D | 10 | E | 10 |

2.4.5 Regeneração

Consideram-se como “regeneração natural” as árvores com uma altura inferior a 1.30 m e aquelas cujo diâmetro à altura do peito (d) seja inferior a 75 mm (55 mm no caso do eucalipto) e que não tenham sido resultado de sementeira ou plantação, sendo estas últimas consideradas como “regeneração artificial”.

2.4.5.1 Regeneração natural

Tendo em conta toda a parcela analisa-se a regeneração natural e assinala-se a quantidade de regeneração de forma subjetiva, de acordo com a classificação seguinte:

Abundante – quando a regeneração forma um manto denso em mais de 2/3 da parcela

Mediana – quando o manto de regeneração ocupa 1/3 a 2/3 da parcela

Fraca – quando o coberto de regeneração é inferior a 1/3 da parcela

Nula – quando não ocorre regeneração na parcela

Para uma avaliação quantitativa da regeneração natural recorre-se a uma área de 50 m², distribuída por cinco círculos de 10 m² (raio=1.78 m), dispostos em cruz segundo os pontos cardeais (ver Figura 3), sendo o centro do primeiro círculo coincidente com o da parcela IFN, e o centro dos restantes afastado 10 m do centro da parcela. Em seguida aplicam-se os seguintes passos:

- a) Selecionam-se apenas as árvores que estejam em bom estado vegetativo;
- c) Em cada círculo, considera-se duas classes de diâmetro à altura do peito (d), uma com d inferior a 50 mm e outra com d igual ou superior a 50 mm, mas inferior a 75 mm;
- d) Para cada classe, e para cada espécie identificada, regista-se o número total de árvores, estima-se a idade média, expressa em anos, e, por fim, estima-se a altura média, expressa em decímetros.

2.4.5.2 Regeneração artificial

Em plantações ou sementeiras realizadas a compasso faz-se o registo de todas as árvores que pertençam à classe regeneração.

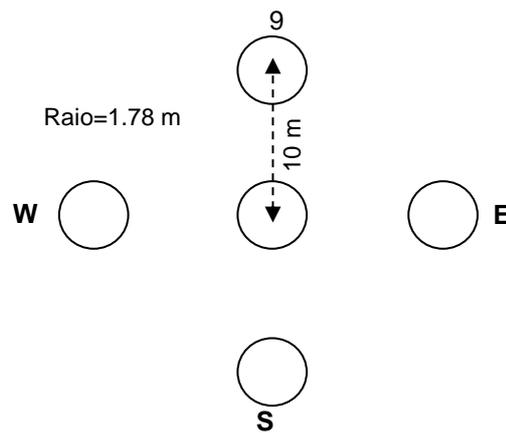


Figura 3. Esquema de amostragem das árvores menores.

2.4.6 Avaliação da biomassa do sub-bosque ou dos matos

A avaliação do sub-bosque, no estrato “Floresta”, ou dos matos, no estrato “Matos”, é feita a partir da determinação, para cada espécie presente na parcela, do fito-volume ou volume aparente, o qual é definido como o produto da área coberta pela espécie multiplicada pela correspondente altura média. Corresponde assim a um paralelepípedo no interior do qual ficaria incluído todo o sub-bosque dessa espécie se estivesse localizado num único local da parcela. A biomassa é então estimada pelo produto do fito-volume por um fator de conversão, geralmente designado por densidade aparente. A determinação da densidade aparente implica a obtenção simultânea, em várias parcelas, do fito-volume e da correspondente biomassa. No processamento de dados de um inventário florestal recorre-se geralmente a valores de densidade aparente obtidos na literatura.

Suponhamos uma parcela com 500 m² na qual foram registadas 2 espécies de matos:

- Urze, com uma percentagem de coberto de 30% e uma altura média de 0.5 m
- Giesta, com uma percentagem de coberto de 15% e uma altura média de 1 m

Da bibliografia (Silva et al., XXXX) obtém-se que a urze e a giesta têm densidades aparentes iguais, respetivamente, a 1.947 e 1.929. Pode então estimar-se a biomassa do sub-bosque da parcela:

$$W_{up} = 0.3 \times 500 \times 0.5 \times 1.947 + 0.15 \times 500 \times 1 \times 1.929 = 290.7 \text{ kg}$$

A correspondente biomassa por hectare virá:

$$W_u = W_{up} \frac{10000}{500} \frac{1}{1000} = 5.8 \text{ Mg ha}^{-1}$$

Caso se faça a caracterização da estrutura vertical como descrito no ponto 2.4.4, os dados obtidos permitem fazer o cálculo do fito-volume. Suponhamos que se realizou esta análise numa parcela de 500 m², obtendo-se os seguintes dados:

| Classe de altura | | Coberto total | Espécie 1 | | Espécie 2 | | Espécie 3 | |
|------------------|-------|---------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | | espécie | coberto | espécie | coberto | espécie | coberto |
| 1 | >16 | | | | | | | |
| 2 | 8-16 | | | | | | | |
| 3 | 4-8 | | | | | | | |
| 4 | 2-4 | 10 | Giesta | 9 | Pb | 1 | | |
| 5 | 1-2 | 66 | Tojo | 50 | Giesta | 15 | Pb | 1 |
| 6 | 0.6-1 | 80 | Tojo | 50 | Urze | 15 | Giesta | 15 |
| 7 | <0.6 | 80 | Tojo | 50 | Urze | 15 | Giesta | 15 |

Sabendo, por consulta bibliográfica (Silva et al., XXXX), que as densidades aparentes para a giesta, a urze e o tojo são, respetivamente, 1.929, 1.947 e 3.666, pode obter-se a biomassa de cada classe de altura W_{up} (i=4,.....,7):

| Classe de altura | Biomassa (kg) |
|------------------|--|
| 2-4 | W _{up4} = 500 (0.09x2x1.929) = 173.6 |
| 1-2 | W _{up5} = 500 (0.50x1x3.666+0.15x1x1.929) = 236.3 |
| 0.6-1 | W _{up6} = 500 (0.50x0.40x3.666+0.15x0.40x1.947+0.15x0.40x1.929) = 482.9 |
| <0.6 | W _{up7} = 500 (0.50x0.60x3.666+0.15x0.60x1.947+0.15x0.60x1.929) = 724.3 |

Por soma das biomassas estimadas para cada classe de altura temos a biomassa total do sub-bosque na parcela:

$$W_{up} = 173.6 + 236.3 + 482.9 + 724.3 = 1617.1 \text{ kg}$$

Finalmente, pode obter-se a biomassa do sub-bosque por hectare:

$$W_u = W_{up} \frac{10000}{500} \frac{1}{1000} = 32.3 \text{ Mg ha}^{-1}$$

2.5 Caracterização da madeira morta

Para a determinação da quantidade de madeira morta na parcela, apresenta-se, a título de exemplo, a metodologia referida no protocolo de campo do projeto FORSEE (Faias et al., 2005. A madeira morta inclui a análise de “snags”, “logs” e cepos recentes

2.5.1 Snags

Designam-se por “snags” as árvores mortas, mas que permanecem em pé e cujo diâmetro é igual ou superior a 75 mm (figura 5A).

A utilização de pelo menos uma parcela adicional, localizada a uma determinada distância da parcela de inventário, é bastante importante, visto que a frequência de “snags” é, geralmente, reduzida. Note-se que o número de parcelas satélite depende, obviamente, do protocolo de campo a aplicar. O diâmetro e a altura são medidos com o mesmo método utilizado para as árvores vivas e é também classificado o estado de decomposição de cada snag ou a ocorrência de sinais de fauna

2.5.2 Logs

Designam-se por “logs” as árvores mortas, cujo diâmetro inferior é superior a 75 mm e comprimento superior a 1 m, deitadas no chão ou suspensas por um dos extremos, formando um ângulo com o solo inferior a 45° (figura 5B).

A amostragem de “logs” é feita ao longo de transeptos, cujo número e comprimento é definido pelo protocolo a aplicar. Estica-se uma fita métrica ao longo do transepto e, para todos os “logs” intercetados, mede-se o diâmetro, no ponto de interceção, de forma perpendicular ao eixo da árvore.

2.5.3 Cepos

No inventário de cepos, todos eles terão de ser contados, registando-se, posteriormente, o número total.

2.5.4 Estado de decomposição

Para avaliar o estado de decomposição, introduz-se uma vara metálica de aproximadamente 5 mm de grossura, com ponta arredondada, e, pelo grau de dificuldade da penetração desta na madeira morta (“log” ou “snag”), atribui-se uma classificação de acordo com a tabela 3.



Figura 5. Inventariação de madeira morta: A – snag; B – medição de um log.

2.6 Amostragem do solo e da folhada

Exemplifica-se a amostragem de solo e folhada com base no método proposto no protocolo de campo do projeto FORSEE (Faias et al., 2005).

As amostras de folhada e de solo são recolhidas dentro da parcela de inventário. Com a finalidade de, posteriormente, se retirar um novo conjunto de amostras em locais diferentes dos anteriores, sobrepõe-se uma grelha quadrada com 18 m de lado, tendo cada quadrícula, 9 m². Dever-se-á fazer coincidir o centro da grelha com o centro da parcela de inventário, de acordo com a figura 6, na qual se localizam-se os pontos selecionados para a recolha de amostras de solo e para recolha de folhada.

Para localizar os pontos selecionados, de acordo com a Figura 6B, são necessários dois operadores. O primeiro deverá posicionar-se no centro da parcela circular e, com o auxílio da bússola, direcionar para norte o segundo operador, que deverá esticar a fita métrica e colocar uma estaca de 3 em 3 metros. Posteriormente, realizar-se-á a mesma operação para as restantes direções, ou seja, Sul, Oeste e Este.

2.6.1 Recolha de amostras de solo

As amostras de solos serão recolhidas para as seguintes profundidades: 0-10 cm, 10-30 cm e 30-60 cm. Para se obter uma amostra representativa da parcela para análise química, realiza-se um “compósito”, isto é, misturam-se as amostras recolhidas por profundidade. Haverá que retirar a folhada da superfície antes de introduzir a sonda.

Tabela 3. Estado de decomposição de “snags” e “logs”.

| Cod | Classes de “snags” | Classes de “logs”: | |
|-----|---|--|--|
| 1 | A casca da árvore permanece intacta, sem sinais de podridão. | |  |
| 2 | A casca da árvore começa a desprender-se e apresenta alguns sinais de podridão. A vara penetra no tronco, a aproximadamente 1-2 cm. | A árvore possui pouca ou nenhuma casca, mas a superfície do tronco está dura. | |
| 3 | O tronco apresenta claramente sinais de podridão. A vara penetra facilmente, mas sem alcançar a parte interna do tronco. | Sem casca, apresenta a superfície húmida e consegue desprender-se com o dedo com alguma facilidade. |  |
| 4 | O tronco apresenta sinais de podridão em toda a sua extensão, começando a desprender-se. A vara atravessa facilmente o tronco. | Desprende-se facilmente, ao apertar exsuda humidade, e começa a aparecer em seu redor fragmentos de madeira podre. | |
| 5 | A árvore apresenta pouca integridade estrutural, tendo perdido grande parte do seu volume. | Está na sua maior parte desfeita. |  |

A amostra não pode ser retirada a uma distância inferior a 1.5 m das árvores, de modo a evitar a presença de raízes.

Caso não seja possível a recolha no ponto selecionado pela presença de rocha-mãe, dever-se-á anotar a profundidade total do perfil. Se, por outro lado, não for possível fazê-la devido à presença de um obstáculo (cepo, rocha, etc.), a amostra pode ser retirada num raio de 0.5 m, tomando como centro o obstáculo.

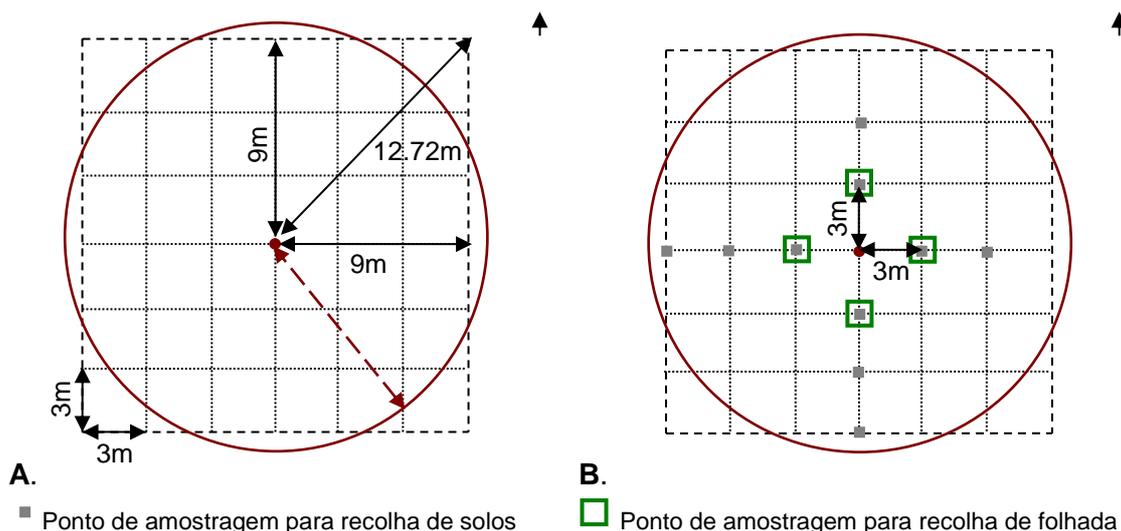


Figura 6. Esquemas da parcela de solos para localização dos pontos de amostragem de solos e folhada.

2.6.2 Recolha de amostras de folhada

A recolha de amostras de folhada coincide com a localização das amostras de solo mais próximas do centro da parcela, segundo os pontos cardeais.

Dever-se-á colocar, sobre a folhada, uma superfície plana - com 30X30 cm - e medir, com uma régua, a altura a que esta fica do horizonte orgânico do solo. Em seguida, há que recolher toda a superfície de folhada dos quatro pontos para um único saco, que deve ser mantido em local fresco. No final do dia, procede-se à pesagem da amostra total. Retira-se uma sub-amostra para posterior secagem, e, por fim, registam-se os pesos. Deve também registar-se, em cada saco-amostra, o número da parcela e a data da recolha.

Há que ter em atenção que material vivo (herbáceas) não deverá fazer parte da amostra.

2.7 Caracterização das árvores

A caracterização das árvores das parcelas pela equipa de campo é fundamental para o trabalho a realizar em gabinete, nomeadamente o tratamento, análise e interpretação da informação registada. É frequente considerar-se códigos de estado, de sanidade e de forma, cuja atribuição a cada árvore está, em muitos casos, dependente da subjetividade do observador. Os códigos a atribuir dependem do protocolo de campo a aplicar.

2.7.1 Classe social

Há que definir, para cada árvore, a sua posição hierárquica na parcela, de acordo com a classificação de Kraft (figura 4).

- D. Árvores dominantes – “aquelas cujas copas atingem os níveis mais elevados do coberto, estendendo-se acima do nível geral do copado; que se apresentam desenvolvidas, embora possam suportar certa competição lateral, e que recebem plena luz vinda de cima e, em parte, lateralmente. Trata-se de árvores de maiores dimensões do que a das árvores médias do povoamento” (Azevedo Gomes e Monteiro Alves, 1968).
- C. Árvores codominantes – “aquelas cujas copas marcam o nível geral do coberto, usualmente de dimensões médias, que suportam competição lateral e que recebem plena luz vinda de cima e relativamente pouca lateralmente” (Azevedo Gomes e Monteiro Alves, 1968).
- I. Árvores subdominantes – “aquelas cujas copas de dimensão mais pequena do que a das classes anteriores se prolongam entre os espaços existentes e que recebem apenas alguma luz vinda de cima e relativamente pouca lateralmente” (Azevedo Gomes e Monteiro Alves, 1968).
- O. Árvores dominadas – “aquelas cujas copas se encontram sob as das classes anteriores, não recebendo luz direta” (Azevedo Gomes e Monteiro Alves, 1968).

2.7.2 Efeito de bordadura

Por bordadura entende-se a linha imaginária a partir da qual as condições naturais da parcela se alteram. Por exemplo, caso as condições de luminosidade de uma dada árvore sejam diferentes do resto da parcela, graças à proximidade de um caminho ou clareira. Esta árvore terá características diferentes das árvores do interior do povoamento. É, portanto, necessário identificar se as árvores se encontram sob o efeito de bordadura.

2.7.3 Fitossanidade

Na análise do estado fitossanitário, ao nível da árvore, poderão ser registados, de acordo com o protocolo de campo a aplicar, os seguintes pontos:

- Especificar a parte afetada (copa, tronco);
- Descrever e classificar o tipo de danos (sinais e sintomas);
- Especificar o tipo agente que produziu o dano.

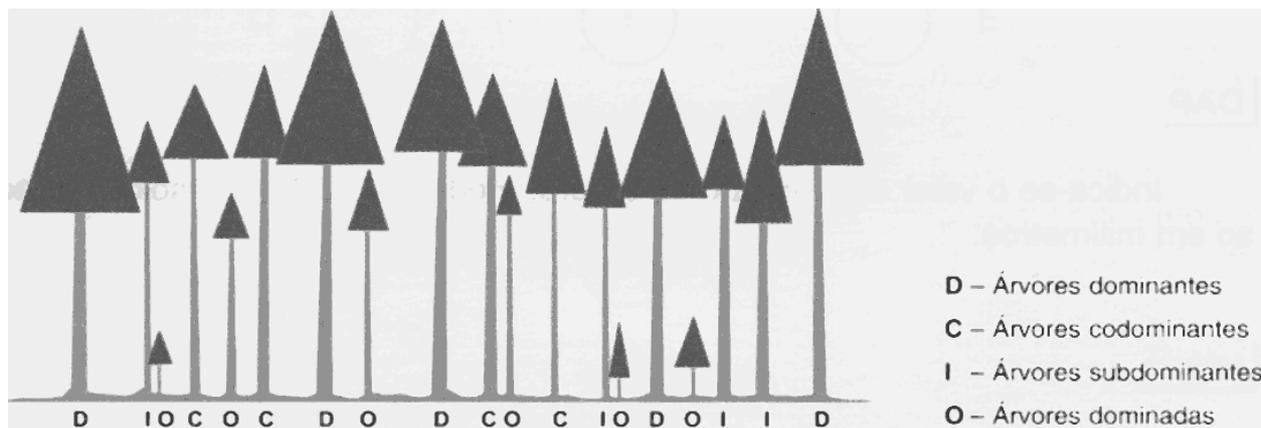


Figura 4. Ilustração da classificação de Kraft (DGF, 1999).

2.7.4 Codificação de árvores

Apresenta-se em seguida um exemplo de codificação de árvores, mas chama-se a atenção para o facto de que é vulgar definir-se uma codificação específica para cada inventário.

Código de estado

0 – árvore viva: árvore que não é considerada nem morta nem falha.

1 – árvore morta: árvore que morreu na rotação considerada e que apresenta copa seca ou ausência de copa. Inclui também árvores deitadas no chão ou partidas abaixo da base da copa.

2 – falha: toiça morta sem rebentação; também espaço resultante da morte da árvore mas da qual não existe vestígios.

Código de forma (exclusivo das árvores vivas)

0 – árvore bem conformada: árvore sem defeitos e que não se identifica com nenhum dos códigos seguintes.

1 – árvore bifurcada: árvore com bifurcação acima de 1.30 m de altura, sem que nenhum dos ramos assumam dominância.

2 – ramos grossos: árvore que apresenta um ou mais ramos que se destacam pelas suas dimensões, mas que não são o ponto de referência na medição das alturas.

- 3 – curvatura basal: árvore com uma curvatura pronunciada no primeiro metro do tronco a partir do solo.
- 4 – tronco torto: árvore com uma curvatura pronunciada acima de 1 metro a partir do solo.
- 5 – árvore inclinada: árvore com uma inclinação superior a 30° do eixo vertical. Excluem-se as árvores tombadas, codificando-as com código de estado 1.
- 6 – árvore com ponta partida: árvore com a ponta partida acima da base da copa. As árvores partidas abaixo da base da copa codificam-se com código de estado 1.
- 7 – árvore com ponta seca: árvore com a parte superior da copa seca. Excluem-se árvores com a totalidade da copa seca. Nesse caso, codificam-se com código de estado 1.
- 8 – árvore arbustiva: árvore com crescimento sem dominância apical e desenvolvimento arbustivo.

2.8 Perguntas sobre a matéria do capítulo

- 1 “Nos últimos anos a informação não dendrométrica tem vindo a ganhar importância” Concorda com esta afirmação? Justifique.
- 2 Verificação da fotointerpretação.
 - a) Justifique a importância de fazer a verificação da fotointerpretação
 - b) Descreva as diferentes situações que pode encontrar durante esta operação.
- 3 Identifique e descreva os principais aspetos a registar para efeito da caracterização das espécies presentes na parcela.
- 4 Indique alguns dos aspetos a analisar para efeito da caracterização da diversidade vegetal da parcela de inventário.
- 5 Considere uma parcela de inventário com 500 m² de área. Nessa parcela foram registadas 3 espécies no sub-bosque, assim como as respetivas percentagens de coberto e alturas médias. Na tabela seguinte indicam-se os valores registados, assim como as densidades aparentes encontradas na bibliografia para cada uma das espécies.

| Espécie | Percentagem de coberto | Altura média | Densidade aparente |
|---------|------------------------|--------------|--------------------|
| Tojo | 20% | 0.5 | 3.666 |
| Giesta | 15% | 1 | 1.929 |

| | | | |
|------|-----|-----|-------|
| Urze | 10% | 0.7 | 1.947 |
|------|-----|-----|-------|

Estime a biomassa de sub-bosque na parcela.

6 Avaliação da madeira morta.

a) Diga as diferentes categorias de madeira morta que se devem analisar numa parcela.

b) Indique os métodos usualmente utilizados para avaliar a madeira morta em snags e logs.

c) Como se avalia o estado de decomposição da madeira morta?

7 Descreva as metodologias utilizadas no projeto FORSEE para a amostragem de solos e de folhada.

3 Medição e avaliação de variáveis da árvore

Este capítulo destina-se a listar e definir as variáveis dendrométricas mais importantes ao nível da árvore, assim como na descrição dos métodos que podem ser utilizados na sua avaliação. De um modo geral, qualquer variável dendrométrica pode ser obtida por:

a) Medição direta

Quando a variável pode ser medida diretamente com recurso a um aparelho de medição. Como veremos, o diâmetro à altura do peito é a variável que é obtida, em praticamente todos os inventários, por medição direta.

b) Medição indireta

Quando a variável é calculada a partir de outras variáveis as quais são, por sua vez, obtidas por medição direta na árvore. Por exemplo, a altura é frequentemente medida com base em aparelhos designados por hipsómetros. Estes aparelhos, como se descreve no ponto 1.4, realizam medições de ângulos de pontaria – ângulos que a linha de visada do operador faz com a horizontal – os quais são depois utilizados, com base em cálculos de trigonometria, para calcular a altura da árvore.

c) Estimação

Quando a variável é de difícil medição, a sua avaliação pode ser realizada por estimação com base numa equação de regressão ajustada entre a variável pretendida e outras variáveis de medição mais fácil (ou menos onerosa). Estas equações de regressão, muito utilizadas por exemplo na avaliação da altura ou do volume da árvore, podem ser ajustadas especificamente para um determinado inventário ou podem ser obtidas por pesquisa bibliográfica.

3.1 Idade

A idade das árvores (t) é uma variável bastante interessante, mesmo que, por vezes, seja apenas uma curiosidade. Quantas vezes, ao observarmos uma árvore de grandes dimensões, não pensamos quantos anos terá aquela árvore? Em gestão florestal, a idade é uma variável de grande importância, com especial interesse, como é óbvio, nos povoamentos regulares, os quais têm, como sabemos, uma grande importância no nosso país.

Contudo, a determinação desta variável envolve frequentemente grandes dificuldades. Quando o objeto do inventário é um povoamento de regeneração artificial, a idade pode ser conhecida por inquirição dos proprietários, dos gestores ou da população local. Vejamos quais os métodos a que é possível recorrer quando a inquirição não é possível.

3.1.1 Observação

Como diz Azevedo Gomes (1952), a prática é a “grande mestra” na maioria dos trabalhos ligados às matas. Assim, um operador com um conhecimento directo de uma espécie vegetando em determinadas condições agro-climáticas é capaz de estimar, pelo menos de forma aproximada, a idade das árvores e dos povoamentos. Quando se utiliza este método de avaliação de idades é vulgar a estimação ser referida, não à idade do povoamento em anos, mas antes à sua classificação em classes de idade.

Este método foi utilizado no Inventário Florestal Nacional (IFN) para a espécie eucalipto, espécie gerida geralmente em povoamentos regulares e em que é vital, portanto, obter informação sobre a idade. As classes de idade utilizadas no IFN realizado pela CELPA no ano 2000 foram: 1) até aos 4 anos ($t < 4$); 2) entre os 4 e os 8 anos ($t \in [4; 8[$); 3) entre os 8 e os 12 anos ($t \in [8; 12[$); 4) entre os 12 e os 16 anos ($t \in [12; 16[$); 5) superior aos 16 anos ($t \geq 16$).

É óbvio que a avaliação é sempre subjectiva e, portanto, sujeita a bastantes erros. O operador não pode atender apenas ao tamanho das árvores para lhes atribuir a idade: há que analisar as condições de crescimento, nomeadamente solo e clima, e, face a estas e ao tamanho das árvores, atribuir-lhes então uma idade. Em algumas espécies há diversos factores morfológicos decisivos para a avaliação final, tais como: o rasar da copa que, salvo raras excepções, está associado a idades avançadas; o avermelhar e alisar da carrasca do pinheiro bravo, a traduzir que se atingiram as últimas fases de exploração.

3.1.2 Contagem de verticilos

Há espécies nas quais os verticilos dos ramos se mantêm nítidos através da vida do indivíduo, servindo assim de base, por contagem, à avaliação da idade das árvores. Um exemplo típico é a *Araucaria heterophylla*, tão comum em jardins Portugueses, na qual os verticilos se dispõem com uma regularidade excepcional, assinalando, por si ou pelas respectivas marcas (caso dos verticilos da base), toda a evolução da altura ao longo da idade do indivíduo. Poucas são, no entanto, as espécies que nos facultam tão precioso instrumento para avaliação da idade das árvores.

No pinheiro bravo, enquanto jovem, é possível fazer uma avaliação da idade por contagem dos verticilos, embora haja que se ter muito cuidado com a possibilidade da ocorrência de dois surtos de crescimento anual, fenómeno que surge com alguma frequência. Neste caso, costuma encontrar-se, no mesmo ano, um primeiro lançamento de maior comprimento, seguido de outro, menor, e que não ocorre geralmente em todas as árvores do povoamento. Nesta mesma espécie também é possível, por observação da parte superior da copa, avaliar o crescimento em altura nos últimos 5 ou 10 anos, com base na contagem dos últimos 5 ou 10 verticilos, respectivamente, tendo, mais uma vez, o cuidado de tentar detectar a ocorrência de mais do que um lançamento anual.

3.1.3 Contagem de anéis de crescimento

As espécies florestais das zonas temperadas são caracterizadas por interrupções no processo de crescimento, em concordância com o decorrer das estações do ano. Durante o processo de engrossamento do tronco, a actividade cambial vai acrescentando, ano a ano, camadas justapostas de material lenhoso, ficando o lenho formado num determinado ano a envolver todas as camadas anteriores. Cada uma destas camadas distingue-se com dificuldade variável das que lhe ficam anexas (mais velha a de dentro, mais nova a de fora), em função da constituição do lenho (ou seja, da espécie), da taxa de crescimento anual, da idade do indivíduo e das condições extrínsecas que presidiram à formação do lenho.

Das principais espécies portuguesas, este método é bastante preciso para determinação da idade do pinheiro bravo. A composição típica da camada anual do lenho desta espécie tem as seguintes características: elementos longitudinais formados nos primeiros tempos do período de crescimento apresentando paredes celulares relativamente finas e lúmens grandes; elementos de fim de estação com paredes muito espessas e lúmens reduzidos. Verifica-se assim uma grande porosidade da zona inicial, quando comparada com a zona de fecho. O tom mais escuro deste último lenho, observável quando se faça um corte transversal de um tronco ou ramo (corte perpendicular ao eixo respectivo), em confronto com o tom mais claro das primeiras formações, resulta da estrutura atrás apontada. A identificação das camadas anuais é portanto fácil: dentro da mesma camada, a uma zona mais clara sucede para o exterior outra mais carregada, sendo a transição entre as duas suave devido à existência das formações intermédias; por outro lado, a uma zona mais escura segue-se, para o exterior e abruptamente, outra zona mais frouxa, com a qual se inicia nova camada a traduzir o recomeço da actividade cambial.

Já noutras espécies, a contagem de anéis é bastante mais difícil, por vezes mesmo impossível. Por exemplo, nas espécies caracterizadas por porosidade difusa – salgueiros, choupos, amieiros - os elementos longitudinais de maiores dimensões, os vasos, além de se distribuírem quase por igual em toda a camada anual, pouco diferem de calibre consoante a posição que nela ocupam, dificultando grandemente a identificação e contagem dos anéis, mesmo com o auxílio de uma lupa. Uma dificuldade que pode surgir na contagem dos anéis de crescimento é a existência dos chamados falsos anéis ou falsas zonas de Outono, os quais levam à sobrestimação da idade das árvores. Os falsos anéis aparecem na sequência de perturbações imprevistas na vida da árvore que levam à paralisação da actividade cambial em qualquer momento do período vegetativo de crescimento lenhoso em curso, sendo a árvore capaz de, ainda dentro do mesmo período de crescimento, retomar a actividade cambial. As perturbações que levam ao aparecimento de falsos anéis vão desde um ataque forte de insectos, uma forte geada ou uma forte estiagem, entre outras causas possíveis. Segundo Azevedo Gomes (1952), ajudam a distinguir uma falsa camada: a circunstância de esta não ser contínua, ou seja, de não acompanhar todo o perímetro do tronco; a circunstância de se apresentar ligada, aqui e ali, à verdadeira formação de fecho; uma estreita e admissível linha de fecho que esteja na vizinhança interior de uma espessa formação de fecho será muito provavelmente uma falsa camada, sendo uma verdadeira camada quando se situe na vizinhança exterior de uma espessa banda de fim de estação.

3.1.3.1 Contagem de anéis de crescimento em rodelas

A contagem dos anéis de crescimento para a determinação da idade da árvore faz-se de modo preciso após o abate da árvore. A contagem deveria, teoricamente, ser realizada ao nível do solo, logo acima do colo, isto é, na zona de ligação da raiz com o caule. Contudo, a contagem é geralmente feita mais acima, ao nível do cepo. Há assim que juntar aos anéis contados ao nível do cepo um número de anos igual ao que a jovem planta levou a atingir o nível de corte da árvore. Para o pinheiro bravo na Mata Nacional de Leiria, Azevedo Gomes (1952) sugere, de acordo com os inventários da Mata, o acréscimo de 2 anos. O método mais rigoroso é o que consiste em somar, ao número de camadas anuais contadas ao nível do cepo, a média da idade de plantas jovens, encontradas na vizinhança, que tenha uma altura próxima do nível de corte, idades que se podem obter por contagem dos anéis de crescimento na secção da base destas jovens plantas.

Para melhorar as condições de contagem, e também porque é frequente proceder-se também à medição dos anéis de crescimento para estudar o crescimento da árvore, é vulgar cortar, na base do tronco após abate, uma rodela com cerca de 5 cm de espessura (figura 7), a qual é transportada para análise mais cuidada no laboratório, no qual se podem utilizar diversas técnicas que podem ajudar a melhorar a visibilidade dos anéis: alisar muito bem a superfície da secção; proceder a cortes inclinados que aumentem a distância observável entre as linhas de fecho; utilizar um corante de modo a fazer salientar as zonas mais porosas; utilizar uma lupa; realizar a contagem ao longo de mais do que um raio.



Figura 7. Pormenor de uma rodela de tronco de Sobreiro

3.1.3.2 Contagem dos anéis de crescimento em verrumadas

O abate da árvore para efeito de determinação da idade é, do ponto de vista prático, quase sempre impossível. Utiliza-se, então, um instrumento designado por verruma de Pressler, instrumento que permite retirar da árvore um rolo de lenho - a verrumada - onde se contam os anéis de crescimento. Esta verruma (figura 8A) é constituída por:

- uma broca oca com a extremidade afiada;
- um braço que permite rodar a broca de modo a conseguir a sua penetração no lenho;
- um extractor, ou seja, um estilete em forma de goteira, o qual tem, numa das extremidades, umas pequenas “garras” com a função de segurar a verrumada, e, na outra, uma argola para “puxar” o extractor e verrumada do interior da broca.

A extracção de uma verrumada (figura 8B) implica uma série de operações que, embora simples, podem não ter sucesso se a operação for realizada de forma inadequada. Começa por se encostar a extremidade da broca à árvore, no ponto desejado e após efectuado o descasque, se necessário, comprime-se fortemente o instrumento de encontro ao tronco, ao mesmo tempo que se roda devagar o respectivo braço. Feita a penetração da broca até à profundidade conveniente, introduz-se no seu interior, que contém agora a amostra de lenho já individualizada, o extractor. É esta peça que, sem ofender os anéis de crescimento, a retira do interior da broca.

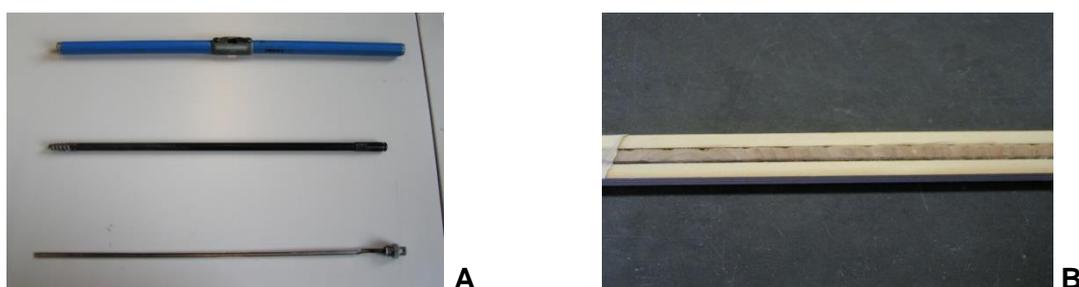


Figura 8. A: Partes constituintes de uma verruma. De cima para baixo, respectivamente, braço, broca e extractor. B: Verrumada

A análise da verrumada pode ou ser feita imediatamente após a extracção, ou pode ser recolhida para análise posterior em laboratório. Neste caso, convém, logo após a extracção, introduzir o rolo num tubo de diâmetro ligeiramente superior, contendo um líquido apropriado. Evita-se assim que a amostra quebre ou empene ao secar ou que se inutilize pelo manuseamento no acto da contagem. Ao mesmo tempo, as camadas ficam mais evidentes, o que facilita a análise. O álcool e a gasolina servem para o efeito, embora o álcool tenha o defeito de escurecer as madeiras.

Convém fazer a verrumada junto ao solo e na direcção da medula, de modo a que todos os anéis estejam representados na amostra. Quando não for possível operar junto ao solo – um dos óbices é muitas vezes o grande diâmetro existente a tal nível – far-se-á a brocagem mais acima, por exemplo a 1.30 m. As plantas jovens da vizinhança fornecerão, como já vimos, o número de anos que será necessário juntar àqueles que se contarem na verrumada. Frequentemente, a excentricidade do tronco ocasiona a não inclusão dos anéis mais antigos, mais próximos da medula. Se se pretender uma avaliação precisa, há que repetir a operação. Neste caso, os raios de curvatura dos anéis de crescimento mais interiores orientarão o operador na nova colheita e a medula acabará, assim, por ser atingida.

3.2 Diâmetros, perímetro e área seccional

3.2.1 O diâmetro à altura do peito, o perímetro e a área seccional

Ao pensarmos no tronco de uma árvore, principalmente de uma árvore cuja utilização principal seja a produção de lenho, facilmente constatamos uma certa semelhança com um sólido geométrico de revolução com a particularidade de ser caracterizado por uma relação muito elevada entre a altura e o diâmetro, ou seja, por um elevado coeficiente de adelgaçamento. Sendo o volume de qualquer sólido de revolução função dos respectivos diâmetros da base e altura, facilmente se identificam as duas variáveis dendrométricas mais vulgarmente medidas numa árvore: o diâmetro e a altura. Nos trabalhos de medição florestal, contudo, a variável diâmetro desempenha um papel preponderante.

O tipo de medição mais frequente é o diâmetro à altura do peito (mais conhecido por diâmetro e com o símbolo d), tomando-se como altura do peito a altura de 1.30 m a partir do solo. As razões pela preferência da medição do diâmetro a esta altura são, por um lado, a facilidade com que a operação de medição é realizada, comparativamente à medição a outras alturas como a base da árvore, e, por outro lado, evita-se a zona de influência das raízes na forma da árvore. O diâmetro à altura do peito é o diâmetro correspondente a um círculo com uma área igual à área da secção de árvore a 1.30m. Para tal, considera-se a secção da árvore incluindo o lenho e a casca.

O diâmetro à altura do peito (d) tem uma importância particular dentro das informações ao nível da árvore no decurso de um inventário florestal. As razões deste facto são as seguintes (Loetsch et al., 1973):

- ▶ É uma variável a que facilmente se tem acesso, podendo assim ser medida em todas as árvores das parcelas de inventário. Em comparação com outras variáveis da árvore, as medições de diâmetro são as mais fiáveis. Os erros de medição e as suas causas são reconhecíveis e podem ser limitadas a um valor mínimo através de instrumentos e métodos de medição adequados e através de uma execução cuidada das operações de medição.
- ▶ É a base para o cálculo de outras variáveis como a área seccional à altura do peito, a chamada área basal da árvore (g), que é obtida através da fórmula

$$g = \frac{\pi}{4} d^2$$

É também a base para o cálculo do perímetro ou circunferência à altura do peito (c), obtido pela fórmula

$$c = \pi d$$

- ▶ O diâmetro à altura do peito afecta o volume quadráticamente uma vez que o volume da árvore é, como veremos, o produto da área basal, altura (h_i) e factor forma (f_i):

$$v_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 h_i f_i .$$

Pelo contrário, a altura e o factor forma entram apenas linearmente na expressão do volume.

- ▶ A distribuição de diâmetros de um determinado povoamento ou floresta (nº de árvores em cada classe de diâmetros) é um importante resultado de um inventário, pois fornece uma valiosa informação sobre a sua estrutura, constituindo uma base para decisões económicas e de planeamento.

3.2.2 Regras para a medição de diâmetros

Quer as medições de diâmetro sejam realizadas em parcelas permanentes ou em inventários, são necessárias regras que assegurem a sua consistência. Qualquer que seja o aparelho utilizado para esta medição, terá de haver uma especial atenção para que a medição seja feita exactamente a 1.30m, ou a uma distância racional deste ponto, sempre que surjam irregularidades no fuste. Em qualquer caso, antes da medição deverá ser retirada a casca solta, líquenes ou fetos que estejam presentes no tronco no local de medição escolhido. Nos casos em que a altura de medição seja diferente de 1.30 m, deverão ser devidamente assinalados na ficha de campo ou no instrumento de registo utilizado.

Nas figuras 9 a 18 são ilustradas as situações que ocorrem na prática, assim como as regras a que se deve obedecer em cada caso, para uma correcta medição do d.

Em terreno plano, e em árvores direitas sem embasamento (figura 9), ou embasamento e raízes aéreas abaixo de 1 m do solo, o diâmetro deve ser medido a 1.30 m a partir do nível do solo, uma vez removida a folhada do solo no local de início da medição daquela altura.

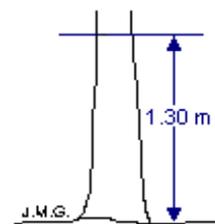


Figura 9. Árvores direitas em terreno plano

Se o terreno for plano mas a árvore retorcida ou inclinada, a medição deve ser realizada segundo a perpendicular ao eixo da árvore e do lado para o qual a árvore se inclina (figura 10).

Em terrenos com declive, a determinação do nível de 1.30 m no tronco deve ser realizada a partir do ponto mais elevado do solo na base da árvore, quer esta esteja direita ou inclinada (figuras 11 e 12).

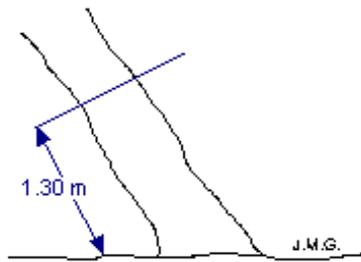


Figura 10. Árvore inclinada em terreno plano

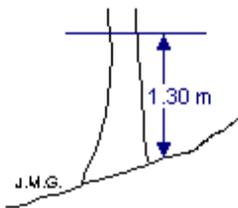


Figura 11. Árvores direitas em terreno com declive

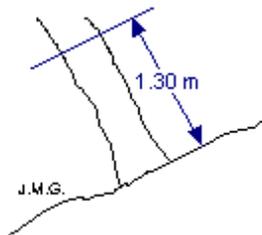


Figura 12. Árvores inclinadas em terreno com declive

Em árvores com raízes aéreas ou embasamento notório a uma altura igual ou superior a 1 m (mais vulgar em zonas tropicais), a zona de medição deve ser feita 0.30 m acima do fim das características acima referidas (figura 13). A altura a que se considerou o fim das raízes aéreas ou embasamento deve ser registada.

No caso de existirem deformações ao nível de 1.30 m, devem medir-se os diâmetros acima e abaixo da deformação em locais onde esta deixa de afectar a forma do tronco, de preferência ambos a igual distância do nível 1.30 m (figura 14). Quando o pinheiro bravo é resinado é vulgar que o nível 1.30m, assim como todos os níveis inferiores, estejam afectados. Uma regra que se deve utilizar é a de tentar medir o diâmetro a 1.30m, seguindo uma direcção na qual ambos os braços da suta fiquem sobre a casca. Alternativamente, o diâmetro é medido a uma distância fixa acima do nível de 1.30m.

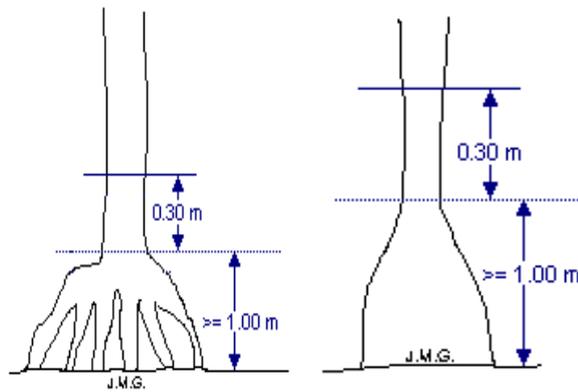


Figura 13. Árvores com raízes aéreas mais altas que 1 m e árvores com embasamento com uma altura superior a 1 m

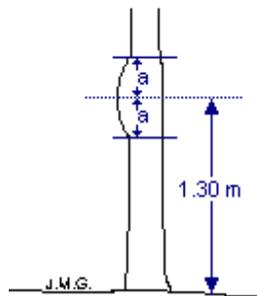


Figura 14. Deformação a 1.30 m

Nas árvores que bifurcam abaixo de 1.30m medem-se os diâmetros considerando-se duas (ou mais) árvores (figura 15). Na maior parte dos protocolos de campo em povoamentos com sobreiro, considera-se a medição do diâmetro a 1 m naquelas árvores que bifurcam entre 1 m e 1.30 m.

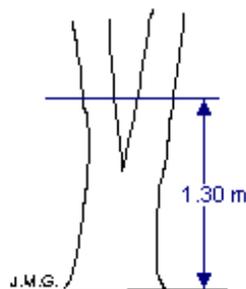


Figura 15. Árvore bifurcada abaixo de 1.30 m

Quando a árvore é bifurcada a 1.30 m ou ligeiramente acima, de forma a que a bifurcação afecte o *diâmetro*, deverá ser medido apenas um diâmetro abaixo do alargamento causado pela bifurcação, de preferência a 1 m do solo (figura 16). Nas árvores bifurcadas acima de 1.30 m, a medição do *diâmetro* não é afectada.

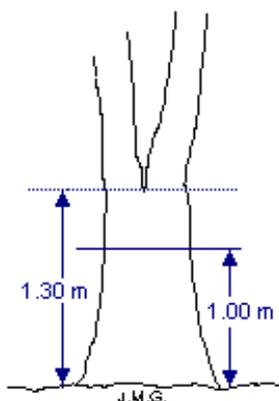


Figura 16. Árvore bifurcada a 1.30 m ou acima

Nos casos de rebentamentos de toiça, o nível de 1.30 deve ser medido partindo-se do centro do cepo (figuras 17 e 18).

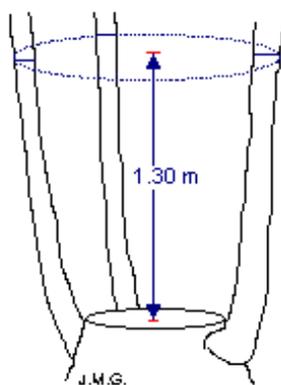


Figura 17. Rebentamentos de toiça

No caso de parcelas permanentes em que há sucessivas medições de diâmetros nas mesmas árvores, a precisão relativa pode ser melhorada se se marcar o local de medição em cada árvore com um traço horizontal, assumindo-se que o ponto de medição é a parte de cima da marca de tinta. Se o instrumento utilizado for a suta, as medições devem ser feitas sempre na mesma direcção, pelo que a posição de encosto da suta deve ser marcada na árvore por um traço vertical.



Figura 18. Correcta determinação da altura de medição nas toiças

3.2.3 Aparelhos para medição de diâmetros e perímetros à altura do peito

Os instrumentos usados para a determinação do diâmetro das árvores são chamados dendrómetros, sendo os mais usuais a suta e a fita de diâmetros.

3.2.3.1 Sutas

A suta (figura 19) consiste numa barra graduada e dois braços paralelos, um fixo e outro amovível, perpendiculares à barra. São geralmente usadas quando o diâmetro das árvores não excede os 60 cm. Geralmente são de aço ou de liga de alumínio. As características requeridas para as sutas são:

- ▶ devem ser leves, mas ao mesmo tempo robustas e estáveis face às condições climatéricas.
- ▶ ambos os braços devem estar no mesmo plano e perpendiculares à barra no momento de medição, quando a pressão é aplicada na direcção do tronco. O braço móvel deve deslizar facilmente.



Fig. 19. Exemplo de uma Suta

Existem também as chamadas sutas electrónicas, que possibilitam a leitura e armazenamento automático dos diâmetros.

3.2.3.2 Fita de diâmetros

As fitas de diâmetro (figura 20) são fitas métricas que apresentam duas graduações, uma em cm e outra em cm / π . Assumindo uma secção circular, a qual corresponde ao diâmetro. No início a fita de diâmetros tem geralmente um espigão para fixação à árvore, o que facilita grandemente a medição.

As fitas de diâmetros devem ser de um material tal que o comprimento e as graduações não sejam afectadas pelas condições climatéricas.



Fig.20. Exemplo de uma Fita de Diâmetros

3.2.4 Erros associados à medição de diâmetros com suta

Para uma abordagem sistemática do tipo de erros que podem ocorrer na determinação dos diâmetros, faz-se a seguinte classificação:

- Erros decorrentes das características do objecto a medir;
- Erros dos instrumentos;
- Erros de medição.

3.2.4.1 Erros decorrentes das características do objecto a medir. O problema da irregularidade da secção transversal do fuste

Apesar da secção transversal do fuste a 1.30 m se aproximar da forma circular, muitas vezes é mais larga numa direcção do que na outra, ou pode ter outro tipo de excentricidades. No entanto, em termos de cálculo da área basal, assume-se que esta secção transversal é circular. Deste modo, o objectivo da medição do diâmetro de uma árvore é obter o diâmetro de um círculo com a mesma área seccional que a árvore.

Assim, para uma árvore com uma secção transversal irregular, o cálculo da sua área basal partindo apenas da medição de um diâmetro pode ser muito pouco preciso, sendo a verdadeira área sobre ou subestimada. Normalmente, a medição de dois diâmetros cruzados (fazendo ângulos rectos entre si) fornece uma adequada precisão e estimativas não enviesadas para árvores individuais de secção elíptica. A estimativa da área basal de uma árvore baseada na medição do perímetro é satisfatória mas ligeiramente enviesada, pois em árvores não verdadeiramente circulares a área basal será sempre sobrestimada (erro sistemático), apesar de, normalmente, esta sobrestimação ser pequena (Philip, 1994).

No entanto, ao estimar a área basal de um grande número de árvores a partir de uma única medição de diâmetro em cada árvore, as áreas basais sobrestimadas numas árvores são compensadas pelas áreas basais subestimadas de outras. Nestes casos, uma única medição de diâmetro é satisfatória, devendo a orientação desse diâmetro ser aleatória em relação a qualquer padrão de orientação das irregularidades do perfil das árvores. Por exemplo, nas encostas, devido ao lenho de reacção, as árvores tendem a ter maiores diâmetros na direcção do declive. Nas plantações de compasso rectangular, os diâmetros tendem a ser mais largos na direcção da entre-linha. Por esta razão, em parcelas circulares os diâmetros devem ser medidos com o braço da suta virado para o centro da parcela.

3.2.4.2 Erros dos instrumentos

Erros associados à suta

O erro mais frequente deste instrumento é causado pelo desvio do braço móvel em relação ao ângulo recto, criando erros sistemáticos negativos ou positivos (consoante a direcção da inclinação do braço móvel) no diâmetro medido. Por exemplo, um desvio do braço móvel de 1° em relação ao ângulo recto como ilustrado na figura 21 causa um erro sistemático negativo da área basal próximo de 2%. Na tabela 4 indicam-se os erros negativos em área basal (m^2) causados pelo desvio do braço da suta para diferentes valores de *diâmetro* e do ângulo de inclinação α (baseado em Loetsch et al., 1973).

Para minimizar este erro a barra graduada deve ficar bem encostada ao tronco.

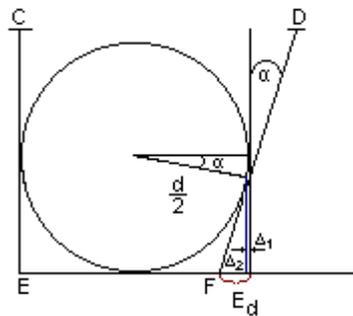


Figura 21. Desvio do braço móvel em relação ao ângulo recto com a barra criando erros sistemáticos negativos (d – diâmetro da árvore; $E_d = \Delta_1 + \Delta_2$; α - ângulo de inclinação) (baseado em Loetsch et al., 1973)

Uma vez que, com o uso repetido, os braços da suta podem enfraquecer ou mesmo encurvar, torna-se necessário uma adequada manutenção e verificação deste aparelho, que deverá ser calibrado com uma certa regularidade. Para tal pode utilizar-se um aparelho cilíndrico feito de um material isento de deformações com três diâmetros concêntricos cuja dimensão é conhecida e rigorosamente calibrada. Este tipo de aparelho pode ser encomendado ao Serviço Nacional de Metrologia. Para verificar a suta, sugere-se que se efectuem três medições de cada diâmetro, aceitando-se sutas com erros médios até um milímetro e um erro máximo por medição de dois milímetros, sendo as medições de verificação feitas com um rigor de 0.5 mm.

Tabela 4. Erros negativos em área basal (m²) causados pelo desvio do braço da suta para diferentes valores de *diâmetro* e do ângulo de inclinação α

| d(cm) | g(m ²) | α | | | |
|-------|--------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | 1°(1.8%) | 2°(3.4%) | 5°(8.6%) | 10°(17.6%) |
| 15 | 0.018 | 0.00032 | 0.00060 | 0.00152 | 0.00311 |
| 20 | 0.031 | 0.00056 | 0.00107 | 0.00270 | 0.00553 |
| 40 | 0.126 | 0.00227 | 0.00427 | 0.01081 | 0.02212 |
| 50 | 0.196 | 0.00353 | 0.00668 | 0.01689 | 0.03456 |

3.2.4.3 Erros de medição

Suta

Em geral, durante as medições ocorrem erros sistemáticos de amplitude variável, cujas causas podem ser:

1. Inclinação da suta
2. Não observância da altura exacta de medição
3. Diferentes pressões de contacto da suta sobre o tronco

Vejamos cada um destes tipos de erros:

1) Inclinação da suta

A inclinação da suta pode ocorrer em dois planos:

- ▶ A barra graduada toca na árvore no local de medição correcto mas desvia-se do plano horizontal um ângulo α , lateralmente em relação ao operador (figura 22A). Em termos de área basal, um ângulo de 6° origina um erro de cerca de +1% (tabela 5). Inclinar a suta mais que 5° deve ser considerado um procedimento muito pouco cuidado. Para evitar este enviesamento positivo, deve ser verificado um posicionamento da suta adequado durante o treino das equipas.
- ▶ A barra graduada toca na árvore no local de medição, mas os braços da suta apontam para baixo ou para cima desviando-se de um ângulo β . No caso da figura 22B, as pontas dos braços da suta não tocam na árvore na altura correcta mas num ponto bastante abaixo, medindo o diâmetro d' em vez do diâmetro d . O erro resultante é positivo. Quando a barra tem a escala graduada na face superior, pode haver tendência para a inclinação dos braços da suta para cima de modo a facilitar a leitura e nesse caso o erro resultante é negativo.

Tabela 5. Erros positivos em área basal (m²) causados pela inclinação da suta para diferentes valores de *diâmetro* e do ângulo de inclinação α (correspondente à figura 22 A. (baseado em Loetsch et al., 1973)

| d(cm) | g(m ²) | α | | |
|-------|--------------------|------------|------------|---------|
| | | 3° (0.25%) | 5° (0.75%) | 6° (1%) |
| 15 | 0.018 | 0.00004 | 0.00013 | 0.00018 |
| 20 | 0.031 | 0.00008 | 0.00024 | 0.00031 |
| 40 | 0.126 | 0.00031 | 0.00094 | 0.00126 |
| 50 | 0.196 | 0.00049 | 0.00147 | 0.00196 |

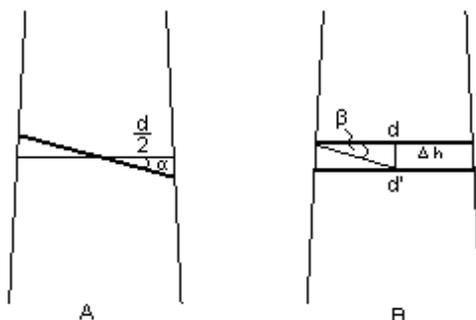


Figura 22. Inclinação da suta, com d – diâmetro correcto; d' – diâmetro medido a uma diferença de altura Δh da altura correcta; α, β - ângulos de inclinação (baseado em Loetsch et al., 1973)

2) Não observância da altura exacta de medição

Este tipo de erro está ilustrado na figura 23. O ângulo α desta figura depende, entre outras, da espécie e do diâmetro. Geralmente aumenta com o aumento do *diâmetro*. Usando como exemplo a pseudotsuga com um diâmetro de 50 cm (Loetsch et al., 1973), os erros positivos em percentagem de área basal em diferentes alturas de medição encontram-se na tabela 6. Se a altura de medição for excedida, resultam erros negativos análogos.

Este erro pode ter duas causas: a mencionada anteriormente (1b) em que a altura de medição é correctamente observada, mas os braços da suta estão inclinados; ou haver um desvio directo da altura de medição. Neste último caso, o erro esperado em termos de área basal é derivado directamente de Δh , enquanto que no primeiro caso Δh deriva do ângulo de inclinação β (figura 22B).

Assim, e seguindo o exemplo da *pseudotsuga* com um diâmetro de 50 cm, os valores de Δh resultantes de diferentes ângulos de inclinação β podem ser observados na tabela 7

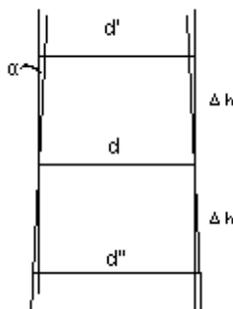


Figura 23. Erros devidos à não observância da altura exacta de medição, com d – diâmetro na altura de medição correcta; d' - diâmetro a uma altura de medição Δh acima da correcta; d'' - diâmetro a uma altura de medição Δh abaixo da correcta; α - ângulo dependente da espécie e do diâmetro (baseado em Loetsch et al., 1973)

Tabela 6. Erros positivos em percentagem de área basal (%g) em diferentes alturas de medição para a *pseudotsuga* (diâmetro de 50 cm)

| altura de medição (m) | diametro (cm) | % g |
|-----------------------|---------------|-------|
| 1.20 | 50.60 | +2.40 |
| 1.25 | 50.30 | +1.20 |
| 1.28 | 50.12 | +0.48 |
| 1.29 | 50.06 | +0.24 |
| 1.30 | 50.00 | 0 |

Tabela 7. Valores de Δh resultantes de diferentes ângulos de inclinação β para a *pseudotsuga* (d de 50 cm) (Loetsch et al., 1973)

| β | 1° | 2° | 3° | 5° | 10° |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Δh (cm) | 0.4 | 0.9 | 1.3 | 2.2 | 4.4 |

Se a altura de medição é inferior a 1.30 m e ao mesmo tempo os braços da suta estão inclinados para baixo, os erros sistemáticos positivos acumulam-se. Os erros serão tanto maiores, para o mesmo abaixamento de nível, quanto maior for a taxa de variação do perfil do tronco naquela zona da árvore.

A não observância da altura de medição correcta é frequentemente atribuída ao cansaço. Durante a manhã, a posição da suta e a altura de medição são geralmente correctas, mas, ao longo do dia, a suta vai sendo posicionada mais abaixo e, para facilitar a leitura, será cada vez mais inclinada, causando erros sistemáticos de 1%, ou mais, em termos de área basal (Loetsch et al., 1973). Este erro pode ser evitado usando uma vara de 1.30 m para colocar a suta ou para calibrar periodicamente a altura de medição.

3) Diferentes pressões de contacto da suta sobre o tronco

A força exercida pelos braços da suta sobre o tronco pode atingir um máximo de 12 kg e resulta numa compressão da casca, podendo resultar em erros negativos consideráveis. A magnitude do erro depende do operador e da resistência da casca contra a compressão (função da espécie e da idade). A suta deve, pois, ser colocada de modo a que o braço móvel se encoste ao tronco sem penetrar na casca. De todos os erros referidos, este é o mais difícil de controlar.

Fita de diâmetros

Seguindo a mesma ordem que em relação à suta, os três possíveis erros de medição com a fita são (Loetsch et al., 1973):

- 1) Inclinação da fita;
- 2) Não observância da altura exacta de medição;
- 3) Diferentes pressões de contacto da fita sobre o tronco.

1) Inclinação da fita:

- ▶ A fita é colocada de tal modo a que metade do perímetro de uma elipse esteja acima e a outra metade esteja abaixo do plano de medição correcto (situação ilustrada pela figura 22A). Como se pode ver na tabela 8, a magnitude deste erro, para o mesmo ângulo de inclinação, é praticamente metade do que no caso da suta (1a).

- ▶ A fita é colocada no ponto correcto de medição, mas o plano de medição situa-se acima ou abaixo do plano horizontal (o correcto), de modo a que o que se mede na realidade é o diâmetro correspondente à área de uma elipse. No caso ilustrado pela figura 24, o plano de medição situa-se abaixo do plano horizontal, fazendo um ângulo β com este. A magnitude deste erro, para o mesmo ângulo de inclinação, é o dobro do que no caso da suta (figura 22B). No entanto, a frequência deste tipo de erro é muito mais baixa na fita do que na suta. Além disso, o posicionamento da fita de diâmetros pode ocorrer tanto acima como abaixo do plano de medição correcto, de modo a que este erro tem um carácter mais aleatório. Para medições periódicas, recomenda-se que a árvore tenha duas marcas diametralmente opostas.

Tabela 8. Erros positivos em área basal (m^2) causados pela inclinação da fita para diferentes valores de d e do ângulo de inclinação α (correspondente à figura 23A (baseado em Loetsch et al., 1973)

| d(cm) | g(m^2) | α | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| | | 3° (0.14%) | 5° (0.38%) | 6° (0.55%) |
| 15 | 0.0177 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00004 |
| 20 | 0.0314 | 0.00004 | 0.00007 | 0.00010 |
| 40 | 0.1257 | 0.00017 | 0.00012 | 0.00017 |
| 50 | 0.1963 | 0.00027 | 0.00048 | 0.00069 |

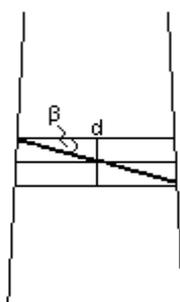


Figura 24. Inclinação da fita de diâmetros, com d – diâmetro correcto e β - ângulo de inclinação da fita (baseado em Loetsch et al., 1973)

2) Não observância da altura exacta de medição

Estes erros são da mesma magnitude dos verificados quando a medição é executada com a suta.

3) Diferentes pressões de contacto da fita sobre o tronco

Os erros causados são consideravelmente inferiores no caso da fita do que no caso da suta. A força com que a fita pode ser apertada à mão contra o tronco atinge um máximo de apenas 2 kg. Pelo contrário, existe o perigo da fita não ser suficientemente ajustada ao tronco, o que pode causar um erro positivo. Um erro positivo também pode ser causado por pequenos lançamentos de vegetação, líquenes, casca solta ou irregularidades no tronco.

A fita de diâmetros versus a suta

A utilização da fita tem vantagens e inconvenientes, quando comparada com o trabalho realizado com a suta. Trata-se de um instrumento muito mais cómodo para transportar e que se utiliza facilmente, mesmo quando as árvores são muito grossas. É o instrumento apropriado sempre que se procede a estudos de crescimento que impliquem a medição periódica das mesmas árvores, assegurando um maior grau de consistência. Por outro lado, é menos durável e não é tão rápido e fácil de manusear e necessita de maior cuidado para assegurar que a fita não está torcida ou descaída. Além disso, teoricamente, as medições com a fita são enviesadas e correspondem a sobrestimações de área basal, excepto no caso de secções perfeitamente circulares. De facto, quando se utiliza a fita na medição de secções elípticas, o perímetro obtido conduz (suposta a secção circular) a um diâmetro, e portanto a uma área seccional, superior ao real, pois a circunferência é aquela figura geométrica que, para a mesma área, tem menor perímetro. No entanto, testes de campo sugerem que este erro é do mesmo grau que o causado pela pressão dos braços da suta no tronco (Philiph, 1994).

3.2.5 Diâmetros a alturas superiores

Embora o diâmetro à altura do peito seja, sem sombra de dúvidas, o diâmetro mais importante na árvore, é por vezes necessário – em estudos de forma da árvore, para o cálculo de volumes por categorias de aproveitamento, para o ajustamento de equações de volume – proceder à medição de diâmetros ao longo do tronco, de forma conjugada com a medição das alturas a que foi feita a medição de cada diâmetro. A este tipo de operação dá-se o nome de medições conjugadas de diâmetros e alturas.

A medição conjugada de diâmetros e alturas é realizada por procedimento diferentes, consoante seja realizada com a árvore abatida ou com a árvore em pé.

3.2.5.1 Medição com a árvore abatida

Com a árvore abatida, procede-se ao corte da árvore nos locais em que se pretende fazer as medições. Geralmente medem-se o diâmetro do cepo, o diâmetro à altura do peito e, a partir do d, corta-se a árvore em toros de dimensão geralmente regular, sendo usual a utilização de toros com comprimento próximo dos 2 m. Hoje em dia, é vulgar utilizar-se a toragem a 2.20 m, a largura das camionetas que se utilizam depois para carregar os toros.

Após o abate mede-se na secção inferior de cada tronco, com a ajuda de uma régua graduada, dois diâmetros cruzados. Costumam medir-se nesta operação, quer os diâmetros com casca, quer os diâmetro sem casca (figura 25). Por vezes pode haver a exigência, da parte do proprietário das árvores, de não cortar os toros da base nos locais pretendidos. Nesse caso os diâmetros em questão terão que ser medidos com a suta ou a fita de diâmetros, medindo-se a casca com o medidor de espessura de casca.

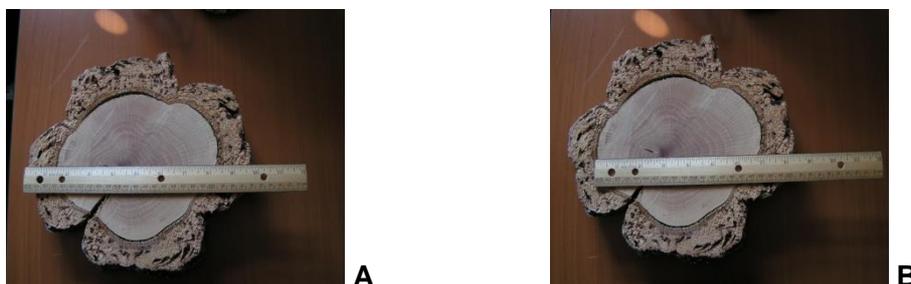


Figura 25. Medição de diâmetro com (A) e sem (B) casca, respectivamente

3.2.5.2 Medição com a árvore em pé

Designam-se por dendrómetros todos os aparelhos que permitem medir, com a árvore em pé, os diâmetros do tronco a várias alturas.

Os dendrómetros que, neste momento, se usam em Portugal, são o relascópio e o telerelascópio de Bitterlich. Ambos se baseiam no princípio ilustrado na figura 26. Estando o observador a uma distância conhecida da árvore, a avaliação do diâmetro (d) é feita por comparação de uma barra de largura conhecida, colocada a uma distância fixa do observador (escala do aparelho), com o diâmetro da árvore. Temos assim que:

$$\frac{r}{l} = \frac{\text{dist}}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \text{dist} \frac{l}{r}$$

onde k é uma constante do aparelho que depende da distância do olho à escala do relascópio (k) do valor de l , o qual toma diferentes valores consoante a combinação de bandas utilizada para fazer a coincidência com o d .

A descrição detalhada destes aparelhos, bem como as instruções para a sua utilização, pode ser vista em Barreiro et al. (2004).

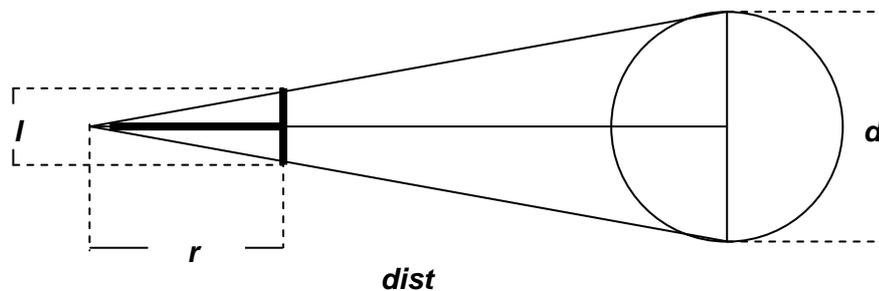


Figura 26. Determinação da distância da árvore a partir do valor de d e da combinação de bandas utilizada para fazer a coincidência com o d

3.3 Casca

A casca é o conjunto de tecidos que cobre externamente o câmbio, sendo portanto a camada exterior do tronco das árvores. Em alguns inventários florestais é importante fazer a avaliação da casca, sendo as principais razões pelas quais a avaliação da casca se pode tornar importante:

- ▶ O volume é calculado com casca, pelo que há a necessidade de avaliar o volume da casca
- ▶ A casca pode ter valor comercial, como é o caso da cortiça e, em certa medida, do pinheiro manso e pinheiro bravo.
- ▶ A determinação da espessura da casca é necessária quando se faz a medição do crescimento em diâmetro com base em pequenas verrumadas extraídas à altura do peito.

As variáveis que interessa determinar na casca são, portanto: a espessura, o volume e o peso da casca.

3.3.1 Avaliação da espessura da casca

A espessura da casca refere-se à distância que vai desde o lenho até à linha envolvente externa do diâmetro, aquela que é avaliada quando se mede o diâmetro com cortiça. Assim, se a casca apresentar um contorno irregular, a espessura da casca refere-se à espessura nas zonas mais espessas.

É medida com um aparelho de construção bastante simples e que é geralmente designado por medidor de espessura de casca (figura 27). O aparelho consiste numa lamina de aço em forma de goteira com uma ponta cortante e com um cabo para manuseamento. A lâmina desliza dentro de um tubo guia que tem um disco perpendicular para contacto com o tronco da árvore. A ponta da lâmina tem uma dureza adequada para perfurar a casca até ao câmbio. Quando este ponto é atingido, o operador sente nitidamente a maior resistência causada pela maior densidade da madeira. A espessura da casca é deduzida da profundidade de penetração, a qual pode ser lida directamente numa escala graduada que existe no tubo guia, tomando para ponto de leitura o local onde está colocado o disco de contacto. Para a avaliação da espessura da casca correspondente a um determinado diâmetro, a medição pode ser efectuada de ambos os lados do diâmetro ou, para simplificar, apenas de um lado. No caso de se optar por fazer apenas uma medição, esta não deverá ser feita sempre segundo a mesma direcção para obviar a possíveis desenvolvimentos preferenciais da casca numa determinada direcção. Em parcelas circulares é vulgar realizar a medição na direcção do centro da parcela.



Fig. 27. Medidor de Espessura de Casca

Os valores resultantes desta medição são sempre pequenos, logo, erros da ordem de 1 mm representam valores percentualmente muito elevados, daí a utilização do medidor de casca exigir cuidados especiais.

Referem-se de seguida as principais causas de erro:

1. Incorrecta penetração do medidor:

Se a pressão exercida no estilete de perfuração for elevada, pode atingir-se o tecido lenhoso, com a conseqüente sobrestimação da espessura da casca. Esta ocorrência é mais frequente durante a Primavera, quando se inicia um novo período de crescimento;

2. Deficiente colocação do disco de apoio.

Algumas regras para a medição da espessura da casca:

1. A espessura da casca deverá ser medida estando o operador virado de costas para o centro da parcela e no mesmo ponto onde se colocou o braço da suta quando foi feita a medição do diâmetro;
2. Não se deve pressionar o estilete de perfuração com violência e logo que se sinta a resistência própria do encosto ao lenho deve-se parar;
3. O disco de apoio deve estar completamente ajustada à superfície da casca;
4. Faz-se a leitura com aproximação ao milímetro.

A medição da espessura da cortiça é particularmente importante, uma vez que, nesta espécie, a medição de diâmetro se refere, obviamente, ao diâmetro sem cortiça. De facto, após a primeira extracção, o diâmetro medido sobre casca acompanha o crescimento da cortiça e não traduz, portanto, a dimensão da árvore. Infelizmente, os medidores de espessura de casca disponíveis no mercado são bastante difíceis de utilizar no caso da cortiça, devido à dificuldade de penetração neste material. É, portanto, urgente que sejam desenvolvidos medidores de espessura de casca que lhe estejam diâmetro.

3.3.2 Relação entre a espessura da casca e o diâmetro à altura do peito

À medida que as árvores vão crescendo em diâmetro, a espessura da casca vai também aumentando, existindo, assim, uma relação entre a espessura da casca e o diâmetro à altura do peito. Esta relação pode estudar-se, ou directamente, ou através da análise da relação entre o diâmetro sem casca e o correspondente diâmetro com casca. A figura 28 representa estas relações para o eucalipto, com base nos dados disponíveis na base de dados *Eglob_Vol*.

3.3.3 Espessura da casca ao longo do tronco

Quando se realiza a medição conjugada de diâmetros e alturas com a árvore abatida, obtém-se, simultaneamente, dados sobre a variação da espessura de casca ao longo do tronco. Estes dados não são geralmente utilizados para estudar directamente a relação entre os diâmetros, com e sem casca, da árvore, mas sim para o desenvolvimento de diversas equações com as quais se pode estimar o perfil da árvore com e sem casca ou volumes da árvore, também eles com e sem casca. Estas equações, e a sua utilização, encontram-se descritas com detalhe no ponto 1.7.4.

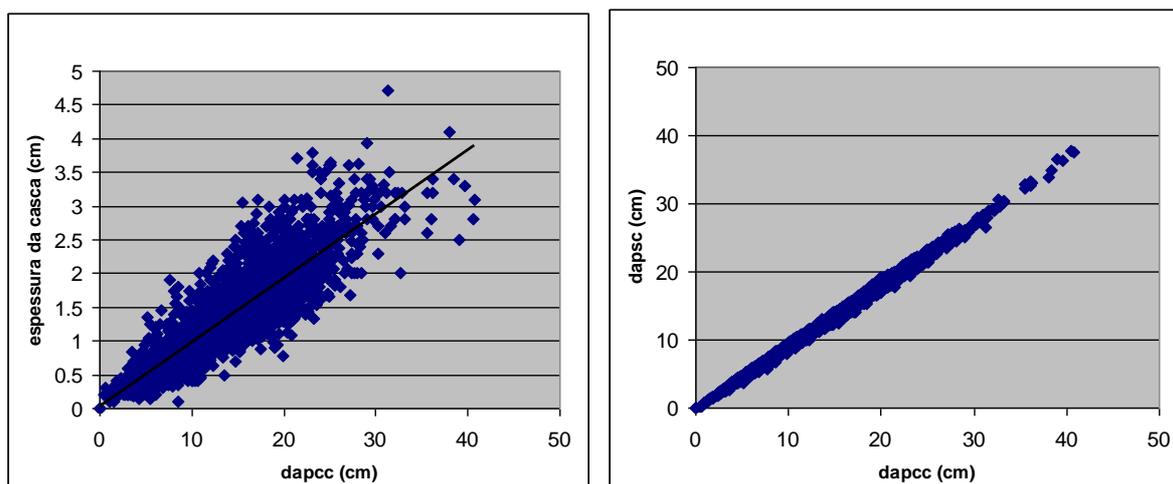


Fig. 28. Relação entre a espessura de casca e o diâmetro à altura do peito para o eucalipto

3.3.4 O caso particular da cortiça

Como já vimos, no ponto 1.3.1, a espessura da casca é uma variável de grande importância no sobreiro. Neste, é costume distinguirem-se três fases (Tomé et al., 2004):

1. Fase de Regeneração – até que a árvore atinja o nível de 1.30 m;
2. Fase Juvenil – desde que a árvore atinge o nível de 1.30 m, até ao primeiro descortiçamento;
3. Fase Adulta – a partir do primeiro descortiçamento.

A avaliação da espessura da cortiça é essencial nas fases juvenil e adulta porque o facto de a cortiça crescer entre cada extracção, voltando ao ponto zero imediatamente após esta, leva a que a dimensão da árvore tenha de ser avaliada com base no diâmetro sem cortiça. Já foi referido que a medição da espessura da cortiça não é uma tarefa fácil, tornando-se particularmente difícil quando a árvore se encontra na fase juvenil, face à grande dureza e irregularidade da cortiça virgem. Assim, a avaliação da espessura deste material, nesta fase, é feita, geralmente, por estimacção. Em Portugal, foi desenvolvida a seguinte equacção para estimacção do diâmetro sem cortiça em árvores nunca descortiçadas, mesmo que já adultas (Paulo *et al.*, não publicado):

$$d_u = -1.5276 + 0.8321 d$$

Esta equacção foi desenvolvida com base em dados de 361 árvores, localizadas em 14 locais representativos da área de expanscção do sobreiro em Portugal. A figura 29 representa esta equacção, juntamente com os dados que serviram de base ao seu ajustamento.

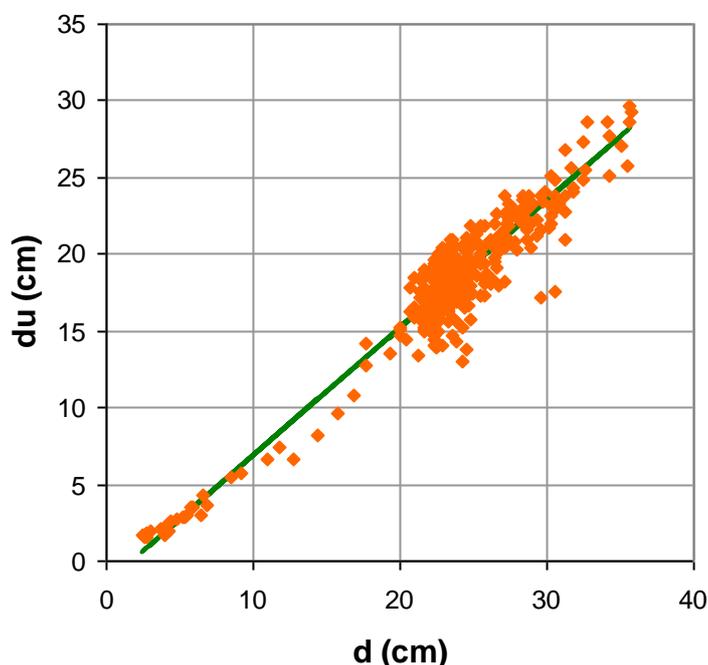


Figura 29. Equacção para a predicção do diâmetro sem cortiça a partir do correspondente diâmetro com cortiça

Já no caso das árvores na fase adulta, deve proceder-se à mediçcção da espessura da cortiça. Para minimizar os potenciais danos desta operacção, devem concentrar-se as mediçcões dos montados nos anos de extracção da cortiça. No caso desta ser explorada em simultâneamente em todas as árvores do mesmo povoamento, evitar-se-á, obviamente, a operacção de mediçcção da espessura da cortiça se o inventário se realizar logo após a extracção desta.

Se se conhecer a distribuição de calibres do povoamento – obtida, por exemplo, por inventário para avaliação do valor da cortiça – e a idade da cortiça de cada árvore (ou o ano de descortiçamento) é possível simular a espessura da cortiça com recurso ao modelo SUBER (Tomé et al., 2004). A explicação deste procedimento está, contudo, para além dos objectivos deste livro.

3.4 Altura total

A par com o diâmetro, a altura total (h) da árvore é outra variável bastante importante. Pode ser obtida por medição ou por estimação com recurso a relações hipsométricas. É usada essencialmente para o cálculo do volume e do acréscimo em volume e, associada à idade, para a determinação da qualidade da estação e caracterização do estado de desenvolvimento do povoamento.

A altura total é medida desde o nível do solo até ao ponto mais alto da árvore que se encontre vivo (flecha, ramo, etc.).

3.4.1 Métodos para a medição de alturas

De modo a medir as diversas alturas da árvore, a ponta tem de ser visível dum ponto onde seja possível ver a maior parte da árvore. Normalmente, em povoamentos densos e em árvores de grande dimensão, é difícil fazer esta medição. Os métodos de avaliação da altura podem ser classificados como:

- ▶ métodos directos: usando varas telescópicas encostadas à árvore;
- ▶ métodos indirectos: usando aparelhos ópticos, hipsómetros;
- ▶ estimação com relações hipsométricas.

3.4.1.1 Métodos directos

Medição directa com a vara telescópica

A medição é realizada com uma vara extensível - a vara telescópica - permitindo a medição directa das árvores cujas alturas fiquem abrangidas pelo seu comprimento, total ou parcialmente distendida.

Este processo tem interesse quando as alturas não são muito elevadas, principalmente em povoamentos com uma densidade que dificulte a utilização de hipsómetros. Embora existam, no mercado, varas para medição de alturas até 12 m, a utilização de varas telescópicas para alturas superiores a 7 m torna-se bastante difícil, nomeadamente pelo peso excessivo destas.

Também é preferida a utilização da vara quando se pretenda realizar estudos de crescimento, visto que a medição directa das alturas será sempre mais rigorosa do que qualquer outro método de avaliação.

A aplicabilidade da vara ficará sempre limitada pela altura das árvores presentes no povoamento e pelo comprimento da mesma.

Para a medição da altura com a vara telescópica são necessárias duas pessoas. Um operador junto à árvore distende a vara até à altura pretendida. O segundo operador, localizado a uma distância, que deve ser maior ou igual à altura que a árvore apresenta, indicará ao primeiro até onde deve distender a vara, de modo a atingir a altura pretendida. A leitura da medição é feita na vara graduada.

Medição directa de árvores abatidas com uma fita

Quando seja necessário medir a altura de uma árvore após o abate, a medição faz-se simplesmente com uma fita esticada ao longo do tronco. É este o processo mais correcto para a determinação da altura de uma árvore e aquele que deve ser utilizado em estudos em que seja requerida uma grande precisão ou quando se pretenda fazer uma verificação de outros aparelhos de medição.

3.4.1.2 Medição indirecta

De um modo geral, designam-se por Hipsómetros todos os aparelhos utilizados para medição de alturas com a árvore em pé. São descritos, de seguida, os princípios em que se baseiam os hipsómetros mais vulgarmente utilizados em inventário florestal.

Medição expedita: a vara e o hipsómetro de Christie

É possível fazer a medição da altura da árvore com recurso a uma simples vara de comprimento conhecido. Para tal, o operador deve colocar-se a uma determinada distância da árvore de modo a que, segurando a vara com o braço esticado, veja a árvore enquadrada na vara (ver figura 30). Da figura 30 tira-se que:

$$\frac{AB}{ab} = \frac{OB}{Ob}$$

onde AB é a altura da árvore, ab é o comprimento da vara (L_{vara}), Ob é o comprimento do braço ($L_{braço}$) e OB é aproximadamente a distância do operador à árvore, a qual pode ser medida a passo. A altura da árvore é assim determinada do seguinte modo:

$$h \approx \text{dist} \frac{L_{vara}}{L_{braço}}$$

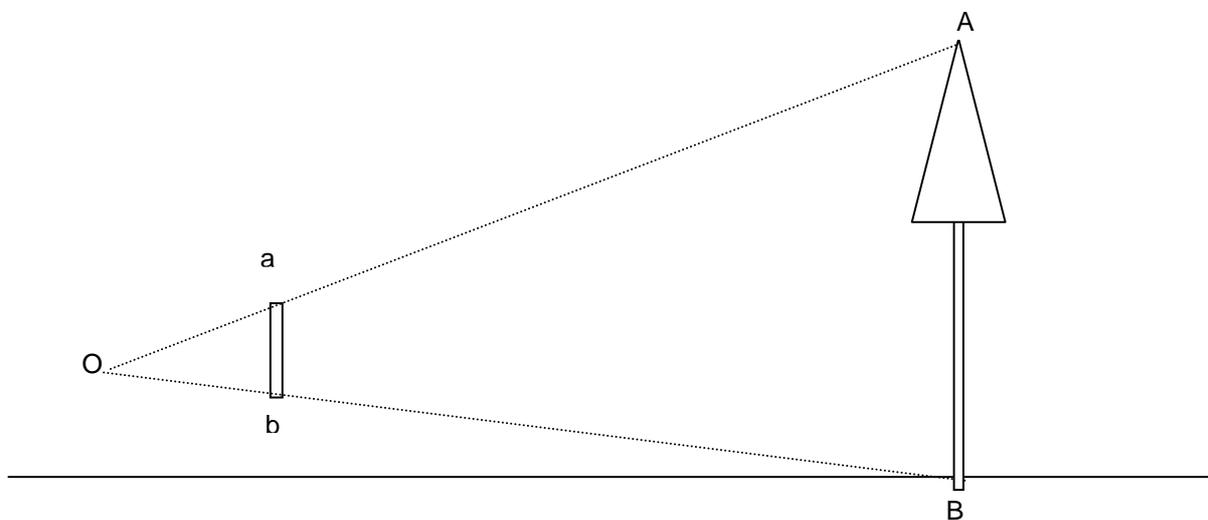


Figura 30. Medição expedita da altura de uma árvore com uma vara

Uma alternativa é o chamado hipsómetro de Christen. É constituído por uma vara, na qual se faz uma ranhura a 1/10 do comprimento. O procedimento é em todo semelhante ao anterior. Após circunscrever a árvore com a vara, faz-se uma mirada para a ranhura e orienta-se um operador que, colocado junto à árvore, deve marcar o local onde termina a pontaria. Medida a distância entre o solo e este local, a altura da árvore será igual ao produto desse comprimento por 10 (figura 31).

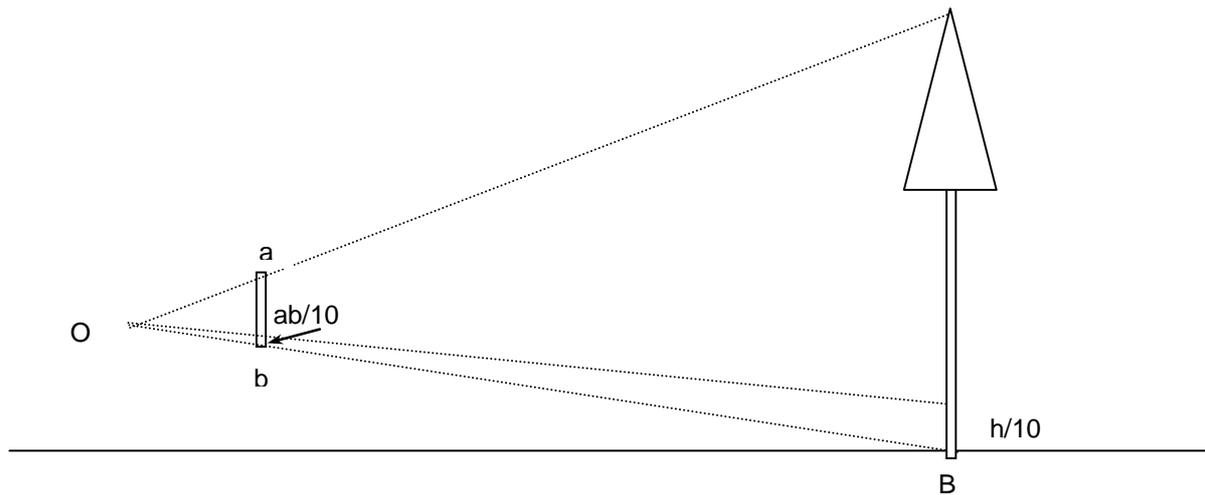


Figura 31. Medição expedita da altura de uma árvore com o hipsómetro de Christen

Medição indirecta com hipsómetros mecânicos e ópticos ou electrónicos

Os métodos indirectos realizam-se, geralmente, com instrumentos mecânicos e ópticos ou electrónicos, que medem ângulos verticais em relação ao plano horizontal, e que se designam por hipsómetros. Os mais actuais medem também distâncias. O operador coloca-se a uma determinada distância da árvore (no ponto D da figura 32) - fixa, no caso dos instrumentos não medirem distâncias - sendo então possível calcular a altura da árvore com base em princípios trigonométricos. Observe a figura 32. Para determinar a altura total, h, faz-se:

$$AC = AH + HC$$

$$AH = \text{tg } \alpha \text{ DH}$$

$$HC = \text{tg } \beta \text{ DH}$$

$$AC = \text{DH} (\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta)$$

onde AC será a altura total (h), AH a altura desde H, o ponto onde a linha horizontal, desde o operador, perpendicular ao tronco da árvore o intercepta, até ao topo da árvore (h_1) e HC a altura desde a base do tronco até H (h_2). Assim, a altura total será, $h = h_1 + h_2$.

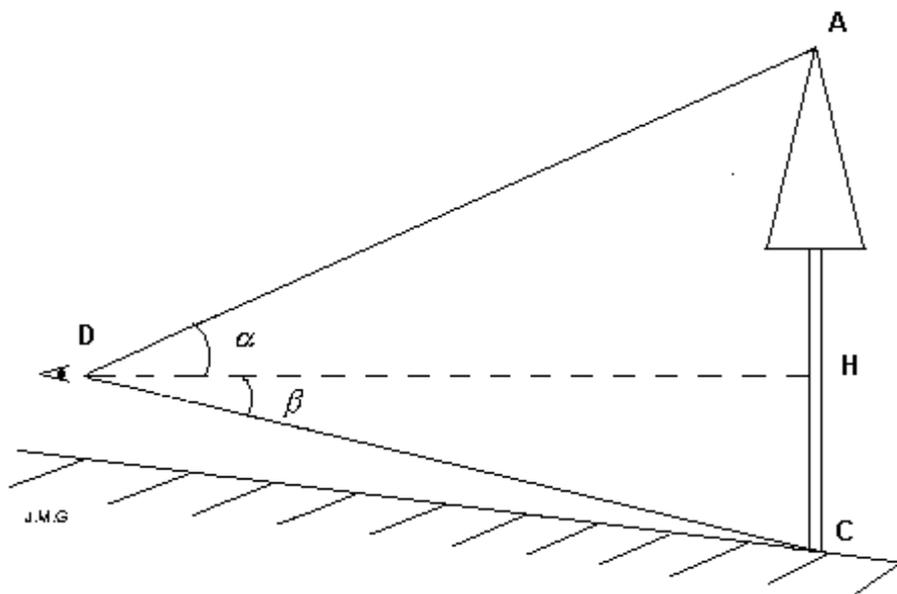


Figura 32. Medição da altura total segundo os princípios trigonométricos utilizados pelos hipsómetros *Blume-Leiss* e *Haga*

Os hipsómetros, mecânicos e ópticos, actualmente utilizados são: o hipsómetro de Blume-Leiss, o hipsómetro de Haga, o relascópio e telerelascópio de Bitterlich, o hipsómetro Vertex III e o hipsómetro laser. Para medir as alturas, o operador coloca-se a uma determinada distância da árvore, no ponto D da figura 32, a partir do qual se fazem as medições dos ângulos α e β .

Apresentam-se de seguida algumas características destes instrumentos e o modo como avaliam a altura total, h.

- ▶ O hipsómetro de *Blume-Leiss* (figura 33) e o hipsómetro de *Haga* são instrumentos mecânicos que medem ângulos. Os ângulos α e β são medidos para que a distâncias fixas à árvore, sejam fornecidos os correspondentes valores de h_1 e h_2 , como se mostrou acima. Os aparelhos têm ainda sistemas ópticos que permitem que o operador se coloque a determinadas distâncias fixas da árvore (15, 20, 30, 40 para ambos). Estas distâncias correspondem à distância ao longo do terreno e não a distâncias horizontais.

As desvantagens destes instrumentos são: a obtenção da altura ser baseada na soma de duas componentes, que são encontradas com duas leituras separadas, as quais ainda têm de ser corrigidas com uma terceira leitura, se a medição for feita em terreno declivoso. Além disto, é necessário estacionar a uma distância fixa, realizada com um dispositivo óptico associado ao aparelho, mas, em povoadamentos densos, será praticamente impossível executá-la opticamente, por falta de luz ou por falta de visão.

Para detalhes sobre o hipsómetro de Blume-Leiss consulte-se Barreiro e Tomé (2004a).



Figura 33. Exemplo de hipsómetro de *Blume-Leiss*

► *Medição indirecta com o relascópio de espelhos de Bitterlich*

O relascópio de espelhos de Bitterlich (figura 34) utiliza uma metodologia de medição de alturas em tudo semelhante à do *Blume-Leiss*. Tem, no entanto, a vantagem de permitir que o operador se coloque a distâncias horizontais fixas da árvore (15, 20, 25 e 30 m), evitando-se, assim, a avaliação do declive e conseqüente correcção da altura. Para detalhes consulte-se Barreiro et al. (2004b).



Figura 34. O relascópio de espelhos de Bitterlich

► *Medição indirecta com o telerelascópio de Bitterlich*

O telerelascópio de Bitterlich (figura 35) corresponde a um aperfeiçoamento do relascópio de espelhos. Tem a grande vantagem de ser construído de forma a que seja possível ao operador colocar-se a qualquer distância da árvore, sendo possível calcular esta distância com o auxílio de uma mira-régua horizontal, colocada junto à árvore. Uma vez conhecida a distância à árvore, a metodologia em que se baseia é idêntica à dos dois hipsómetros anteriormente mencionados. O telerelascópio trabalha com uma escala que está graduada em função da distância horizontal à árvore a qual, em cm, é designada por unidade taqueométrica. É por este facto que o aparelho se torna bastante flexível, uma vez que o operador se pode colocar a qualquer distância da árvore. Para mais detalhes consulte-se Barreiro et al. (2004b).



Figura 35. O telerelascópio de Bitterlich

- O hipsómetro Vertex III (figura 36) é um instrumento que mede distâncias, ângulos e temperatura do ar (detalhes em Barreiro e Tomé, 2005). Pode armazenar até 6 alturas por árvore. Este hipsómetro tem duas unidades, o hipsómetro e a mira (*transponder*), que é um transmissor-receptor ultra-sónico necessário para medir distâncias. A mira (*transponder*) é colocado a 1.30 m do solo, no ponto B da figura 38. A primeira leitura a fazer com o *Vertex* será a da distância, DB, e do ângulo ρ de modo a que se possa calcular a distância horizontal, DH:

$$DH = \cos \rho \times DB$$

Então a altura total, h, com h = AC, será:

$$AC = 1.30 + AH + HB$$

$$AH = \operatorname{tg} \alpha \text{ DH}$$

$$HB = \operatorname{tg} \rho \text{ DH}$$

$$AC = 1.30 + \text{DH} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \rho)$$

Estes cálculos são automaticamente feitos pelo aparelho, que fornece directamente a altura.



Figura 36. O hipsómetro Vertex III

- ▶ O hipsómetro laser (figura 37) é um sistema de avaliação de alturas que emite ondas infravermelhas e tem um sensor de ângulos verticais com resolução de 1 grau, com o qual permite avaliar indirectamente alturas de objectos. Este instrumento mede distâncias, até 365 metros, de alvos não cooperantes, dependendo do tamanho do alvo e da sua reflectividade.

Para avaliar uma altura, o laser requer três medições: a distância, DB, onde B corresponderá a cerca de metade da altura que se pretende medir, a partir da qual, com o ângulo ρ , calculará a distância horizontal, DH; dois ângulos, os que os eixos das miradas fazem para a base (DC), ângulo β , e para o local a medir (no caso de se pretender a altura total será com o topo, DA), ângulo α . A altura total será assim calculada:

$$AC = AH + HC$$

$$AH = \operatorname{tg} \alpha \text{ DH}$$

$$HC = \operatorname{tg} \beta \text{ DH}$$

$$AC = DH (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)$$

Tal como o *Vertex*, o laser fornece directamente a altura.



Figura 37. O hipsómetro Laser

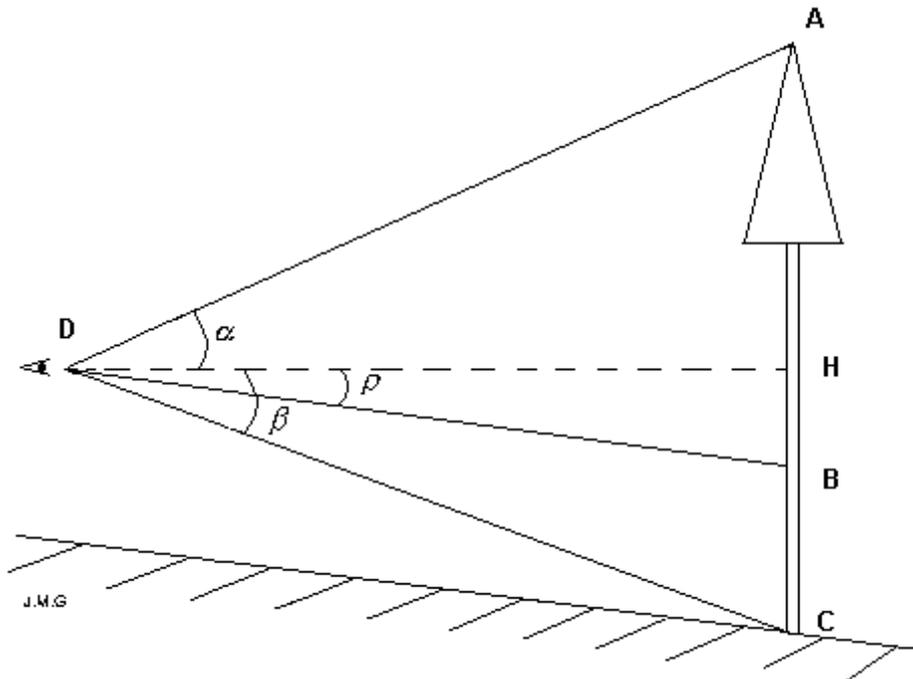


Figura 38. Medição da altura total, segundo os princípios trigonométricos utilizados pelos hipsómetros *Vertex* e laser

3.4.2 Regras para a medição de alturas

Para que a determinação da altura, através dos hipsómetros, seja a mais correcta possível, deve ter-se em atenção os seguintes pontos:

- 1) A escolha do ponto de observação, a partir do qual se vai proceder às medições, deve ser o mais conveniente, de modo a que:
 - ▶ a base e a flecha da árvore estejam bem visíveis, permitindo realizar as respectivas miradas com precisão. Caso a base da copa não seja bem visível, em consequência do mato, pode optar-se por referir todas as leituras ao nível do d, somando-se, no fim, 1.30 m a todas as alturas;
 - ▶ se evite a forma desfavorável do tronco;
 - ▶ se evite que os ramos ou a densidade do povoamento ou do sub-bosque impeçam uma boa visão do conjunto;
 - ▶ se evite o efeito da inclinação do tronco;
 - ▶ se evite um declive elevado entre o local onde se encontra o observador e a base da árvore.
- 2) A medição da altura deve ser sempre realizada no plano vertical, ainda que as árvores se apresentem inclinadas (figura 39). A medição da altura das árvores inclinadas deve-se realizar a partir de um ponto de observação que esteja localizado perpendicularmente ao plano da sua inclinação, isto é, a árvore não deve estar inclinada na direcção do observador ou afastar-se dele. No caso de se proceder à medição em árvores inclinadas, estar-se-á a cometer um erro na determinação da altura, o qual é minimizado se se observar esta regra de localização do observador em relação à árvore.

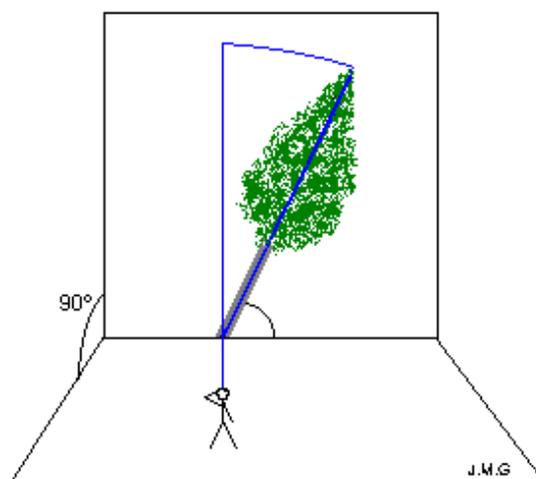


Figura 39. Medição de árvores inclinadas

- 3) A distância que o operador deve escolher para a localização do ponto de observação deve ser maior ou igual à altura que a árvore apresenta, de modo a evitar ângulos de mirada muito grandes, que implicam erros elevados em termos de altura. Considerando um erro de pontaria de 1° , pode observar-se, na figura 40, a relação dos erros obtidos na avaliação da altura total se o ângulo de mirada for de cerca de 30° ou de 60° .
- 4) A mirada para o topo da árvore, no caso das árvores que não tenham uma flecha bem distinta, deve ser efectuada tangente ao ponto mais alto da copa, procurando-se fazer esta operação com o maior afastamento possível. Exigem, assim, um maior cuidado na medição da altura, as árvores de copa redonda do que as de copa cónica (figura 41).
- 5) As árvores que bifurcam abaixo de 1.30 m do solo são consideradas duas árvores distintas medindo-se portanto as alturas de cada uma separadamente. Nas árvores que bifurcam acima de 1.30 m medem-se as alturas fazendo a pontaria para a perna/tronco mais alta.
- 6) Os métodos e instrumentos de medição a empregar devem estar de acordo com a exactidão requerida.

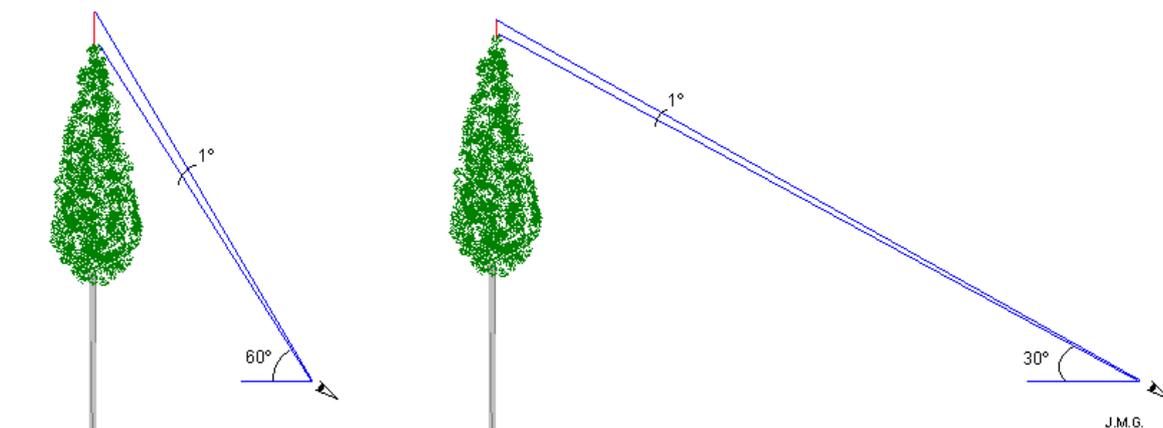


Figura 40. Influência no erro de avaliação das alturas da distância a que se faz a medição

3.4.3 Erros associados à medição de alturas

Tal como já foi feito em relação à determinação do diâmetro, na determinação das alturas, para uma abordagem sistemática do tipo de erros que podem ocorrer, vamos classificá-los do seguinte modo:

- ▶ erros decorrentes das características do objecto a medir;

- ▶ erros dos instrumentos;
- ▶ erros de medição.

3.4.3.1 Erros decorrentes das características do objecto a medir

- ▶ Características do povoamento

A altura da árvore só poderá ser correctamente determinada se a sua base e topo forem simultaneamente bem visíveis. Quanto mais denso é o povoamento, mais difícil se torna encontrar o sítio óptimo para se proceder à visada. Poderá ocorrer, também, a existência de sub-bosque, que encubra a base da árvore, havendo que determinar uma base alternativa, geralmente a altura de 1.30 m, ou inclusivamente mudar o ponto de observação.

- ▶ Medição de árvores sem flecha definida

Nem sempre é fácil avaliar a altura de árvores que não apresentem dominância apical bem definida. Quando não se visa exactamente o topo da árvore, ocorre um erro por excesso, que será tanto maior quanto mais alta for a árvore e mais larga for a copa. Para alturas superiores a 35 m, podem realizar-se sobreavaliações até aos 10% de erro (Loetsch et al., 1973).

O procedimento a aconselhar neste caso será realizar a mirada superior, tentando imaginar uma tangente que interceptará a copa da árvore no eixo vertical desta, de modo a que a altura estimada se aproxime o mais possível da sua altura real. Deve também evitar-se fazer a mirada a uma distância pequena da árvore.

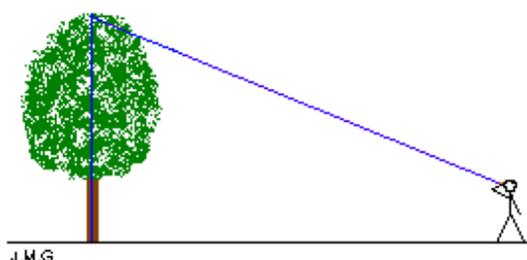


Figura 41. Intercepção da mirada com o ponto mais alto do eixo vertical imaginário da árvore

- ▶ Medição de árvores inclinadas

Como já foi referido, ao proceder-se à medição de árvores inclinadas na direcção do operador ou no sentido oposto, comete-se um erro na determinação da respectiva altura. A avaliação da altura virá afectada de um erro por excesso, quando a medição é realizada com a árvore inclinada para o operador, como se pode observar na figura 42, ou de um erro por defeito quando a árvore se encontra inclinada no sentido oposto. Tal facto acontece uma vez que os hipsómetros medem ângulos e as alturas medidas são portanto referidas ao plano vertical para cada ponto de observação. Neste caso, ao proceder-se à mirada de topo, nas circunstâncias apresentadas, estar-se-á a obter o valor de c' em vez do valor correcto, c (figura 41).

No sentido de minimizar o erro que ocorre nestes casos, deverá proceder-se à medição de modo a que a linha de pontaria esteja num plano perpendicular ao plano vertical que contém a inclinação da árvore (figura 39). Se não for possível estacionar em tais condições deverá fazer-se a medição à maior distância possível da árvore tornando assim menor o erro cometido em consequência da inclinação.

Quando se verifica vento forte, ocorrem momentaneamente situações de erro semelhantes às descritas anteriormente. Neste caso, há que esperar que a flecha deixe de oscilar e volte à posição vertical de modo a que se realize a medição em condições correctas.

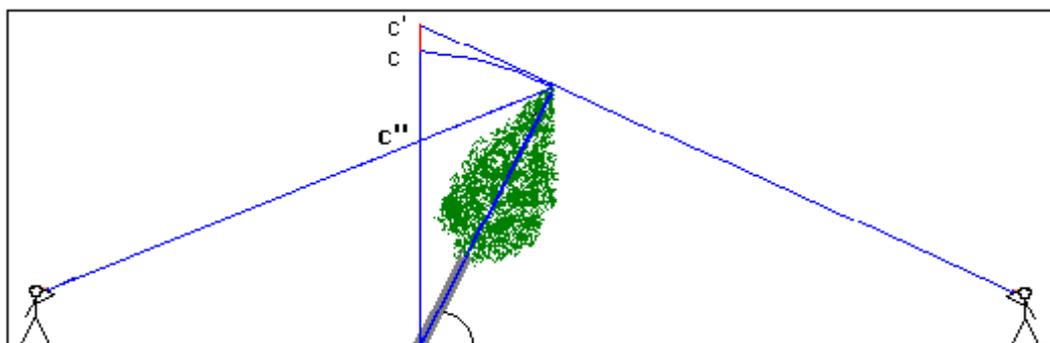


Figura 42. Erro associado à inclinação da árvore na direcção do operador (cc') ou na direcção oposta ao operador (cc'')

► Medições em terreno inclinado

Esta possível causa de erro será eliminada com a utilização dos hipsómetros Vertex e laser, uma vez que estes instrumentos calculam automaticamente as distâncias horizontais. Mesmo assim, será sempre recomendável que o operador tente minimizar o declive entre o local onde se coloca e o local onde se encontra a base da árvore, ou seja, visar as árvores, tanto quanto possível, segundo a curva de nível. Desta forma, minimizará o ângulo de pontaria e, nos hipsómetros que o necessitem, evitará a avaliação do declive e correspondente correcção.

3.4.3.2 Erros dos instrumentos

Com a utilização do Vertex e do laser, muitos dos erros devidos aos instrumentos foram minorados. Estes são instrumentos bastante fiáveis quando usados sob as condições ideais. Por fazerem as medições das distâncias recorrendo a ondas ultra-sónicas e de luz infravermelha, são, contudo, muito sensíveis às condições atmosféricas.

- ▶ O *Vertex* usa ondas ultra-sónicas para determinar a distância. A velocidade do som no ar depende de diversos factores – a humidade, a pressão atmosférica, o ruído envolvente e, principalmente, a temperatura. O sensor de temperatura contido no seu interior compensa as distorções causadas pelas variações de temperatura. O instrumento está calibrado para uma “atmosfera padrão” e o erro será aproximadamente de +/- 1%.

As ondas ultra-sónicas são atenuadas de forma diferente por diferentes valores de temperatura, humidade e pressão atmosférica. Por vezes, obtêm-se um alcance de 40 m, noutras alturas não se consegue alcançar os 30 m.

Para aumentar a precisão da medição, a calibração deverá ser feita regularmente. Ao calibrar, é de extrema importância que se tenha dado tempo suficiente ao instrumento para estabilizar à temperatura ambiente. O erro de medição dependente da temperatura é aproximadamente 2 cm/°C. Por exemplo, se o *Vertex* for guardado num bolso que esteja a 15 °C e a temperatura ambiente for de -5 °C, a medição feita com ele, para uma altura real de 10.00 m, será de 10.40 m. Neste caso, poderá ter de esperar cerca de 20 min até obter a melhor precisão.

Tomando este facto em consideração, calibrar o aparelho antes de ter sido dado o tempo suficiente para ele estabilizar tornará o erro “permanente”. O instrumento mostrará então os 10.00 m por um curto período mas, alguns minutos mais tarde, as medições estarão erradas.

É assim importante que:

- verifique o aparelho diariamente e o calibre se necessário;
 - não toque no sensor de temperatura na parte frontal do instrumento;
 - nunca calibre o instrumento antes deste ter atingido a temperatura ambiente.
- ▶ A temperatura óptima de funcionamento do hipsómetro laser é entre os 0° e os 40 °C e uma humidade relativa de 5 – 95%, não condensada. A distância é dada com uma precisão de +/- 0.9144 m (+/- 1.83 m para alvos muito escuros ou muito claros) e as alturas com uma precisão de +/- 45.72 inches (+/- 0.9144 m).

3.4.3.3 Erros de medição

A medição da altura das árvores requer prática, habilidade e boa visão. A maior parte dos erros ocasionados podem ser minimizados com o treino e aferição de resultados.

As causas principais de erros são:

- má técnica de recolha das leituras: não verificar as regras elementares da medição de alturas. Por exemplo, ao utilizar o hipsómetro de *Blume-Leiss*, é essencial que, antes de fazer qualquer leitura, se espere que o ponteiro estabilize;
- má visão;
- esquecimento de proceder à calibração frequente dos aparelhos.

É nos povoamentos densos e/ou em situações de terreno montanhoso que se criam as condições mais propícias à ocorrência de erros. Porém, apesar de ser impossível eliminar completamente as várias causas de erro, se o número de árvores medidas num povoamento for muito elevado, produzindo erros por excesso e por defeito, estes tenderão frequentemente a compensar-se mutuamente. Sendo assim, obter-se-á um erro total menor e de carácter aleatório.

3.4.4 Estimação da altura com recurso a relações hipsométricas

Normalmente, não é possível medir todas as árvores dum povoamento. Utilizam-se então equações de regressão - as relações hipsométricas – que foram ajustadas de modo a estimar as alturas das árvores a partir do diâmetro e de outras variáveis do povoamento. Podem distinguir-se dois tipos de relações hipsométricas:

- ▶ relações hipsométricas locais, geralmente função apenas do diâmetro a 1.30 m, ajustadas para aplicação no povoamento onde se procedeu à colheita dos dados, eventualmente em povoamentos semelhantes;
- ▶ relações hipsométricas gerais, função do diâmetro a 1.30 m e de variáveis do povoamento, tais como altura dominante, idade e densidade, desenvolvidas para aplicação generalizada a uma espécie numa determinada região.

Convém salientar que as relações hipsométricas são desenvolvidas geralmente a partir dos dados reais de alturas medidas em árvores-amostra nos inventários florestais. Portanto, é importante ter o maior cuidado na medição das alturas, uma vez que os erros cometidos nas medições vão ser posteriormente incluídos nas próprias relações hipsométricas (ou outros modelos) que com eles venham a ser desenvolvidas.

A tabela 9 mostra algumas das funções matemáticas que são mais vulgarmente utilizadas para a modelação de relações hipsométricas locais. A variável dependente pode ser h ou h-1.30 e, se possível, o valor estimado para h quando d=0 deve ser 1.30 m.

Tabela 9. Funções matemáticas mais utilizadas para a modelação das relações hipsométricas locais

| Função | Autor |
|---|-----------------------------|
| $h = a_0 + a_1 d + a_2 d^2$ | Staebler (1954) |
| $h = A \left(1 - e^{-a_0 d} \right)$ | Meyer (1940) |
| $\ln h = a_0 + a_1 \frac{1}{d}$ | Michailoff (1943) |
| $h = a_0 + a_1 \ln d$ | Henriksen (1950) |
| $\ln h = a_0 + a_1 \ln d$ | Stoffels e van Soest (1953) |
| $h = \frac{d}{a_0 + a_1 d}$ | Prodan (1965) |
| $h = a_0 + a_1 \frac{1}{d} + a_2 \frac{1}{d^2}$ | Curtis (1967) |

As tabelas 10 e 11 mostram algumas das relações hipsométricas gerais disponíveis em Portugal para o pinheiro bravo e o eucalipto, respectivamente. Para uma determinada utilização deve ser escolhida a relação hipsométrica que tenha sido desenvolvida para uma região e tipo de povoamento semelhantes com o povoamento em estudo. As tabelas 10 e 11 mostram apenas exemplos. Antes de uma aplicação, o utilizador deve fazer uma revisão bibliográfica exhaustiva para encontrar a melhor equação que esteja disponível para a sua situação em particular.

**Tabela 10. Algumas relações hipsométricas gerais disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|---|--|--|
| Oliveira do Hospital Pb irregular > 70% (Tomé et. al., 1992) | $h = h_{dom} \left(1 + \beta_0 h_{dom} e^{\beta_1 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{-\beta_2 \frac{d}{d_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=0.064900$ $\beta_1=-0.118975$ $\beta_2=2.096149$ |
| Oliveira do Hospital Pb irregular 40-70% (Tomé et. al., 1992) | $h = h_{dom} \left(1 + \beta_0 h_{dom} e^{\beta_1 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{-\beta_2 \frac{d}{d_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=0.045470$ $\beta_1=-0.063144$ $\beta_2=1.627603$ |
| Oliveira do Hospital Pb irregular <40% (Tomé et. al., 1992) | $h = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 \frac{N}{1000} + \beta_3 \frac{1}{d}$ | $\beta_0=2.570941$ $\beta_1=0.038451$ $\beta_2=-0.017549$ $\beta_3=-9.999696$ |
| Oliveira do Hospital Pb regular – bastio (Tomé et. al., 1992) | $h = e^{\left(\beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \frac{1}{d} \right)}$ | $\beta_0=3.254522$ $\beta_1=-0.089488$ $\beta_2=-10.117536$ |
| Oliveira do Hospital Pb regular – alto fuste (Tomé et. al., 1992) | $h = e^{\left(\beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \frac{1}{d} + \beta_3 \frac{1}{t} \right)}$ | $\beta_0=0.564569$ $\beta_1=0.898333$ $\beta_2=164.892105$ $\beta_3=-13.307492$ |

3.5 A copa da árvore

O conhecimento das características da copa da árvore é essencial para a correcta avaliação da sua capacidade de crescimento. As variáveis da copa não são, contudo, registadas frequentemente nos inventários florestais, em consequência da maior dificuldade de que se reveste a medição destas variáveis.

As variáveis da copa que são medidas com maior frequência são:

- altura da base da copa e profundidade da copa
- raios ou diâmetros da copa e área da copa
- área foliar

Vejamos então quais os métodos disponíveis para a avaliação destas variáveis.

Tabela 11. Algumas relações hipsométricas gerais disponíveis em Portugal Eucalipto

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|---|---|---|
| Centro de Portugal, 1ª rotação (Tomé, 1988) | $h = h_{dom} \left(1 + \beta_0 h_{dom} e^{\beta_1 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{\beta_2 \frac{d}{d_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=0.128770$ $\beta_1=0.02113$ $\beta_2=-1.7701$ |
| Silvicaima, 1ª rotação e talhadia (Ribeiro, 1998) | $h = h_{dom} e^{\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_{dom}} \right) \left(\beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 \frac{N}{1000} \right)}$ | $\beta_0=-2.71257$ $\beta_1=-0.20691$ $\beta_2=0.55694$ |
| Centro litoral, 1ª rotação (Soares, 1999) | $h = h_{dom} \left[1 + \left(\beta_0 + \beta_1 \frac{N}{1000} - \beta_2 d_{max} \right) e^{\beta_3 h_{dom}} \right] \left(1 - e^{-\beta_4 \frac{d}{h_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=0.10694$; $\beta_1=0.02916$; $\beta_2=0.00176$; $\beta_3=0.03540$; $\beta_4=1.81117$ |
| Centro litoral, 1ª rotação $t < 4$ anos (Soares e Tomé, 2002) | $h = 1.30 + h_{dom} \left[1 + \left(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 d_g \right) e^{\beta_4 h_{dom}} \right] \left(1 - e^{\beta_5 \frac{d}{h_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=-0.43487$; $\beta_1=-0.0108$; $\beta_2=0.09772$; $\beta_3=-0.06021$; $\beta_4=-0.04864$; $\beta_5=-1.58926$ |
| Centro litoral, 1ª rotação $t < 4$ anos (Soares e Tomé, 2002) | $h = h_{dom} \left[1 + \left(\beta_0 + \beta_1 \frac{N}{1000} - \beta_2 d_{max} \right) e^{\beta_3 h_{dom}} \right] \left(1 - e^{-\beta_4 \frac{d}{h_{dom}}} \right)$ | $\beta_0=0.10694$; $\beta_1=0.02916$; $\beta_2=-0.00176$; $\beta_3=0.03540$; $\beta_4=-1.81117$ |

3.5.1 A altura da base da copa, a profundidade da copa e a proporção de copa

3.5.1.1 Avaliação por medição directa ou indirecta

A altura da base da copa (hcb) é medida desde a base da árvore até à zona dos primeiros ramos vivos. Geralmente considera-se o início da copa quando existem ramos vivos em pelo menos 3 dos quadrantes da copa.

O complemento da altura da base da copa em relação à altura total é designado por profundidade da copa ($pfc = h - hcb$) variável muito utilizada em estudos de crescimento.

A proporção de copa (pc) calcula-se exprimindo a profundidade da copa como proporção da altura total:

$$pc = \frac{pfc}{h}$$

A medição da altura da base da copa faz-se, como é óbvio, com os aparelhos já descritos para a altura total: vara telescópica e hipsómetros.

3.5.1.2 Avaliação por estimação

Tal como para a altura total, também as variáveis relacionadas com a altura da copa podem ser estimadas a partir de equações de regressão.

Por exemplo, Soares e Tomé (2001) ajustaram a seguinte equação para a estimação da proporção de copa em eucaliptais de 1ª rotação do centro litoral de Portugal:

$$pc = \frac{1}{1 + e^{-\left(-5.76111 + 12.33413 \frac{1}{t} - 0.27179 \frac{N}{1000} - 0.17543 \text{ hdom} + 0.20559 d\right)}}$$

3.5.2 Raios da copa e área da copa

3.5.2.1 Medição directa

A copa das árvores pode ser de contorno bastante irregular, pelo que a correcta medição da sua projecção horizontal implica a medição do raio em mais do que uma direcção. Devem medir-se pelo menos 4 raios, segundo os pontos cardeais ou, no caso de copas bastante irregulares, 8 raios, também segundo os pontos cardeais e colaterais (figura 43).

A medição dos raios da copa é geralmente realizada com dois operadores. Um dos operadores situa-se junto ao tronco a segurar uma fita métrica colocada ao nível de 1.30 m desde o eixo da árvore (alternativamente a fita pode colocar-se a partir do tronco da árvore sendo necessário, neste caso, adicionar ao raio metade do valor do d). Ao mesmo tempo, e recorrendo a uma bússola, vai dirigindo o outro operador para que ele se desloque na direcção do ponto cardinal pretendido. Este segundo operador desloca-se com a fita métrica na mão até se colocar no prolongamento de uma perpendicular tangente ao perfil vertical da árvore, local onde faz na fita métrica a leitura do valor correspondente ao raio da copa. Se a equipa dispuser de um terceiro operador, este poderá colocar-se a uma certa distância e ajudar na localização correcta da vertical que passa pelo limite da copa. Um outro processo será o de o operador utilizar uma régua horizontal com um nível de bolha, colocando uma vara em posição perpendicular a esta. Deste modo, quando a vara vertical tocar o limite da copa, estará encontrado o local onde se deve fazer a medição.

No caso das árvores bastante tortas, nas quais a copa se encontra de tal modo deslocada que não “cobre” o diâmetro à altura do peito, há que encontrar um centro “fictício” localizado aproximadamente no centro da copa na direcção que une o centro da árvore (a 1.30 m) a um dos pontos cardeais. Mede-se a distância entre o verdadeiro centro e o centro fictício, toma-se nota da direcção segundo a qual se procedeu ao deslocamento do centro da copa e medem-se os raios a partir do centro “fictício”.

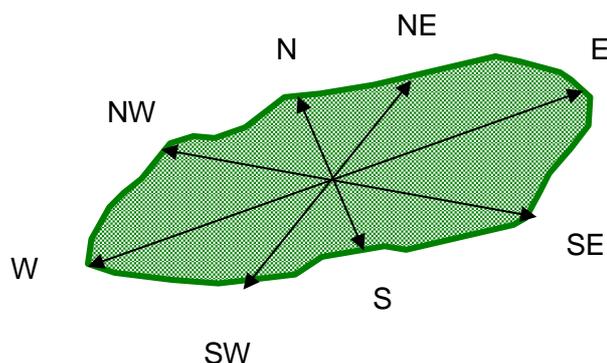


Figura 43. Medição de 8 raios da copa a partir do centro da árvore, na direcção dos pontos cardeais e colaterias

A partir dos raios da copa (r_i), podem calcular-se diversas variáveis:

Diâmetro da copa (2 x raio médio):

$$d_{\text{copa}} = 2 \frac{\sum_{i=1}^{n_r} r_i}{n_r} \quad (n_r \text{ é o número de raios medidos})$$

Área da copa:

$$a_{\text{copa}} = \frac{\pi d_{\text{copa}}^2}{4}$$

3.5.2.2 Avaliação por estimação

Na avaliação por estimação pode utilizar-se, quer o diâmetro da copa, quer a área da copa, como variável dependente.

Por exemplo, para o sobreiro foram ajustadas as seguintes equações para a estimação do diâmetro da copa (Tomé et al., 2001):

$$d_{\text{copa}} = 17.317 \left(1 - e^{-\left(0.01678 \text{ dcc} - 0.09756 \frac{\text{dcc}}{\text{dcc}_g} + 0.03023 \frac{N}{1000} \right)} \right) \quad (\text{povoamentos jovens})$$

$$d_{\text{copa}} = 29.927 \left(1 - e^{-\left(0.006444 \text{ dsc} + 0.062943 \frac{\text{dsc}}{\text{dsc}_g} \right)} \right) \quad (\text{povoamentos adultos})$$

onde dcc e dsc são os diâmetros com e sem cortiça, respectivamente; dccg e dscg são os diâmetros quadráticos médios com e sem cortiça; N é o número de árvores por ha.

3.5.3 Área foliar

3.5.3.1 Avaliação por pesagem total

Não existem aparelhos para a avaliação directa da área foliar. A avaliação indirecta, que leva a uma avaliação mais exacta desta variável, implica o abate da árvore e baseia-se no seguinte procedimento:

1. Após o abate da árvore, separam-se todas as folhas dos respectivos ramos e raminhos;
2. Pesa-se no campo a totalidade das folhas da árvore, obtendo-se o chamado peso verde das folhas (w_{vf});
3. Retira-se uma amostra de folhas que seja representativa da totalidade das folhas da árvore;
4. Obtém-se o peso fresco da amostra de folhas ($w_{vf_amostra}$), quer directamente no campo com uma balança de precisão portátil ou após o transporte da amostra para laboratório, sendo, neste caso, a amostra colocada em um saco de plástico previamente tarado e muito bem fechado, de modo a que não se perca nenhuma humidade;
5. No laboratório, separam-se os limbos dos pecíolos e procede-se à medição das áreas dos limbos das folhas da amostra com aparelho próprio para a medição de áreas foliares ou após digitalização das folhas com scanner, obtendo-se assim a área foliar das folhas da amostra ($la_{amostra}$);

6. A área foliar da árvore é então obtida através da seguinte regra de 3 simples:

$$\frac{W_{vf_amostra}}{W_{vf}} = \frac{la_amostra}{la}$$

Vem portanto que:

$$la = W_{vf} \frac{la_amostra}{W_{vf_amostra}}$$

Se a árvore for grande, de modo a tornar difícil a obtenção de uma amostra de folhas representativa de toda a copa da árvore, esta sequência de operações deve ser realizada separadamente para cada um dos 3 terços da árvore: superior, médio e inferior. A área foliar da árvore será, então, obtida por soma das áreas foliares de cada terço da copa. Nas coníferas convém ainda separar as folhas do ano das dos anos anteriores. Quando a árvore for bastante grande, esta metodologia torna-se demasiado “pesada”, sendo frequente recorrer-se à avaliação da área foliar por amostragem (como, por exemplo, em Paulo et al., 2003).

3.5.3.2 Avaliação a partir da avaliação da luz interceptada

É possível avaliar a área foliar indirectamente a partir da medição da radiação interceptada, a qual é medida com base em aparelhos genericamente designados por ceptómetros. Estes aparelhos têm de ser previamente calibrados, com base no abate de árvores, nas quais foi previamente feita a medição de radiação interceptada, para determinação da área foliar.

3.5.3.3 Estimação com relações alométricas

Em virtude da dificuldade de obtenção da área foliar será desejável possuir equações de regressão que permitam estimar a área foliar a partir de variáveis da árvore e do povoamento de mais fácil medição.

Em Portugal foi desenvolvida a seguinte equação para a estimação da área foliar de eucaliptos em 1ª e 2ª rotação (Pereira et al. , 1996):

$$la = (2189.527 + 99.037 G) d^2 h_{bc}^{(0.0494 - 0.0300 G)}$$

onde la é a área foliar (m²), G é área basal (m² ha⁻¹), d é o diâmetro à altura do peito (m) e hbc é a altura da base da copa (m).

Suponhamos um eucalipto com um diâmetro à altura do peito de 25 cm e uma altura da base da copa de 14.5 m localizado num povoamento com uma área basal igual a 24.5 m² ha⁻¹. A estimativa da sua área foliar será de 43.7 m².

3.6 Forma

Os troncos das árvores apresentam formas muito variadas. Varia a forma de acordo com: a espécie, dentro da mesma espécie, de indivíduo para indivíduo, consoante a estação, as técnicas de silvicultura e a constituição genética. Finalmente, para o mesmo indivíduo, varia ao longo da sua vida.

O estudo da forma das árvores é mais complicado do que o do diâmetro à altura do peito ou da altura, uma vez que implica também o estudo destas variáveis e ainda a determinação de diâmetros ao longo do tronco (medições conjugadas de alturas e diâmetros). Mesmo que consideremos apenas o caso das árvores em povoamento, as quais tomam uma forma mais regular, encontramos uma gama muito variada de formas, desde aquelas passíveis de se assemelharem a um tipo geométrico bem definido, até aquelas formas completamente irregulares.

O estudo da forma das árvores passa, portanto, pela procura de padrões geométricos a que se possam assemelhar as formas reais (os troncos, os toros, os ramos). Trata-se de definir os chamados protótipos dendrométricos, isto é, os sólidos geométricos a que se ajustam, melhor ou pior, os troncos das árvores.

3.6.1 A família das parábolas generalizadas

Considere-se a equação da parábola ordinária:

$$y = \pm b x^{1/2} ,$$

com b real.

Esta curva pode ser definida como o lugar geométrico de todos os pontos do plano que distam por igual de um ponto fixo, o foco, e de um eixo, a directriz. A parábola ordinária é uma curva simétrica em relação ao eixo dos x (figura 44). Muitas árvores apresentam perfis longitudinais que se ajustam, mais ou menos, à curva parabólica atrás referida, desde que se considere a secção longitudinal do tronco obtida segundo um plano que contém o eixo da árvore, supostamente rectilíneo. É o caso das várias espécies da família das Pináceas. Há, no entanto, árvores com um perfil mais “cheio”, enquanto que outras têm um perfil mais “delgado”, e outras ainda são mais próximas de um cilindro. Recorre-se, então, a uma família de curvas, cujos elementos sirvam para representar tais perfis, a qual se obtém por generalização da equação da parábola ordinária:

$$y = \pm b x^r$$

onde b representa um coeficiente real e r, índice da parábola geratriz, é um expoente real. A esta equação dá-se o nome de equação das parábolas generalizadas.

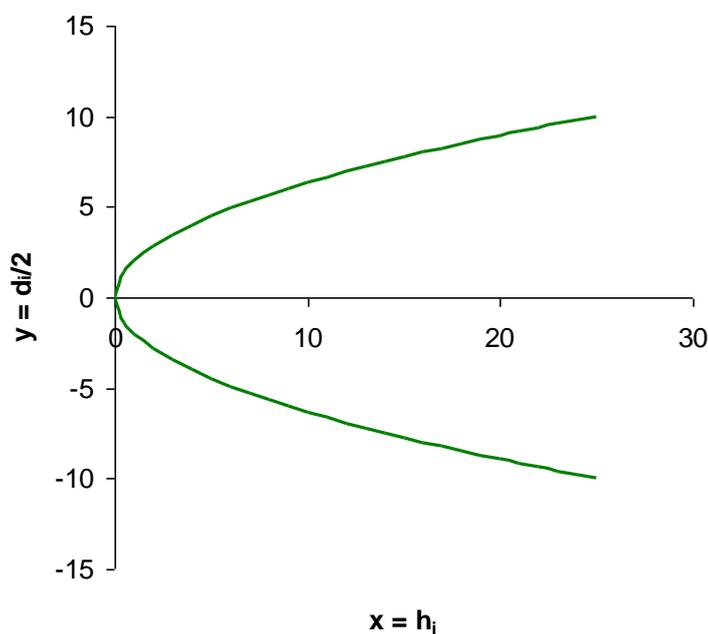


Figura 44. Representação gráfica da parábola ordinária

A forma de uma curva da família das parábolas generalizadas depende do valor de r, sendo tanto mais próxima do cilindro quanto mais r se aproximar de zero, e tanto mais “adelgada” quanto maior for o valor de r. A figura 45 mostra as curvas com mais interesse para a cubagem de árvores.

Para $r=0$ a equação das parábolas generalizadas corresponde a duas rectas paralelas ao eixo das abcissas, simétricas em relação a este eixo. Corresponde à forma dos perfis longitudinais dos toros aproximadamente cilíndricos – caso dos toros da base de certas árvores.

Para $r=1/2$, temos a equação das parábolas ordinárias. Um grande número de árvores apresenta perfis longitudinais semelhantes a esta curva. Além disso, acontece frequentemente, mesmo naqueles casos em que o perfil do tronco não seja, todo ele, assimilável à parábola ordinária, que alguns dos seus troços (toros) apresentem perfis longitudinais representáveis por porções desta parábola. É nesta constatação que se baseia a cubagem rigorosa por toros de que falaremos num ponto posterior.

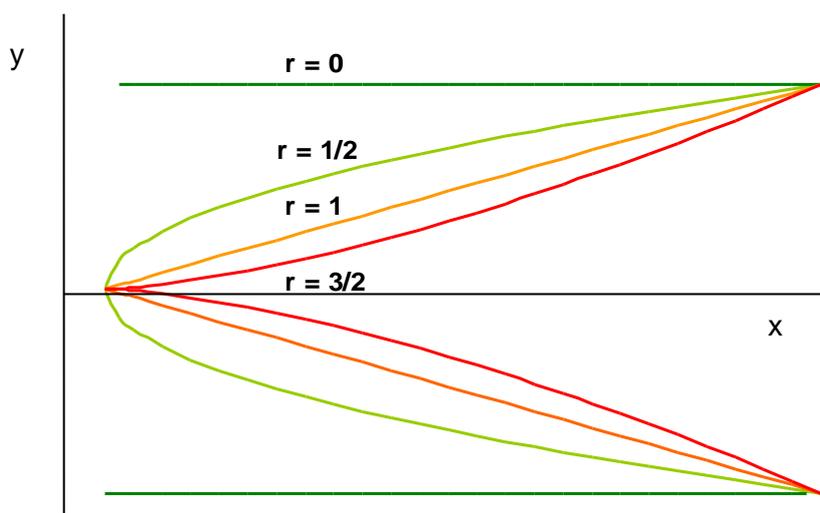


Figura 45. Forma correspondente às parábolas mais adequadas para a representação da forma das árvores

Para $r=1$ a equação das parábolas transforma-se em duas rectas passando pela origem (vértice da parábola). Os toros da extremidade dos troncos têm perfis que podem frequentemente traduzir-se por equações deste tipo.

Finalmente, para $r=3/2$ obtém-se uma forma com a curvatura muito acentuada, a qual corresponde frequentemente ao toro da base das árvores.

3.6.2 Parabolóides de revolução

Consideremos agora um sólido gerado pela rotação de um ramo de uma parábola (figura 46). A este sólido dá-se a designação de parabolóide de revolução.

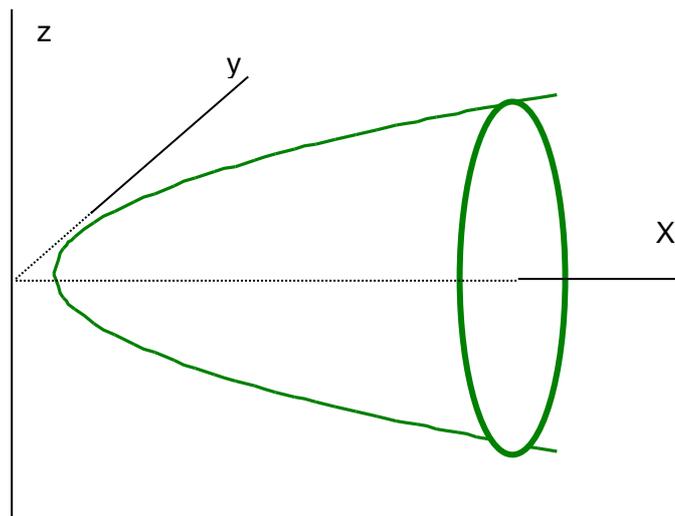


Figura 46. Parabolóide de revolução gerado pela rotação completa de um ramo de parábola

A cada uma das equações da parábola acima referidas com sendo de importância para o estudo da forma das árvores, corresponde um parabolóide de revolução. Assim, para $r=0$ temos o cilindro, para $r=1/2$ o parabolóide ordinário, para $r=1$ o cone e, finalmente, para $r=3/2$ o neilóide (figura 47). Podem ainda referir-se, como tendo alguma importância, o parabolóide cúbico ($r=1/3$) e o parabolóide semi-cúbico ($r=2/3$).

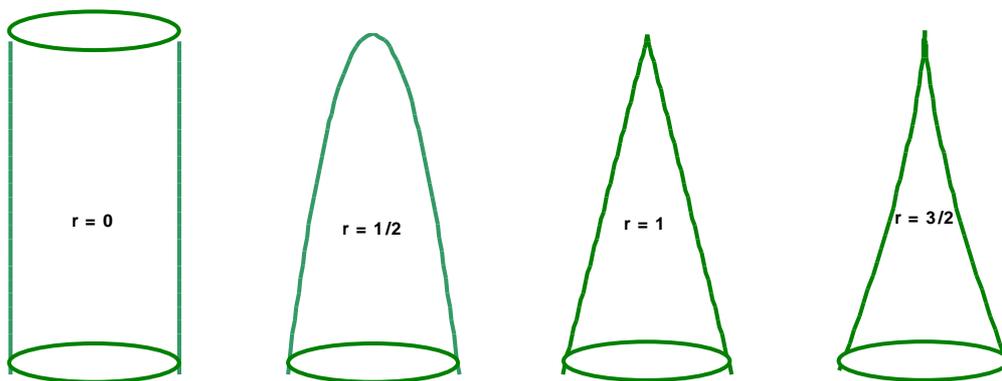


Figura 47. Parabolóides de revolução de maior importância na cubagem de árvores

3.6.3 Coeficientes e quocientes de forma

As noções que se têm vindo a apresentar, além de servirem para a boa compreensão da forma da árvore, permitiram desenvolver os vários métodos para a determinação do volume de árvores. Complementarmente, é também útil definir índices que permitam sintetizar a forma de uma árvore (ou de um toro). Estes índices podem ser utilizados como variáveis independentes de modelos ajustados para a estimação de volumes de árvores, para fazer estudos de comparação da forma de árvores com diferente constituição genética ou provenientes de povoamentos sujeitos a tratamentos silvícolas alternativos. Utilizam-se geralmente dois tipos de índices: os coeficientes e os quocientes de forma.

3.6.3.1 Coeficientes de forma

Um coeficiente de forma define-se como sendo a razão entre o volume da árvore (ou de uma parte da árvore) e o volume de um cilindro padrão com a mesma altura do que a árvore e com um diâmetro seleccionado para referência. Quanto maior seja o coeficiente de forma, qualquer que seja o diâmetro de referência considerado, mais cilíndrica é a árvore.

De acordo com o diâmetro de referência utilizado, assim se podem definir vários coeficientes de forma:

- ▶ Coeficiente de forma absoluto (f_0):

O cilindro padrão tem como diâmetro o diâmetro da base da árvore;

- ▶ Coeficiente de forma ordinário (f):

O cilindro padrão tem como diâmetro o diâmetro à altura do peito;

- ▶ Coeficiente de forma verdadeiro ou natural ($f_{0.10}$):

O cilindro padrão tem como diâmetro aquele que se encontra a uma altura igual a 10% da altura total da árvore.

Apenas o coeficiente de forma absoluto e o coeficiente de forma verdadeiro caracterizam, realmente, a forma da árvore. Embora o coeficiente de forma ordinário tenha sido bastante utilizado em estudos da forma da árvore, constata-se que dois troncos com a mesma forma, mas tamanhos diferentes, não têm o mesmo valor de coeficiente de forma ordinário. A figura 48 mostra duas árvores de diferentes tamanhos em que a maior foi obtida homoteticamente a partir da menor. O centro da homotetia é o ponto O, e a razão de transformação é o quociente entre a altura das duas árvores. Como se pode ver, a utilização do d como diâmetro de referência não conduz a um mesmo valor do coeficiente de forma, embora as duas árvores tenham exactamente a mesma forma. Na árvore mais pequena, o d situa-se na parte de baixo do tronco, pelo que o cilindro de referência apresenta um volume proporcionalmente mais elevado do que na árvore maior. O coeficiente de forma ordinário da árvore menor é, assim, bastante inferior ao da árvore maior. Suponhamos um exemplo:

| <u>ÁRVORE MENOR</u> | <u>ÁRVORE MAIOR</u> |
|---|---|
| h = 10 m | h = 20 m |
| d = 15 cm | d = 30 cm |
| $V_{\text{árvore}} = 0.081115 \text{ m}^3$ | $V_{\text{árvore}} = 0.811150 \text{ m}^3$ |
| $V_{\text{cilindro padrão}} = 0.176715 \text{ m}^3$ | $V_{\text{cilindro padrão}} = 1.413717 \text{ m}^3$ |
| f = 0.459017 | f = 0.573771 |

Já os coeficientes de forma absoluto e verdadeiro dão uma boa indicação da forma das árvores, qualquer que seja o seu tamanho. O coeficiente de forma absoluto, como veremos no ponto seguinte (cubagem de parabolóides de revolução), toma valores que são apenas função do sólido a que se referem. O coeficiente de forma verdadeiro toma valores geralmente entre 0.3 e 0.6. A tabela 12 mostra os valores que estes coeficientes tomam para os sólidos mais úteis no estudo da forma dos troncos das árvores.

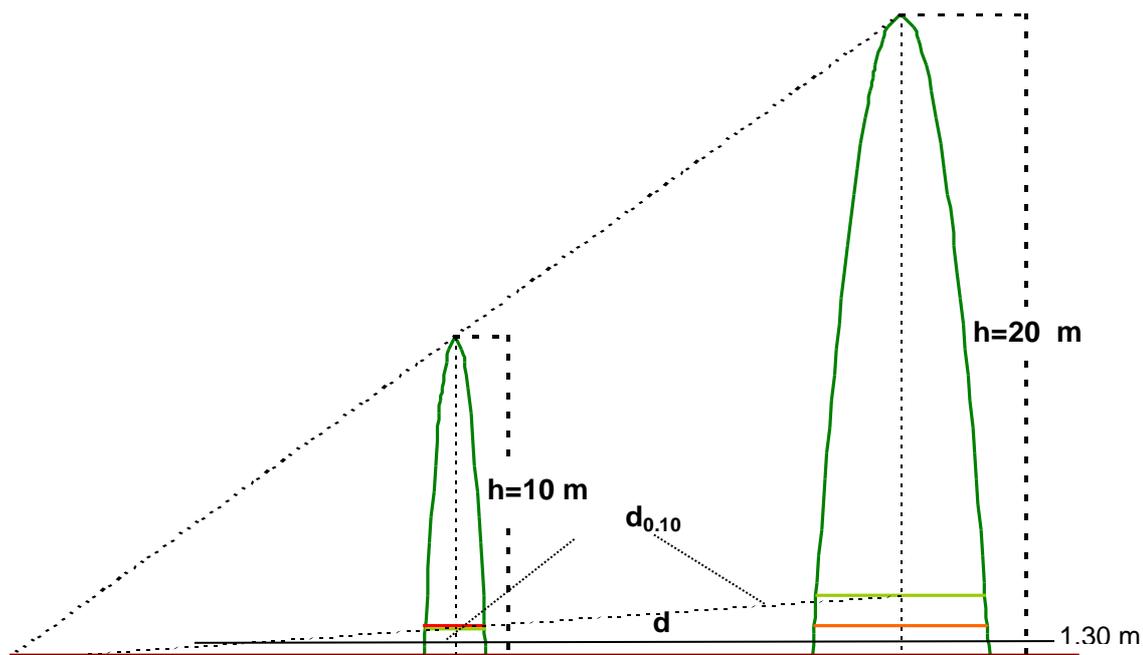


Figura 48. Coeficiente de forma ordinário em árvores de diferente tamanho

A partir das fórmulas de cubagem de parabolóides de revolução, obteve-se a seguinte fórmula para o cálculo do coeficiente de forma verdadeiro:

$$f_{010} = f_0 \frac{1}{0.9^{2r}}$$

Tabela 12. Coeficientes de forma absoluto e verdadeiro para os sólido mais úteis no estudo da forma dos troncos das árvores

| Sólido | Índice da parábola | Coef.forma absoluto | Coef. forma verdadeiro |
|-------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| Cilindro | 0 | 1 | 1 |
| Parabolóide cúbico | 1/3 | 3/5 | 0.64 |
| Parabolóide ordinário | 1/2 | 1/2 | 0.56 |
| Parabolóide semi-cúbico | 2/3 | 3/7 | 0.49 |
| Cone | 1 | 1/3 | 0.41 |
| Neilóide | 3/2 | ¼ | 0.34 |

3.6.3.2 Quocientes de forma

Um quociente de forma define-se pela razão entre um diâmetro seleccionado para referência (diâmetro este a uma altura superior à da altura do peito) e o diâmetro à altura do peito.

Usa-se, com frequência, para diâmetro de referência o diâmetro que se encontra a meia distância entre o 1.30 m e o topo da árvore, originando-se o quociente de forma dos 50%:

$$qf_{0.50} = \frac{d_{0.50}}{d}$$

Um outro coeficiente de forma, que foi, nos anos 50 e 60, bastante utilizado em estudos da forma da árvore, é aquele que usa como diâmetro de referência o diâmetro a 5.30 m, o qual é conhecido por quociente de forma de Girard:

$$qf_{\text{Girard}} = \frac{d_{5.30}}{d}$$

3.6.4 O perfil do tronco

Uma vez de posse dos diâmetros de uma árvore a diferentes alturas, o perfil da árvore pode ser representado graficamente, utilizando as alturas de despona como valor de x e os correspondentes diâmetros ou áreas seccionais como valor de y.

Considere-se, como exemplo, a ficha de campo que se encontra na figura 49.

Propriedade: Furadouro - Alto do Vilão

Compasso 3.00 x 2.00

Data do abate 31-03-93

Árvore nº 187

| Alturas (m) | | |
|-------------|---------|---------|
| Total | | do cepo |
| em pé | no chão | |
| 12.25 | 12.90 | 0.1 |

| Diâmetros (mm) | | | | |
|------------------|--------------------|----|-------|---|
| Local de medição | Diâmetro com casca | | casca | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Diâmetro | 71 | 73 | 3 | 3 |

| | | | | |
|-------------|----|----|---|---|
| Local corte | 89 | 93 | 9 | 8 |
| 0.5 | 78 | 82 | 4 | 3 |
| 1.0 | 75 | 74 | 3 | 3 |
| 3.0 | 55 | 55 | 2 | 2 |
| 5.0 | 50 | 53 | 1 | 1 |
| 7.0 | 39 | 42 | 1 | 1 |
| 9.0 | 29 | 39 | 1 | 1 |
| 11.0 | 23 | 25 | | |
| 13.0 | | | | |
| 15.0 | | | | |
| 17.0 | | | | |
| 19.0 | | | | |
| 20.0 | | | | |

Figura 49. Ficha de campo correspondente aos dados obtidos por abate de um eucalipto

A partir dos dados aí apresentados, é possível reconstituir o perfil da árvore com casca:

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| h_i (m) | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.3 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 9.0 | 11.0 | 12.9 |
| d_i (cm) | 8.00 | 9.10 | 7.45 | 7.20 | 5.50 | 5.15 | 4.05 | 3.40 | 2.40 | 0.00 |

A figura 50 mostra os gráficos do perfil do tronco desta árvore, usando como variável dependente o diâmetro (A) ou a correspondente área seccional (B). O gráfico A tem a vantagem de representar o tronco tal como ele é visto, embora seja impossível, como é lógico, respeitar a verdadeira razão entre alturas e diâmetros. O gráfico B tem a vantagem de a área contida entre o gráfico do perfil e os eixos coordenados corresponder ao volume da árvore. Para uma determinada altura h_i , (veja-se figura 50), é possível encontrar o volume até à altura h_i .

Os gráficos da figura 50 não podem ser usados para comparar os perfis de árvores com tamanho diferente. Para que esta comparação seja possível, há que converter os valores originais de diâmetros e alturas em unidades relativas. Há duas possibilidades para o gráfico A (figura 51): 1) dividir os d_i e os h_i pela altura total; 2) dividir os d_i e os h_i por um diâmetro de referência medido a uma percentagem da altura da árvore (por exemplo $d_{0.01}$). Em relação ao gráfico B, as possibilidades são as seguintes (figura 46): 1) dividir os g_i pelo quadrado da altura total e os h_i pela altura total; 2) dividir os g_i pela área seccional correspondente a um diâmetro de referência (por exemplo $g_{0.01}$) e os h_i pelo mesmo diâmetro de referência (por exemplo $d_{0.01}$).

3.7 Volume

Nas árvores com dominância apical, o volume da árvore corresponde ao volume do tronco. Nas folhosas, que desenvolvem uma copa baseada em ramos bastante bem desenvolvidos e que se formam a partir de uma bifurcação do tronco (que ocorre a uma altura reduzida, como é, por exemplo, o caso do sobreiro) falamos antes de volume do fuste, sendo este definido como o volume do tronco até à bifurcação. Nas árvores com este tipo de ramificação, deve também calcular-se:

- ▶ o volume das pernadas, sendo estas os ramos inseridos directamente no tronco
- ▶ o volume das braças de 1ª ordem, os seja nos ramos que se inserem nas pernadas
- ▶ o volume das braças de 2ª ordem, aqueles ramos que se inserem nas braças de 1ª ordem

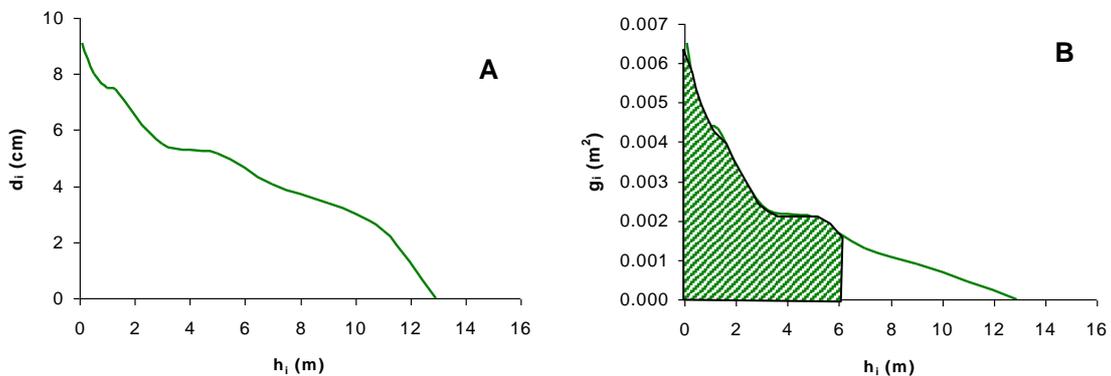


Figura 50. Perfis do tronco da árvore cuja ficha de campo se encontra na figura 49

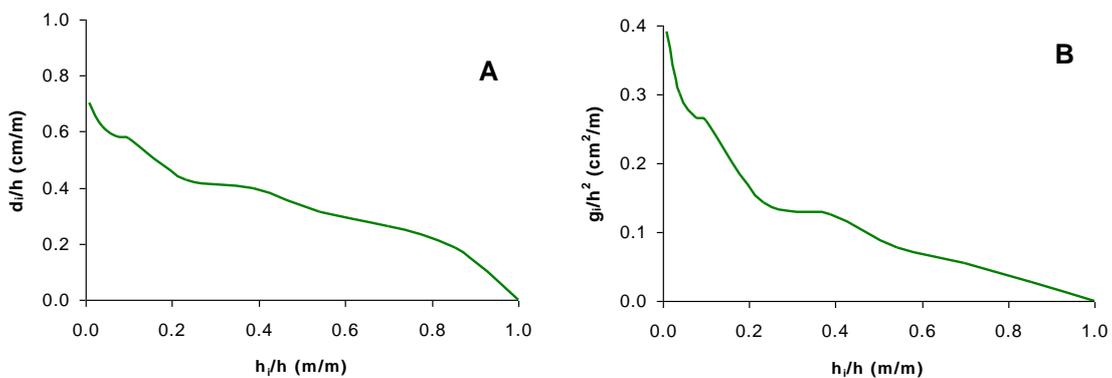


Figura 51. Perfis do tronco da árvore cuja ficha de campo se encontra na figura 49 em unidades relativas (opção 1)

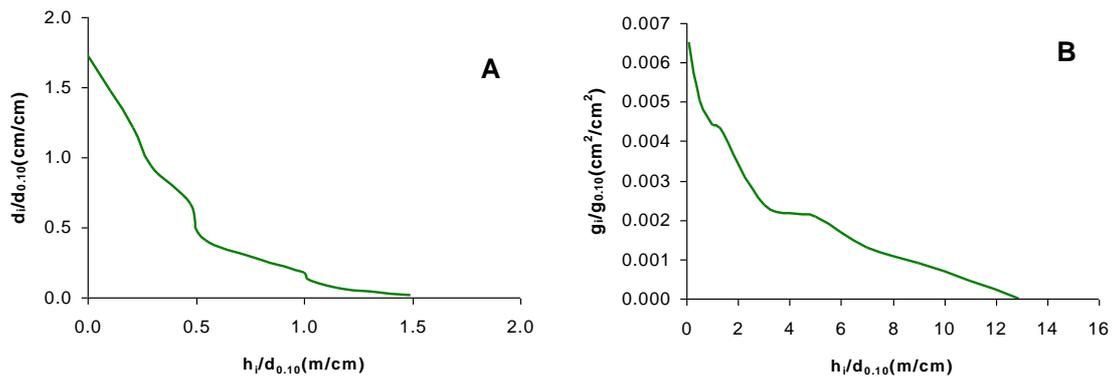


Figura 52. Perfis do tronco da árvore cuja ficha de campo se encontra na figura 49 em unidades relativas (opção 2)

3.7.1 Tipos de volumes

3.7.1.1 Volume com e sem casca

Quando se fala de volume da árvore, pensa-se no volume total, ou seja, no volume do tronco com casca e incluindo cepo. Contudo, é também importante determinar, quer os volumes sem casca, quer os volumes sem cepo. Podemos ter, assim, os seguintes tipos de volumes:

- ▶ Volume com casca e com cepo
- ▶ Volume com casca e sem cepo
- ▶ Volume sem casca e com cepo
- ▶ Volume sem casca e sem cepo

Pode ainda descontar-se, a cada um dos quatro volumes acima citados, o volume da bicada,

3.7.1.2 Volume total e por categorias de aproveitamento

Para além da determinação do volume total, interessa muitas vezes fazer a sua repartição por categorias de aproveitamento as quais são definidas de acordo com diâmetros mínimos de despona e/ou comprimentos mínimos dos toros. Suponhamos um exemplo para a repartição do volume por categorias de aproveitamento:

Madeira de classe superior: $d_i > 25$ cm e comprimento do toro de, pelo menos, 3 m;

Madeira de segunda: $25 \text{ cm} \geq d_i > 20$ cm e $d_i > 25$ cm desde que comprimento inferior a 3 m;

Madeira para peças de pequena dimensão: $20 \text{ cm} \geq d_i > 12$ cm;

Rolaria e trituração: $12 \text{ cm} \geq d_i > 6$ cm;

Bicada: $d_i \leq 6$ cm.

3.7.2 Cubagem de parabolóides de revolução

3.7.2.1 Cubagem do tronco inteiro

Assumindo que a forma do tronco de uma árvore pode ser aproximado por um parabolóide de revolução, o problema de determinação do volume do tronco reduz-se ao estudo da cubagem dos parabolóides de revolução.

Considere-se o perfil longitudinal de um parabolóide (figura 46), de tal modo que o eixo longitudinal do parabolóide coincida com o eixo das abcissas e o eixo das ordenadas seja tangente ao vértice do respectivo perfil. A admitir-se a forma circular, a secção transversal genérica do parabolóide tem uma área dada por:

$$g_i = \pi y^2 = \pi b^2 x^{2r} = \pi b^2 \left(\frac{d_i}{2}\right)^{2r}$$

O volume do parabolóide com comprimento h é dado por:

$$\begin{aligned} v &= \int_{x=0}^h g_i dx = \int_{x=0}^h \pi b^2 x^{2r} dx = \pi b^2 \int_{x=0}^h x^{2r} dx = \pi b^2 \left[\frac{x^{2r+1}}{2r+1} \right]_0^h = \pi b^2 \left(\frac{h^{2r+1}}{2r+1} - 0 \right) = \\ &= \frac{1}{2r+1} \pi b^2 h^{2r} h \end{aligned}$$

Se designarmos a área da base do sólido por g_0 , temos que:

$$g_0 = \pi b^2 h^{2r}$$

pelo que vem:

$$v = \frac{1}{2r+1} g_0 h$$

É esta a fórmula geral de cubagem dos parabolóides. Substituindo r pelos valores correspondentes aos principais parabolóides de revolução, obtêm-se as fórmulas de cubagem destes sólidos (tabela 13).

Tabela 13 Fórmulas de cubagem dos parabolóides de revolução com mais interesse para o estudo da forma das árvores

| Sólido | Índice da parábola | Volume do sólido |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| Cilindro | 0 | $v = g_0 h$ |
| Parabolóide cúbico | 1/3 | $v = \frac{3}{5} g_0 h$ |
| Parabolóide ordinário | 1/2 | $v = \frac{1}{2} g_0 h$ |
| Parabolóide semi-cúbico | 2/3 | $v = \frac{3}{7} g_0 h$ |
| Cone | 1 | $v = \frac{1}{3} g_0 h$ |
| Neilóide | 3/2 | $v = \frac{1}{4} g_0 h$ |

Repare-se que, de acordo com esta fórmula, o volume da árvore é obtido multiplicando o volume de um cilindro por um valor que é sempre menor do que 1. É fácil ver que este valor é o coeficiente de forma absoluto, visto ser o quociente do volume da árvore pelo volume de um cilindro padrão com o diâmetro igual ao diâmetro da base do sólido:

$$\frac{1}{2r+1} = \frac{v}{g_0 h}$$

Designando o coeficiente de forma absoluto por f_0 , a fórmula geral de cubagem dos parabolóides fica:

$$v = f_0 g_0 h$$

Na prática, é vulgar utilizar a fórmula geral de cubagem dos parabolóides com g (área a 1.30 m) em vez de g_0 , e f (coeficiente de forma ordinário) em vez de f_0 , obtendo-se a fórmula de cubagem dos parabolóides modificada:

$$v = fgh$$

3.7.2.2 Cubagem de troncos de parabolóides

Consideremos o toro representado na figura 53 como sendo limitado pelas secções com área igual a g_1 e g_2 . O volume deste toro pode ser obtido pela diferença entre o volume do parabolóide que tem por base g_2 e o volume do parabolóide que tem por base g_1 :

$$V_{\text{toro}} = f_0 g_2 h_2 - f_0 g_1 h_1 =$$

$$\begin{aligned}
&= f_0 (g_2 h_2 - g_1 h_1) = \\
&= f_0 \left(\pi b^2 h_2^{2r} h_2 - \pi b^2 h_1^{2r} h_1 \right) = \\
&= f_0 \pi b^2 \left(h_2^{2r+1} - h_1^{2r+1} \right)
\end{aligned}$$

O cilindro de comprimento $h_{\text{toro}}=h_2-h_1$ e base g_2 tem um volume:

$$V_{\text{cilindro}} = g_2 h_{\text{toro}} = \pi b^2 h_2^{2r+1} (h_2 - h_1)$$

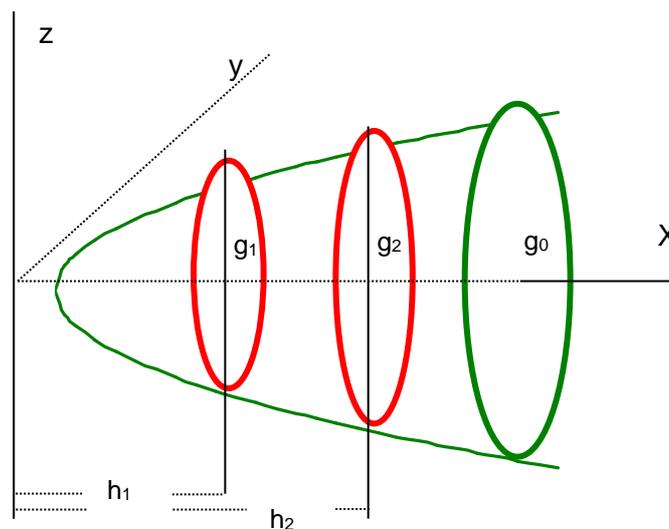


Figura 53. Tronco de parabolóide de revolução

Dividindo v_{toro} por V_{cilindro} vem:

$$\frac{v_{\text{toro}}}{V_{\text{cilindro}}} = \frac{f_0 \pi b^2 (h_2^{2r+1} - h_1^{2r+1})}{\pi b^2 h_2^{2r} (h_2 - h_1)} = \frac{f_0 \left(1 - \frac{h_1^{2r+1}}{h_2^{2r+1}} \right)}{1 - \frac{h_1}{h_2}}$$

Com base na equação das parábolas generalizadas, obtém-se que:

$$g_i = \pi b^2 h_i^{2r}$$

$$x = h_i = \frac{1}{\pi b^2} g_i^{\frac{1}{2r}}$$

Partindo deste resultado, pode então deduzir-se a fórmula geral de cubagem de troncos de parabolóides:

$$V_{\text{toro}} = V_{\text{cilindro}} f_0 \frac{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{2r+1}{2r}}}{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{1}{2r}}} = f_0 g_2 h_{\text{toro}} \frac{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{2r+1}{2r}}}{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{1}{2r}}}$$

Finalmente:

$$V_{\text{toro}} = \frac{1}{2r+1} g_2 h_{\text{toro}} \frac{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{2r+1}{2r}}}{1 - \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{\frac{1}{2r}}}$$

Substituindo o valor de r pelos índices das parábolas geratrizes mais utilizadas no estudo da forma da árvore, obtemos as fórmulas a aplicar na cubagem dos troncos de cada um dos parabolóides.

A fórmula mais utilizada na cubagem de toros corresponde ao parabolóide ordinário, sendo exacta também para o cilindro, e designa-se por fórmula de Smalian:

$$V_{\text{toro}} = \frac{g_1 + g_2}{2} h_{\text{toro}}$$

A fórmula de Smalian, também designada por fórmula da secção média, calcula, portanto, o volume de um toro pela multiplicação do comprimento do toro pela semi-soma das áreas das secções extremas.

Por vezes, utiliza-se também a fórmula que corresponde ao cone:

$$V_{\text{toro}} = \frac{1}{3} \frac{g_2^{3/2} - g_1^{3/2}}{g_2^{1/2} - g_1^{1/2}} h_{\text{toro}}$$

Existe, entretanto, uma outra fórmula também bastante usada na cubagem de toros, a fórmula de Huber ou da secção mediana:

$$V_{\text{toro}} = g_{1/2} h_{\text{toro}}$$

A fórmula de Huber calcula o volume do toro pelo produto do seu comprimento pela área da secção mediana (situada a igual distância das secções extremas). Esta fórmula é bastante útil nas cubagens destinadas a fins comerciais, dada a rapidez de cálculo que permite e dado o suficiente rigor que, em regra, lhe fica inerente. A fórmula de Huber calcula os volumes dos toros com erros percentuais que, na maioria dos casos, se situam à volta dos -2%. Em regra, os volumes calculados são, de facto, inferiores aos volumes reais, sendo os erros dependentes do índice da parábola geratriz. A fórmula só é exacta para $r=0$ e $r=1/2$, sendo apenas aproximada para outros valores de r , sendo o erro tanto menor quanto mais os toros se ajustarem ao cilindro ou ao parabolóide ordinário.

3.7.3 Métodos de cubagem directa

A avaliação directa do volume de um tronco implicará o abate da árvore e subsequente imersão do tronco em água, com medição do volume de líquido deslocado. Como é óbvio, este método não é de fácil aplicação, na prática, para um grande número de árvores, pelo que se desenvolveram inúmeros métodos para a avaliação indirecta de volumes de árvores.

3.7.4 Métodos de cubagem indirecta

Os métodos de cubagem indirecta baseiam-se no cálculo do volume a partir da medição directa de um certo número de diâmetros do tronco e das correspondentes alturas. De entre os diversos métodos de cubagem indirecta, alguns podem ser classificados como métodos de cubagem rigorosa, outros como métodos expeditos.

Por cubagem rigorosa entende-se a cubagem baseada na partição da árvore em toros de dimensão relativamente pequena, sendo o volume calculado como soma dos volumes calculados para cada toro utilizando a fórmula de Smalian ou a fórmula de Huber.

Como já vimos, é geralmente mais rigoroso proceder ao seccionamento do perfil, e, portanto, do tronco da árvore, de forma a que se ajuste cada um dos troncos resultantes do seccionamento ao tipo geométrico que melhor o represente. Verifica-se, de facto, que numerosos troncos fogem a identificar-se com algum dos sólidos definidos atrás, mesmo aquele que seja mais semelhante. Contudo, feita a divisão do tronco em toros, verifica-se que cada um destes fica quase perfeitamente representado por um tronco de parabolóide. Por isso, o cálculo do volume baseado na divisão do tronco em toros permite, em geral, uma precisão superior àquela que se obteria se se considerasse o tronco como um todo.

A não rectilíneidade dos troncos também indica a necessidade de realizar a cubagem da árvores por secções. Para cada um dos toros em que se seccionar a árvore, já é mais razoável supor que é rectilínea a parte do tronco correspondente.

Para que a determinação do volume tenha rigor, é necessário considerar a partição da árvore num conjunto razoável de toros, determinando o volume de cada um por qualquer das fórmulas de cubagem de troncos de parabolóide de revolução que vimos no parágrafo anterior. Uma cubagem rigorosa implica, geralmente, o abate da árvore e o correspondente corte em toros, de modo a ser possível medir com precisão os diâmetros com e sem casca (ambos com duas medições perpendiculares, ou seja, diâmetros cruzados), geralmente com uma régua graduada.

Nos casos em que não seja possível abater a árvore – por exemplo em ensaios – é possível realizar as medições conjugadas de diâmetros e alturas com o telerelascópio de Bitterlich ou mesmo com o relascópio. Embora haja a perda de precisão associada aos erros inerentes a estes aparelhos, a cubagem continua a ser razoavelmente rigorosa, especialmente se se utilizar o telerelascópio.

3.7.4.1 Cubagem rigorosa por toros com recurso à fórmula de Smalian

Para a cubagem da árvore por este método, é costume considerar os seguintes toros:

- o cepo;
- o toro da base até ao diâmetro à altura do peito;
- toros de igual comprimento (geralmente 2 m ou 2.20 m) em número dependente da altura da árvore;
- bicada.

Para o cálculo do volume da árvore, parte-se da hipótese de que o cepo pode ser representado por um cilindro, de que a bicada (de comprimento igual ou inferior ao comprimento seleccionado para os toros) se ajusta a um cone e de que os toros intermédios são assimiláveis a troncos de parabolóide ordinário, a cubar, cada um, pela fórmula de Smalian (figura 54).

Neste método de cubagem rigorosa comete-se, deliberadamente, um erro, que consiste em tomar o cepo (com um comprimento inferior a 30 cm) como sendo um cilindro, quando é sabido que, para a generalidade dos casos, a forma neilóidica é a que melhor se ajusta à realidade. A principal razão que leva a recorrer à fórmula do volume do cilindro, em substituição da de um tronco de neilóide, é a impossibilidade prática de se obterem diâmetros junto ao solo, quer pela dificuldade da operação em si mesma, quer pelas grandes irregularidades junto ao solo. Entretanto, hoje em dia é possível cortar as árvores com uma altura de cepo bastante pequena e, assim, o erro tem um valor bastante pequeno.

A figura 55 apresenta como exemplo o cálculo, por cubagem rigorosa, do volume da árvore cujos dados se encontram na figura 49.

3.7.4.2 Cubagem rigorosa pelo método de Hohenadl

O método de Hohenadl é um método de cubagem rigorosa de árvores baseado na fórmula de Huber. O tronco da árvore é dividido num determinado número de toros, geralmente 5 ou 10, todos iguais, e cada um destes toros é cubado pela fórmula de Huber. As medições necessárias para a cubagem de uma árvore pelo método de Hohenadl são, portanto, todos os diâmetros a meio dos toros nos quais se considerou dividida a árvore.

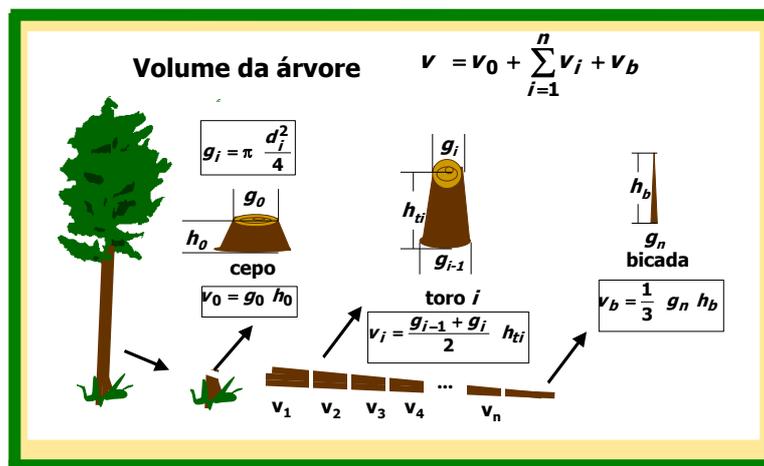


Figura 54. Cubagem rigorosa de uma árvore com recurso à fórmula de Smalian

| n.toro | local de corte | comp. do toro | diâmetros com casca | | | área (m ²) | volume (m ³) | | |
|--------|----------------|---------------|---------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---|
| | | | d ₁ | d ₂ | d (cm) | | | | |
| 0 | | 0.10 | | | (d ₁ +d ₂)/2 | π d ₁ ² | | | |
| | 0.10 | | 8.9 | 9.3 | 9.10 | 0.006504 | 0.000650 | cepo | V=g _{cepo} *h _{cepo} |
| 1 | | 0.40 | | | | | | | |
| | 0.50 | | 7.8 | 8.2 | 8.00 | 0.005027 | 0.002306 | 1º toro | V=(g _{cepo} +g ₁)/2*h ₁ |
| 2 | | 0.50 | | | | | | | |
| | 1.00 | | 7.5 | 7.4 | 7.45 | 0.004359 | 0.002346 | 2º toro | V=(g ₁ +g ₂)/2*h ₂ |
| dap | | 0.30 | | | | | | | |
| | 1.30 | | 7.1 | 7.3 | 7.20 | 0.004072 | 0.001265 | 3º toro | V=(g ₂ +g ₃)/2*h ₃ |
| 4 | | 1.70 | | | | | | | |
| | 3.00 | | 5.5 | 5.5 | 5.50 | 0.002376 | 0.005480 | 4º toro | V=(g ₃ +g ₄)/2*h ₄ |
| 5 | | 2.00 | | | | | | | |
| | 5.00 | | 5.0 | 5.3 | 5.15 | 0.002083 | 0.004459 | | V=(g ₄ +g ₅)/2*h ₅ |
| 6 | | 2.00 | | | | | | | |
| | 7.00 | | 3.9 | 4.2 | 4.05 | 0.001288 | 0.003371 | | V=(g ₅ +g ₆)/2*h ₆ |
| 7 | | 2.00 | | | | | | | |
| | 9.00 | | 2.9 | 3.9 | 3.40 | 0.000908 | 0.002196 | | V=(g ₆ +g ₇)/2*h ₇ |
| 8 | | 2.00 | | | | | | | |
| | 11.00 | | 2.3 | 2.5 | 2.40 | 0.000452 | 0.001360 | | V=(g ₇ +g ₈)/2*h ₈ |
| 9 | | 1.90 | | | | | | | |
| | 12.90 | | | | | | 0.000287 | bicada | V=1/3*g ₈ *h _{bicada} |
| | | | | | | | 0.023721 | volume total com casca (m3) | |

Figura 55. Cubagem rigorosa da árvore cujos dados se encontram na figura 49.

Considere-se a figura 56, a qual apresenta o esquema das medições necessárias para a cubagem de uma árvore pelo método de Hohenadl, versão de 5 toros. O volume do toro cujo diâmetro central foi medido a x% da altura da árvore será calculado do seguinte modo:

$$v_{\text{toro}_{x\%}} = \frac{\pi d_{0,x}^2}{4} \quad h_{\text{toro}} = \frac{\pi d_{0,x}^2}{4} \frac{h}{5}$$

Vem então para o volume total da árvore:

$$v = \sum_{x=1,3}^9 v_{\text{toro}_{x\%}} = \sum_{x=1,3}^9 \frac{\pi d_{0,x}^2}{4} \frac{h}{5} = \frac{\pi h}{20} (d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2)$$

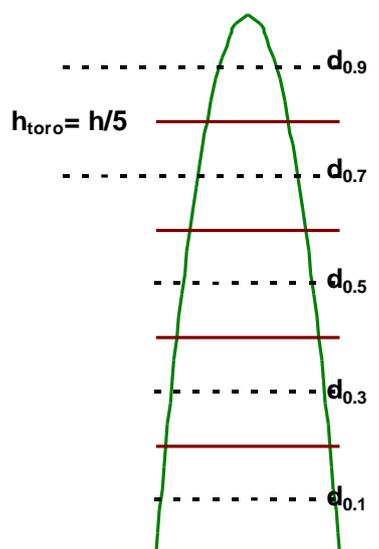


Figura 56 Método de Hohenadl para cubagem rigorosa de árvores ($d_{0,x}$ é o diâmetro medido a $x\%$ da altura da árvore)

3.7.4.3 A fórmula de Pressler

A fórmula de Pressler deve a sua importância ao facto de o método da altura formal, método expedito para a medição indirecta do volume de árvores em pé, ter sido deduzido com base nesta fórmula.

Considere-se a figura 57. A fórmula de Pressler refere-se apenas ao volume da parte da árvore que se encontra acima do d , na figura designada por v_d , e utiliza o conceito de altura directriz (h_d), ou seja, a altura à qual o diâmetro da árvore é igual a metade do diâmetro à altura do peito. Ao ponto do eixo da árvore que se encontra ao nível da altura directriz chamamos “ponto director”.

Utilizando a fórmula geral das parábolas, temos a seguinte expressão para o raio da árvore $d_i/2$ que se encontra à altura h_i :

$$\frac{d_i}{2} = \pm b h_i^r$$

a qual é equivalente, em termos de diâmetro a:

$$d_i = 2 b h_i^r$$

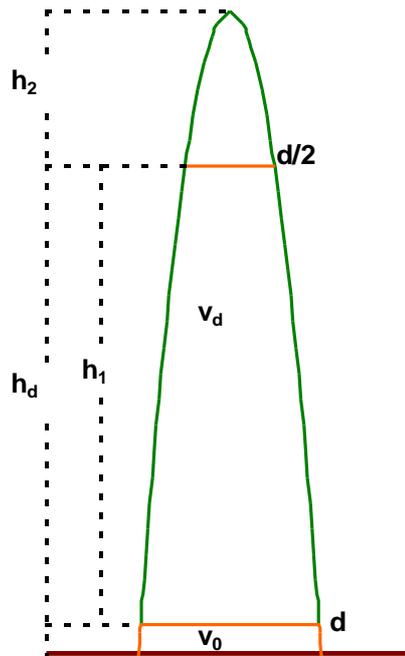


Figura 57. Fórmula de Pressler (o significado dos símbolos encontra-se no texto)

Se estabelecermos a razão entre o diâmetro d_2 que é igual a metade do d e o próprio d , temos que:

$$\frac{d}{d_2} = 2 = \frac{2 b (h_1 + h_2)^r}{2 b h_2^r}$$

$$2 = \frac{(h_1 + h_2)^r}{h_2^r}$$

Daqui resulta que:

$$h_2 = \frac{h_1}{2^{1/r} - 1}$$

A fórmula de Pressler deduz-se, para $r=1/2$, a partir da fórmula geral de cubagem dos parabolóides aplicada ao volume v_d :

$$v_d = f_0 g h$$

$$= \frac{1}{2 r + 1} \frac{\pi d^2}{4} (h_1 + h_2)$$

$$= \frac{1}{2 r + 1} \frac{\pi d^2}{4} \left(h_1 + \frac{h_1}{2^{1/r} - 1} \right)$$

$$= \frac{1}{2r+1} \frac{\pi d^2}{4} h_1 \frac{2^{1/r}}{2^{1/r}-1}$$

Tomando $r=1/2$, vem:

$$v_d = \frac{1}{2} \frac{\pi d^2}{4} h_1 \frac{4}{3}$$

$$v_d = \frac{2}{3} \frac{\pi d^2}{4} h_1 = \frac{2}{3} g h_1$$

3.7.4.4 O método da altura formal

Bitterlich deduziu o método da altura formal a partir da fórmula de Pressler. Considerando o tronco todo, temos que:

$$v = v_d + v_0$$

$$= \frac{2}{3} \frac{\pi d^2}{4} h_1 + \frac{\pi d^2}{4} h_0$$

$$= \frac{2}{3} g \left(h_1 + \frac{3}{2} h_0 \right)$$

Mas $h_1 = h_d - h_0$, pelo que:

$$v = \frac{2}{3} g \left(h_d + \frac{h_0}{2} \right)$$

Por outro lado, pela fórmula de cubagem dos parabolóides modificada temos que:

$$v = g h f$$

Então:

$$g h f = \frac{2}{3} g \left(h_d + \frac{h_0}{2} \right)$$

$$h f = \frac{2}{3} \left(h_d + \frac{h_0}{2} \right)$$

É ao produto $h f$ que se dá o nome de altura formal. Note-se que a altura formal não corresponde a nenhum ponto particular da árvore. É, sim, um conceito “abstracto” que representa o produto da altura total da árvore pelo coeficiente de forma ordinário.

O método da altura formal corresponde ao cálculo do volume da árvore com base na fórmula de cubagem dos parabolóides modificada, multiplicando a área basal da árvore (g) pela altura formal ($h f$).

Na prática, o problema reduz-se a encontrar um método expedito para a determinação, no campo, da altura formal. O relascópio de espelhos de Bitterlich é o aparelho geralmente utilizado para este objectivo. Suponhamos que nos colocamos a uma distância fixa da árvore, por exemplo 25 m, tal como explicado na secção correspondente à medição de diâmetros a alturas superiores. Desta distância, verificamos que o diâmetro à altura do peito da árvore corresponde a 1 banda larga mais 4 estreitas ($1L+4e$). Tentamos então encontrar a que altura se encontra um diâmetro que seja igual a 1 L, ou seja, igual a metade do d . Nesse ponto faz-se uma leitura na escala dos 25 m ($L_{d/2}$). Em seguida, faz-se pontaria para a base da árvore (L_{base}).

A altura directriz pode calcular-se como:

$$h_d = (L_{d/2} - L_{base})$$

A altura formal vem então igual a:

$$hf = \frac{2}{3} \left(h_d + \frac{1.30}{2} \right) = \frac{2}{3} (L_{2d} - L_{base}) + \frac{1.30}{2}$$

Na prática, o método é um pouco mais difícil de aplicar, uma vez que, colocados a uma distância fixa da árvore, é praticamente impossível que exista uma coincidência perfeita entre o d e uma combinação de bandas que seja divisível por 2 e que nos permita, portanto, fazer a pesquisa da altura directriz. Bitterlich propôs que o utilizador se coloque a uma distância qualquer da árvore, da qual seja possível fazer a coincidência perfeita de um conjunto par de bandas com o d e faça as leituras para a altura directriz ($L_{d/2}$) e para a base (L_{base}) na escala dos 25 m. Há, então, que fazer uma correcção às leituras feitas, a qual se baseia no esquema apresentado na figura 58.

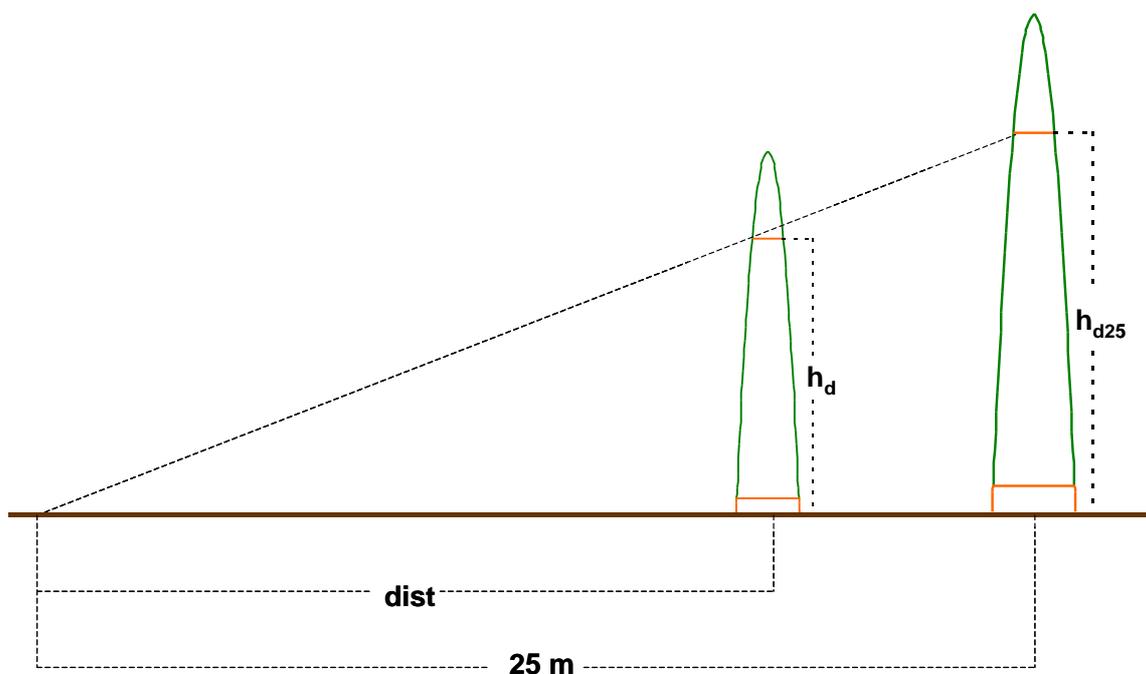


Figura 58. Correção a aplicar para determinação da altura formal a partir de uma distância qualquer da árvore

No campo, a correspondência perfeita entre o d e uma combinação par de bandas é geralmente conseguida a uma distância da árvore ($dist$) menor do que 25 m (figura 58). A correção a aplicar deduz-se de:

$$\frac{h_d}{h_{d25}} = \frac{dist}{25}$$

onde $h_{d25} = (L_{d/2} - L_{base})$

$$h_d = \frac{dist}{25} (L_{d/2} - L_{base})$$

Para aplicar a correção, há, então, que determinar a distância a que nos encontramos da árvore. Esta distância pode ser determinada a partir do valor de d e do valor l , correspondente à largura da combinação de bandas utilizada. Da figura 59 tira-se que:

$$\frac{r}{l} = \frac{dist}{d} \Rightarrow dist = d \frac{r}{l} = d k,$$

onde k é uma constante do aparelho que depende da distância do operador à escala do relascópio (k) e do valor de l , o qual toma diferentes valores consoante a combinação de bandas utilizada para fazer a coincidência com o d .

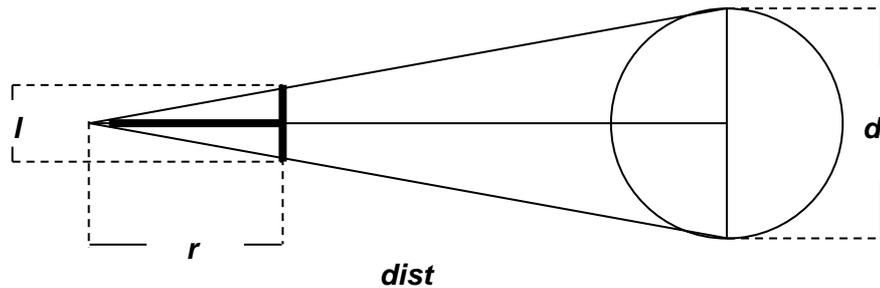


Figura 59. Determinação da distância da árvore a partir do valor de d e da combinação de bandas utilizada para fazer a coincidência com o d

Vem então que uma altura h_d determinada com base na escala dos 25 m quando o operador se encontra efectivamente a uma distância $dist$ da árvore, se obtém a partir de:

$$h_d = \frac{k}{25} d (L_{d/2} - L_{base})$$

Fazendo $k_1 = k/25$, virá:

$$h_d = k_1 d h_{25}$$

Pensemos agora nas leituras feitas com o relascópio (figura 60). Bitterlich assume que, ao fazer a pontaria para a base da árvore, a leitura realmente feita corresponde ao valor da altura directriz mais um pequeno erro, devido à largura do tronco no nível da base, designado na figura por h_{00} . Assume também que:

$$h_{00} \approx \frac{h_0}{2}$$

Sendo a leitura para a altura directriz designada por $L_{d/2}$ então:

$$h_d + \frac{h_0}{2} = k_1 d (L_{d/2} - L_{base})$$

Pode então deduzir-se a seguinte expressão para a determinação da altura formal:

$$h_f = \frac{2}{3} \left(h_d + \frac{h_0}{2} \right) = \frac{2}{3} k_1 d (L_{d/2} - L_{base})$$

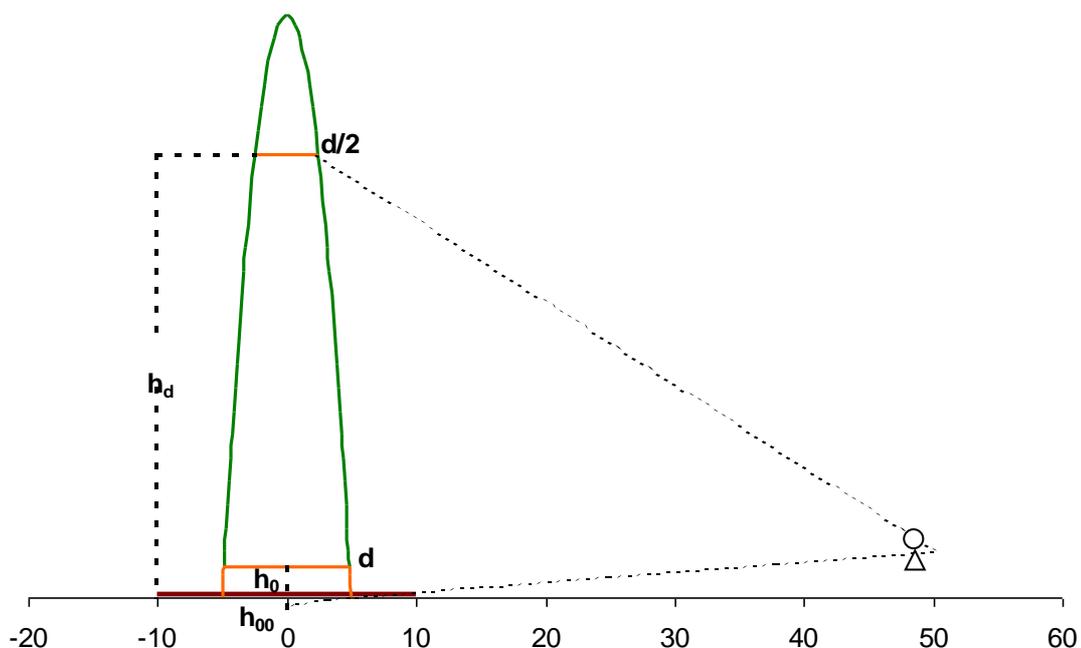


Figura 60. Leituras realizadas com o relascópio para a determinação da altura formal

Fazendo:

$$k_B = \frac{2}{3} k_1$$

vem a expressão geralmente mais conhecida para a determinação da altura formal:

$$hf = k_B d (L_{d/2} - L_{base})$$

O valor de k_B vai depender da combinação de bandas utilizada na coincidência com o d (tabela 14).

Resumindo, para fazer a determinação do volume de uma árvore pelo método de Bitterlich, há que:

Colocar-se a uma distância qualquer da árvore, geralmente menor que 25 m, de forma a que seja conseguida a coincidência entre o d e uma combinação par de bandas;

Procurar, ao longo da árvore, o ponto director, ou seja, aquele em que o diâmetro é igual a metade do d , o que se consegue quando o diâmetro da árvore coincidir com metade da combinação par de bandas; Não esquecer que qualquer pontaria feita com o aparelho só pode ser feita depois de soltar a escala, carregando no botão para esse efeito.

Fazer uma leitura no ponto director, sempre na escala dos 25 m ($L_{d/2}$);

Aplicar a fórmula para o cálculo da altura formal (L_{base});

Multiplicar a área basal da árvore pelo valor da altura formal encontrado em 4.

Vejamos um exemplo. Considere-se uma árvore na qual se fizeram as seguintes medições:

$$d = 23 \text{ cm}$$

bandas para o $d = 1L+2e$

$$L_{d/2} = 22.84$$

$$L_{\text{base}} = -12$$

A altura formal da base será dada por:

$$hf = \frac{8}{9} (0.23) (22.84 + 12) = 7.12$$

$$v = \frac{\pi}{4} (0.23)^2 (7.12) = 0.295937$$

Tabela 14. Valores da constante K_B para as diversas combinações pares de bandas disponíveis no relascópio

| Combinação par de bandas | | k | k_1 | k_B |
|--------------------------|-----|-------|-------|-------|
| d | d/2 | | | |
| 1L+4e | 1L | 25 | 1 | 2/3 |
| 1L+2e | 3e | 100/3 | 4/3 | 8/9 |
| 1L | 2e | 50 | 2 | 4/3 |
| 2e | 1e | 100 | 4 | 8/3 |

Na prática, não se aconselha a utilização da combinação 2e, uma vez que a precisão que se consegue com tal coincidência não é segura.

3.7.5 Métodos de estimação indirecta de volume

3.7.5.1 Equações de volume total (EVT)

A determinação do volume de árvores é, geralmente, feita com equações de volume (EV). Estas equações de regressão predizem um volume da árvore em função do diâmetro à altura do peito e da altura total. Existem equações para vários tipos de volume:

- Volume total com casca e cepo (as mais vulgares em Portugal);

- Volume total com casca e sem cepo;
- Volume total sem casca e com cepo;
- Volume total sem casca e sem cepo;
- Volume mercantil (sem cepo e até um diâmetro de despona pré-fixado) com casca;
- Volume mercantil (sem cepo e até um diâmetro de despona pré-fixado) sem casca.

Estas equações, uma vez construídas, só podem ser utilizadas para obter sempre o mesmo tipo de volume. Por exemplo, se estivermos interessados em estimar volume mercantil com outro limite de despona, será necessário desenvolver novas equações. É ainda de salientar que, pelo facto das equações de volume serem obtidas por técnicas estatísticas de regressão, há que aplicá-las utilizando, para cada variável, as unidades nas quais se encontravam os dados quando as equações foram ajustadas. Não é, assim, de surpreender o facto de, por exemplo, se entrar numa EV com o d em cm e a altura em m para obter o volume em m^3 .

Nas tabelas 15 a 18 pode encontrar-se um grande número de equações de volume que foram ajustadas para pinheiro bravo e eucalipto em Portugal. Perante a necessidade de utilizar uma equação de volume já disponível, deve seleccionar-se aquela que tenha sido ajustada para uma região e tipo de povoamento mais parecidos com aqueles nos quais se pretende realizar a aplicação.

Vejamus um exemplo de aplicação da equação de volume, desenvolvida por Azevedo Gomes (1952) para o pinheiro bravo na Mata Nacional de Leiria. Para uma árvore com $d=30$ cm e $h=20$ m, o volume total com casca da árvore virá:

$$v = 0.0052 + 0.0000337 \times 30^2 \times 20 = 0.612520 \text{ m}^3$$

À árvore em questão atribuir-se-á, assim, o volume de 0.612520 m^3 . Note-se que este volume, sendo uma estimação realizada com base numa regressão, corresponde ao volume que, em média, têm as árvores com um diâmetro de 30 cm e uma altura de 20 m.

**Tabela 15. Algumas equações de volume disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – volume total com casca e com cepo**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|--|--|--|
| Mata Nacional de Leiria (Azevedo Gomes, 1952) | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$ $v(m^3) \quad d(cm) \quad h(m)$ | $\beta_0 = 0.0052$ $\beta_1 = 0.00003374$ |
| Sines (Falcão, 1994) | $v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ | $\beta_0 = 0.00005126$ $\beta_1 = 2.0507$ |

| | | |
|--|--|--|
| | $v(m^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | $\beta_2=0.8428$ |
| Sines (Falcão,1994) | $v=\beta_0 (d h)^{\beta_1}$ | $\beta_0=0.00004695$ $\beta_1=0.98076$ |
| | $v(m^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Sines (Falcão,1994) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0=0.00810$ $\beta_1=0.000038266$ |
| | $v(m^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Castelo Branco (Alegria,1993) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0=0.01177$ $\beta_1=0.000035319$ |
| | $v(m^3)$ $d(cm)$ $H(m)$ | |
| Perímetro de S.Salvador (Tomé,1988) | $\ln v= \beta_0+\beta_1 \ln(d)+\beta_2 \ln(h)$ | $\beta_0= -9.4151$ $\beta_1=1.9259$ $\beta_2=0.7845$ |
| | $v(m^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Salvaterra de Magos, Almeirim, Alpiarça,Chamusca e Coruche (Hidrotécnica Portuguesa 1965) | $v=\beta_0+\beta_1 g h$ | $\beta_0= 0.00584$ $\beta_1=0.4706$ |
| | $v(m^3)$ $g(m^2)$ $h(m)$ | |
| Região 1 (figura 46) DGSFA (1969) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0= 13.3$ $\beta_1=0.03467$ |
| | $v(dm^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Região 2 (figura 46) DGSFA (1969) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0= 13.7$ $\beta_1=0.0344$ |
| | $v(dm^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Região 3 (figura 46) DGSFA (1969) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0=18.3$ $\beta_1=0.03168$ |
| | $v(dm^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Região 4 (figura 46) DGSFA (1969) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0=9.6$ $\beta_1=0.03559$ |
| | $v(dm^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |
| Região 5 (figura 46) DGSFA (1969) | $v=\beta_0+\beta_1 d^2 h$ | $\beta_0=17.3$ $\beta_1=0.03293$ |
| | $v(dm^3)$ $d(cm)$ $h(m)$ | |

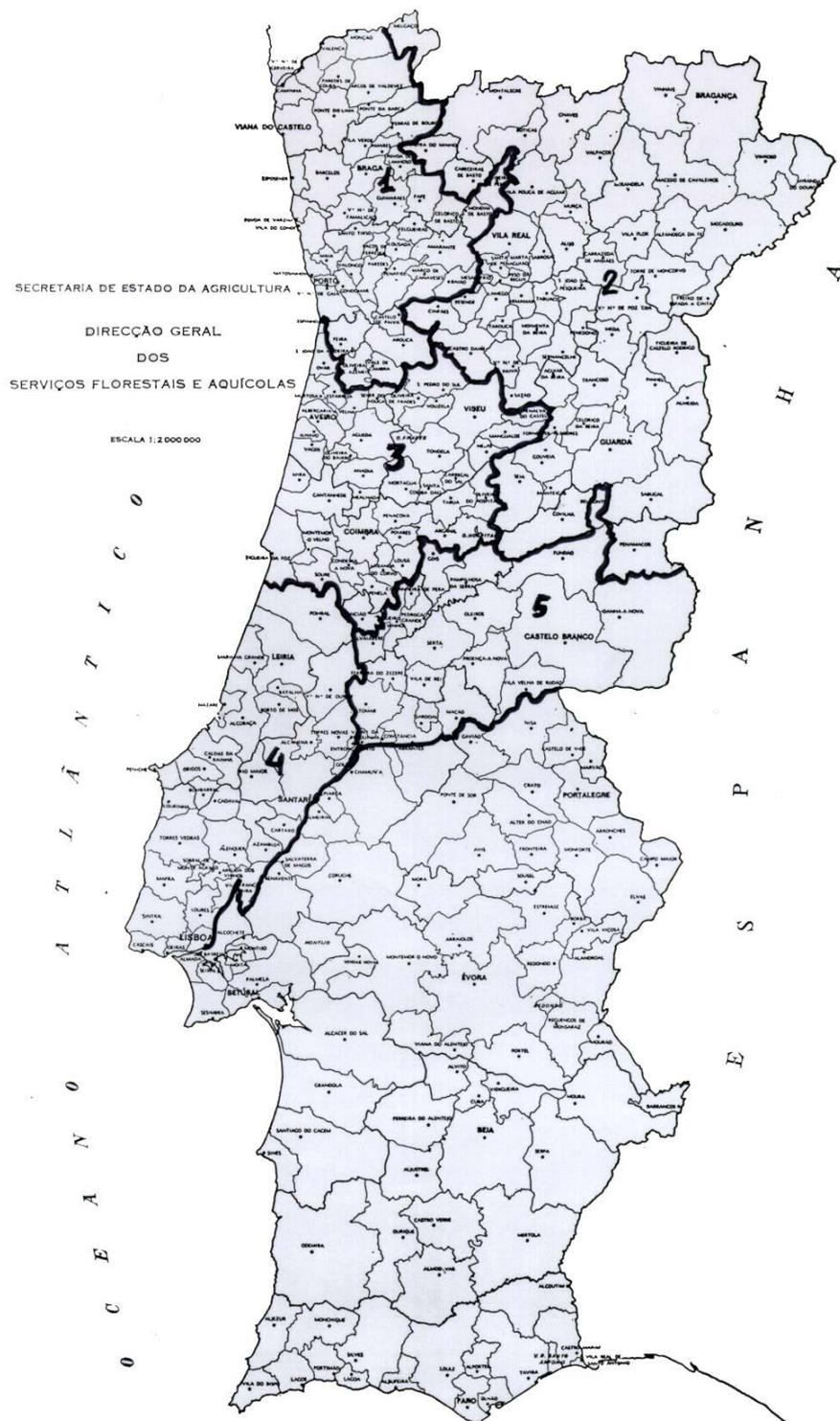


Figura 61. Regiões utilizadas para o ajustamento de equações de volume para o pinheiro bravo (DGSFA, 1969)

**Tabela 16. Algumas equações de volume disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – volume total sem casca e com cepo**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|-------------------------|--|---|
| Sines (Falcão, 1994) | $v_{sc} = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ vsc(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.0002471$ $\beta_1 = 2.1119$ $\beta_2 = 0.9261$ |
| Sines (Falcão, 1994) | $v_{sc} = \beta_0 (d h)^{\beta_1}$ vsc(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.00002332$ $\beta_1 = 1.02636$ |
| Sines (Falcão, 1994) | $v_{sc} = v \left(1 - \beta_0 e^{\beta_1 v} \right)$ vsc(m ³) v - volume total com casca (m ³) | $\beta_0 = 0.26062$ $\beta_1 = -0.1760$ |

**Tabela 17. Algumas equações de volume disponíveis em Portugal
Eucalipto – volume total com casca e com cepo**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|--|---|--|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ v(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.00003739$ $\beta_1 = 1.81506956$ $\beta_2 = 1.14549983$ |
| Zona Centro (Tomé 1990) | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d h^2$ v(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.00402625$ $\beta_1 = 0.00002756$ $\beta_2 = 0.00000498$ |
| Salvaterra de Magos, Almeirim, Alpiarça, Chamusca e Coruche (Hidrotécnica Portuguesa, 1965) | $v = \beta_0 + \beta_1 (h/10^4) + \beta_2 (d^2/10^4) + \beta_3 (d^2 h/10^4)$ v(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.0060311$ $\beta_1 = 15.5723$ $\beta_2 = 2.12761$ $\beta_3 = 0.22220$ |

**Tabela 18. Algumas equações de volume disponíveis em Portugal
Eucalipto – volume total sem casca e com cepo**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|-----------------------------|---|--|
| Zona Centro (Tomé, 1990) | $v_{sc} = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \beta_2 d h^2$ vsc(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.00158467$ $\beta_1 = 0.00001984$ $\beta_2 = 0.00000709$ |
| Zona Centro (Tomé, 1990) | $v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ v(m ³) d(cm) h(m) | $\beta_0 = 0.00003104$ $\beta_1 = 1.73130059$ $\beta_2 = 1.22417653$ |

3.7.5.2 Equações de volume percentual (EVP)

Como vimos, é cada vez mais importante dispor de métodos que permitam a repartição do volume por categorias de aproveitamento, as quais são posteriormente valorizadas, pela indústria, a preços diferentes. As equações de volume percentual (EVP) surgiram precisamente para resolver este problema. São equações, ajustadas por regressão, que permitem prever a percentagem do volume (P) da árvore que se situa abaixo de um determinado diâmetro de despona (d_i) ou abaixo de uma determinada altura de despona (h_i). Uma destas duas variáveis, bem como o diâmetro à altura do peito e a altura total, funcionam como variáveis regressoras.

As tabelas 19 a 26 mostram algumas das equações deste tipo que foram desenvolvidas em Portugal. Vejamos um exemplo de aplicação: Seja, por exemplo, a equação de volume percentual, até um diâmetro de despona para o pinheiro bravo, ajustada por Falcão (1994), para o Perímetro Florestal da Contenda. Vamos calcular, para a mesma árvore com $d=30$ cm e $h=20$ m, os volumes correspondentes às seguintes categorias de aproveitamento:

Madeira de classe superior: $d_i > 25$ cm

Madeira de segunda: $25 \text{ cm} \geq d_i > 20$ cm

Madeira para peças de pequena dimensão: $20 \text{ cm} \geq d_i > 12$ cm

Rolaria e trituração: $12 \text{ cm} \geq d_i > 6$ cm

Bicada: $d_i \leq 6$ cm

Comecemos por calcular o volume com diâmetros superiores a cada um dos diâmetros de despona considerados (v_{d_i}). Exemplificando com o diâmetro de despona 6 cm, vem:

$$v_6 = 0.612520 \times e^{-0.7084 \times \frac{6^{4.5317}}{30^{4.3164}}} = 0.611907 \text{ m}^3$$

Procedendo de forma idêntica para os outros diâmetros de despona, temos:

$$v_{12} = 0.598490 \text{ m}^3$$

$$v_{20} = 0.484439 \text{ m}^3$$

$$v_{25} = 0.321406 \text{ m}^3$$

Estamos, agora, de posse de todos os elementos necessários para calcular o volume correspondente a cada uma das categorias de aproveitamento:

Madeira de classe superior:

$$v_{25} = 0.321406 \text{ m}^3$$

Madeira de segunda:

$$v_{20} - v_{25} = 0.484439 - 0.321406 = 0.163033 \text{ m}^3$$

Madeira para peças de pequena dimensão:

$$v_{12} - v_{20} = 0.598490 - 0.484439 = 0.114051 \text{ m}^3$$

Rolaria e trituração:

$$v_6 - v_{12} = 0.611907 - 0.598490 = 0.013417 \text{ m}^3$$

Bicada:

$$v - v_6 = 0.612520 - 0.611907 = 0.000613 \text{ m}^3$$

**Tabela 19. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – percentagem de volume com casca e com cepo até d_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|-----------------------------------|---|--|
| Sines (Falcão, 1994) | $P_{di} = \frac{v_{di}}{v} = e^{-\beta_0 \frac{d_i^{\beta_1}}{d^{\beta_2}}}$ | $\beta_0=0.7084$ $\beta_1=4.5317$ $\beta_2=4.3164$ |
| | $d(\text{cm}) \quad d_i(\text{cm}) \quad P_{di}(\%)$ | |
| Castelo Branco (Alegria, 1993) | $P_{di} = \frac{v_{di}}{v} = e^{-\beta_0 \left(\frac{d_i}{d}\right)^{\beta_1}}$ | $\beta_0=1.3923$ $\beta_1=4.4379$ |
| | $d(\text{cm}) \quad d_i(\text{cm}) \quad P_{di}(\%)$ | |

**Tabela 20. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – percentagem de volume sem casca e com cepo até d_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|-------------------------|--|---|
| Sines (Falcão, 1994) | $P_{sc_{di}} = \frac{v_{sc_{di}}}{v} = e^{-\beta_0 \frac{d_i^{\beta_1}}{d^{\beta_2}}}$ | $\beta_0=1.413$ $\beta_1=4.3488$ $\beta_2=4.3188$ |
| | $d(\text{cm}) \quad d_i(\text{cm}) \quad P_{sc_{di}}(\%)$ | |

**Tabela 21. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – percentagem de volume com casca e com cepo até h_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|---|--|--|
| Sines (Falcão, 1994) | $P_{hi} = 1 + \left(-\beta_0 \frac{(h - h_i)^{\beta_1}}{h^{\beta_2}} \right)$ | $\beta_0=0.8950$ $\beta_1=2.37798$ $\beta_2=2.33908$ |
| h - altura total (m) h_i (m) P_{hi} (%) | | |
| Castelo Branco (Alegria, 1993) | $P_{hi} = 1 + \left(-\beta_0 \frac{(h - h_i)^{\beta_1}}{h^{\beta_2}} \right)$ | $\beta_0=0.8084$ $\beta_1=2.44923$ $\beta_2=2.3744$ |
| h - altura total (m) h_i (m) P_{hi} (%) | | |

**Tabela 22. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – percentagem de volume sem casca e com cepo até h_i**

| Região e Referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|---|--|--|
| Sines (Falcão, 1994) | $P_{schi} = 1 + \left(-\beta_0 \frac{(h - h_i)^{\beta_1}}{h^{\beta_2}} \right)$ | $\beta_0=1.0036$ $\beta_1=2.1074$ $\beta_2=2.1072$ |
| h - altura total (m) h_i (m) P_{schi} (%) | | |

**Tabela 23. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Eucalipto – percentagem de volume com casca e com cepo até d_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------------|--|--|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $P_{di} = \exp \left(-\beta_0 \left(\frac{d_i}{d} \right)^{\beta_1} \right)$ | $\beta_0=1.54224169$ $\beta_1=4.31459618$ |
| d_i (cm) d (cm) P_{di} (%) | | |

**Tabela 24. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Eucalipto – percentagem de volume sem casca e com cepo até d_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------------|--|--|
| Zona Centro (Tomé, 1990) | $P_{di} = \exp \left(-\beta_0 \left(\frac{d_i}{d} \right)^{\beta_1} \right)$ | $\beta_0=1.44641125$ $\beta_1=4.23278856$ |
| d_i (cm) d (cm) P_{di} (%) | | |

**Tabela 25. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Eucalipto – percentagem de volume com casca e com cepo até h_i**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------|--|--|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $P_{hi} = 1 - \beta_0 \frac{(h - h_i)^{\beta_1}}{h^{\beta_2}}$ | $\beta_0=0.65918976$ $\beta_1=2.51088333$ $\beta_2=2.38558626$ |
| | h (altura total - cm) h_i (m) P_{hi} (%) | |

**Tabela 26. Algumas equações de volume percentual disponíveis em Portugal
Eucalipto – percentagem de volume sem casca e com cepo até h_i**

| Região e Referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------|---|--|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $P_{hi} + 1 - z = -\beta_0 (z^2 - z) - \beta_1 (z^5 - z)$ onde $z = (h-h_i)/h$ | $\beta_0=0.84160048$ $\beta_1=0.27780962$ |
| | h_i (m) h (altura total - cm) P_{hi} (%) | |

3.7.5.3 Equações de perfil do tronco (EPT)

Como já vimos no capítulo relativo à forma das árvores, as equações de perfil do tronco são equações de regressão que estimam diâmetros ao longo do tronco em função da altura a que se encontram, do diâmetro a 1.30 m e da altura total.

Com uma equação de perfil do tronco é, portanto, possível calcular a área seccional em qualquer ponto do perfil da árvore. O integral da área seccional entre 0 e h corresponde ao volume total da árvore. Por integração da equação entre quaisquer duas alturas h_1 e h_2 , obtém-se a estimativa do volume do toro entre aquelas duas alturas.

Um outro processo de utilizar uma equação de perfil do tronco para estimar volumes, corresponde a utilizar a equação do perfil do tronco para estimar todos os diâmetros que seria necessário medir para proceder à cubagem rigorosa da árvore com base na fórmula de Smalian. Na posse destes diâmetros, procede-se ao cálculo do volume, como se se tratasse de uma árvore abatida.

As tabelas 27 a 30 mostram alguns exemplos de equações de perfil do tronco, disponíveis em Portugal, para o pinheiro bravo e o eucalipto.

**Tabela 27. Algumas equações de perfil do tronco disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – perfil do tronco com casca**

| Região e Referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|---|--|---|
| Sines (Falcão, 1994) | $d_i = d \left[-\beta_0 \left(\frac{h_i}{h} - 1 \right) + \beta_1 \left(\frac{h_i^2}{h} - 1 \right) \right]^{0.5}$ <p>d (cm) di-diâmetro (cm) à altura h_i (m)</p> | $\beta_0=2.1823$ $\beta_1=0.8591$ |
| Castelo Branco (Alegria, 1993) | $d_i = d \left[\beta_0 \frac{1}{d^2 h} \left(\frac{h-h_i}{h} \right)^{\beta_1} + \beta_2 \left(\frac{h-h_i}{h} \right)^{\beta_3} \right]^{0.5}$ <p>d (cm) di-diâmetro (cm) à altura h_i (m)</p> | $\beta_0=2400.49$ $\beta_1=74.9701$ $\beta_2=1.112139$ $\beta_3=1.40299$ |
| Perímetro de S.Salvador (Tomé, 1988) | $\frac{d_i}{d} = \left(\frac{h-h_i}{h-1.30} \right)^{\beta_0}$ <p>d (cm) di-diâmetro (cm) à altura h_i (m)</p> | $\beta_0=0.76117$ |

**Tabela 28. Algumas equações de perfil do tronco disponíveis em Portugal
Pinheiro bravo – perfil do tronco sem casca**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|-------------------------|--|--|
| Sines (Falcão, 1994) | $dsc_i = d \left[\beta_0 + \beta_1 \ln \left(1 - (h_i - h)^{\beta_2} \left(1 - e^{-\beta_3} \right) \right) \right]$ <p>d (cm) dsc_i-diâmetro sem casca (cm) à altura h_i (m)</p> | $\beta_0=2.1823$ $\beta_1=0.8591$ $\beta_2=0.46$ $\beta_3=3.15$ |

**Tabela 29. Algumas equações de perfil do tronco disponíveis em Portugal
Eucalipto – perfil do tronco com casca**

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------|--|--|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $d_i = d \sqrt{\beta_0 \left(\frac{t^{\beta_1}}{dap^2 h^{\beta_1+1}} \right) + \beta_2 \left(\frac{t}{h} \right)^{\beta_3}}$ <p>onde t=h-h_i</p> <p>d (cm) di - diâmetro(cm) à altura h_i (m) h(m)</p> | $\beta_0=1862.25610352$ $\beta_1=44.80986023$ $\beta_2=1.12086713$ $\beta_3=1.58400297$ |

Tabela 30. Algumas equações de perfil do tronco disponíveis em Portugal
Eucalipto – perfil do tronco sem casca

| Região e referência | Expressão matemática | Parâmetros |
|----------------------------|---|---|
| Zona Centro (Tomé 1990) | $dsc_i = d \sqrt{\beta_0 \left(\frac{t^{\beta_1}}{dap^2 h^{\beta_1+1}} \right) + \beta_2 \left(\frac{t}{h} \right)^{\beta_3}}$ <p>onde $t=h-h_i$</p> | $\beta_0=454.12301636$ $\beta_1=36.32912064$ $\beta_2=0.95460385$ $\beta_3=1.76954019$ |
| | d (cm) dsc _i - diâmetro sem casca (cm) à altura h _i (m) h(m) | |
| Zona Centro (Tomé 1990) | $dsc_i = d \left\{ \beta_1 + \beta_2 \log \left[1 - \left(\frac{h_i}{h} \right)^{\beta_1} \left(1 - e^{-\frac{\beta_2}{\beta_3}} \right) \right] \right\}$ | $\beta_0=2.01634646$ $\beta_1=1.07768524$ $\beta_2=0.63373440$ |
| | d (cm) dsc _i - diâmetro sem casca (cm) à altura h _i (m) h(m) | |

Vejamos um exemplo do cálculo do volume total e por categorias de aproveitamento, com base numa equação de perfil do tronco. Vejamos, então, a EPT ajustada por Falcão (1994) para o pinheiro bravo no Perímetro Florestal da Contenda, para predição do perfil com casca. Continuaremos a utilizar a árvore com que temos vindo a trabalhar, com $d=30$ cm e $h=20$ m. Com a EPT seleccionada, é possível calcular os diâmetros a diversas alturas. Exemplifiquemos com o cálculo do diâmetro a 3.30 m:

$$d_{3.30} = d \left[-2.1823 \left(\frac{3.30}{h} - 1 \right) + 0.8591 \left(\frac{3.30^2}{h^2} - 1 \right) \right]^{0.5} =$$

$$= 30 \left[-2.1823 \left(\frac{3.30}{20} - 1 \right) + 0.8591 \left(\frac{3.30^2}{20^2} - 1 \right) \right]^{0.5} = 29.8 \text{ cm}$$

Do mesmo modo, pode estimar-se todos os diâmetros necessários para representar o perfil da árvore:

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| h_i | 0.15 | 1.3 | 3.3 | 5.3 | 7.3 | 9.3 | 11.3 | 13.3 | 15.3 | 17.3 | 19.3 | 20.0 |
| d_i | 34.3 | 32.7 | 29.8 | 26.9 | 24.0 | 21.1 | 18.1 | 15.1 | 11.9 | 8.4 | 3.9 | 0.0 |

Com estes dados, é possível calcular o volume total da árvore, tal como ilustrado na figura 62.

| n. toro | local corte | comp. do toro | d (cm) | área (m2) | volume (m3) | | | |
|---------|-------------|---------------|--------|---------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| 0 | | 0.15 | | $\pi/4 d_i^2$ | 0.013857 | | | |
| | 0.15 | | 34.30 | 0.092378 | | cepo | $v=g_{cepo} * h_{cepo}$ | |
| dap | | 1.15 | | | 0.101280 | 1º toro | $v=(g_{cepo}+g_1)/2 * h_1$ | |
| | 1.30 | | 32.66 | 0.083761 | | | | |
| 1 | | 2.00 | | | 0.153494 | 2º toro | $v=(g_1+g_2)/2 * h_2$ | |
| | 3.30 | | 29.80 | 0.069732 | | | | |
| 2 | | 2.00 | | | 0.126650 | 3º toro | $v=(g_2+g_3)/2 * h_3$ | |
| | 5.30 | | 26.92 | 0.056918 | | | | |
| 3 | | 2.00 | | | 0.102235 | 4º toro | $v=(g_3+g_4)/2 * h_4$ | |
| | 7.30 | | 24.02 | 0.045318 | | | | |
| 4 | | 2.00 | | | 0.080250 | 5º toro | $v=(g_4+g_5)/2 * h_4$ | |
| | 9.30 | | 21.09 | 0.034932 | | | | |
| 5 | | 2.00 | | | 0.060693 | 6º toro | $v=(g_5+g_6)/2 * h_4$ | |
| | 11.30 | | 18.11 | 0.025761 | | | | |
| 6 | | 2.00 | | | 0.043566 | 7º toro | $v=(g_6+g_7)/2 * h_4$ | |
| | 13.30 | | 15.06 | 0.017805 | | | | |
| 7 | | 2.00 | | | 0.028868 | 8º toro | $v=(g_7+g_8)/2 * h_4$ | |
| | 15.30 | | 11.87 | 0.011063 | | | | |
| 8 | | 2.00 | | | 0.016598 | 9º toro | $v=(g_8+g_9)/2 * h_4$ | |
| | 17.30 | | 8.40 | 0.005535 | | | | |
| 9 | | 2.00 | | | 0.006758 | 10º toro | $v=(g_9+g_{bicada})/2 * h_4$ | |
| | 19.30 | | 3.95 | 0.001223 | | | | |
| 10 | | 0.70 | | | 0.000285 | bicada | $v=1/3 * g_{bicada} * h_{bicada}$ | |
| | 20.00 | | 0.00 | 0.000000 | | | | |
| | | | | | 0.734534 | volume total com casca (m3) | | |

.56

Figura 62. Cubagem de uma árvore com base na equação de perfil do tronco de Falcão (1994)

Se pretendermos agora calcular o volume por categorias de aproveitamento, considerando as categorias utilizadas no ponto anterior, há que encontrar a que altura se encontram os diâmetros de desponta (25, 20, 18, 12 e 6). Analisando o perfil do tronco da árvore com que estamos a trabalhar, encontram-se os toros nos quais se localizam os diâmetros de desponta:

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| h_i | 0.15 | 1.3 | 3.3 | 5.3 | 7.3 | 9.3 | 11.3 | 13.3 | 15.3 | 17.3 | 19.3 | 20.0 | | | | |
| d_i | 34.3 | 32.7 | 29.8 | 26.9 | 25.0 | 24.0 | 21.1 | 20.0 | 18.1 | 15.1 | 12.0 | 11.9 | 8.4 | 6.0 | 3.9 | 0.0 |

Utilizando a função “goal seek” do EXCEL, é fácil determinar as alturas a que se encontram os diâmetros de desponta, tal como se ilustra na figura 63. Procedendo do mesmo modo para os outros diâmetros de desponta, ficamos na posse das correspondentes alturas. Pode, então, proceder-se à cubagem rigorosa dos toros em que agora a árvore ficou “cortada”. Os volumes por categorias de aproveitamento obtêm-se por soma dos toros com os diâmetros de topo adequados para cada categoria considerada (figura 64).

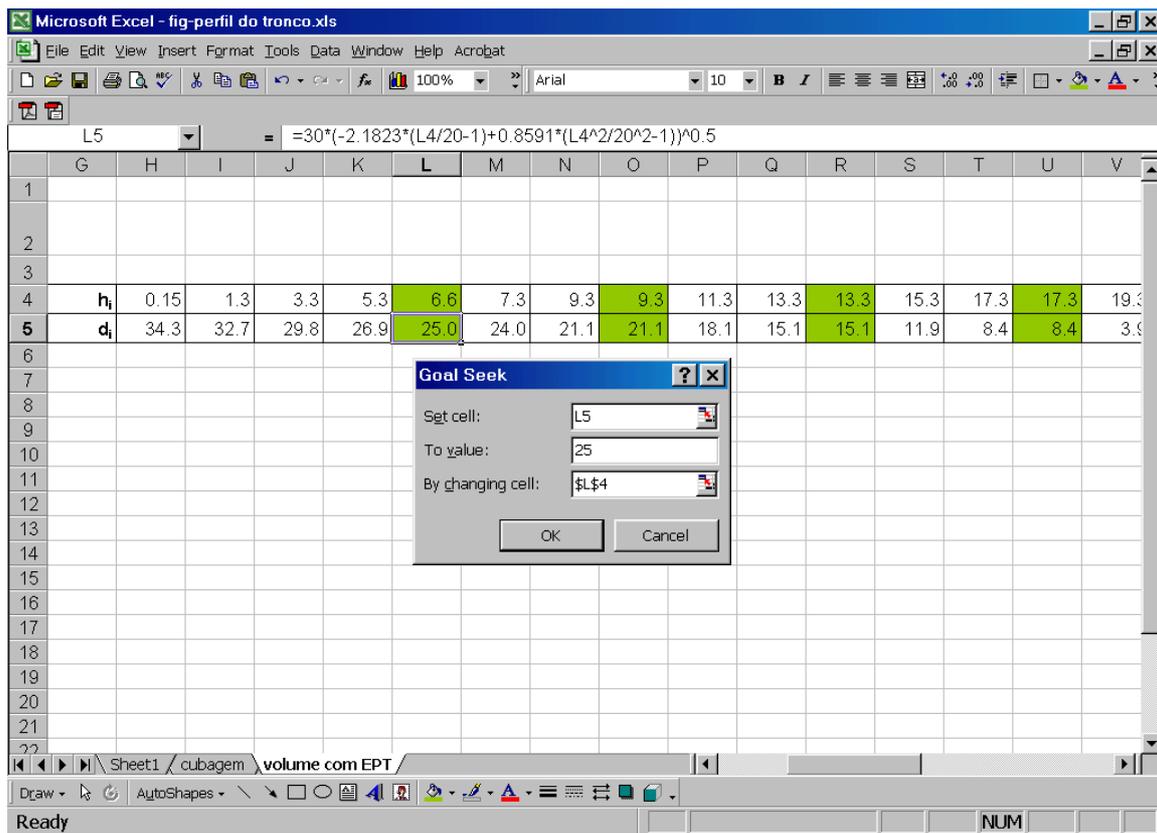


Figura 63. Exemplificação de como utilizar a função “goal seek” do EXCEL para encontrar a altura a que se encontra o diâmetro de desponta igual a 25 cm. Note que a célula L5 tem de incluir a função correspondente à EPT que se utilizou para o perfil da árvore

Com base numa equação de perfil do tronco, há sempre a possibilidade de, no cálculo dos volumes por categorias de aproveitamento, utilizar comprimentos mínimos de toros na definição das categorias de aproveitamento de madeira de qualidade. De facto, a qualidade de um toro de madeira não se baseia unicamente no diâmetro de topo dos toros, mas também no seu comprimento. Por exemplo, um toro com um diâmetro de topo de 25 cm, mas com um comprimento de apenas 1 m, não pode ser classificado como madeira de 1ª, uma vez que não tem comprimento suficiente para a maior parte das aplicações de serração.

Suponhamos o cálculo do volume por categorias de aproveitamento com base numa EVP que vimos no ponto anterior. Queremos, agora, saber se o toro, cujo diâmetro de topo é de 25 cm, tem um comprimento superior a 2 m. Pode utilizar-se uma EPT, a de Falcão (1994), por exemplo, para calcular qual o diâmetro de desponta à altura de 2 m:

$$d_{2.00} = 30 \left[-2.1823 \left(\frac{2}{20} - 1 \right) + 0.8591 \left(\frac{2^2}{20^2} - 1 \right) \right]^{0.5} = 31.66 \text{ cm}$$

| n. toro | local corte | comp. do toro | d (cm) | área (m ²) | volume (m ³) | | | | |
|---------|-------------|---------------|--------|------------------------|--------------------------|-----------------|--|--|--|
| 0 | | 0.15 | | $\pi/4 d_i^2$ | 0.013857 | | | | |
| dap | 0.15 | 1.15 | 34.30 | 0.092378 | 0.101280 | | | | |
| 1 | 1.30 | 2.00 | 32.66 | 0.083761 | 0.153494 | | | | |
| 2 | 3.30 | 2.00 | 29.80 | 0.069732 | 0.126650 | | | | |
| 3a | 5.30 | 1.33 | 26.92 | 0.056918 | 0.070317 | 0.465597 | volume com $d_i < 25$ cm | | |
| 3b | 6.63 | 0.67 | 25.00 | 0.049087 | 0.031783 | | | | |
| 4 | 7.30 | 2.00 | 24.02 | 0.045318 | 0.080250 | | | | |
| 5a | 9.30 | 0.74 | 21.09 | 0.034932 | 0.024415 | 0.136447 | volume com $d_i < 25$ cm | | |
| 5b | 10.04 | 1.26 | 20.00 | 0.031416 | 0.036138 | | | | |
| 6 | 11.30 | 2.00 | 18.11 | 0.025761 | 0.043566 | | | | |
| 7a | 13.30 | 1.92 | 15.06 | 0.017805 | 0.027947 | 0.107651 | volume com $d_i < 25$ cm | | |
| 7b | 15.22 | 0.08 | 12.00 | 0.011310 | 0.000897 | | | | |
| 8 | 15.30 | 2.00 | 11.87 | 0.011063 | 0.016598 | | | | |
| 9a | 17.30 | 1.19 | 8.40 | 0.005535 | 0.004967 | 0.022462 | volume com $d_i < 25$ cm | | |
| 9b | 18.49 | 0.81 | 6.00 | 0.002827 | 0.001645 | | | | |
| 10 | 19.30 | 0.70 | 3.95 | 0.001223 | 0.000285 | 0.001930 | volume da bicada | | |
| | 20.00 | | 0.00 | 0.000000 | | 0.734088 | volume total com casca (m ³) | | |

Figura 64. Cálculo do volume por categorias de aproveitamento com base na equação de perfil de tronco de Falcão (1994)

Uma vez que $d_{2.00} > 20$ cm, então, o toro cujo diâmetro de topo é de 25 cm corresponde a uma categoria de aproveitamento definida por $d_i > 25$ cm e comprimento do toro > 2 m. Se a árvore fosse de menor dimensão, era bem possível que $d_{2.00} < 20$ cm e, nesse caso, o valor de v_{25} teria de ser considerado na categoria de aproveitamento correspondente a $25 < d_i < 20$ cm.

No caso do cálculo do volume por categorias de aproveitamento ser realizado com base numa EPT, é óbvio que a consideração de restrições de comprimento mínimo do toro, na definição das categorias de aproveitamento correspondentes a madeira de qualidade, não coloca qualquer complicação adicional aos cálculos.

3.7.5.4 Compatibilidade entre EVT e EPT

O volume de uma árvore pode ser obtido por estimação a partir, quer de equações de volume total, quer de equações de perfil do tronco. Diz-se que uma equação de volume total e uma equação de perfil do tronco são compatíveis quando as estimativas do volume de uma árvore, com um determinado d e h , obtidas com a EVT e com a EPT são iguais. Ou seja, a EPT gera, quando integrada entre zero e a altura total, uma estimativa do volume total idêntica à dada pela EVT que lhe está associada. Obtemos assim soluções idênticas para o volume de uma árvore, independentemente do tipo de equação utilizada. Por exemplo, Tomé (1990) apresenta sistemas de EVT+EPT compatíveis para o eucalipto na região centro de Portugal.

3.7.5.5 Compatibilidade entre volumes com e sem casca

Na estimação de volumes com e sem casca, também nos podemos deparar com problemas de compatibilidade. Se duas equações de volume, uma para a estimação de volumes com casca e a outra para a estimação de volumes sem casca, forem ajustadas independentemente uma da outra, pode acontecer que, em certas árvores próximas dos limites dos dados, a estimativa do volume sem casca seja superior à correspondente estimativa do volume com casca.

Diz-se que uma equação de volume com casca é compatível com uma equação de volume sem casca quando elas são ajustadas em simultâneo e de modo que fique garantido que, para a mesma árvore, a estimativa do volume com casca seja sempre superior à estimativa do volume sem casca. A equação de volume sem casca de Falcão (1994)

$$v_{sc} = v \left(1 - 0.26062 e^{-0.1760 v} \right)$$

garante a compatibilidade entre os volumes com e sem casca, em virtude da função

$$v_{sc} = v \left(1 - 0.26062 e^{-0.1760 v} \right)$$

ser sempre inferior a zero.

3.8 Biomassa

3.8.1 Biomassa total e por componentes

A biomassa é o “peso seco” (após secagem em estufa até alcançar um peso constante). Numa árvore pode considerar-se a biomassa das diversas componentes que a constituem:

- Tronco, separado em lenho (madeira) e casca
- Copa, separada em folhas, ramos e flores e frutos

- Raízes, separadas em raiz principal, raízes grossas e raízes finas

A biomassa total da árvore é a soma da biomassa das várias componentes da árvore.

A avaliação da biomassa da árvore, total e por componentes, é, hoje em dia, de extrema importância para a análise da sustentabilidade da gestão florestal, uma vez que é a base para o cálculo de stocks e balanços de carbono, assim como de balanços de nutrientes.

3.8.2 Avaliação indirecta

Não existem métodos para a avaliação directa da biomassa de uma árvore, uma vez que as únicas variáveis que é possível avaliar no campo são os pesos verdes das diversas componentes que se pretende considerar. A biomassa é, posteriormente, obtida em laboratório, com base nas estimativas do teor de humidade de cada componente, obtido por secagem na estufa de uma amostra de cada componente obtida no campo.

A avaliação indirecta da biomassa implica o abate da árvore e sua separação nas várias componentes que se pretende considerar. As metodologias a utilizar na avaliação da biomassa das várias componentes são diferentes para o tronco, copa e raízes, pelo que serão apresentadas separadamente.

3.8.2.1 Biomassa do tronco

A avaliação da biomassa do tronco pode ser realizada por dois procedimentos alternativos:

- avaliação do peso verde total e do teor de humidade;
- avaliação do volume e da massa específica (peso seco por unidade de volume).

Avaliação da biomassa do tronco com base no peso verde e no teor de humidade

Segundo este método, a avaliação da biomassa do tronco baseia-se nos seguintes procedimentos:

1. Após o abate da árvore, esta é torada, considerando-se geralmente um toro até ao nível do diâmetro à altura do peito e toros de dois metros a partir deste nível;
2. Retira-se da base de cada toro um disco com uma espessura de cerca de 5 cm, separando-se o lenho da casca e procedendo-se à pesagem de cada um. Esta pesagem pode ser feita no campo, com balança de precisão, ou, alternativamente, as amostras podem ser acondicionadas em sacos de plástico, previamente tarados e hermeticamente fechados, sendo pesadas imediatamente após chegada ao laboratório (pesos frescos das amostras do lenho e da casca do toro i respectivamente $w_{fwi_amostra}$ e $w_{fbi_amostra}$);

- Faz-se o descasque de cada toro e pesa-se, no campo, o lenho e a casca de cada toro (pesos frescos do lenho e da casca do toro w_{fwi} e w_{fbi});
- As amostras de lenho e casca de cada disco são secas em estufa a 80°C , até peso constante (pesos secos do lenho e da casca das amostras do toro $w_{fwi_amostra}$ e $w_{fbi_amostra}$);
- O teor de humidade do lenho do toro i é estimado pela média dos teores de humidade do disco da base do toro e do disco da base do toro imediatamente superior; sendo o teor de humidade do lenho do disco da base do toro i obtido por:

$$H_{wi_0} = \frac{w_{fwi_amostra} - w_{wi_amostra}}{w_{wi_amostra}}$$

então, o teor de humidade do toro i será:

$$H_{wi} = \frac{H_{wi_0} + H_{w(i+1)_0}}{2}$$

- O teor de humidade da casca do toro i é estimado por processo análogo:

$$H_{bi} = \frac{H_{bi_0} + H_{b(i+1)_0}}{2}$$

- As biomassas (pesos secos) do lenho e da casca de cada toro são, então, obtidos por:

$$w_{wi} = \frac{w_{fwi}}{1 + H_{wi}} \quad \text{e} \quad w_{bi} = \frac{w_{fbi}}{1 + H_{bi}}$$

- As biomassas (pesos secos totais) do lenho e da casca do tronco da árvore é obtido por soma dos correspondentes pesos secos dos vários toros:

$$w_w = \sum_{i=1}^{n_{\text{toros}}} w_{wi} \quad \text{e} \quad w_b = \sum_{i=1}^{n_{\text{toros}}} w_{bi}$$

Avaliação da biomassa do tronco com base no volume e na massa específica

Segundo este método, a avaliação da biomassa do tronco baseia-se nos seguintes procedimentos:

- Após o abate da árvore, esta é torada, considerando-se geralmente um toro até ao nível do diâmetro à altura do peito e toros de dois metros a partir deste nível;
- Na base de cada toro são medidos diâmetros cruzados com e sem casca, com base nos quais são, posteriormente, calculados os volumes com e sem casca (fórmula de Smalian) de cada toro (para o toro i , respectivamente v_{cc_i} e v_{sc_i});

- Retira-se da base de cada toro um disco com uma espessura de cerca de 5 cm, o qual será posteriormente utilizado em laboratório para determinação da massa específica do lenho e da casca do disco da base do toro i (respectivamente ρ_{wi_0} e ρ_{bi_0});
- A massa específica do lenho e da casca toro i são obtidos pela média das correspondentes massas específicas do disco da base do toro i e do disco da base do toro imediatamente superior:

$$\rho_{wi} = \frac{\rho_{wi_0} + \rho_{w(i+1)_0}}{2} \quad \text{e} \quad \rho_{bi} = \frac{\rho_{bi_0} + \rho_{b(i+1)_0}}{2};$$

- As biomassas (pesos secos) do lenho e da casca de cada toro são, então, obtidos pelo produto dos correspondentes volumes e massas específicas:

$$W_{wi} = VSC_i \rho_{wi} \quad \text{e} \quad W_{bi} = (VCC_i - VSC_i) \rho_{bi}$$

- As biomassas (pesos secos totais) do lenho e da casca do tronco da árvore são obtidas por soma dos correspondentes pesos secos dos vários toros:

$$W_w = \sum_{i=1}^{ntoros} W_{wi} \quad \text{e} \quad W_b = \sum_{i=1}^{ntoros} W_{bi}$$

Dependendo das características particulares de uma espécie ou dos objectivos do estudo, pode haver alguma variação na metodologia utilizada para a avaliação indirecta da biomassa das árvores, mas todas as metodologias são variações ou combinações de um destes métodos.

3.8.2.2 Biomassa da copa

Na biomassa da copa considera-se separadamente a biomassa das folhas, dos ramos, das flores e dos frutos. Dependendo da sua importância na espécie em causa, ou para o objectivo do estudo, a biomassa destas últimas componentes avalia-se em conjunto ou mesmo, por vezes, em conjunto com os ramos. Nos ramos também é usual ter em conta, separadamente, os ramos de diferentes dimensões. Por exemplo, no sobreiro e azinheira, separam-se os ramos em:

- Pernadas, os ramos que se inserem directamente no tronco;
- Braças de 1ª ordem, os ramos que se inserem directamente nas pernadas;
- Braças de 2ª ordem, os ramos que se inserem directamente nas braças de 1ª ordem; ramos, até ao diâmetro de 7 cm;
- Raminhos, os restantes ramos.

Noutras espécies, como o pinheiro bravo e o eucalipto, pode ser interessante avaliar separadamente a biomassa dos ramos de 1ª, 2ª e outras ordens. A biomassa de folhas e de ramos são, sem dúvida, as mais importantes, pelo que serão tratadas com maior destaque. As biomassas de flores e frutos podem ser avaliadas por métodos que se deduzem facilmente a partir dos métodos apresentados para a avaliação das biomassas das outras componentes.

Em árvores de grande dimensão, na copa das quais se verifica uma elevada variabilidade, pode ser necessário proceder à estratificação da copa – geralmente em três estratos definidos ao longo do eixo da árvore – procedendo-se à avaliação das várias componente separadamente para cada estrato. A avaliação da biomassa total de cada componente obtém-se, então, por soma dos correspondentes valores para cada estrato.

Um outro aspecto que também é de considerar na avaliação da biomassa da copa é a necessidade de utilizar amostragem. De facto, a avaliação da biomassa dos componentes da copa implica a separação destes para a totalidade da copa, tarefa esta bastante demorada. Por exemplo, a separação das folhas de uma árvore de grandes dimensões pode levar muito tempo acarretando, portanto, elevados custos. Nestes casos, pode recorrer-se à amostragem da copa, ou seja, à avaliação da biomassa das componentes apenas numa parte da copa, com posterior generalização para o resto da copa. Existem diversos métodos para a amostragem da copa para efeitos de avaliação da biomassa das suas componentes, os quais saiem para além do âmbito deste curso. O trabalho de Tomé *et al.* (submetido para publicação) revê alguns destes métodos de amostragem e testa a aplicação de três deles para o eucalipto.

Biomassa de ramos

No caso dos ramos, a casca é geralmente considerada em conjunto com o lenho. Exceptuam-se as espécies com ramos muito desenvolvidos e que tenham, portanto, uma elevada percentagem de casca (por exemplo, o sobreiro e a azinheira).

A biomassa dos ramos, ou de qualquer das componentes em que pretendamos subdividi-los, pode obter-se, tal como a biomassa do tronco, por dois procedimentos alternativos:

- avaliação do peso verde total e do teor de humidade;
- avaliação do volume e da massa específica (peso seco por unidade de volume).

A aplicação destes métodos assemelha-se, em tudo, ao que foi descrito para a biomassa do tronco. Os ramos mais grossos podem ser avaliados por um dos dois processos, enquanto que os ramos mais finos são geralmente avaliados pelo método da avaliação do peso verde e do teor de humidade.

A biomassa das folhas é geralmente avaliada com base no peso verde total e no teor de humidade. A avaliação da biomassa das folhas é feita em conjunto com a avaliação da área foliar (veja-se o ponto 1.5.3).

3.8.2.3 Biomassa de raízes

A biomassa de raízes é, sem dúvida, a componente de mais difícil avaliação, uma vez que implica a escavação da totalidade ou, pelo menos, de parte do sistema radicular da árvore. Tem geralmente interesse fazer a escavação por camadas horizontais, de forma a ser possível fazer a avaliação da biomassa de raízes em cada uma destas camadas horizontais (por exemplo, 0-20 cm, 20-50 cm e 50-80 cm). A escavação permite isolar a raiz principal e as raízes grossas, havendo que separar as restantes raízes do solo escavado. A separação das raízes é conseguida por crivagem do solo através de um conjunto de crivos de malha sucessivamente mais apertada. São considerados geralmente pelo menos dois crivos, um com malha de 5 mm (aplicado no campo) e outro com malha de 2 mm (aplicado em laboratório a uma amostra do solo que passou pelo crivo de 5 mm). Antes da secagem das amostras para avaliação do respectivo peso seco, é necessário proceder a uma cuidada lavagem das raízes para que se elimine todo o solo que esteja “agarrado” às raízes. Para mais detalhes veja-se Fabião (1986).

3.8.3 Estimação com recurso a equações alométricas

A dificuldade da avaliação da biomassa da árvore ficou bem patente nas metodologias apresentadas no ponto anterior. Fácil é concluir, portanto, que, em inventário florestal, a biomassa total e por componentes se baseia, quase sempre, na utilização de equações para a sua estimação.

A título de exemplo, as tabelas 30A e 30B apresentam equações para a estimação da biomassa total e por componentes de eucalipto em Portugal, respectivamente quando a profundidade da copa não está disponível (Tomé, 2007) ou quando esta variável é conhecida (António et al., 2007). A tabela 31 apresenta as equações disponíveis para o pinheiro bravo (Faias et al., 2006) e a tabela 32 um conjunto de equações do mesmo tipo mas para a azinheira (Paulo et al., 2003). Como se pode ver, em qualquer destes exemplos, algumas das componentes da biomassa são estimadas em conjunto.

3.8.4 O caso particular da cortiça

A avaliação da biomassa da cortiça reveste-se, como é óbvio, de particular importância em Portugal.

A informação disponível respeitante a modelos de previsão de produção de cortiça é bastante escassa. Vários autores têm dedicado a sua atenção ao desenvolvimento de equações para predição do peso de cortiça amadia da árvore individual (Natividade, 1950; Ferreira et al., 1986; Montero, 1988; Ferreira e Oliveira, 1991; Costa, 1992; Sousa, 1997). Contudo, os estudos desenvolvidos em Portugal até ao ano 2000 referiam-se apenas ao peso de cortiça em verde e nunca à cortiça seca ao ar ou à biomassa da cortiça (seca em estufa até peso constante). No que respeita às variáveis independentes utilizadas e metodologias desenvolvidas, têm sido apresentados muitos modelos alternativos, desde modelos lineares muito simples que utilizam a circunferência à altura do peito sobre cortiça (c ou, sem cortiça, c_{sc}) como variável regressora, até modelos em que a estimação do peso de cortiça se baseia num maior número de variáveis, muitas vezes com recurso a combinações das várias variáveis medidas.

Natividade (1950) refere que a quantidade de cortiça que uma árvore produz depende principalmente da grossura do fuste, da sua altura, do nº de pernas descortiçadas, da altura a que se eleva o descortiçamento e do peso de cortiça por unidade de superfície descortiçada. Apresenta um ábaco que permite a obtenção do peso verde de cortiça em função do perímetro do fuste, medido sobre o entrecasco, utilizável apenas em montados onde predomine arvoredado com 2 pernas e o coeficiente de descortiçamento não seja superior a 2.5.

Tabela 30A. Equações para a estimativa da biomassa total e por componentes em eucalipto quando a profundidade da copa não está disponível (Tomé 2007).

| Componente Equação | Estimativas dos parâmetros |
|-----------------------------------|--|
| | $k_w = 0.0100$ |
| Lenho $ww = k_w d^{aw} h^{bw}$ | $aw = \begin{cases} \text{se } h_{dom} \leq 10.7100 \frac{h_{dom}}{-0.7091 + 0.6279 h_{dom}} \\ \text{se } h_{dom} > 10.7100 1.7804 \end{cases}$ |
| | $bw = 1.3696$ |
| | $k_b = 0.0006$ |
| Casca $wb = k_b d^{ab} h^{bb}$ | $ab = \begin{cases} \text{se } h_{dom} \leq 18.2691 \frac{h_{dom}}{-0.6995 + 0.4586 h_{dom}} \\ \text{se } h_{dom} > 18.2691 2.3795 \end{cases}$ |
| | $bb = 1.0850$ |
| Folhas | $k_l = 0.2490$ |

| | |
|--|---|
| $wl = kl d^{al} h^{bl}$ | $al = 1.2640$ $bl = -0.7121$ |
| Ramos $wbr = kbr d^{abr} h^{bbr}$ | $kbr = 0.0956$ $al = 1.6746$ $bl = -0.8507$ |
| Biomassa total aérea $w = ww + wb + wl + wbr$ | |

Tabela 30B. Equações para a estimativa da biomassa total e por componentes em eucalipto quando a profundidade da copa é conhecida (Antônio et al., 2007).

| Componente Equação | Estimativas dos parâmetros |
|------------------------------------|---|
| | $kw = 0.0101$ |
| Lenho $ww = kw d^{aw} h^{bw}$ | $aw = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 10.7100 & \frac{hdom}{-0.6653 + 0.6243 hdom} \\ \text{se } hdom > 10.7100 & 1.7788 \end{cases}$ $bw = 1.3638$ |
| | $kb = 0.0006$ |
| Casca $wb = kb d^{ab} h^{bb}$ | $ab = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 18.2691 & \frac{hdom}{-0.6970 + 0.4586 hdom} \\ \text{se } hdom > 18.2691 & 2.3784 \end{cases}$ $bb = 1.0616$ |
| | $kl = 0.0295$ |
| Folhas $wl = kl d^{al} cl^{bl}$ | $al = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 7.387 & \frac{hdom}{-1.0312 + 0.7069 hdom} \\ \text{se } hdom > 7.387 & 1.7627 - 0.01065 hdom \end{cases}$ |

$$bl = 0.6430$$

Ramos

$$kbr = 0.0237$$

$$wbr = kbr d^{abr} cl^{bbr}$$

$$abr = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 8.8348 & \frac{hdom}{-0.9130 + 0.7043 hdom} \\ \text{se } hdom > 8.8348 & 1.6640 \end{cases}$$

$$bbr = 0.6067$$

Biomassa total aérea

$$w = ww + wb + wl + wbr$$

Tabela 31. Equações de biomassa para a espécie *Pinus pinaster* (Faias et al., 2006)

| Componente | Equação | Parâmetros |
|---------------------|---|---|
| Tronco (ws) | $w = k d^\alpha h^\beta$ | $k = -0.9534 + 1.0011^t$ $\alpha = 1.8392$ $\beta = 0.5524$ |
| Casca (wb) | $w = k d^\alpha h^\beta$ | $k = 0.0114$ $\alpha = 1.8728$ $\beta = 0.6694$ |
| Ramos (wbr) | $w = k d^\alpha \left(\frac{h}{d}\right)^\beta$ | $k = 0.0035$ $\alpha = 2.6898$ $\beta = -0.5183$ |
| Agulhas (wl) | $w = k d^\alpha \left(\frac{h}{d}\right)^\beta$ | $k = 0.0840$ $\alpha = 1.4810$ $\beta = -0.6729$ |
| Cones (wc) | $w = k \frac{d^\alpha}{100}$ | $k = 147.7$ $\alpha = 2.4977$ |
| Raízes (wr) | $w = k d^\alpha$ | $k = 0.4522$ $\alpha = 1.1294$ |
| Total aérea (wa) | $wa = ws + wbr + wl$ | |

Tabela 32. Equações para a predição da biomassa total e por componentes para a azinheira (Paulo et al., 2003)

| Componente | Equação |
|-------------------|---|
| Copa | $wc = c^{(0.679454+0.063163 \text{ cl})}$ |
| Lenho de braças | $wbr1 = c^{(0.835162+0.033168 \text{ cl})} hcb^{0.674645} I_{poda}$ |
| Lenho de pernadas | $wbr2 = c^{(0.625313+0.064642 \text{ cl})}$ |
| Lenho de tronco | $ww = c^{(0.611214+0.122828 \text{ h}_{bif})} h^{0.543271}$ |
| Casca | $wb = c^{(0.788072+0.032022 \text{ cl})}$ |
| Total | $w = wc + wbr1 + wbr2 + ww + wb$ |

Onde: I_{poda} é uma variável indicatriz para a poda (=1, se a árvore tem sinais de poda, =0 no caso contrário;

Guerreiro (1951) apresenta modelos de regressão múltipla para duas situações distintas, árvores descortiçadas apenas no fuste e árvores descortiçadas no fuste e pernadas. Este autor conclui que as variáveis com maior peso preditivo são a circunferência medida sobre cortiça, a espessura da cortiça e a altura de descortiçamento máxima, sendo a espessura da cortiça, no entanto, uma variável a desprezar, uma vez que não traz grandes acréscimos em termos da capacidade preditiva do modelo.

Mais recentemente, Ferreira et al. (1986) realizaram um trabalho para selecção de modelos de previsão do peso de cortiça, utilizando dados de quatro regiões caracterizadas como produtoras de cortiça de diferentes qualidades - Alcácer do Sal e Montemor-o-Novo (regiões de qualidade média) e Grândola e Mora (regiões de boa qualidade). Foram testados todos os modelos lineares e logarítmicos possíveis, ordenando-os de acordo com uma medida de eficiência do modelo, calculada com base em estatísticas indicadoras da sua qualidade de ajustamento e capacidade preditiva. Introduziram neste tipo de modelos uma nova variável: a superfície máxima de descortiçamento, que mostrou, neste trabalho, ser responsável pela explicação de 83% da variância total; além disso, concluíram que a espessura da cortiça e o raio médio da copa podiam ser eliminados deste tipo de modelos sem grande perda de eficiência.

Montero (1988) realizou um estudo exaustivo de modelação da produção de cortiça, ao nível da árvore individual, para diferentes regiões geográficas de Espanha e averiguou quais as variáveis com mais interesse para a sua predição. Considerando a dificuldade e morosidade da determinação da superfície de descortiçamento, que obriga à medição dos comprimentos e perímetros de todas as pernadas descortçadas, o autor acabou por seleccionar, para cada uma das 6 regiões produtoras de cortiça, diferentes parametrizações do modelo linear função do produto entre a circunferência a 1.30 m, medida sobre e sob cortiça, e a altura de descortiçamento máxima, sendo a ordenada na origem nula. Montero (1988) averiguou também a influência da qualidade produtiva da árvore (medida pelo peso de cortiça por m² de superfície descortçada) na sua produção de cortiça, desenvolvendo modelos de previsão de peso de cortiça em função da classe de produtividade da árvore. Estratificou a sua amostra em 5 classes, com base numa definição de produtividade prévia (Montoya, 1980) e reajustou a equação seleccionada a cada uma dessas classes.

Estudos desenvolvidos por Ferreira e Oliveira (1991), utilizando dados de 32 parcelas permanentes pertencentes a 11 zonas corticeiras diferentes, confirmam a boa aptidão da variável superfície de descortiçamento máxima para predição do peso de cortiça. Além disso, este estudo aprofundou a utilização de equações de predição de peso de cortiça em várias regiões tidas como de produtividade distinta, fazendo um estudo comparado dos resultados obtidos.

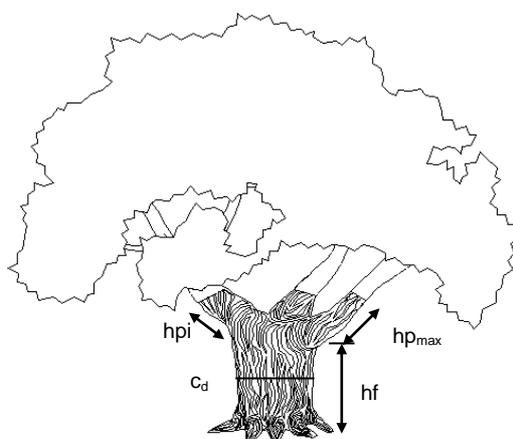
Num estudo realizado para estabelecimento de tabelas de previsão de produção de cortiça para a Charneca Pliocénica do Ribatejo, concelho de Benavente (Costa, 1992), o peso verde de cortiça da árvore individual mostrou poder ser expresso como função linear da superfície descortçada máxima. Neste estudo, foi ainda evidenciada a conveniência de considerar o nível de exploração da cortiça em altura na árvore (fuste, fuste + pernadas, fuste + pernadas + braças), como forma de eliminar a heterogeneidade da produção de cortiça entre árvores. A equação seleccionada foi, assim, parametrizada para cada um dos níveis de exploração.

Sousa (1997), utilizando dados de dois inventários florestais sucessivos realizados no concelho de Benavente, considerado como de aptidão suberícola média, procedeu à caracterização da produção do sobreiro a nível quantitativo e qualitativo. A estimação do peso verde de cortiça da árvore individual foi feita com base numa equação quadrática em que a variável independente é a circunferência a 1.30 m, sendo a produção esperada de cortiça no montado de sobreiro estimada através da definição de um índice de produtividade (ou qualidade) da estação baseado na produção média de cortiça por unidade de superfície descortçada.

Ribeiro e Tomé (2000, 2002) desenvolveram, com base em dados recolhidos em três herdades do concelho de Coruche, um conjunto de equações para a predição do peso seco ao ar de cortiça, as quais se encontram na tabela 32.

Este conjunto de equações inclui equações baseadas em diversas categorias de medições. Existem equações baseadas na medição da c – perímetro ou circunferência à altura do peito - com cortiça as quais podem ser aplicadas para a avaliação do peso de cortiça imediatamente antes da extracção da cortiça, sendo a cortiça de 9 anos. Outras equações baseiam-se na medição da c sem cortiça (c_{sc}) e podem, portanto, ser utilizadas com base na medição realizada em qualquer altura. No caso da medição ser realizada sobre cortiça e no meio de um ciclo de produção, há que medir a sua espessura, para obter a c sem cortiça e, especialmente em povoamentos jovens, há também que estimar o crescimento em diâmetro das árvores, desde a altura da medição até à extracção da cortiça.

Esta operação pode ser feita, como se verá na disciplina de Modelação em Recursos Naturais, com recurso a modelos de crescimento e produção, por exemplo, o modelo SUBER de Tomé et al. (2004). Foram também desenvolvidas equações sucessivamente mais exigentes em termos da dificuldade das variáveis que é necessário medir no campo, desde a medição apenas da c até à avaliação da superfície total descortiçada.



| Variável | Descrição |
|----------|---|
| c_d | Circunferência à altura do peito sem cortiça (m) |
| c_c | Circunferência à altura do peito com cortiça (m) |
| h_f | Altura descortiçada do fuste (m) |
| n_{pi} | Número de pernadas exploradas |
| h_{pi} | Altura descortiçada das pernadas (m) |
| p_{pi} | Perímetro das pernadas depois de descortiçadas (m) |
| w | Peso de cortiça seca ao ar (kg) |
| e | Calibre (cm) – espessura da cortiça determinada a partir de uma amostra com 20x20 cm (cala) recolhida a 1.30m do solo |

| | |
|-------|---|
| hdm | Altura de descortçamento média: $hdm = hf + \frac{\sum_1^{npi} hpi}{npi}$ |
| hdesc | Altura de descortçamento total: $hdesc = hf + \sum_1^{npi} hpi$ |
| hdmax | Altura de descortçamento máxima: $hdmax = hf + hp_{max}$ |
| cdm | Coefficiente de descortçamento médio: $cdm = \frac{hdm}{c_d}$ |
| cdesc | Coefficiente de descortçamento total: $cdesc = \frac{hdesc}{c_d}$ |
| cdmax | Coefficiente de descortçamento máximo: $cdmax = \frac{hdmax}{c_d}$ |
| sdmax | Superfície descortçada máxima: $sdmax = c_d \cdot hdmax$ |
| sdt | Superfície descortçada total: $sdt = sdf + sdp = (c_d \cdot hf) + \sum_1^{npi} (ppi \cdot hpi)$ |

Figura 65. Esquema de amostragem e parâmetros da árvore calculados a partir das variáveis recolhidas no campo no estudo de Ribeiro e Tomé (2000, 2002).

Tabela 33 Modelos seleccionados para previsão do peso seco de cortiça, considerando varias categorias de medições.

As variáveis utilizadas estão descritas na figura 65

Só com medição da c

C sem cortiça

$$\ln w = 3.0071 + 2.0039 \ln(c_d)$$

$$\ln w = 2.8423 + 1.5558 \ln(c_d) + 0.4013 \ln(npi)$$

C com cortiça

$$\ln w = 2.5945 + 2.3701 \ln(c_c)$$

$$\ln w = 2.5207 + 1.8773 \ln(c_c) + 0.3885 \ln(npi)$$

Sem medição de pernasas

C sem cortiça

$$\ln w = 2.7506 + 1.9174 \ln(c_d) + 0.4682 \ln(hf)$$

$$\ln w = 2.4092 + 1.2871 \ln(c_d) + 0.6966 \ln(hf) + 0.5266 \ln(npi)$$

C com cortiça

$$\ln w = 2.3665 + 2.2722 \ln(c_c) + 0.4473 \ln(hf)$$

$$\ln w = 2.1578 + 1.5817 \ln(c_c) + 0.6680 \ln(hf) + 0.5062 \ln(npi)$$

Com medição do comprimento da perna mais alta

C sem cortiça

$$\ln w = 2.4344 + 0.7472 \ln(\text{hdmax } c^2_d)$$

$$\ln w = 2.4164 + 0.6543 \ln(\text{hdmax } c^2_d) + 0.2173 \ln(\text{npi})$$

C com cortiça

$$\ln w = 2.0702 + 0.8405 \ln(\text{hdmax } c^2_c)$$

$$\ln w = 2.0918 + 0.7516 \ln(\text{hdmax } c^2_c) + 0.1890 \ln(\text{npi})$$

Com medição do comprimento de todas as pernadas

C sem cortiça

$$\ln w = 2.4230 + 0.6184 \ln(\text{hdesc } c^2_d)$$

C com cortiça

$$\ln w = 2.1286 + 0.6797 \ln(\text{hdesc } c^2_c)$$

Com medição exaustiva de todas as pernadas

$$\ln w = 2.1850 + 0.9655 \ln(\text{sdt})$$

$$\ln w = 1.7189 + 0.9581 \ln(\text{sdt}) + 0.4593 \ln(e)$$

$$\ln w = 1.8276 + 0.8338 \ln(\text{sdt}) + 0.4562 \ln(e) + 0.3143 \ln(c_d)$$

3.9 Perguntas sobre a matéria do capítulo

1 Num inventário florestal optou-se por realizar a medição do d com uma suta. Diga, justificando, quais das seguintes opções estão correctas:

- a) As leituras devem ser feitas com a régua da suta perfeitamente encostada à árvore para minimizar os erros devidos à inclinação do tronco da árvore.
- b) As leituras devem ser feitas com a régua da suta perfeitamente encostada à árvore para minimizar os erros devidos ao não paralelismo dos braços da suta.
- c) Se a árvore for inclinada, o plano da suta deve estar na horizontal.
- d) Se a árvore for inclinada, o plano da suta deve estar perpendicular ao eixo longitudinal da árvore

2 Medição e estimação de variáveis dendrométricas em árvores

- a) Explique a diferença entre medição e estimação de variáveis dendrométricas. Refira-se também às consequências, em termos de erros, de optar por avaliar as variáveis dendrométricas de uma árvore por medição ou por estimação.
- b) Exemplifique a explicação que deu na alínea anterior para a variável altura.

3 Medição e avaliação da altura de árvores

- a) Em que princípio se baseia a medição da altura das árvores em pé?
- b) A medição da altura de árvores em pé está relacionada com a distância a que o operador se encontra da árvore. Dê um exemplo de um aparelho de medição de alturas de árvores que exija a colocação prévia do operador a uma distância fixa da árvore e de outro que apenas exija a avaliação da distância a que o operador se encontra da árvore. Para os exemplos que escolheu, explique como é que são realizadas estas operações.
- c) O que são relações hipsométricas? Estabeleça a distinção entre relações hipsométricas locais e regionais.

4 Forma da árvore

- a) Defina coeficiente de forma absoluto, coeficiente de forma ordinário e coeficiente de forma verdadeiro.
- b) Qual (ou quais) destes coeficientes é adequado para comparar a forma de árvores de tamanho diferente?

5 Medição de volumes em árvores

- a) Diga qual o método de medição de volumes em árvores que se baseia no conceito de coeficiente de forma ordinário. Explique sucintamente esse método.
- b) Indique como é que, na prática, avalia o volume de uma árvore com base neste método. Refira-se também aos aparelhos que pode utilizar para este fim.

6 Métodos de cubagem directa

- a) Diga em que se baseia o método de Hohenadl.
- b) Explique como é que aplica este método na prática em árvores abatidas.
- c) Quais as medições que é necessário fazer com o telerelescópio para aplicar o método de Hohenadl?

7 Avaliação do volume de uma árvore com recurso a uma equação de perfil do tronco

- a) Explique o que são equações de perfil do tronco.
- b) Explique como se pode avaliar o volume total de uma árvore com recurso a uma equação de perfil do tronco.
- c) A avaliação do volume que explicou na alínea anterior é uma avaliação por medição ou por estimação? Justifique.
- d) Que vantagens e inconvenientes tem uma equação de perfil do tronco em relação a uma equação de volume total?

a)

8 Avaliação do volume de uma árvore pelo método da altura formal

- a) Explique qual o princípio do método da altura formal para avaliação do volume de árvores.
- b) Explique como é que se aplica este método com o relascópio de espelhos de Bitterlich.
- c) Porque é que o método da altura formal dispensa a colocação a uma distância fixa da árvore, ao contrário do que acontece na medição da altura da árvore?
- d) O método da altura formal é uma avaliação do volume da árvore por medição ou por estimação?

9 Medição da altura de árvores em pé

- a) Explique quais os cuidados gerais a ter na medição da altura de árvores
- b) Que cuidados deve ter se utilizar o hipsómetro de Blum-Leiss?
- c) E se utilizar o Vertex?

10 Avaliação do volume de árvores

- a) O telerelascópio pode ser utilizado para avaliar o volume de uma árvore pelo método da altura formal? Explique como.
 - b) Como procede para, com base no telerelascópio, obter os dados necessários para proceder à cubagem rigorosa de uma árvore, sendo os toros intermédios de 3m e cubados pela fórmula de Smalian.
- 11 Avaliação por estimação do volume de uma árvore (total e por categorias de aproveitamento)
- a) Quais as equações que lhe permitem estimar o volume total de uma árvore? Explique sucintamente como obtém o volume total com cada uma delas.
 - b) Qual destas equações lhe permite avaliar o volume por categorias de aproveitamento? Explique como.
 - c) Conhece outro tipo de equações que também permitam a avaliação do volume de uma árvore por categorias de aproveitamento?

4 Avaliação de variáveis do povoamento com base em parcelas de inventário

Num inventário florestal, o objectivo da caracterização de um povoamento é a obtenção do valor de um conjunto de variáveis do povoamento, as quais se apresentam geralmente referidas ao hectare. Devido à elevada dimensão dos povoamentos, é impossível, do ponto de vista prático, proceder à avaliação das variáveis do povoamento por medição exaustiva de todas as árvores do povoamento. Assim, a avaliação de variáveis dendrométricas ao nível do povoamento é, geralmente, realizada por um dos seguintes métodos:

- Por medição de árvores em parcelas de raio fixo;
- Por medição de árvores em parcelas com um número de árvores fixo;
- Pelo método de Bitterlich, também conhecido por amostragem pontual.

No que respeita à medição de árvores em parcelas, o primeiro método é, sem dúvida, aquele que se encontra mais generalizado, até porque o segundo método origina, na maior parte dos casos, estimativas enviesadas das variáveis do povoamento. De acordo com este método, considera-se o povoamento como uma população de parcelas de uma determinada forma e dimensão e procede-se à avaliação das variáveis dendrométricas com base na amostragem de um subconjunto dessas parcelas. Há, então, que proceder à avaliação das variáveis dendrométricas do povoamento em cada uma das parcelas amostradas e estimar, posteriormente, o valor dessas variáveis para o povoamento, com base na teoria da amostragem (volume IV).

Este capítulo destina-se a definir as variáveis dendrométricas do povoamento mais importantes, assim como a descrever os métodos que podem ser utilizados na sua avaliação, quando esta se baseia na medição de parcelas com um raio pré-definido. De um modo geral, as variáveis dendrométricas do povoamento – a maior parte das quais são somas, médias ou outras funções de variáveis dendrométricas da árvore – podem ser obtidas por três processos alternativos:

d) Enumeração completa:

Quando as variáveis dendrométricas da árvore necessárias ao seu cálculo são avaliadas em todas as árvores que pertencem à parcela.

e) Com recurso a árvores modelo:

Quando as variáveis dendrométricas da árvore necessárias ao seu cálculo são avaliadas apenas num subconjunto das árvores que pertencem à parcelas - as árvores modelo. Por exemplo, a altura da árvore e a altura da base da copa são, frequentemente, medidas apenas em árvores modelo.

f) Estimação:

Quando a variável é de difícil medição, a sua avaliação pode ser realizada por estimação, com base numa equação de regressão ajustada entre a variável pretendida e outras variáveis de medição mais fácil (ou menos onerosa). Estas equações de regressão, de obtenção bastante mais difícil do que no caso das variáveis da árvore, uma vez que exigem a disponibilidade de dados da variável que se pretende estimar num elevado número de parcelas, são geralmente obtidas por pesquisa bibliográfica.

4.1 A parcela de inventário

Antes de iniciarmos a apresentação das metodologias utilizadas para avaliar as diversas variáveis dendrométricas do povoamento em parcelas, convém discutir alguns problemas relacionados com as próprias parcelas, como sejam, a selecção da sua forma, dimensão ou a forma como se delimita, no campo, uma parcela.

4.1.1 Forma e dimensão das parcelas

Forma

As formas mais utilizadas para demarcação de parcelas são o rectângulo, o quadrado, o círculo e a faixa. A vantagem relativa das diversas formas possíveis reside, principalmente, na razão perímetro/área, a qual deve ser o menor possível, para minimizar as árvores que se encontram no limite da parcela, pois são uma fonte de erro. Teoricamente, a forma mais vantajosa é aquela que, para a mesma área, tem a maior razão entre área e perímetro. Por isso, utiliza-se o círculo (tabela 34). Deste ponto de vista, a forma mais desfavorável é uma faixa muito comprida.

Dimensão das parcelas

O problema da selecção da dimensão das parcelas está relacionado com o facto da variação entre parcelas diminuir com o aumento da sua dimensão. Portanto, o erro de amostragem decresce com o aumento da dimensão das parcelas. Se as parcelas forem muito pequenas é óbvio que há uma grande variação do valor das variáveis do povoamento, visto que o número de árvores por parcela fica muito pequeno (em muitas parcelas pode até não ocorrer nenhuma árvore); basta que em algumas das parcelas ocorra uma árvore de grandes dimensões, e noutras apenas árvores pequenas, para originar uma grande variação entre parcelas. Quando o tamanho destas é suficiente para “captar” a variação do povoamento nesse local, então a variância entre parcelas diminui. O decréscimo da variância entre parcelas com a dimensão é geralmente muito acentuado para parcelas de áreas pequenas e estabiliza a partir de uma determinada dimensão.

Tabela 34 Relação entre as áreas e os perímetros para as diferentes formas de parcelas

| Forma das parcelas | | Perímetros (m) para as seguintes áreas (m ²) : | | | | |
|--------------------|---------------|--|-----------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 400 (m ²) | 500 (m ²) | 1000 (m ²) | 1256.64 (m ²) | 2827.43 (m ²) |
| Circular | | 70.90 | 79.27 | 112.10 | 125.66 | 188.50 |
| Quadrada | $l \times l$ | 80.00 | 89.44 | 126.49 | 141.80 | 212.69 |
| Rectangular | $2l \times l$ | 84.85 | 94.87 | 134.16 | 150.40 | 225.60 |
| | $3l \times l$ | 92.38 | 103.28 | 146.06 | 163.73 | 245.60 |
| | $4l \times l$ | 100.00 | 111.80 | 158.11 | 177.25 | 265.87 |

A figura 73 ilustra a diminuição do coeficiente de variação (desvio padrão expresso em percentagem da média) em função do raio da parcela para duas variáveis do povoamento: área basal (G) e peso seco ao ar de cortiça (Wc), num montado de sobro. Como se pode ver, a diminuição é nítida para ambas as variáveis. A fase de estabilização parece ter-se alcançado para o peso de cortiça, mas não para a área basal.

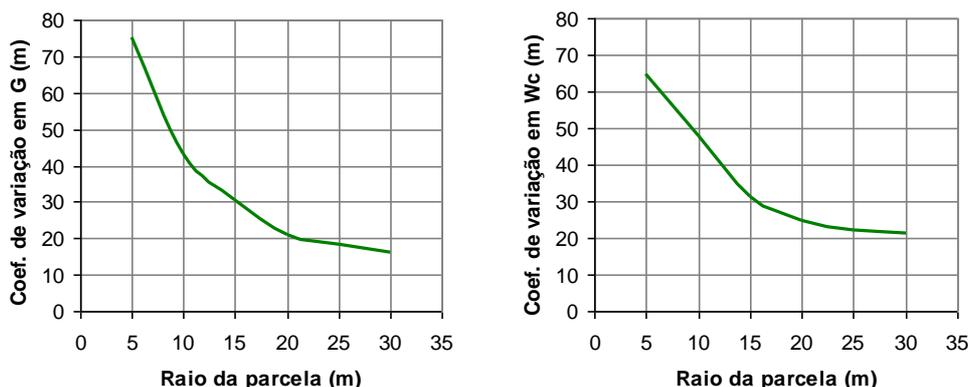


Figura 73 Coeficiente de variação em função da dimensão da parcela para a área basal (G) e o peso de cortiça (Wc) num montado de sobro (estudo no âmbito do projecto AGRO nº 81 baseado em 30 parcelas, Tomé, 2005)

Na tabela 35, encontram-se as áreas das parcelas mais usuais para as principais espécies florestais de Portugal., assim como os respectivos raios. Como se pode ver, a área da parcela está relacionada com a densidade do povoamento.

Tabela 35. Áreas de parcelas e respectivos raios

| Espécie(s) | Área (m ²) | Raio (m) |
|--------------------------|------------------------|----------|
| Eucalipto | 400 | 11.28 |
| Pinheiro, eucalipto | 500 | 12.64 |
| Pinheiro, sobreiro jovem | 1000 | 17.84 |
| Sobreiro denso | 1256.64 | 20 |
| Sobreiro pouco denso | 2827.43 | 30 |

4.1.2 Tipo de parcelas

Quer por razões de ordem prática, quer em consequência de ser preferível optar por um esquema de amostragem que optimize a razão precisão/custos, pode convir que a unidade de amostragem, ou seja, a parte do povoamento que é medida em cada ponto seleccionado para medição, seja constituída, não apenas por uma parcela, mas por um conjunto delas. Assim, temos três tipos de parcelas:

- Parcela simples;
- Parcela composta;
- Parcela satélite.

Parcelas simples

A unidade de amostragem é constituída por uma única parcela (figura 74), na qual são medidas todas as árvores. Por vezes, pode-lo-ão ser apenas as árvores acima de determinado diâmetro (geralmente acima de 2.5, 5 ou 7.5 cm). A generalização ao hectare de uma variável Y é feita a partir da seguinte regra de três simples:

$$\begin{array}{l}
 Y \quad \text{-----} \quad 10000 \\
 Y_p \quad \text{-----} \quad A_p
 \end{array}
 \Rightarrow
 Y = \frac{10000}{A_p} Y_p$$

Ao factor 10000/A_p, pelo qual se tem de multiplicar o valor da variável obtido com base numa parcela de área A_p (Y_p) para obter o correspondente valor por ha (Y), dá-se o nome de coeficiente de extensão.



Figura 74 - Parcela simples de Inventário Florestal

Parcela composta

A unidade de amostragem é constituída por vários círculos concêntricos, sendo as árvores medidas nos círculos sucessivos seleccionadas de acordo com a classe de dimensão a que pertencem, isto é, as árvores mais pequenas são medidas apenas nos círculos mais pequenos. As revisões do Inventário Florestal Nacional até 1992 utilizaram este tipo de parcela (figura 75) nos povoamentos de pinheiro bravo, com três círculos concêntricos definidos por:

Círculo interno (250 m²) – para os diâmetros ≤ 17.4 ;

Círculo intermédio (500 m²)– para os diâmetros > 17.4 cm, mas ≤ 32.4 cm;

Círculo maior (1000 m²) – para os diâmetros > 32.4 cm.

Na prática, medem-se todas as árvores na parcela interior, as árvores com diâmetro superior a 17.4 cm na 1ª coroa circular e apenas as árvores com diâmetro superior a 32.4 na 2ª coroa circular.

Para fazer a generalização ao hectare neste tipo de parcelas, tem de se considerar separadamente cada parcela, somando-se posteriormente os valores por hectare correspondentes a cada uma delas:

$$Y = Yp_1 \frac{10000}{Ap_1} + Yp_2 \frac{10000}{Ap_2} + Yp_3 \frac{10000}{Ap_3}$$

onde A_{p_i} e Y_{p_i} indicam, respectivamente, a área da parcela P_i e o valor da variável Y na parcela P_i . Este tipo de parcelas é particularmente útil em povoamentos irregulares, nos quais a área da parcela necessária para garantir uma boa representação das árvores de maior dimensão (que têm geralmente uma frequência baixa). tem de ser bastante grande, exigindo a medição de um número muito elevado de árvores de pequena dimensão. Com a parcela composta contorna-se este problema, sendo as árvores de cada dimensão medidas numa área maior ou menor, consoante o seu tamanho.

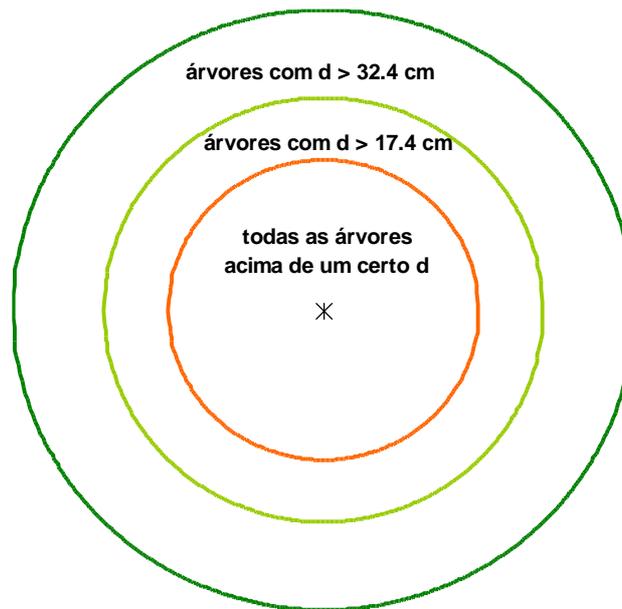


Figura 75 - Parcela composta utilizada no Inventário Florestal Nacional até 1992

Parcela satélite

Este tipo de parcela consiste num arranjo sistemático de parcelas simples ou combinadas, ou mesmos pontos de amostragem, em torno de um ponto central. Na figura 76 pode ver-se a parcela satélite utilizada nos inventários para avaliação de existências de eucalipto realizados pela ACEL (actual CELPA), entre 1985 e 1988. Após localizada e medida a primeira parcela do satélite ou grupo, eram medidas mais quatro parcelas, localizadas nas direcções dos pontos cardeais e situadas a uma distância de 200 m da parcela central. Cada parcela tinha uma área de 200 m², pelo que, no conjunto, se mediam 1000 m². Tirava-se assim uma maior informação sobre a zona visitada do que se se tivesse optado por medir apenas uma parcela com 500 m², sendo os custos associados não muito superiores.

A extensão ao hectare neste tipo de parcelas faz-se do modo seguinte:

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{10000}{A_{p_i}} Y_{p_i}$$

Como a área é igual para todas as parcelas, vem:

$$Y = \frac{10000}{A_p} \sum_{i=1}^n Y_{p_i}$$

onde A_p é a área de cada parcela.

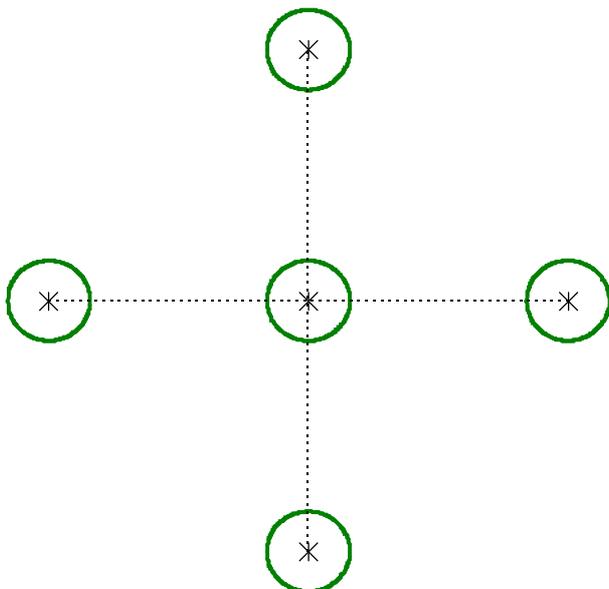


Figura 76 Parcela satélite utilizada nos inventários da ACEL entre 1985 e 1988

4.1.3 Delimitação de parcelas no terreno

No campo, a primeira operação a realizar é determinar os limites da parcela com o máximo rigor possível, o que, naturalmente, é importantíssimo para que a determinação dos valores por ha seja correcta. Por exemplo, a correcta identificação de uma árvore numa parcela de 500 cm² corresponde a um erro de 20 árvores por hectare. Os métodos de demarcação vão depender, naturalmente, da forma da parcela. Para cada forma de parcela analisam-se, em seguida, os métodos a utilizar na delimitação respectiva, os erros associados e os cuidados a tomar para os reduzir.

4.1.3.1 Parcelas rectangulares e quadradas

A delimitação das parcelas rectangulares e quadradas faz-se recorrendo ao uso de um instrumento para medir distâncias - Vertex, Laser ou fita métrica - de um prisma de espelhos rectangulares e de uma bússola.

A delimitação de uma parcela rectangular ou quadrada, que tenha um dos lados segundo a direcção com azimute de α° , faz-se do seguinte modo (figura 77):

1. Marcar o primeiro canto C_1 com a estaca E_1 ;
2. O operador O_1 coloca-se na estaca E_1 e, com o auxílio da bússola, “orienta” o operador O_2 para que este se desloque na direcção do azimute α . O operador O_2 desloca-se uma distância igual ao lado do quadrado (ou rectângulo), avaliando a distância com uma fita métrica, Vertex ou hipsómetro Laser, e coloca a estaca E_2 coincidente com o canto C_2 . Não esquecer que, no caso de se utilizar a fita métrica, há que proceder à correcção das distâncias em terreno inclinado.
3. Continuando a deslocar-se na mesma direcção do azimute α , o operador O_2 coloca a estaca E_3 um pouco afastada da estaca E_2 ;
4. O operador O_1 coloca-se agora no canto C_2 e, com o auxílio de um esquadro de prismas, “orienta” o operador O_2 para que este se desloque numa direcção perpendicular ao lado $\overline{C_1C_2}$. Para tal, ao visar pela mira do esquadro, deve ver as estacas E_1 e E_3 alinhadas com o operador O_2 , o qual se desloca uma distância igual ao lado do quadrado (ou rectângulo), colocando a estaca E_4 no canto C_3 .

5. O operador O_2 retira a estaca E_3 e desloca-se para o canto C_1 no qual se coloca novamente o operador O_1 . Este, com o auxílio da bússola, “orienta” o operador O_2 para que este se desloque segundo o azimute $\alpha + 180^\circ$ para colocar uma estaca auxiliar E_{aux} no prolongamento do lado $\overline{C_1C_2}$, para o lado do canto C_1 . Repetem-se agora as operações descritas em 4, mas para encontrar o 4º canto (C_4). Por fim, deve medir-se a distância $\overline{C_3C_4}$ para confirmação.

O processo de delimitação de parcelas rectangulares ou quadradas descrito tem associados dois erros: aqueles que se cometem aquando da medição de distâncias e os erros cometidos no levantamento das perpendiculares, quando se pretende encontrar o 3º e o 4º cantos. Se a parcela for quadrada, os erros que resultam do levantamento incorrecto das perpendiculares, com o fim de encontrar o 3º e o 4º cantos, podem ser minimizados se se fizer a marcação a partir do centro da parcela, utilizando-se neste caso, as diagonais da parcela (figura 78). Este método é, contudo, muito pouco aplicado na prática.

4.1.3.2 Parcelas circulares

A delimitação das parcelas circulares é feita a partir do centro, através da medição do raio, havendo dois métodos possíveis: um com fita métrica, com o qual é necessário proceder à correcção do raio em terreno declivoso (ver ponto 4.1.5), e outro usando o Vertex, o hipsómetro Laser ou qualquer outro distanciómetro que forneça distâncias horizontais.

Para a delimitação destas parcelas, deverá descrever-se um círculo em torno da mira, colocada no centro, marcando-se as árvores que se encontram a uma distância inferior ao raio pretendido. As árvores devem ser sempre marcadas do lado virado para o centro da parcela, de modo a que um operador colocado no interior desta possa ver com facilidade quais as árvores que a ela pertencem. Nesta fase, é muito importante ter em atenção as árvores muito próximas dos limites: as árvores de bordadura (ver ponto 4.1.3.4).

4.1.3.3 Faixa de amostragem

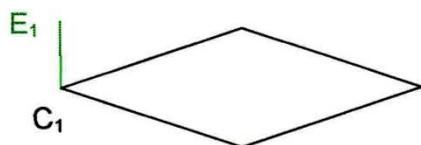
Trata-se de uma unidade de amostragem que melhora consideravelmente a relação entre o tempo de deslocação e a área amostrada. Tem bastante interesse, sobretudo em zonas tropicais, nas quais tanto a orientação como o acesso são difíceis. As desvantagens desta unidade de amostragem são:

- Ter uma elevada razão perímetro/área, pelo que o erro devido às árvores de bordadura pode ser relevante;

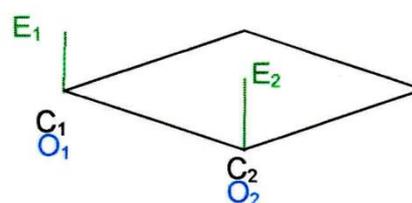
- Como a área de cada parcela é muito grande, uma mesma área amostrada corresponde a um número relativamente pequeno de parcelas, implicando, portanto, a concentração da área amostrada num número pequeno de locais.

Relativamente à sua delimitação, poderá ser feita com uma vara de comprimento igual à largura da faixa, vara essa transportada pelo operador, o qual, ao longo do centro da faixa, marca a direcção com uma bússola. Pode também utilizar-se o Laser ou o Vertex para medir a largura da faixa. Uma terceira opção é baseada em dois operadores que, caminhando ao longo da faixa, de um e de outro lado, vão medindo a largura com uma fita métrica.

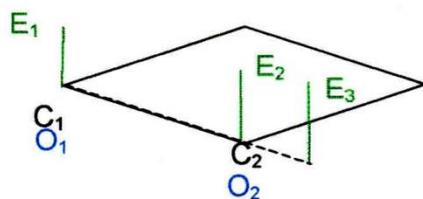
1.



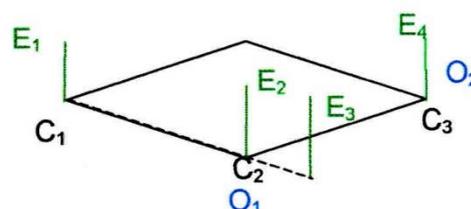
2.



3.



4.



5.

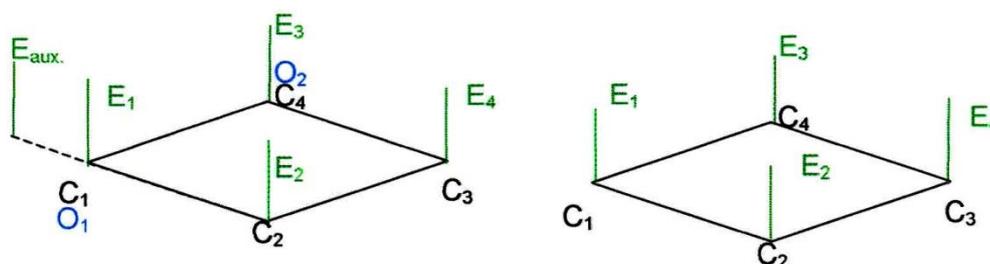


Figura 77. Procedimento para a delimitação de uma parcela rectangular ou quadrada

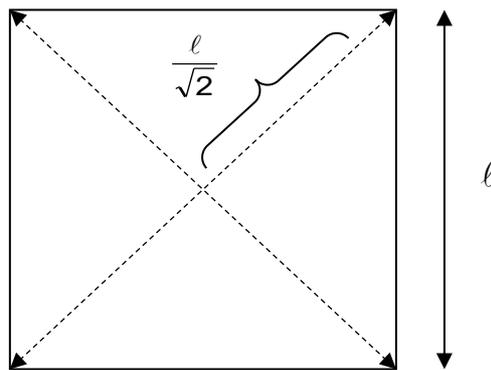


Figura 78 Procedimento alternativo para a delimitação de uma parcela rectangular ou quadrada

4.1.3.4 O problema das árvores de bordadura

As árvores da bordadura são as árvores em relação às quais se coloca a dúvida se pertencem ou não à parcela, sendo necessária a realização de medições que permitam decidir inequivocamente acerca da sua inclusão ou não na parcela, uma vez que os erros que estão associados a uma inclusão/não inclusão incorrecta lhes conferem um papel importante na exactidão de um inventário florestal. Repare-se que, por exemplo, duas árvores a mais numa parcela de 400 m² equivalem a um erro de 50 árvores por ha, o que pode corresponder a 50 m³ ha⁻¹ num povoamento adulto. Em parcelas de inventário, considera-se que uma árvore está dentro da parcela se o seu centro a 1.30 m verificar essa condição. O centro torna-se, por vezes, difícil de determinar, principalmente em espécies de secção irregular. Nestas condições, pode definir-se, por exemplo, que nas parcelas pares se incluem as árvores que toquem a linha de bordadura, enquanto que, nas parcelas ímpares, só se incluem as árvores que estejam totalmente dentro da parcela.

A decisão relativamente às árvores de bordadura vai depender, naturalmente, da forma da parcela. As faixas de amostragem são a forma mais desfavorável, por um lado pela razão pouco favorável entre área e perímetro e, por outro, por ser difícil definir uma regra para incluir ou excluir as árvores de bordadura. Os problemas associados à amostragem por faixas, com todas as vantagens já referidas, só são resolvidos através de um esquema de amostragem em linhas, com parcelas circulares amostradas ao longo de uma linha.

4.1.4 Delimitação de parcelas de amostragem em terreno declivoso

4.1.4.1 Apresentação do problema

Visto que, nos inventários florestais, qualquer informação sobre áreas está associada ao plano horizontal, é importante ter cuidados especiais na delimitação de parcelas em terrenos declivosos, pois uma parcela circular em terreno declivoso corresponde, no plano horizontal, a uma elipse que, obviamente, apresenta uma área menor do que a pretendida. O raio do círculo perpendicular ao declive não é afectado, pelo contrário. O raio paralelo ao declive vem reduzido, de acordo com um factor igual a $\cos \beta$ (β = declive, em graus). Deste modo, uma área no terreno igual a πR^2 , quando projectada na horizontal reduz-se a $\pi R^2 \cos \beta$. A tabela 36 mostra os erros causados nas áreas para declives entre 1° e 50° .

Tabela 36 Percentagem de decréscimo nas áreas projectadas na horizontal para diversos declives entre 9° e 50°

| Declive (graus) β | Declive (%) $100 \tan \beta$ | Decréscimo na área projectada (%) $100 (1 - \cos \beta)$ |
|----------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 1.75 | 0.02 |
| 5 | 8.75 | 0.38 |
| 7.5 | 13.17 | 0.86 |
| 10 | 17.63 | 1.52 |
| 15 | 26.79 | 3.41 |
| 20 | 36.40 | 6.03 |
| 30 | 57.74 | 13.40 |
| 50 | 119.18 | 35.72 |

Saliente-se que, hoje em dia, este problema é menos relevante, uma vez que há diversos aparelhos disponíveis para a medição da distância horizontal (com correcção automática do declive), sendo o Vertex e o hipsómetro Laser os mais utilizados.

4.1.4.2 Determinação do declive para derivação de um processo de correcção

No caso do declive não ser muito acentuado, pode-se marcar a parcela na horizontal, sendo neste caso, aconselhável o uso de parcelas pequenas. Loestsch et al. (1973), apresentam as distâncias máximas que se conseguem medir correctamente para diversos declives (tabela 37).

É evidente que, para um declive de 5° , podem ser medidas, com confiança, parcelas circulares até 0.1 ha (raio=17.84 m), para um declive de 10° até 0.04 ha (raio=11.28 m), e com 20° só até 0.01 ha (5.64 m).

Tabela 37 Distâncias máximas que se conseguem medir correctamente para diversos declives

| Declive | Raio (m) | Área (m ²) |
|---------|----------|------------------------|
| 5° | 22.9 | 1647.50 |
| 10° | 11.3 | 401.15 |
| 15° | 7.5 | 176.70 |
| 20° | 5.5 | 95.00 |
| 30° | 3.5 | 38.48 |

Pode-se sempre marcar a parcela equivalente a uma área correcta, na horizontal. Para tal, é necessário determinar previamente o declive segundo a direcção de cada distância que se pretende medir. Para a medição de declives, recorre-se, geralmente, aos hipsómetros de Blum-Leiss ou Haga, ou a clisímetros. Para medir o declive com qualquer um destes aparelhos, há que fazer pontaria para uma referência de altura igual ao nível dos olhos do operador que está a realizar a medição. Na prática, é frequente referenciar, noutro colega, a altura dos olhos do operador, dando o aparelho o declive por leitura directa na escala respectiva. O Vertex e o hipsómetro Laser também podem ser utilizados para medir declives, embora não sejam muito utilizados para este fim, uma vez que fornecem as distâncias horizontais por leitura directa.

Aqui, como em qualquer operação, quaisquer que sejam os aparelhos a utilizar, é fundamental que estes sejam testados antes do trabalho de campo, a fim de evitar enviesamentos que conduzam a erros sistemáticos. A incorrecta marcação do nível dos olhos do operador quando faz a leitura do declive será o principal erro aleatório que se encontra associado à medição de declives (figura 79).

4.1.4.3 Correções a fazer nos diversos tipos de parcelas

Após a determinação do declive, procede-se à correcção de quaisquer distâncias que seja necessário medir no terreno ($dist' = dist / \cos \beta$), correcção esta que é mais fácil de fazer em parcelas rectangulares ou quadradas, desde que dois dos lados sejam perpendiculares ao declive. Uma vez que estes não são afectados, basta determinar o declive da linha de maior inclinação.

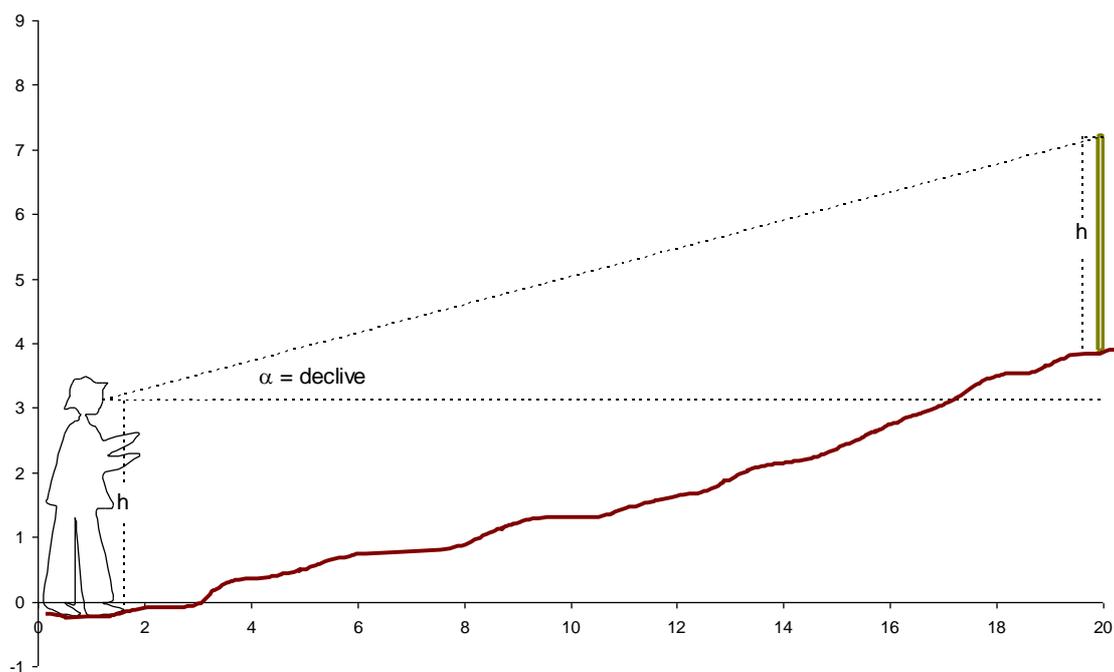


Figura 79. Leitura correcta do declive, utilizando uma referência de comprimento igual à altura dos olhos do observador

Se a parcela for circular, basta, então, determinar o declive e o raio corrigido nas direcções correspondentes a árvores próximas dos limites. Se forem medidas distâncias através dos hipsómetros Blum-Leiss ou Haga ou de clisímetros, terá de ser feita uma correcção à distância entre as marcas da mira (tabela 38). Salieta-se que este procedimento é muito pouco prático, sendo preferível utilizar estes aparelhos apenas para decidir se a árvore está dentro ou fora da parcela ou se é de bordadura. A decisão sobre as árvores da bordadura basear-se-à, então, na determinação do declive, na determinação da direcção entre a árvore e o centro da parcela e na medição da distância corrigida.

4.1.5 Parcelas de amostragem na bordadura do povoamento

A bordadura do povoamento é uma faixa limite do povoamento, de largura variável, na qual as condições de crescimento (iluminação, ventos, etc.) são um pouco diferentes das verificadas no interior do povoamento. Como consequência, a estrutura e existências na bordadura do povoamento e no seu interior são também diferentes. No inventário florestal, a bordadura do povoamento deve ter uma representação adequada na amostra. Por vezes, pode pensar-se que a bordadura do povoamento é pouco importante em termos de área, uma vez que é apenas uma estreita faixa à volta do povoamento. Pelo contrário, e precisamente devido ao facto da bordadura “rodear” todo o povoamento, ela representa uma área bastante elevada em termos percentuais.

Tabela 38 Distâncias entre as marcas da mira (em cm), relativamente ao Blum-Leiss em terreno plano e respectivas distâncias corrigidas para terreno declivoso (segundo Pardé 1961).

| Declive (graus) | Distâncias entre as marcas da mira (cm) para parcelas de | | | | |
|--------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | 200 m ² | 250 m ² | 400 m ² | 500 m ² | 1000 m ² |
| 0 | 23.9 | 26.8 | 33.8 | 37.9 | 53.5 |
| 5 | 24.0 | 26.9 | 34.0 | 38.0 | 53.7 |
| 10 | 24.3 | 27.2 | 34.4 | 38.4 | 54.3 |
| 15 | 24.8 | 27.7 | 35.0 | 39.2 | 55.4 |
| 20 | 25.5 | 28.5 | 36.0 | 40.3 | 56.9 |
| 25 | 26.4 | 29.5 | 37.4 | 41.8 | 59.1 |
| 30 | 27.6 | 30.9 | 39.1 | 43.7 | 61.8 |
| 35 | 29.2 | 32.7 | 41.3 | 46.2 | 65.3 |
| 40 | 31.2 | 34.9 | 44.2 | 49.4 | 69.8 |
| 45 | 33.9 | 37.9 | 47.9 | 53.6 | 75.7 |

A título de exemplo, suponha-se um povoamento circular com 300 metros de raio. Se se considerar uma bordadura com 10 metros de largura, tem-se:

$$\text{Área total do povoamento: } \pi 300^2 = 282743 \text{ m}^2 \approx 28.3 \text{ ha}$$

$$\text{Área da bordadura: } \pi 300^2 - \pi 290^2 = 28.3 - 26.4 = 1.85 \text{ ha}$$

$$\% \text{ Área de bordadura: } 6.5\%$$

Nos povoamentos reais, de contornos irregulares, a proporção da área de bordadura é bastante superior.

Um problema frequente é o facto de um grande número das parcelas da bordadura ser cortado pela linha limite do povoamento. Têm sido desenvolvidos diversos métodos para, nestes casos, determinar o valor das variáveis relacionadas com a área. Qualquer dos métodos considera que se devem eliminar as parcelas cujos centros se localizem fora dos limites do povoamento. Nos outros casos, pode optar-se por um dos seguintes processos (figura 80):

- 1) Translação da parcela – o centro da parcela é deslocado para o interior do povoamento até que a parcela seja tangente ao limite do povoamento (figura 80-a);

- 2) Medição em semicírculo – as medições incidem sobre dois semicírculos tangentes; alternativamente, as medições podem incidir apenas no semicírculo correspondente à parcela e as estimativas relacionadas com a área multiplicadas por 2 (figura 80-b);
- 3) Método da expansão do raio – aumenta-se o raio em função da distância do centro da parcela ao limite do povoamento, de modo a que a área amostrada seja igual à do círculo inicial (figura 80-c);
- 4) Método da expansão das avaliações – as medições incidem na parte da parcela que se encontra dentro do povoamento e são posteriormente ponderadas de acordo com a percentagem da área da parcela que foi medida (figura 80-d);.
- 5) Método da reflexão – a parte que se encontra fora do povoamento é reflectida para o seu interior e medida novamente (figura 80-e);

Schmid (1969) investigou teoricamente os erros cometidos com cada um destes processos e provou que o método da reflexão está isento de enviesamento. De qualquer modo, os métodos *c*, *d* e *e* separam-se nitidamente dos métodos *a* e *b*, que estão sujeitos a maiores erros.

O método da expansão das avaliações é o mais vulgarmente utilizado em Portugal, sendo vulgar que as equipas de campo tenham de registar a medida da parte do raio perpendicular à linha limite do povoamento, representado na figura 80 por a. Com este valor, é possível calcular o valor da área que corresponde ao povoamento.

4.1.6 Subdivisão das parcelas de acordo com os estratos

A subdivisão de parcelas de amostragem, de acordo com diversos estratos e determinação das proporções respectivas, pode ser bastante importante, especialmente naqueles casos em que a informação sobre as áreas dos diversos estratos é obtida a partir das parcelas de amostragem (regime de propriedade, classes de idade, etc.). Antes do início do trabalho de campo, é importante fornecer às equipas de campo uma lista dos diversos estratos, e suas definições, para evitar ambiguidades.

Costuma introduzir-se a simplificação de admitir que, dentro da parcela, as divisões entre os estratos ocorrem ao longo de linhas rectas. As proporções da parcela que correspondem a cada estratos podem, então, ser expressas pelas áreas dos sectores circulares ou partes de um semicírculo. Para tal, a equipa de campo tem de medir os ângulos, no caso de um sector circular, ou a distância entre o centro da parcela e o limite entre os estratos, no caso de uma parte de um semicírculo (figura 81).

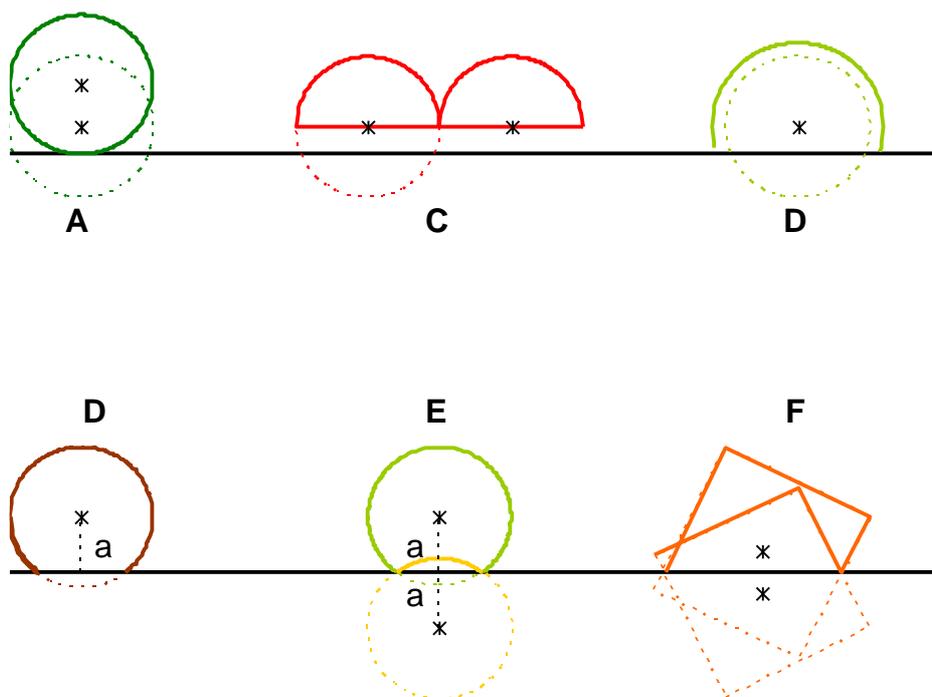


Figura 80 Parcelas de amostragem na bordadura do povoamento

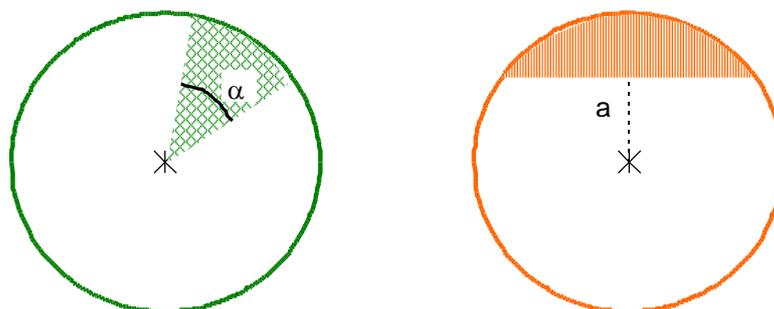


Figura 81 Exemplos de partições de parcelas de acordo com as proporções dos estratos: sector circular à esquerda e parte de um semi-círculo à direita.

Na figura 81 podem ver-se dois exemplos de partições de parcelas. Na parcela à esquerda há um sector circular que coincide com outro estrato. No campo, é necessário medir o ângulo α (em radianos). A área da parcela (A) pode, então, ser subdividida em duas - a área do sector circular (A_{sector}) e a área principal ($A_{\text{principal}}$):

$$A_{\text{sector}} = \pi \text{ raio}^2 \frac{\alpha}{2 \pi} = \frac{\text{raio}^2}{2} \alpha$$

$$A_{\text{principal}} = A - A_{\text{sector}}$$

No caso da partição que se apresenta à direita, no campo há que medir a distância da perpendicular lançada desde o centro da parcela até à linha imaginária que separa os estratos (a). A área da parcela (A) pode, então, ser subdividida em duas - a área da parte do semi-círculo (A_{parte}) e a área principal ($A_{\text{principal}}$):

$$A_{\text{parte}} = \text{raio}^2 \left(\arccos \left(\frac{a}{\text{raio}} \right) \right) - a \sqrt{\text{raio}^2 - a^2}$$

$$A_{\text{principal}} = A - A_{\text{parte}}$$

4.1.7 Marcação de parcelas permanentes

As parcelas permanentes são implantadas para o estudo do crescimento dos povoamentos e, portanto, medidas em intervalos de tempo regulares, de acordo com critérios estabelecidos. São parcelas cuja instalação e monitorização envolve orçamentos elevados e que representam um compromisso a longo prazo. No entanto, estas parcelas podem fornecer dados de precisão superior e informação sobre o crescimento das árvores e povoamentos que, de outro modo, não se poderia obter.

Para o período de observação, as parcelas permanentes proporcionam pontos em séries de crescimento real, por oposição a séries de crescimento artificial, as quais são construídas a partir de uma única medição em diversos povoamentos de idades diferentes, para representar estados sucessivos de desenvolvimento. Neste último caso, fala-se de parcelas temporárias. Com base em parcelas permanentes, as características e desenvolvimento de árvores individuais podem ser seguidas no tempo. Deste modo, estas parcelas proporcionam o historial completo do desenvolvimento do povoamento, dos tratamentos efectuados, das respostas a esses tratamentos e da evolução do povoamento em termos de perdas e mortalidade – informação que não é possível obter nas parcelas temporárias. Quando existem observações contínuas durante um período longo de anos, as variações no crescimento causadas por variações climáticas inter-anuais são atenuadas. As parcelas permanentes são também bastante úteis para efeitos de demonstração. Os exemplos reais, dados históricos dos tratamentos e suas respostas, são mais convincentes para os operadores florestais de campo, do que qualquer análise estatística e projecções dos valores das parcelas temporárias (Curtis, 1983).

As parcelas permanentes são parcelas idênticas às parcelas de inventário, diferenciando-se apenas em relação ao rigor com que as medições são feitas e na necessidade de identificar as parcelas no campo com clareza, de preferência com geo-referenciação, de modo a permitir que a sua re- medição em anos seguintes se realize sem dificuldades. Estas parcelas são instaladas em povoamentos “correntes”, cobrindo a maior gama possível de variação existente na população que se pretende modelar, quer em termos das características ambientais, quer em termos de alternativas de silvicultura.

No que diz respeito ao rigor das medições, utilizam-se em geral as seguintes opções:

- As parcelas permanentes são, geralmente, de área superior à das parcelas de inventário, de modo a garantir uma boa eficiência na avaliação das variáveis dendrométricas por unidade de área. Tem particular importância a avaliação da altura dominante, a qual, sendo baseada na altura média das árvores mais grossas da parcela na proporção de 100 por ha, não é estimada eficientemente em parcelas com uma área inferior a 500 m², o que corresponde à medição de 5 árvores dominantes. Idealmente, as parcelas permanentes deverão ter uma área de, pelo menos, 1000 m². É evidente que esta área “ideal” terá de ser ajustada face a povoamentos de características particulares como é o caso, por exemplo, dos montados de sobro em que, consequência da baixa densidade da maior parte dos povoamentos, é aconselhável instalar parcelas com uma área de pelos menos 2000 m²;

- As parcelas permanentes devem estar perfeitamente localizadas, de preferência com georeferenciação, e identificadas no terreno. O caminho para a parcela deve estar descrito com precisão, utilizando azimutes e distâncias a partir de um ponto facilmente identificável. As árvores limite da parcela devem estar visivelmente assinaladas, de preferência com uma lista de tinta a toda a volta, ao nível do d;
- Todas as árvores dentro da parcela devem estar numeradas com recurso a algum método permanente (tinta, etiquetas, etc) e a altura e local de medição do d deve estar assinalada em todas elas, de modo a garantir que as medições sucessivas desta variável se façam no mesmo local. No caso da parcela ser circular, a numeração das árvores deve ser feita na face da árvore voltada para o centro da parcela. Nas parcelas quadrangulares, as árvores devem estar numeradas de acordo com uma linha em “S”s sucessivos, sendo a árvore número 1 aquela que esteja mais próxima do ponto de identificação da parcela;
- As medições devem ser feitas com o método mais rigoroso de que dispusermos e devemos ter cuidado com as mudanças, ao longo do tempo, no tipo de equipamento utilizado para a medição das variáveis. Se possível, nenhuma das variáveis mais importantes, tais como a altura total ou a altura da base da copa, devem ser obtidas por amostragem;
- Devem ser obtidas, com o maior rigor possível, as coordenadas de todas as árvores da parcela, quer para a realização de estudos de competição intraespecífica, quer para que se torne possível recuperar a parcela se, porventura, a numeração das árvores se perder (p.e. roubo das etiquetas, deterioração da numeração a tinta, etc);
- Em toda a volta da parcela deve ser medido, pelo menos, o d de todas as árvores numa zona de bordadura;
- A periodicidade da medição das parcelas permanentes deve ser exacta e as medições realizadas numa época do ano em que as árvores não estejam a crescer ou em que o crescimento esteja minimizado;
- Na altura da realização de desbastes ou desramações no povoamento, devem ser feitas duas medições na parcela permanente: uma imediatamente antes da realização da intervenção e outra imediatamente após o desbaste ou desramação;
- Em relação a qualquer outra intervenção cultural, deve-se garantir que existe uma medição de referência antes da respectiva realização.

As parcelas permanentes, assim como uma zona de bordadura de dimensão razoável, devem ser mantidas até uma idade bastante superior à idade usual de exploração da espécie. Só deste modo será possível obter modelos com estimativas “razoáveis” das assíntotas e, portanto, com alguma capacidade de extrapolação para idades superiores.

4.2 O número de árvores por ha

A primeira variável que se nos oferece calcular quando queremos avaliar uma parcela com uma determinada área será, com certeza, o número de árvores que nela ocorre. Sabendo isso, o número de árvores que ocorre numa parcela de área A_p (N_p), podemos calcular o número de árvores por ha:

$$N = N_p \frac{10000}{A_p} = N_p \text{ f exp}$$

Por uma questão de simplicidade (por exemplo, para utilização como índice de somatórios), utiliza-se muitas vezes o símbolo n para indicar o número de árvores na parcela, em vez de N_p . O valor $10000/A_p$ costuma ser designado com frequência por factor de expansão da área (fexp), uma vez que é o factor pelo qual se tem de multiplicar a variável calculada numa parcela de área A_p para obter o correspondente valor por ha.

O valor de N refere-se ao número de árvores vivas que se encontra num determinado povoamento na altura da medição e que obedecem ao seu critério. Este surge da necessidade de decidir se as árvores muito jovens devem, ou não, ser contabilizadas como árvores ou como regeneração. É óbvio que não são consideradas como árvores as jovens plântulas de regeneração natural com menos de um ano, visto que a maior parte delas irá porventura morrer. No entanto, já é difícil decidir se uma árvore com um diâmetro de 1 cm e altura de 1.50 m deve ser, ou não, considerada para medição. Daí a necessidade de definir um critério, geralmente fixando um diâmetro à altura do peito, a partir do qual as árvores já são consideradas (muitas vezes 2.5 cm, 5 cm ou 7.5 cm).

Pode ser também útil contabilizar outros números de árvores, nomeadamente:

- Número de árvores mortas (N_{dead});
- Número de árvores desbastadas (N_{thin});
- Número de árvores plantadas (N_{pl});
- Ingresso, ou seja, o número de árvores não contabilizadas na medição anterior por não terem atingido ainda o critério de medição (N_{ing});
- Número de árvores resinadas (N_{res}).

Estes números de árvores são obtidos por processo idêntico ao das árvores vivas. Conta-se o número de ocorrências na parcela de área A_p e multiplica-se este valor pelo factor de expansão da área.

4.3 Distribuições de diâmetros, área basal e diâmetros médios

4.3.1 Distribuições de diâmetros

A distribuição de diâmetros de um povoamento corresponde a determinar a frequência das árvores de acordo com classes de diâmetro previamente fixadas. A amplitude das classes de diâmetro pode ser ajustada em função da espécie e da dimensão das árvores, mas a amplitude mais usual é a de 5 cm. Neste caso, considera-se a primeira classe de diâmetro com o valor central de 5, a “classe dos 5”, fechada à esquerda e aberta à direita: $[2.5;7.5[$. Ou seja, as árvores com diâmetro igual a 7.5 cm já são contabilizadas na classe com valor central de 10 cm, a “classe dos 10” (a qual fica portanto $[7.5;12.4]$).

No campo, aquando da medição das parcelas, a distribuição de diâmetros é geralmente construída à medida que se vão medindo os diâmetros, por preenchimento de uma tabela de distribuição dos diâmetros (figura 82). A primeira árvore medida (fundo a amarelo) tem o diâmetro 49.8, pelo que se inscreve um traço vertical no primeiro quadrado correspondente à classe dos 50 ($[47.5;52.4]$), também a amarelo. Cada árvore medida que corresponda a esta mesma classe implica mais um traço vertical nesta classe, sendo o traço correspondente à 5ª árvore horizontal (“fechou-se” um grupo de 5 árvores). A próxima árvore da mesma classe implicará um traço vertical no próximo quadrado correspondente à classe. Este procedimento está exemplificado para a classe dos 5: a primeira árvore desta classe tem um diâmetro de 5.7 (quadrado a cinzento) e a sexta, à qual corresponde um traço no segundo quadrado, 2.5 (também a cinzento). Como veremos em capítulo posterior, as 1ª, 6ª, 11ª, etc, árvores de uma classe de diâmetro são seleccionadas para modelo de acordo com o método de Draudt modificado, o método mais utilizado em Portugal para a selecção de árvores modelo.

A distribuição de diâmetros obtida é posteriormente reduzida ao hectare e organizada numa tabela, geralmente designada por tabela do povoamento. Graficamente, é representada por um histograma ou, algumas vezes, por um polígono de frequências (figura 83).

A distribuição de diâmetros é um indicador da estrutura do povoamento, dando informações preciosas sobre as técnicas de silvicultura a seguir para um determinado povoamento. A figura 84 mostra exemplos de regras a seguir na condução de montados de sobro, de acordo com simulações efectuadas por um modelo disponível em Portugal, para suporte à gestão do montado de sobro, o modelo SUBER (Tomé et al., 2004).

| Distribuição de diâmetros | | | | | | Medição de diâmetros | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-----|-----|--|--|----------------------|--|--|------------------------------|------|------|---------|--|--|
| Classe de d | Espécie principal: | | | | | Outras: | | | Espécie principal: <i>Pb</i> | | | Outras: | | |
| | 2.5-7.4 | ### | ### | | | | | | | 49.8 | 45.7 | 38.5 | | |
| 7.5-12.4 | ### | | | | | | | | 31.6 | 14.4 | 8.6 | | | |
| 12.5-17.4 | | | | | | | | | 17.1 | 10.3 | 2.9 | | | |
| 17.5-22.4 | | | | | | | | | 5.7 | 32.7 | 6.0 | | | |
| 22.5-27.4 | | | | | | | | | 3.0 | 36.3 | 33.8 | | | |
| 27.5-32.4 | | | | | | | | | 3.3 | 4.1 | | | | |
| 32.5-37.4 | | | | | | | | | 31.4 | 15.1 | | | | |
| 37.5-42.4 | | | | | | | | | 35.7 | 26.5 | | | | |
| 42.5-47.4 | | | | | | | | | 11.1 | 21.3 | | | | |
| 47.5-52.4 | | | | | | | | | 8.2 | 4.3 | | | | |
| 52.5-57.4 | | | | | | | | | 11.4 | 2.5 | | | | |
| 57.5-62.4 | | | | | | | | | 8.0 | 3.3 | | | | |
| 62.5-67.4 | | | | | | | | | 15.5 | 3.0 | | | | |
| >=67.5 | | | | | | | | | 20.4 | 3.7 | | | | |

Figura 82. Preenchimento, no campo, de uma tabela de distribuição de diâmetros.

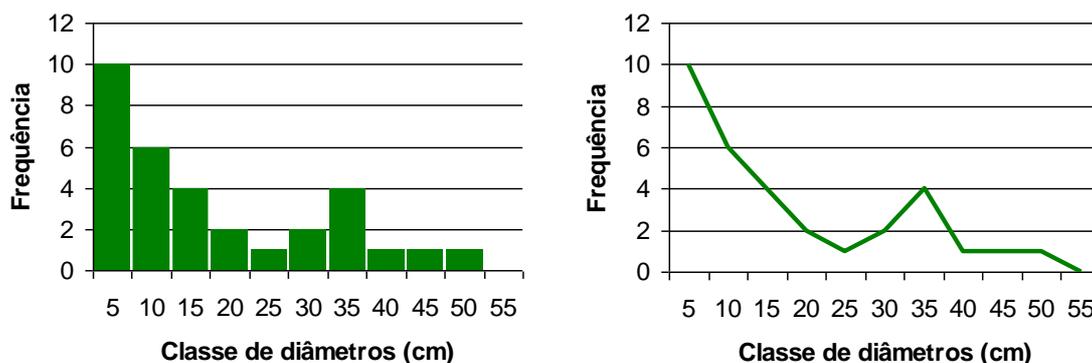


Figura 83. Gráficos da distribuição de diâmetros da parcela cuja tabela do povoamento está apresentada na figura 82.

4.3.2 A área basal de um povoamento

A área basal de um povoamento define-se como a soma das áreas seccionais ou basais de todas as árvores que o constituem. A área basal é, como veremos, uma variável essencial para o cálculo ou estimação de grande número de variáveis do povoamento, sendo ainda um indicador de extrema importância para a avaliação da densidade deste.

A área basal G_p de uma parcela de área A_p , pode ser calculada como

$$G_p = \sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2,$$

Onde g_i e d_i são, respectivamente, a área seccional e o diâmetro da árvore i e n é o número de árvores na parcela.

Para calcular a área basal por ha, temos

$$G_p \quad \text{-----} \quad A$$

$$G \quad \text{-----} \quad 10000$$

$$G = G_p \frac{10000}{A_p} = G_p \text{ f exp} \quad (\text{m}^2 \text{ ha}^{-1})$$

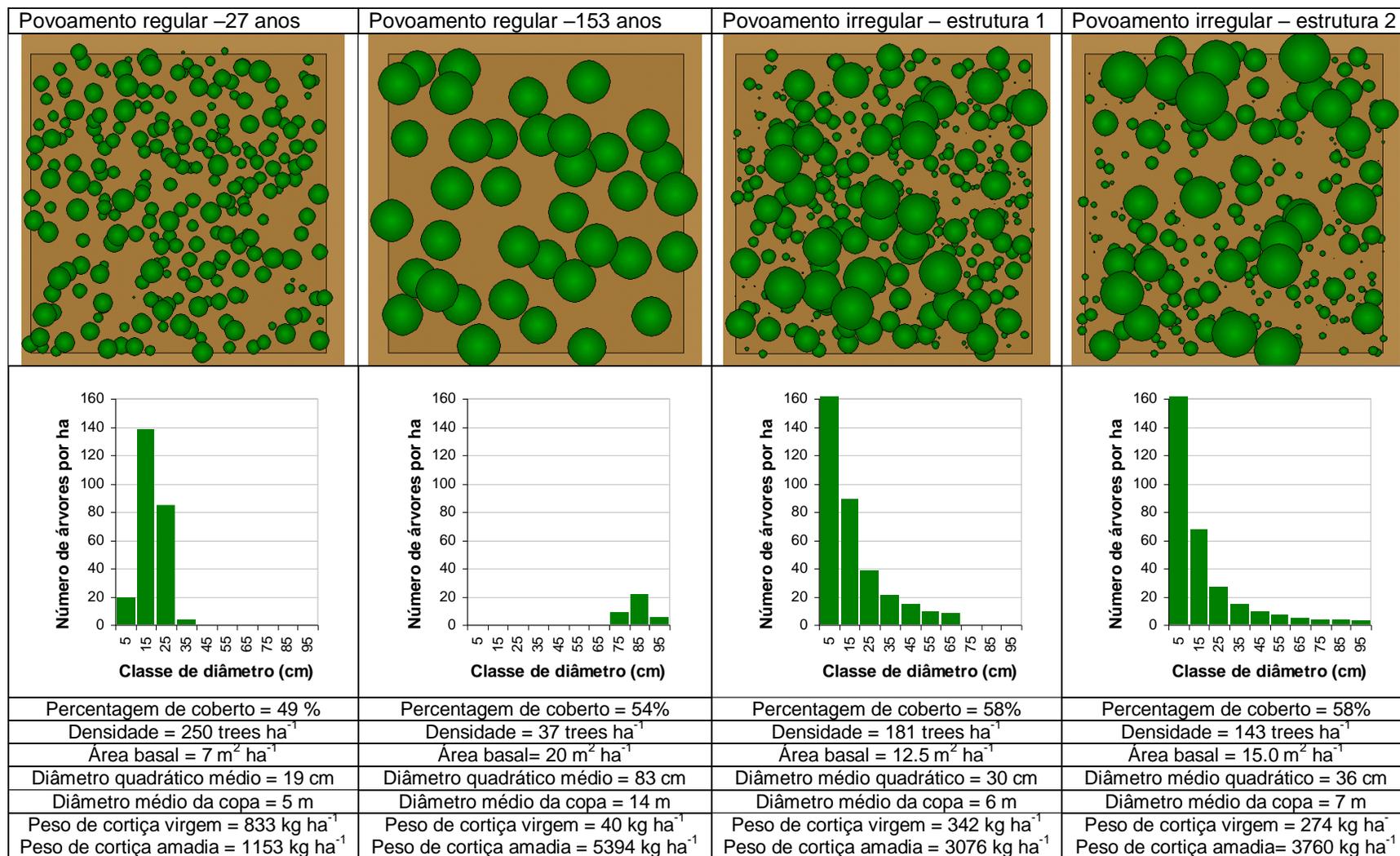


Figura 84. Distribuições de diâmetros e variáveis do povoamento para quatro montados de sobre com diferentes modos de tratamentos

4.3.2.1 Avaliação da área basal

Enumeração completa

Por enumeração completa entende-se a avaliação da área basal com base na sua definição, ou seja, é necessário dispor dos diâmetros de todas as árvores, obter as correspondentes áreas basais das árvores e obter a área basal por soma destes valores.

A figura 85 ilustra o cálculo da área basal por enumeração completa, utilizando os dados da parcela cuja ficha de campo se encontra na figura 82, sabendo que a área da parcela é de 1000 m².

Utilização da distribuição de diâmetros

O cálculo da área a partir de uma distribuição de diâmetros foi muito utilizado nos meados do século XX, até ao aparecimento da era dos computadores. Nessa época, os cálculos eram operações morosas, mesmo se recorrendo às máquinas de calcular mecânicas de que se dispunha na altura. Assim, era vulgar proceder ao cálculo das variáveis dendrométricas do povoamento com os dados agrupados. É conveniente ter presente ainda hoje as metodologias para o cálculo de variáveis do povoamento com os dados agrupados, porque, muitas vezes, ao consultar registos de dados antigos, é dessa forma que os dados são apresentados, não sendo possível refazer os cálculos com as metodologias actuais.

No caso de dispormos apenas da distribuição de diâmetros, a área basal G_p de uma parcela de área A_p calcula-se do seguinte modo:

$$G_p = \sum_{j=1}^k f_j g_j = \sum_{j=1}^k f_j \frac{\pi}{4} \frac{d_j^2}{4} = \frac{\pi}{4} \sum_{j=1}^k f_j d_j^2,$$

onde k é o número de classes de diâmetro, f_j é a frequência na classe j e g_j e d_j são, respectivamente, a área seccional e o diâmetro centrais da classe j . A figura 86 ilustra este método para o cálculo da área basal da parcela com que temos vindo a trabalhar.

| Árv. nº | d (cm) | g (m ²) |
|---------|--------|---------------------|
| 1 | 49.8 | 0.1948 |
| 2 | 31.6 | 0.0784 |
| 3 | 17.1 | 0.0230 |
| 4 | 5.7 | 0.0026 |
| 5 | 3.0 | 0.0007 |
| 6 | 3.3 | 0.0009 |
| 7 | 31.4 | 0.0774 |
| 8 | 35.7 | 0.1001 |
| 9 | 11.1 | 0.0097 |
| 10 | 8.2 | 0.0053 |
| 11 | 11.4 | 0.0102 |
| 12 | 8.0 | 0.0050 |
| 13 | 15.5 | 0.0189 |
| 14 | 20.4 | 0.0327 |
| 15 | 45.7 | 0.1640 |
| 16 | 14.4 | 0.0163 |
| 17 | 10.3 | 0.0083 |
| 18 | 32.7 | 0.0840 |
| 19 | 36.3 | 0.1035 |
| 20 | 4.1 | 0.0013 |
| 21 | 15.1 | 0.0179 |
| 22 | 26.5 | 0.0552 |
| 23 | 21.3 | 0.0356 |
| 24 | 4.3 | 0.0015 |
| 25 | 2.5 | 0.0005 |
| 26 | 3.3 | 0.0009 |
| 27 | 3.0 | 0.0007 |
| 28 | 3.7 | 0.0011 |
| 29 | 38.5 | 0.1164 |
| 30 | 8.6 | 0.0058 |
| 31 | 2.9 | 0.0007 |
| 32 | 6.0 | 0.0028 |
| 33 | 33.8 | 0.0897 |

$$g = \pi(d/100)^2$$

| | | |
|-----|---------------------------------------|-----------------------|
| Gp= | 1.27 m ² | soma dos valores de g |
| G= | 12.66 m ² ha ⁻¹ | Gp (10000/1000) |

Figura 85. Cálculo da área basal da parcela cuja ficha de campo se encontra na figura 82.

4.3.3 Área basal média e diâmetro quadrático médio

A área basal média de um povoamento ou parcela é a média aritmética das áreas basais das árvores que o constituem. É uma variável do povoamento que se reveste de grande importância, uma vez que, estando o volume e a biomassa das árvores relacionados com a correspondente área basal de uma forma aproximadamente linear, as árvores que tenham uma área basal próxima da área basal média podem ser consideradas como as mais representativas do povoamento ou parcela em questão.

| classe d | dcj | n° arv | n° arv ha ⁻¹ | gcj | Gj |
|-----------|-----|--------|-------------------------|---------|------|
| 2.5-7.4 | 5 | 10 | 100 | 0.00196 | 0.20 |
| 7.5-12.4 | 10 | 6 | 60 | 0.00785 | 0.47 |
| 12.5-17.4 | 15 | 4 | 40 | 0.01767 | 0.71 |
| 17.5-22.4 | 20 | 2 | 20 | 0.03142 | 0.63 |
| 22.5-27.4 | 25 | 1 | 10 | 0.04909 | 0.49 |
| 27.5-32.4 | 30 | 2 | 20 | 0.07069 | 1.41 |
| 32.5-37.4 | 35 | 4 | 40 | 0.09621 | 3.85 |
| 37.5-42.4 | 40 | 1 | 10 | 0.12566 | 1.26 |
| 42.5-47.4 | 45 | 1 | 10 | 0.15904 | 1.59 |
| 47.5-52.4 | 50 | 1 | 10 | 0.19635 | 1.96 |

dcj - valor central da classe j
gcj - área basal para dcj
Gj - área basal da classe j

| | | | | |
|----|-----|----|---------------------------------------|------------------------|
| N= | 320 | G= | 12.57 m ² ha ⁻¹ | soma dos valores de Gj |
|----|-----|----|---------------------------------------|------------------------|

Figura 86. Cálculo da área basal da parcela cuja ficha de campo se encontra na figura 82 com os dados agrupados

A área basal média (gm) pode ser calculada, quer a partir da área basal da parcela, quer a partir da área basal do povoamento, sendo a média calculada, em cada caso, com o correspondente número de árvores:

$$\bar{g} = \frac{G_p}{N_p} = \frac{G}{N}$$

À área basal média corresponde um diâmetro: o diâmetro quadrático médio (dg), o qual é utilizado para localizar as árvores médias da parcela. Note-se que este é diferente da média aritmética dos diâmetros, sendo ligeiramente superior, com uma diferença tanto maior quanto mais variabilidade ocorrer nos diâmetros da parcela. O diâmetro quadrático médio – em textos antigos designado apenas por diâmetro médio – pode calcular-se do seguinte modo:

$$\bar{g} = \pi \frac{dg^2}{4} \quad \Rightarrow \quad dg = 100 \sqrt{\left(\frac{4 \text{ gm}}{\pi}\right)} = 100 \sqrt{\frac{4 G}{\pi N}}$$

Também pode ser calculado como a média quadrática dos diâmetros (daí o seu nome):

$$dg = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

Utilizando, mais uma vez, os dados da figura 82, é possível obter a área basal média e o diâmetro quadrático médio da parcela:

$$\bar{g} = \frac{G}{N} = \frac{12.66}{320} = 0.0384 \text{ m}^2$$

$$dg = 100 \sqrt{\frac{4 G}{\pi N}} = 100 \sqrt{\frac{4 \times 12.66}{\pi \times 320}} = 22.1 \text{ cm}$$

4.4 Lotação e densidade do povoamento

Os termos lotação e densidade são frequentemente utilizados com o mesmo significado, embora não sejam sinónimos. A densidade do povoamento representa uma medida quantitativa do material lenhoso por unidade de área, enquanto que a lotação se refere a uma apreciação da densidade do povoamento em relação a um determinado objectivo de gestão. Temos assim, povoamentos sub-lotados, bem-lotados ou sobre-lotados (*understocked*, *fully stocked* e *overstocked*).

A avaliação da lotação e da densidade dos povoamentos é de extrema importância para a silvicultura, uma vez que é com base nestas variáveis do povoamento que se pode avaliar a necessidade de desbastar ou não um povoamento, assim como a intensidade que este desbaste, caso seja necessário, deverá ter.

4.4.1 Avaliação da lotação

A avaliação da lotação depende, essencialmente, da definição da densidade adequada para uma determinada espécie, num determinado local e explorado com um determinado fim. O conceito de densidade adequada é, obviamente, um conceito bastante subjectivo e difícil de definir. Segundo Bickford (1979):

The stocking that results in maximum yield is the ideal that every forest manager would like to have if he only knew what it was and could recognize it if he saw it.

Os termos sub-lotado e sobre-lotado continuam, contudo, a ser utilizados frequentemente pelos gestores florestais.

4.4.2 Medidas para avaliação da densidade

4.4.2.1 Área basal

A área basal é uma das variáveis do povoamento mais utilizadas na avaliação da densidade do povoamento. A razão deste facto é que, além de ser simples de obter em inventário florestal, é, também, objectiva e fácil de compreender pelos gestores florestais. A área basal está bastante correlacionada com o volume e a biomassa dos povoamentos e é, portanto, uma boa medida da densidade do povoamento, sendo um bom indicador da necessidade de desbastar. A intensidade do desbaste pode ser fixada em função da chamada área basal residual, ou seja, a área basal que fica no povoamento após o desbaste. Na prática, o gestor tem de seleccionar árvores para sair em desbaste até atingir a área basal, o que nem sempre é tarefa fácil.

4.4.2.2 Número de árvores por ha

O número de árvores por ha não é geralmente utilizado em povoamentos naturais, uma vez que aí a maior ou menor densidade do povoamento não está relacionada com esta variável. Em florestas plantadas é, contudo, a medida de densidade do povoamento mais utilizada. É de fácil determinação e permite uma definição objectiva da intensidade do desbaste. Uma vez tomada a decisão de desbastar – a qual pode ser baseada na área basal ou em qualquer das medidas de densidade do povoamento que se explicam nos pontos seguintes – o gestor sabe que tem de eliminar um determinado número de árvores por ha, tarefa mais fácil do que eliminar árvores até atingir uma determinada área basal residual.

4.4.2.3 Percentagem de coberto

Uma medida bastante útil para avaliar a densidade, particularmente útil em povoamentos esparsos, é a percentagem de coberto (percent crown cover, %cc), calculada como a soma das áreas de copa expressa em percentagem da área da parcela:

$$\%cc = \frac{\sum \frac{\pi cw^2}{4}}{A_p} 100$$

Por exemplo, Natividade (1950) sugere que os montados de sobre devem ser geridos com percentagens de coberto sempre inferiores a 58% se quisermos garantir que as copas das árvores são suficientemente iluminadas.

A figura 87 ilustra o cálculo da percentagem de coberto para uma parcela de 30 m de raio (área=2827 m²) instalada num montado de sobre na qual se realizou a medição de 4 raios da copa em todas as árvores. Quando estas medições não estão disponíveis recorre-se a uma equação para a predição do diâmetro da copa.

| Arv. Nº | Esp | d (cm) | Raios das copas (m) | | | | Raio médio (m) | Área de copa (m ²) |
|---------|-----|--------|---------------------|-----|-----|-----|----------------|--------------------------------|
| | | | N | S | E | W | | |
| 1 | Sb | 25.46 | 3 | 4.4 | 2.3 | 4.7 | 3.6 | 40.72 |
| 2 | Sb | 42.02 | 5.2 | 7.4 | 4.5 | 6.2 | 5.8 | 106.60 |
| 3 | Sb | 34.06 | 4.6 | 6.2 | 2.7 | 3.9 | 4.4 | 59.45 |
| 4 | Sb | 22.6 | 1.9 | 3 | 3.1 | 3.3 | 2.8 | 25.07 |
| 5 | Sb | 44.56 | 2 | 4.2 | 4.1 | 5.4 | 3.9 | 48.40 |
| 6 | Sb | 44.88 | 5 | 4.9 | 5.6 | 4.9 | 5.1 | 81.71 |
| 7 | Sb | 31.19 | 2.5 | 6.5 | 2.2 | 4.2 | 3.9 | 46.57 |
| 8 | Sb | 60.8 | 6.6 | 9.1 | 8.3 | 7.8 | 8.0 | 198.56 |
| 9 | Sb | 27.69 | 2.4 | 4.2 | 5.1 | 3.8 | 3.9 | 47.17 |
| 10 | Sb | 27.37 | 2.9 | 5.5 | 2.6 | 3.8 | 3.7 | 43.01 |
| 11 | Sb | 48.38 | 5.4 | 3.6 | 2.8 | 4.3 | 4.0 | 50.90 |
| 12 | Sb | 52.84 | 5.6 | 5.7 | 8.1 | 4.7 | 6.0 | 114.04 |
| 13 | Sb | 42.65 | 3.7 | 6.1 | 4.7 | 2 | 4.1 | 53.46 |
| 14 | Sb | 54.43 | 5.1 | 7.1 | 6.7 | 5.5 | 6.1 | 116.90 |
| 15 | Sb | 58.25 | 6.7 | 7.1 | 7.2 | 6.6 | 6.9 | 149.57 |
| 16 | Sb | 47.43 | 5.1 | 5.5 | 4.3 | 5.4 | 5.1 | 80.91 |
| 17 | Sb | 35.97 | 5.1 | 4.5 | 5.7 | 4.5 | 5.0 | 76.98 |
| 18 | Sb | 31.83 | 6.1 | 5.9 | 5.4 | 5.1 | 5.6 | 99.40 |
| 19 | Sb | 25.78 | 2.9 | 4.8 | 4 | 3.6 | 3.8 | 45.96 |
| 20 | Sb | 74.17 | 7.5 | 9.6 | 5.3 | 7.9 | 7.6 | 180.27 |
| 21 | Sb | 22.28 | 2.6 | 1.4 | 1.9 | 2.4 | 2.1 | 13.53 |
| 22 | Sb | 16.87 | 2 | 0.3 | 1.8 | 0.8 | 1.2 | 4.71 |
| 23 | Sb | 20.37 | 0.8 | 2.1 | 2 | 1.6 | 1.6 | 8.30 |
| 24 | Pm | 25.46 | 3.4 | 2.9 | 3.5 | 3 | 3.2 | 32.17 |
| 25 | Pm | 30.24 | 4.8 | 3.4 | 4.3 | 3.9 | 4.1 | 52.81 |
| 26 | Pm | 17.19 | 1.9 | 1.7 | 2.1 | 1.7 | 1.9 | 10.75 |
| 27 | Pm | 20.37 | 2.6 | 2.5 | 2.7 | 2 | 2.5 | 18.86 |
| 28 | Pm | 13.69 | 1.4 | 1.7 | 1.6 | 1.9 | 1.7 | 8.55 |
| 29 | Pm | 48.06 | 5.3 | 6.1 | 5.8 | 4.6 | 5.5 | 93.31 |
| 30 | Pm | 18.46 | 2.1 | 2.3 | 2 | 2.4 | 2.2 | 15.21 |
| 31 | Pm | 21.96 | 2.2 | 2.7 | 2.2 | 2.4 | 2.4 | 17.72 |

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Número de árvores por ha = | 110 ha ⁻¹ |
| Raio médio das copas= | 4.1 m |
| Área total coberta por copas = | 1941.55 m ² |
| Percentagem de coberto = | 68.67 % |

Figura 87. Cálculo da percentagem de coberto numa parcela de montado de sobro na qual se mediram 4 raios da copa em todas as árvore.

4.4.2.4 Índice de densidade do povoamento

Quer a área basal, quer o número de árvores por ha são medidas “incompletas” da densidade do povoamento. Dois povoamentos com a mesma área basal podem ter densidades bastante diferentes, bastando para isso que o número de árvores por ha ou a idade (dimensão, portanto) das árvores seja diferente. Surge, assim, um conjunto de medidas da densidade do povoamento que tenta combinar mais do que uma variável do povoamento na avaliação da densidade.

O índice de densidade do povoamento (*stand density index*, SDI) é uma medida da densidade do povoamento baseada nas duas componentes da área basal: número de árvores por ha e diâmetro quadrático médio do povoamento. Este índice avalia a densidade de um povoamento por comparação das suas características com as de um povoamento com a densidade máxima (ou seja, em auto-desbaste).

Reineke (1933) verificou que a relação entre o logaritmo do número de árvores por ha e o logaritmo do diâmetro médio em povoamentos “bem lotados” é geralmente linear. Verificou ainda que em povoamentos com a lotação máxima – em auto-desbaste - esta recta tem um declive próximo de -1.605:

$$\log_{10} N = -1.605 \log_{10} dg + k ,$$

onde N é o número de árvores por ha, dg é o diâmetro quadrático médio e k é uma constante dependente da espécie. A esta recta chamou curva de referência.

A linha limite de Reineke assume que, em povoamentos em auto-desbaste, as taxas relativas de crescimento em número de árvores (negativa) e em diâmetro quadrático médio (positiva) são proporcionais:

$$-\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = b \frac{1}{dg} \frac{ddg}{dt}$$

A figura 88 mostra esta relação para dados de parcelas permanentes (ensaios desbastes) de pinheiro bravo em Portugal (utilizaram-se logaritmos neperianos, uma vez que o declive não se altera com a base utilizada). Todos os ensaios incluem algumas parcelas testemunha, não desbastadas. Como se pode ver, para cada valor de dg há uma grande dispersão dos dados, indicando que nem todas as parcelas estão na linha de mortalidade natural. Na zona dos maiores valores de dg, vê-se mesmo que a parcela com maiores valores de dg tem uma evolução horizontal, indicando que está ainda afastada do auto-desbaste. Para efeito de estimação da linha de mortalidade natural, utilizaram-se os pontos indicados com um triângulo. Destes pontos, o inferior é apenas uma estimativa, uma vez que nessa zona dos dados não há nenhum povoamento próximo do auto-desbaste. Se se tivesse assumido um valor de dg ligeiramente superior para o último, o declive da recta teria sido mais próximo do valor de -1.605 indicado por Reineke. Como se pode ver, o valor obtido é um pouco inferior ao obtido por Reineke, mas está de acordo com o valor de -1.815 obtido para o pinheiro bravo por Luís et al. (1991) com dados do inventário florestal nacional, assim como o valor de -1.997 obtido por Oliveira (1985) para as regiões montanas e sub-montanas de Portugal. Estes dados indicam a necessidade de instalar mais estudos deste tipo, que nos permitam ter uma informação mais precisa sobre a linha de mortalidade natural.

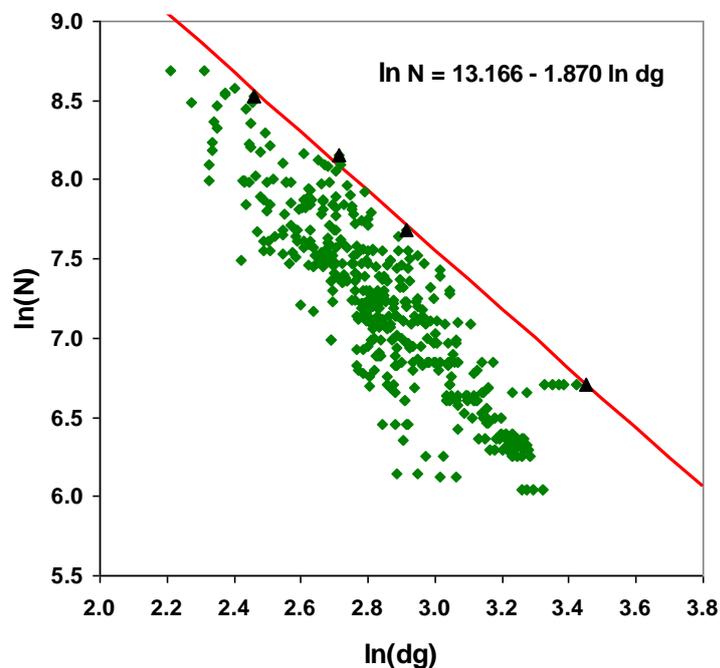


Figura 88. Relação entre o logaritmo do número de árvores e o logaritmo do diâmetro quadrático médio para povoamentos de pinheiro bravo. A vermelho mostra-se a linha de mortalidade natural ajustada com os pontos indicados com um triângulo.

O SDI baseia-se na avaliação da diferença entre o número de árvores por ha correspondente à lotação máxima, dado pela expressão acima, e o número de árvores por ha do povoamento em questão.

O índice SDI assume que a um povoamento sub-lotado corresponde uma relação entre $\log N$ e $\log dg$ paralela à que se verifica para os povoamentos com a lotação máxima, mas com um valor de ordenada na origem inferior. Esta ordenada na origem para um determinado povoamento pode ser obtida da expressão acima, utilizando agora o valor obtido para o pinheiro bravo:

$$k = \ln N + 1.870 \ln dg$$

Para efeitos de normalização, o cálculo do índice de densidade do povoamento é realizado com base no valor de N que o povoamento teria quando $dg=25$ cm (no sistema americano utiliza-se 10 inches). A expressão do SDI para um povoamento qualquer vem então:

$$\ln SDI = -1.870 \ln 25 + k$$

Substituindo k pelo valor obtido para o povoamento alvo, vem:

$$\ln SDI = -1.870 \ln 25 + \log N + 1.870 \ln dg$$

$$SDI = N \left(\frac{dg}{25} \right)^{1.870}$$

Para um determinado valor de dg , o valor máximo de SDI obtém-se para o N correspondente à lotação máxima; se se utilizar na expressão o valor de N observado na parcela em questão. O SDP fornece uma medida da densidade do povoamento, independente da dimensão das árvores que o constituem.

A figura 89 mostra a relação limite, ou linha de mortalidade natural ajustada para o pinheiro bravo com os dados da figura 88, assim como as linhas correspondentes a povoamentos com diferentes valores de SDI.

Quando um povoamento não é desbastado, tende, a médio prazo, para a linha limite, tal como se pode ver na figura 90, mais uma vez com dados de pinheiro bravo.

Calculemos o SDI para o povoamento com que temos vindo a trabalhar. Sendo o $dg=22.1$ cm e o $N=320$, virá:

$$SDI = N \left(\frac{dg}{25} \right)^{1.87} = 320 \left(\frac{22.1}{25} \right)^{1.87} = 254$$

4.4.2.5 Factor de competição das copas

O factor de competição das copas (*crown competition factor*, CCF) é uma medida da densidade, apresentada por Krajicek et al. (1961), que reflecte a relação entre a área disponível para as árvores do povoamento e a área máxima que poderiam usar se estivessem isoladas (livre de competição, portanto).

O cálculo do FCC exige o conhecimento da relação entre a largura da copa (cw) e o diâmetro à altura do peito (d) em árvores isoladas, geralmente de forma linear:

$$cw_l = b_0 + b d_l$$

Admitindo que as copas das árvores isoladas são circulares, a área ocupada pela copa de uma árvore isolada de diâmetro d é, expressa por:

$$ca_l = \pi \frac{cw_l^2}{4}$$

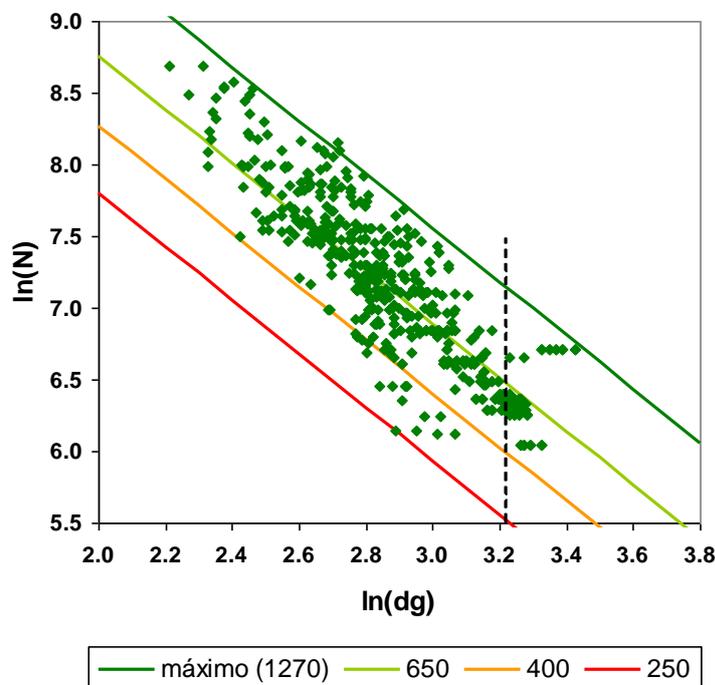


Figura 89. Linha de mortalidade natural e linhas correspondentes a povoamentos com diferentes valores de SDI.

O factor de competição das copas num povoamento é a soma dos valores de ca_i para cada árvore, expressa em percentagem da área da parcela:

$$CCF = \frac{100}{A_p} \sum_{i=1}^n ca_i,$$

onde A_p é a área da parcela.

Se apenas conhecermos a distribuição de diâmetros temos:

$$CCF = \frac{100}{A_p} \sum_{j=1}^k f_j ca_{ij},$$

onde k é o número de classes de diâmetros, f_j é a frequência na classe j e ca_{ij} corresponde ao diâmetro central da classe j .

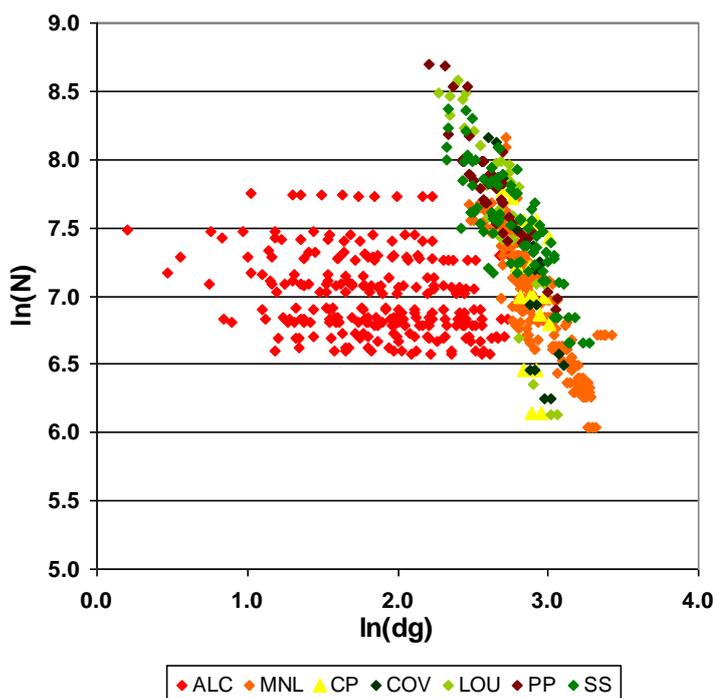


Figura 90. Evolução de povoamentos de pinheiro bravo sub-lotados (a vermelho) para a linha de mortalidade natural. Os diferentes códigos correspondem a diferentes ensaios.

Em Portugal não há muitos estudos sobre a dimensão das copas de pinheiros bravos isolados, daí que este índice não tenha sido muito utilizado. Alegria (1994) ajustou o seguinte modelo a árvores isoladas de pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Castelo Branco e Proença-a-Nova:

$$cw_i = 0.335229 + 0.171785 d$$

Com esta equação é possível calcular o FCC da parcela com que temos trabalhado. Na figura 91 mostra-se o cálculo do somatório das áreas que as copas das árvores teriam se estivessem isoladas. Pode então calcular-se o CCF:

$$CCF = \frac{100}{A_p} \sum ca_{ij} = \frac{100}{1000} 427.56 = 42.76$$

4.4.2.6 Índice de espaçamento ou espaçamento relativo

O índice de espaçamento relativo (*relative spacing*, RS) é uma medida da densidade do povoamento que relaciona a distância média entre árvores e a altura média das árvores dominantes. Foi proposta inicialmente por Hart (1929) e posteriormente designada por índice de espaçamento (Becking, 1954; Hummel, 1954) e por espaçamento relativo (Beekhuis, 1966). Baseia-se na hipótese de que povoamentos com a mesma densidade deverão ter uma relação entre a distância média entre árvores e a altura dominante semelhante. A formulação matemática do índice é, portanto:

$$RS = \frac{\text{distância média entre árvores}}{h_{dom}}$$

| Árv. nº | d (cm) | cw _i (m) | ca _i (m ²) |
|---------|--------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 49.8 | 8.89 | 62.07 |
| 2 | 31.6 | 5.76 | 26.09 |
| 3 | 17.1 | 3.27 | 8.41 |
| 4 | 5.7 | 1.31 | 1.36 |
| 5 | 3.0 | 0.85 | 0.57 |
| 6 | 3.3 | 0.90 | 0.64 |
| 7 | 31.4 | 5.73 | 25.78 |
| 8 | 35.7 | 6.47 | 32.86 |
| 9 | 11.1 | 2.24 | 3.95 |
| 10 | 8.2 | 1.74 | 2.39 |
| 11 | 11.4 | 2.29 | 4.13 |
| 12 | 8.0 | 1.71 | 2.30 |
| 13 | 15.5 | 3.00 | 7.06 |
| 14 | 20.4 | 3.84 | 11.58 |
| 15 | 45.7 | 8.19 | 52.63 |
| 16 | 14.4 | 2.81 | 6.20 |
| 17 | 10.3 | 2.10 | 3.48 |
| 18 | 32.7 | 5.95 | 27.83 |
| 19 | 36.3 | 6.57 | 33.91 |
| 20 | 4.1 | 1.04 | 0.85 |
| 21 | 15.1 | 2.93 | 6.74 |
| 22 | 26.5 | 4.89 | 18.76 |
| 23 | 21.3 | 3.99 | 12.53 |
| 24 | 4.3 | 1.07 | 0.91 |
| 25 | 2.5 | 0.76 | 0.46 |
| 26 | 3.3 | 0.90 | 0.64 |
| 27 | 3.0 | 0.85 | 0.57 |
| 28 | 3.7 | 0.97 | 0.74 |
| 29 | 38.5 | 6.95 | 37.93 |
| 30 | 8.6 | 1.81 | 2.58 |
| 31 | 2.9 | 0.83 | 0.55 |
| 32 | 6.0 | 1.37 | 1.47 |
| 33 | 33.8 | 6.14 | 29.62 |

$$\sum ca_{li} = 427.56$$

Figura 91. Cálculo do somatório das áreas que as copas das árvores teriam se estivessem isoladas

Se assumirmos que as árvores se dispõem de acordo com um compasso quadrado, a área disponível para cada árvore será dada por:

$$\text{Area por árvore} = \frac{10000}{N},$$

logo, a distância média entre árvores virá igual à raiz quadrada deste valor:

$$\text{distmed} = \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

O índice de espaçamento relativo pode, então, escrever-se sob a forma geralmente designada por factor de Wilson (Wilson, 1946):

$$F_w = \frac{\sqrt{10000/N}}{h_{dom}} = \frac{100}{h_{dom} \sqrt{N}}$$

O factor de Wilson tem sido bastante utilizado na gestão de povoamentos de pinheiro bravo em Portugal, pela grande facilidade da sua aplicação. Por exemplo, na Mata Nacional de Leiria, a área florestal com o plano de ordenamento mais antigo em Portugal, tem utilizado, nos últimos anos, este índice para a determinação da necessidade e intensidade dos desbastes. Cada talhão (povoamento homogéneo) é objecto de inventário de 5 em 5 anos. Este inventário fornece o valor dos factores de Wilson para cada parcela e, subsequentemente, para cada talhão. Se este valor for inferior ao valor limite admitido (durante muito tempo este valor foi de $F_w=0.25$, neste momento há a tendência para utilizar valores um pouco menores), conclui-se da oportunidade de aplicar desbaste. A intensidade do desbaste a aplicar é calculada pela diferença entre o número de árvores correspondentes ao F_w limite e o número de árvores actual. Suponha-se, por exemplo, um talhão com 756 árvores por ha e 16 m de altura. O factor de Wilson tem um valor de:

$$F_w = \frac{100}{16 \sqrt{756}} = 0.227 < 0.25 \quad \Rightarrow \quad \text{necessidade de desbastar}$$

O número de árvores que corresponde a um factor de Wilson de 0.25 para uma altura dominante de 16 m é calculado por explicitação de N na expressão para o cálculo de F_w :

$$N = \frac{100^2}{(16^2 \cdot 0.25^2)} = 625$$

Há, portanto, que planear um desbaste que elimine $(756-625)=131$ árvores por ha.

Independentemente da qualidade da estação e da idade inicial, todos os povoamentos regulares de uma mesma espécie parecem apresentar um padrão idêntico de evolução do factor de Wilson (figura 92). Inicialmente, o factor de Wilson diminui muito rapidamente, tanto mais rapidamente quanto mais largo for o compasso entre árvores, tendendo depois a aproximar-se assintoticamente de um F_w mínimo à medida que o tempo passa.

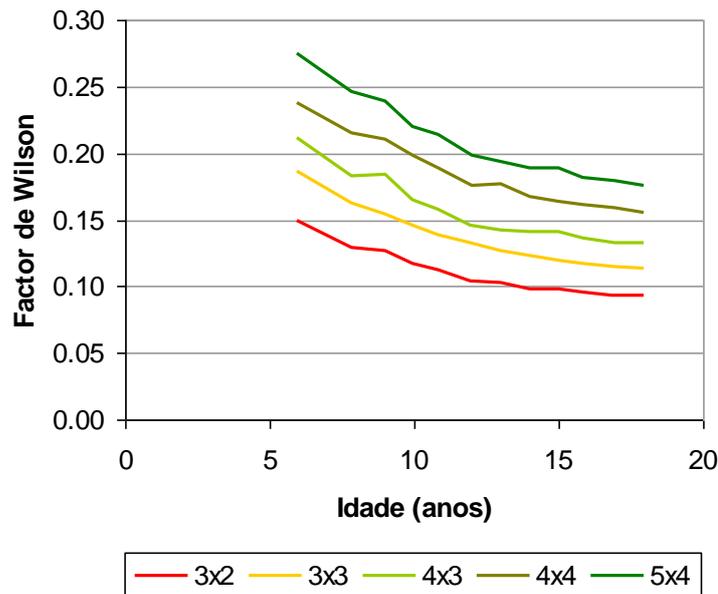


Figura 92. Evolução do factor de Wilson em povoamentos de *Eucalyptus globulus* plantados com diferentes compassos.

4.4.2.7 Coeficiente de espaçamento

O coeficiente de espaçamento é uma medida que relaciona a distância média entre árvores com o diâmetro médio das suas copas:

$$C_{\text{spac}} = \frac{\text{distância média entre árvores}}{cw_{\text{mean}}}$$

O coeficiente de espaçamento não é um índice de aplicação imediata, uma vez que os diâmetros das copas não são variáveis geralmente registadas nos inventários florestais, em consequência dos elevados custos que estão associados à sua medição. É, contudo, um índice bastante interessante para povoamentos constituídos por árvores de copas frondosas, como é o caso do sobreiro e do pinheiro manso. Em aplicações práticas, os diâmetros das copas podem ser estimados com base em relações alométricas que só utilizam variáveis da árvore e do povoamento disponíveis nos inventários florestais.

Se admitirmos um compasso regular e quadrado, tal como já foi feito para a definição do factor de Wilson, a distância média entre árvores vem igual à raiz de $10000/N$, pelo que a expressão para o cálculo do coeficiente de espaçamento é:

$$C_{\text{spac}} = \frac{100}{cw_{\text{med}} \sqrt{N}}$$

Existe, obviamente, uma relação estreita entre o coeficiente de espaçamento e a percentagem de coberto. A percentagem de coberto igual a 58%, preconizada por Natividade (1950) como sendo o valor máximo que a percentagem de coberto deve tomar para que as árvores não compitam fortemente entre si, corresponde a um coeficiente de espaçamento de 1.2. Valores de C_{spac} inferiores a 1.2 são indicadores da necessidade de desbastar.

Para calcular o coeficiente de espaçamento para a parcela da figura 87 basta calcular o valor médio dos diâmetros da copa, o qual é igual ao dobro do raio médio. Vem assim:

$$C_{spac} = \frac{100}{4.1 \sqrt{110}} = 2.3$$

No modelo SUBER (Tomé et al., 2004), um modelo disponível em Portugal para apoio à gestão de montados de sobreiro, a oportunidade de desbaste, bem como a sua intensidade, são baseados no coeficiente de espaçamento.

4.5 Alturas dos povoamentos

4.5.1 Altura média do povoamento

Para os povoamentos regulares é lícito admitir que os indivíduos de uma parcela apresentem alturas da mesma ordem de grandeza. A noção de altura média tem então justificação e podemos calculá-la como a média aritmética de todas as árvores existentes na parcela:

$$h_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

Segundo a escola europeia, é uso bastante generalizado definir a altura média de um povoamento como a altura que corresponde à árvore de diâmetro quadrático médio d_g . A esta altura, chamamos altura da árvore média h_g . Esta altura pode ser obtida por um dos processos seguintes:

- Medição da altura de árvores com um diâmetro próximo de d_g
- Estimação da altura correspondente a d_g com recurso a uma relação hipsométrica ajustada aos dados da parcela

Ainda segundo a escola europeia, é comum utilizar-se a altura média de Lorey, definida como:

$$h_L = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

A altura de Lorey é geralmente um pouco superior à altura da árvore média.

Para as matas jardinadas, organizadas por classes de diâmetro, a noção de altura média só terá significado dentro de cada classe de diâmetro.

4.5.2 Altura dominante

De um modo geral, utiliza-se a designação de altura dominante, por vezes altura de topo, para indicar a altura média das árvores maiores do povoamento. Na prática, há que encontrar métodos para definir quais as árvores maiores do povoamento que devem ser consideradas na avaliação da altura dominante. Há, essencialmente, dois métodos para a avaliação da altura dominante, classificados por Kramer (1959) como métodos matemáticos e métodos biológicos. Nos métodos matemáticos, o número de árvores consideradas para o cálculo da altura dominante é determinado com base numa regra quantitativa e objectiva. Alguns exemplos:

- a) Uma percentagem fixa do número total de árvores, geralmente 10 ou 20%, seleccionadas com base na sua altura ou diâmetro;
- b) Um número fixo de árvores por ha, geralmente 50, 100 ou 200, seleccionadas com base na altura ou diâmetro:

Nos métodos biológicos, as árvores são seleccionadas para o cálculo da altura dominante em função da sua classificação social. Podem ser seleccionadas apenas as árvores dominantes ou as dominantes e co-dominantes.

Em Portugal tem-se utilizado tradicionalmente a altura média das 100 árvores por ha de maior diâmetro à altura do peito (h_{dom}). Esta definição não pode ser aplicada, por razões óbvias, aos montados de sobro e pinhais mansos nos quais o objectivo principal seja a produção de fruto. De facto, o número de árvores por ha de grande parte destes povoamentos é inferior a 100. No Inventário Florestal Nacional 2005/2006 foi utilizada, para estas espécies, a média da altura das 25 árvores mais grossas ($h_{dom_{25}}$).

A importância da altura dominante resulta do facto de, qualquer que seja o método utilizado para a selecção das árvores dominantes, esta variável do povoamento ser bastante independente dos desbastes efectuados no povoamento, reflectindo de uma forma expressiva a produtividade da estação. Pode, portanto, ser utilizada para caracterizar a potencialidade produtiva da estação.

4.5.3 Relação hipsométrica de um povoamento

Ao tratar das variáveis dendrométricas da árvore, já se falou das relações hipsométricas ou funções, ajustadas por regressão, que expressam a relação entre a altura e o diâmetro das árvores para um determinado povoamento. Como vimos, as relações hipsométricas locais são ajustadas apenas para um povoamento e utilizam unicamente o diâmetro à altura do peito como variável independente, enquanto que as relações hipsométricas gerais se aplicam a uma região e utilizam como variáveis independentes, para além do diâmetro à altura do peito, variáveis do povoamento que expressam a sua densidade e a qualidade da estação. Ao substituir o valor destas variáveis pelos valores correspondentes a um determinado povoamento, obtém-se a relação hipsométrica do povoamento.

As relações hipsométricas são, assim, uma das características de um determinado povoamento.

4.6 Qualidade da estação

A noção de potencialidade produtiva dum sistema de produção (produção lenhosa), é uma noção englobante que envolve as influências de três tipos de factores determinantes do crescimento: potencialidade produtiva específica, qualidade da estação e intensidade de intervenção produtiva (Monteiro Alves, 1982).

A qualidade de uma estação, relativamente a uma determinada espécie florestal, refere-se à produtividade potencial, tanto presente como futura, de um povoamento da espécie em causa, vegetando nessa estação. O termo estação (site), de acordo com a terminologia da Society of American Foresters, refere-se a uma área considerada em termos do seu ambiente, na medida em que este determina o tipo e qualidade da vegetação que a área pode suportar (Avery e Burkhardt, 1983). Uma avaliação da qualidade da estação é, evidentemente, indispensável a uma correcta caracterização de um povoamento e essencial para a previsão do respectivo crescimento.

4.6.1 Avaliação da qualidade da estação

Avery e Burkhart (1983) agrupam os métodos de avaliação da qualidade da estação em dois grupos:

- *avaliação directa*: através da determinação e medição directa dos factores ambientais mais associados com o crescimento das árvores;
- *avaliação indirecta*: através da medição de características da própria vegetação que expressem os resultados desses factores ambientais.

Avaliação directa da qualidade da estação

A medição directa da qualidade da estação, através dos diversos factores que afectam a produtividade florestal (disponibilidade em nutrientes e água no solo, elementos do clima, luz, topografia, etc), embora teoricamente possível, é bastante difícil de efectuar em termos práticos, pelo que se recorre geralmente à avaliação indirecta da qualidade da estação.

Marques (1987, 1991) desenvolveu um modelo para prever o índice de qualidade da estação (definido na secção 4.6.2) em função de variáveis da estação:

$$S = 10.7214 + 0.780177 X_1 + 0.0246574 X_2 + 0.00672025 X_3 - 0.00441198 X_4$$

onde:

X_1 – temperatura média no outono (°C)

X_2 – potássio disponível (moles m^{-2} no perfil do solo)

X_3 – porosidade total ($dm^3 m^{-2}$ no perfil do solo)

X_4 – teor de areia fina ($dm^3 m^{-2}$ no perfil do solo)

Obeve um coeficiente de determinação relativamente baixo (0.544). Contudo, as estimativas do índice de qualidade da estação em povoamentos jovens (classes de idade de 5 e 10 anos), com base nesta equação, mostraram-se mais precisas do que as baseadas nos métodos indirectos.

Avaliação indirecta da qualidade da estação

Na avaliação indirecta da estação podemos recorrer a plantas indicadoras, ao volume do povoamento (acréscimo médio anual na idade do crescimento máximo) ou à altura do povoamento.

Plantas indicadoras

Por vezes, é possível associar a existência de algumas plantas, geralmente do extracto arbustivo ou herbáceo, com a qualidade da estação. A classificação da estação com base na existência destas plantas, as plantas indicadoras, foi desenvolvida principalmente por Cajander e os seus seguidores na Finlândia (Spurr, 1952; Vuokila, 1965). Tem, no entanto, desvantagens, algumas das quais indicadas, por exemplo, por Avery e Burkhart (1983) e Clutter et al. (1983):

- o método permite apenas a avaliação da estação em termos qualitativos;
- os extractos arbustivo e herbáceo são geralmente bastante sensíveis a factores externos tais como fogo ou pastoreio;
- as plantas indicadoras reflectem, na maior parte dos casos, apenas a fertilidade dos horizontes superiores do solo, sendo os horizontes profundos bastante importantes para a determinação do crescimento florestal;
- uma avaliação da estação através de plantas indicadoras exige conhecimentos sólidos em ecologia vegetal e sistemática, o que dificulta a sua utilização generalizada.

Marques (1987, 1991) estudou a relação entre a qualidade da estação e a presença de plantas indicadoras em povoamentos de pinheiro bravo no Vale do Tâmega, utilizando modelos de análise multivariada e regressão múltipla. A utilização de plantas indicadoras na avaliação da qualidade da estação mostrou-se, contudo, inferior às tradicionais curvas de classe de qualidade e aos métodos directos testados.

Volume do povoamento

A avaliação da estação em termos do volume foi, por vezes, utilizada em povoamentos naturais e povoamentos artificiais não sujeitos a desbaste, ou ainda em povoamentos sujeitos a desbastes leves com remoção de, quanto muito, 1/3 do volume total (Assman, 1961, 1970). Com a introdução da prática de desbastes pesados, o volume em pé por ha pode ser reduzido de tal modo que este tipo de avaliação se torna impraticável.

Altura do povoamento

O método indirecto tradicionalmente utilizado para definir a qualidade da estação é, sem dúvida, a determinação do índice de qualidade da estação, ou da classe de qualidade, a partir do crescimento em altura da árvore. A altura é, de facto, muito sensível a diferenças na qualidade da estação e pouco afectada pela densidade e composição do povoamento. Para o povoamento utiliza-se a altura dominante definida em Portugal, como já vimos, como sendo a altura média das árvores mais grossas do povoamento, na proporção de 1 árvore em cada 100 m². A utilização das árvores mais grossas pretende evitar a sensibilidade da medida ao tipo de desbaste efectuado.

4.6.2 O índice de qualidade da estação

O índice de qualidade da estação (site index S) pode ser definido como sendo a altura dominante que um povoamento tem, teve ou terá a uma determinada idade padrão. Para idade padrão selecciona-se, geralmente, uma idade próxima da idade de rotação da espécie. É vulgar agrupar os valores que o índice de qualidade da estação pode tomar numa determinada região em classes, designadas por classes de qualidade.

Na prática, uma vez encontradas a idade e a altura dominantes de um povoamento num determinado instante, há que dispor de métodos para estimar a classe de qualidade, utilizando geralmente um feixe de curvas de classe de qualidade (determinação gráfica), uma equação para o crescimento em altura dominante ou, ainda, uma equação para a previsão da classe de qualidade.

4.6.3 Curvas de classe de qualidade

As curvas de classe de qualidade são a representação gráfica da evolução da altura dominante com a idade, representando-se, simultaneamente no mesmo gráfico, várias curvas, correspondentes à gama de valores de índice de qualidade da estação presentes na região que pretendem representar. Geralmente, utilizam-se cinco classes de qualidade diferentes: inferior, baixa, média, alta e superior. A figura 93 representa as curvas de classe de qualidade para o pinheiro bravo, ajustadas para a Mata Nacional de Leiria por Falcão (1992).

Se utilizarmos uma idade padrão de 50 anos, os índices de qualidade da estação correspondentes a cada uma das classes são: 15, 17, 19, 21, 23. Suponhamos que foi medido um povoamento com 32 anos e que se obteve uma altura dominante de 16 m. A que classe de qualidade pertence este povoamento? Como se pode ver na figura 93, este povoamento tem uma classe de qualidade alta.

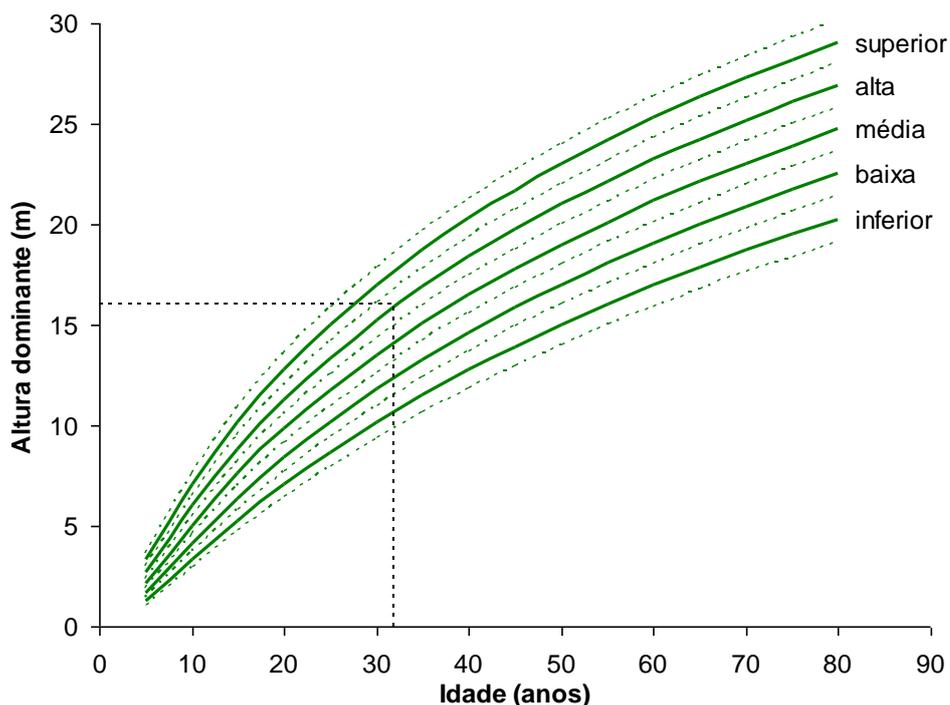


Figura 93. Curvas de classe de qualidade ajustadas por Falcão (1992) para a Mata Nacional de Leiria. A figura representa também um povoamento com 32 anos e altura dominante igual a 16 m

4.6.4 Estimação do índice de qualidade da estação com funções de crescimento em altura dominante

As funções de crescimento em altura dominante (as quais serão tratadas com mais detalhe na disciplina de Modelação em Recursos Naturais) podem ser utilizadas para estimar a altura dominante a uma idade padrão, logo, o índice de qualidade da estação.

Há, essencialmente, dois tipos de funções de crescimento em altura dominante:

1. Função de crescimento em que o índice de qualidade da estação é utilizado como variável independente;
2. Função de crescimento formulada como uma equação às diferenças, nas quais a altura dominante no instante t_2 (h_{dom_2}) é estimada a partir da altura dominante no instante t_1 (h_{dom_1}) e dos dois instantes t_1 e t_2 .

A função de crescimento que está na base das curvas de classe de qualidade de Oliveira (1985) para as regiões montanas e sub-montanas de Portugal é do primeiro tipo:

$$h_{dom} = S e^{-14.2234 \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{40} \right)} \quad (\text{idade padrão} = 40 \text{ anos})$$

As curvas de classe de qualidade originadas por esta função de crescimento estão representadas na figura 94. Neste caso, a estimação do índice de qualidade da estação (S) faz-se, com este tipo de funções, por explicitação da função em ordem a S, ou então com recurso à função *goal seek* do EXCEL. Por exemplo, se considerarmos um povoamento com 22 anos de idade e 16 m de altura dominante, virá:

$$S = h_{dom} e^{14.2234 \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{40} \right)} = 16.3$$

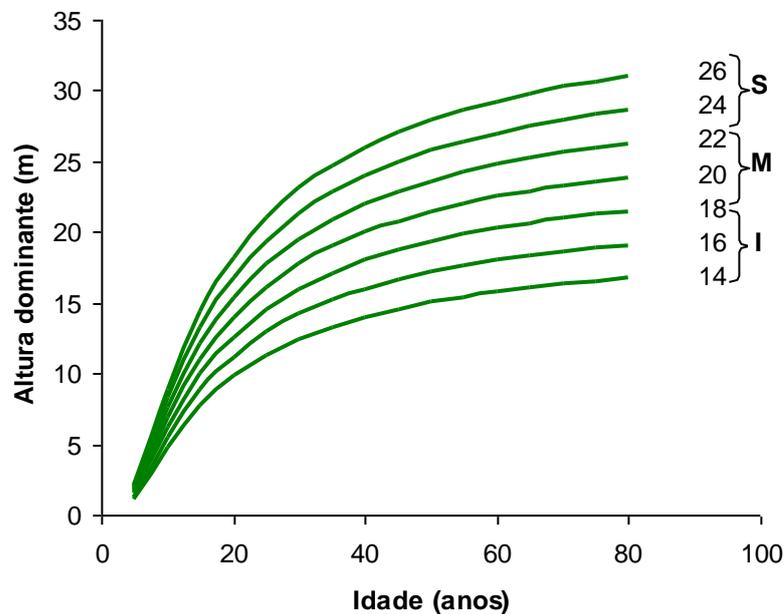
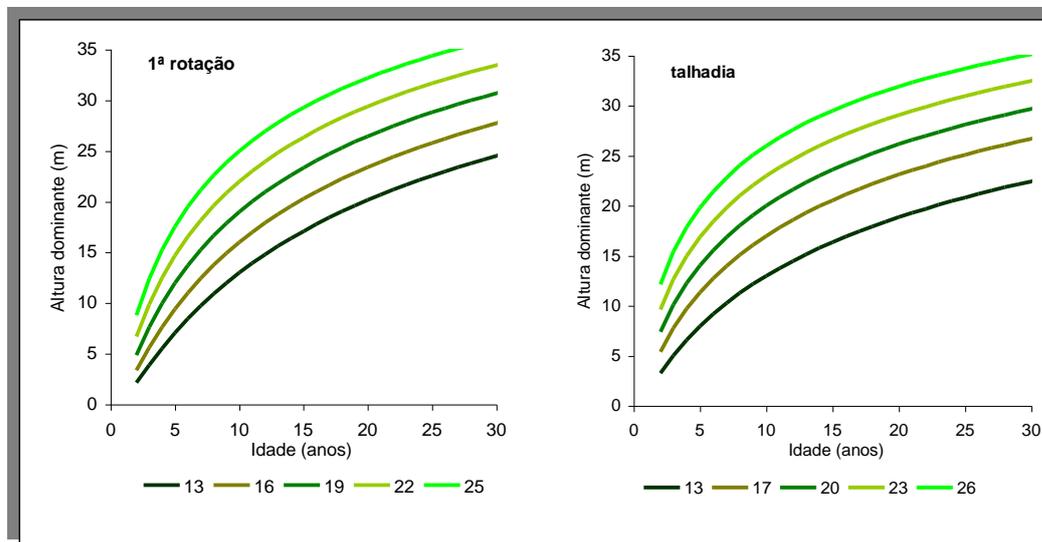


Figura 94. Curvas de classe de qualidade da tabela de produção, de Oliveira (1985)

O módulo do crescimento em altura dominante do modelo GLOBULUS (Tomé et al., 2001) contém um conjunto de funções regionalizadas para a predição do crescimento em altura dominante do eucalipto em Portugal, as quais são funções de crescimento formuladas como equações às diferenças. Por exemplo, a função para povoamentos de 1ª rotação situados na região Centro Litoral (cujas curvas de classe de qualidade estão representadas na figura 95) toma a forma:

$$hdom_2 = 61.1371 \left(\frac{hdom_1}{61.1371} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0.4805}}$$



Valores para o índice de qualidade da estação nesta região:

| 1ª rotação | | | | |
|------------|----|-----|----|----|
| I | II | III | IV | V |
| 13 | 16 | 19 | 22 | 25 |

| talhadia | | | | |
|----------|----|-----|----|----|
| I | II | III | IV | V |
| 13 | 17 | 20 | 23 | 26 |

Figura 95. Curvas de classe de qualidade correspondentes à região Centro Litoral no modelo GLOBULUS 2.1

Em princípio, as equações às diferenças, se bem construídas, devem ser invertíveis, ou seja, a função, se explicitada em ordem a $hdom_1$ fica com a mesma expressão, trocando simplesmente os índices 1 por 2 e vice-versa. É o caso das funções de crescimento em altura dominante do modelo GLOBULUS:

$$hdom_1 = 61.1371 \left(\frac{hdom_2}{61.1371} \right)^{\left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{0.4805}}$$

A estimação do índice de qualidade da estação com equações às diferenças faz-se simplesmente tomando t_2 (ou t_1 , consoante a idade de medição é respectivamente inferior ou superior à idade padrão) igual à idade padrão. No caso da idade de medição ser inferior à idade padrão, $hdom_2$ virá igual ao índice de qualidade da estação:

$$SI = 61.1371 \left(\frac{hdom_1}{61.1371} \right) \left(\frac{t_1}{10} \right)^{0.4805}$$

Se a idade de medição for superior à idade padrão, esta será igual a t_1 , vindo:

$$SI = 61.1371 \left(\frac{hdom_2}{61.1371} \right) \left(\frac{t_2}{10} \right)^{0.4805}$$

Note-se que as expressões, apresentadas para estimar o índice de qualidade da estação em povoamentos de idade inferior ou superior à idade padrão, são equivalentes em consequência da função de crescimento utilizada ser invertível. Há que garantir, antes da aplicação de funções deste tipo, se esta propriedade se verifica ou não e, caso não se verifique, há que encontrar as duas expressões alternativas e aplicá-las de acordo com a idade do povoamento ser maior ou menor do que a idade padrão.

Exemplifiquemos então com a estimação do índice de qualidade da estação de um eucaliptal com 4 anos, no qual a altura dominante é igual a 12 m:

$$SI = 61.1371 \left(\frac{12}{61.1371} \right) \left(\frac{4}{10} \right)^{0.4805} = 21.43$$

A tabela 39 mostra algumas das funções de crescimento em altura dominante, disponíveis em Portugal, para as espécies mais importantes. O objectivo desta tabela não é o de apresentar uma listagem exaustiva de todos os modelos disponíveis em Portugal, mas antes ilustrar a variedade de funções que podem ser utilizadas para este fim.

4.6.5 Equações para a predição do índice de qualidade da estação

Os dois métodos para a avaliação da qualidade da estação apresentados acima baseiam-se no recurso a funções que foram ajustadas com o objectivo de estimar o crescimento em altura dominante a qualquer idade, e não apenas para a idade padrão. Assim, alguns autores têm preferido desenvolver funções com o objectivo específico de estimar o índice de qualidade da estação, argumentando que se consegue obter, deste modo, uma melhor estimativa do índice de qualidade da estação. Marques (1987, 1991) desenvolveu, para a região do Vale do Tâmega, separadamente, embora com os mesmos dados, equações para a simulação do crescimento em altura dominante e para a predição do índice de qualidade da estação:

$$S = 17.38 f_1(t) e^{f_2(t)} + f_1(t) \text{ hdom}$$

$$f_1(t) = 0.865685 - 0.00804747 t + 0.000994305 t^2 - 0.0000187066 t^3$$

$$f_2(t) = 4.04764 - 8.75819 t^{-0.560870}$$

O problema levantado por este tipo de funções é o facto de os autores que as desenvolvem nem sempre se preocuparem com a possível falta de compatibilidade entre as duas funções: a de simulação do crescimento em altura dominante e a de predição do índice de qualidade da estação. De facto, desde que se disponha de uma função de crescimento, é sempre possível obter uma estimativa do índice de qualidade da estação. A disponibilidade de uma equação para a predição do índice de qualidade da estação leva sempre a uma estimativa para este índice. Diz-se que as duas funções são compatíveis se o valor estimado pelas duas para um mesmo povoamento a partir de uma mesma idade for igual.

4.7 Volume por unidade de área

4.7.1 Volume total e volumes por categorias de aproveitamento

Tal como já foi referido a propósito do volume da árvore, também o termo volume do povoamento se refere ao volume total do tronco com casca e com cepo. O volume do povoamento ou parcela obtém-se por soma do volume total do tronco das árvores que o constituem, geralmente expresso por unidade de área ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

De acordo com o volume que se considere para as árvores constituintes do povoamento ou parcela, assim se obtêm os correspondentes volumes do povoamento. Vejamos alguns exemplos:

- Volume total (com casca e com cepo, V);
- Volume mercantil (com casca e sem cepo, Vm);
- Volume mercantil com casca até um diâmetro de despona d_i (Vmdi);
- Volume mercantil com casca até uma altura de despona h_i (Vmhi);
- Volume mercantil sem casca até um diâmetro de despona d_i (Vumdi);
- Volume mercantil sem casca até uma altura de despona h_i (Vumhi);

Por combinação de vários volumes mercantis, é possível calcular o volume do povoamento por categorias de aproveitamento.

Tabela 39. Algumas funções de crescimento em altura dominante para as espécies mais importantes em Portugal

| Região e referência | Expressão matemática | tp ¹ |
|---|---|-----------------|
| Pinheiro bravo | | |
| Regiões montanas e submontanas Oliveira (1985) | $hdom = S_{40} e^{-14.2234 \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{40} \right)}$ | 40 |
| Vale do Tâmega Marques (1987) | $hdom = e^{4.04764 - \frac{8.75819}{t^{0.56087}} + 1.19874 \left(1 - e^{-0.081 t} \right)^{2.99578}} (lqe - 17.38)$ | 35 |
| Páscoa (1987) | $hdom = S_{50} 10^{0.380999 - 2.694076 t^{-1/2}}$ | 50 |
| Mata Nacional de Leiria Falcão (1992) | $hdom = 103.7 \left(\frac{S_{50}}{103.7} \right) \left(\frac{50}{t} \right)^{0.3593}$ | 50 (qq) |
| Portugal (PAMAF 8165) Tomé et al. (2001) | $hdom_2 = 69 \left(\frac{hdom_1}{69} \right) \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0.4582}$ | qq |
| Eucalipto | | |
| Povoamentos da Soporcel Litoral Amaro et al. (1990) | $hdom_2 = 35.7 \left(\frac{1 - \ln(1 - e^{-0.0917 t_2})}{\ln(1 - e^{-0.0917 t_1})} \right) hdom_1 \frac{\ln(1 - e^{-0.0917 t_2})}{\ln(1 - e^{-0.0917 t_1})}$ | 10 qq |
| Região Centro Litoral ² 1ª rotação ² Tomé et al. (2001) | $hdom_2 = 61.1371 \left(\frac{hdom_1}{61.1371} \right) \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0.4805}$ | 10 qq |
| Sobreiro | | |
| Espanha (Catalunha e Huelva) Gonzalez et al. (2005) | $hdom_2 = 16.2954 \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{hdom_1}{16.2954} \right)^{1-0.3282} \right] \frac{t_2}{t_1} \right\}^{\frac{1}{1-0.3282}}$ | 80 qq |

1 tp indica a idade padrão

2 para outras regiões e rotações veja-se a publicação original

qq indica que a função pode ser usada para qualquer idade padrão, embora os autores recomendem a idade sugerida

4.7.2 Avaliação directa do volume por unidade de área

4.7.2.1 Enumeração completa de volumes

Do ponto de vista teórico, é possível calcular o volume de uma parcela cubando directamente cada uma das árvores que a constituem. Contudo, na prática, este processo é raramente utilizado, uma vez que o acréscimo de precisão obtido não é, de modo algum, compensado pelos acréscimos em tempo e orçamento que lhe estão associados. A medição de algumas parcelas permanentes na altura do abate pode apontar-se como sendo uma das raras excepções em que o método é por vezes utilizado.

4.7.2.2 Métodos das árvores modelo de volume

Os métodos das árvores modelo de volume foram muito utilizados durante largos anos. Presentemente, pode dizer-se que tais métodos foram ultrapassados, quer pelas equações de volume, quer pelas equações de cubagem de povoamentos. Não obstante, é de grande utilidade conhecer a teoria das árvores modelo, dado que a inexistência de equações de volume poderá conduzir a que se apliquem algumas vezes, e com vantagem, tais métodos de cubagem. Por outro lado, como se verá no ponto seguinte, a utilização de árvores modelo de altura é geralmente essencial para a aplicação dos métodos de avaliação do volume do povoamento baseados em equações de volume.

Supondo que as árvores de um povoamento se distribuem por k classes, pode, então, avaliar-se o volume do povoamento segundo a expressão:

$$V = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} v_{ij} = \sum_{j=1}^k V_j$$

onde v_{ij} é o volume da árvore i do grupo j , n_j é o número de árvores na classe j e V_j é a soma do volume das árvores da classe j . Entretanto, a prática demonstra que se pode tomar, em substituição da soma do volume das árvores na classe i , o volume característico daquela árvore cujo diâmetro seja igual ao diâmetro quadrático médio das árvores dessa classe, extendido à área da parcela (ou ao ha) com base no número ou área basal das árvores da classe. Será preferível dizer o volume de umas tantas árvores - ditas modelo - cujos diâmetros igualem aproximadamente o diâmetro quadrático médio correspondente às árvores em questão.

De acordo com estas considerações, utilizar-se-à para o cálculo do volume da parcela um dos métodos seguintes:

a) coeficiente de extensão função da frequência nas classes

Seja a seguinte regra de três simples:

$$V_j = \frac{n_j}{m_j} Vm_j$$

a qual implica que

$$V_j = \frac{n_j}{m_j} Vm_j$$

Então

$$V = \sum_{j=1}^k V_j = \sum_{j=1}^k \frac{n_j}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} vm_{ij} = \sum_{j=1}^k n_j \overline{vm}_j$$

onde m_j é o número de árvores modelo na classe j e vm_{ij} é o volume da árvore i da classe j .

Em particular, se $n_j/m_j = n/m$ para todo o j (m = número total de árvores modelo), então:

$$V = \frac{n}{m} \sum_{j=1}^k Vm_j = \frac{n}{m} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_j} vm_{ij}$$

b) coeficiente de extensão função da área basal das classes

Seja agora a seguinte regra de três simples:

$$V_j = \frac{G_j}{Gm_j} Vm_j$$

a qual implica que

$$\sum_{i=1}^{m_j} vm_{ij} = Vm_j = \frac{G_j}{Gm_j} \sum_{i=1}^{m_j} gm_{ij}$$

$$V_j = \frac{G_j}{Gm_j} Vm_j$$

Então vem:

$$V = \sum_{j=1}^k \frac{G_j}{Gm_j} Vm_j = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_j} vm_{ij}$$

onde G_j é a área basal das n_j árvores da classe j , Gm_j é a área basal das respectivas árvores modelo e vm_{ij} é o volume da árvore modelo i da classe j .

Em particular, se $G_j/Gm_j = G/Gm$ para todo o j (Gm – área basal de todas as árvores modelo), então:

$$V = \frac{G}{Gm} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_j} vm_{ij}$$

onde G é a área basal da parcela.

Este último método tem a vantagem de corrigir as diferenças que se verificarem entre a área basal média de cada grupo e a área basal das árvores modelo, caso não se encontre, no grupo de árvores, diâmetros iguais ao diâmetro quadrático médio da classe a que pertencem.

Apresentam-se, em seguida, os métodos de árvores modelo que têm sido mais utilizados no nosso país:

1. Método de Draudt;
2. Método de Draudt modificado;
3. Método das classes de igual frequência com diâmetros ordenados;
4. Método da árvore modelo única;
5. Método da distribuição normal.

Método de Draudt

No método de Draudt consideram-se as árvores do povoamento repartidas por k classes de diâmetro, sendo o número total (m) das árvores modelo repartido pelas classes de diâmetro proporcionalmente às respectivas frequências.

O método de Draudt pode aplicar-se a povoamentos sujeitos a qualquer tratamento. A avaliação das várias categorias de produtos lenhosos resultará de qualquer das fórmulas anteriores, desde que se recorra aos volumes parciais correspondentes nas árvores modelo.

O número de árvores modelo a utilizar em cada classe variará, quer com o número total de classes, quer ainda com as respectivas frequências. É evidente que nunca se deverá deixar de fazer corresponder, pelo menos, uma árvore modelo à classe de menor frequência. Esta noção condiciona o número total mínimo de árvores modelo a empregar.

A aplicação, na prática, do método de Draudt torna-se bastante complicada, pois inclui:

1. Medição do diâmetro em todas as árvores da parcela;
2. Agrupamento das árvores medidas em classes de diâmetro;
3. Cálculo do diâmetro quadrático médio das árvores em cada classe de diâmetro;
4. Localização, no campo, de m_i árvores modelo em cada classe de diâmetro, próximas do respectivo diâmetro quadrático médio;
5. Medição das árvores modelo.

Método de Draudt modificado

Face à dificuldade prática de aplicar o método de Draudt, vários países, entre os quais Portugal, adoptaram para os seus inventários florestais nacionais, uma simplificação deste método, que se baseia na hipótese de que, desde que a amplitude das classes seja suficientemente pequena, qualquer árvore da classe pode ser seleccionada como árvore modelo.

De acordo com esta regra, é possível realizar a selecção das árvores modelo em simultâneo com a medição, seleccionando-se para modelo, em cada classe de diâmetro, a 1ª, a 6ª, a 11ª, etc, árvores medidas, tal como já foi explicado no ponto 2.3.1 (distribuições de diâmetros). A intensidade de medição de árvores modelo é de 1 em cada 5.

É evidente que, se se pretender um maior (ou menor) número total de árvores modelo, haverá que fazer um ajustamento das árvores a seleccionar, seleccionado por exemplo, 1 em cada 3.

Método das classes de igual frequência em diâmetros ordenados

Este método baseia-se no princípio da igual representação de árvores de todas as dimensões. É, portanto, bastante recomendado quando se pretenda obter uma amostra de árvores com o objectivo de desenvolver modelos.

A aplicação do método faz-se do seguinte modo:

1. Ordenam-se as árvores por ordem crescente de diâmetro;
2. Decide-se qual o número de grupos em que se quer dividir as árvores, geralmente cinco (seja k o número de classes);
3. Divide-se o número total de árvores da parcela (n) pelo número de grupos (k);
4. As primeiras n/k árvores da lista de árvores ordenadas constituem o primeiro grupo, as seguintes n/k árvores da mesma lista constituem o segundo grupo e assim sucessivamente (é óbvio que se n não for divisível por k , algumas classes terão de ficar com mais 1 árvore);
5. Selecciona-se o número de árvores modelos que se pretende em cada classe, geralmente igual para todas as classes (m_j);
6. Sorteiam-se m_j árvores de cada grupo ou, alternativamente, seleccionam-se, em cada grupo, as m_j árvores que tenham um diâmetro mais próximo do diâmetro quadrático médio;

O volume da parcela pode ser calculado do mesmo modo que nos outros métodos de árvores modelo.

Método da árvore modelo única

As árvores do povoamento são, neste método, reunidas num só grupo. Quando as oscilações diamétricas não forem muito grandes (povoamentos equiênicos vegetando em condições de relativa uniformidade, principalmente quanto à densidade e à estação) a árvore de diâmetro quadrático médio representará, com aproximação suficiente, o volume médio do povoamento, procedendo-se, então, à extensão do volume de acordo com um dos processos descritos anteriormente: coeficiente de extensão função do número de árvores ou coeficiente de extensão função da área basal da parcela. A vantagem prática é notável, e o erro percentual teórico a que conduz este método em povoamentos regulares é, para um igual número de árvores modelo, semelhante ao obtido com os métodos de Draudt.

As expressões para o cálculo do volume da parcela simplificam-se, portanto:

a) coeficiente de extensão função do número de árvores

$$V = \frac{n}{m} \sum_{j=1}^m vm_j = n \frac{\sum_{j=1}^m vm_j}{m} = n \overline{vm}$$

onde n é o número total de árvores na parcela e m é o número de árvores modelo.

b) coeficiente de extensão função da área basal

$$V = \frac{G}{Gm} \sum_{j=1}^{m_j} vm_j$$

onde G é a área basal da parcela e Gm é a área basal das respectivas árvores modelo.

Segundo demonstra a experiência, os erros cometidos com a adopção desta solução em povoamentos que não sejam muito regulares podem ser sensivelmente superiores aos que correspondem às soluções anteriores. Em particular, quando a amplitude de variação do diâmetro for grande (exista um grande número de classes), os erros atingem facilmente valores percentuais elevados, por vezes da ordem dos 20%. A razão assenta nas diferenças existentes entre o volume das árvores de diâmetro quadrático médio e o volume das árvores de volume médio. Pela mesma razão, este método da árvore modelo única também não é de aplicar aos povoamentos jardinados. O erro é ainda maior se pretendermos calcular o volume por categorias de aproveitamento, uma vez que os volumes percentuais das árvores modelo não são, como é óbvio, representativos dos volumes percentuais da parcela. Basta pensar que, num povoamento irregular com um diâmetro quadrático médio de 18, o método levará à conclusão de que não existe volume em toros com diâmetro superior a 20 cm, o que é falso, pois num povoamento com diâmetro quadrático médio de 18 cm, mesmo que regular, existe uma percentagem razoável de árvores com diâmetros superiores a 20 cm.

Método da distribuição normal

O método da distribuição normal tem sido bastante utilizado na selecção de árvores em investigação, em especial para a selecção de árvores para determinação de biomassa (e.g. Fabião, 1986, Pereira et al., 1989, 1994). O método pretende evitar os problemas associados com o método da árvore modelo única. Embora as árvores não sejam divididas em grupos, são seleccionadas árvores modelo com base na hipótese de que a parcela tem uma distribuição aproximadamente normal. Se a população for normal, então os indivíduos ocorrem nas seguintes proporções:

Classe inferior ($< \mu - 3\sigma/2$) – 7%

Classe baixa ($[\mu - \sigma/2; \mu - 3\sigma/2[$ - 24%

Classe média ($[\mu - \sigma/2; \mu + \sigma/2[$) - 38%

Classe alta ($[\mu + \sigma/2; \mu + 3\sigma/2[$) – 24%

Classe superior ($(\mu + 3\sigma/2)$) – 7%

A aplicação do método implicará a amostragem de 3-4 árvores com um diâmetro próximo da média dos diâmetros (38%), 2 árvores com um diâmetro próximo da média menos um desvio padrão (24%), 2 árvores com um diâmetro próximo da média mais um desvio padrão (24%), 1 árvore com um diâmetro próximo da média menos dois desvios padrões (7%) e 1 árvore com um diâmetro próximo da média mais dois desvios padrões (7%). Assim, a média dos volumes das árvores modelo é uma boa estimativa do volume médio da parcela.

O maior óbice a este método é o facto de se saber que as distribuições de diâmetros dos povoamentos não são geralmente normais (veja-se por exemplo Soares, 1995, 1999; Soares e Tomé, 1996).

Alguns comentários sobre a precisão dos métodos das árvores modelo de volume

Quando cada um dos grupos envolve um grande número de classes de diâmetro, a precisão das estimativas é desfavoravelmente afectada. As árvores modelo, correspondendo aos diâmetros médios quadráticos, informam tanto melhor sobre a lei do volume médio, quanto menor for a amplitude das classes ou grupos. No caso limite, se só houvesse árvores iguais, uma só representaria com total propriedade todas as demais e também o indivíduo médio. De facto, verifica-se que a árvore de diâmetro quadrático médio de certa classe tem, geralmente, um volume inferior à árvore de volume médio dessa mesma classe. Para os povoamentos explorados em alto-fuste regular tais diferenças são, normalmente, negligíveis. O mesmo não se pode dizer a propósito dos povoamentos jardinados, nos quais convém considerar grupos tão homogêneos quanto possível, como por exemplo, classes de diâmetro de pequena amplitude. Segundo Azevedo Gomes (1952), quando se aplica um método judiciosamente escolhido e quando se utiliza um número suficiente de árvores modelo (em correspondência com o grau de heterogeneidade dos principais factores que afectam o desenvolvimento dos indivíduos), os volumes do povoamento são avaliados com erros variáveis entre os 10%, com tendência a fixar-se nos 3%.

4.7.2.3 Métodos das árvores modelo de altura formal

As árvores modelo podem ser utilizadas para medir a altura formal (produto da altura e do coeficiente de forma das árvores), sendo, então, designadas por árvores modelo de altura formal. Neste caso, um dos tradicionais métodos de árvores modelo - o método de Hartig - toma um interesse especial, uma vez que permite deduzir um método de estimação do volume bastante expedito.

Método de Hartig ou da altura formal média

No método de Hartig, constituem-se grupos de forma a obter-se uma distribuição equitativa das áreas basais totais, ou seja, cada grupo tem a mesma área basal. O número de árvores modelo referente a um grupo varia com o número de grupos k , sendo igual em cada um deles. Assim:

$$n_1 \bar{g}_1 = n_2 \bar{g}_2 = \dots = n_k \bar{g}_k = \frac{G}{k}$$

onde \bar{g}_j e n_j são, respectivamente, a área basal média e o número das árvores no grupo j e k é o número total de grupos.

Recordemos que o volume de uma árvore pode ser calculado por:

$$v = g \text{ hf}$$

onde hf é a altura formal.

Mantendo a simbologia adoptada até aqui, o volume total do povoamento estimado de acordo com o coeficiente de extensão função do número de árvores será:

$$V = \sum_{j=1}^k n_j \bar{v} = \sum_{j=1}^k n_j \sum_{i=1}^{m_j} \frac{v_{m_{ij}}}{m_j} = \sum_{j=1}^k n_j \sum_{i=1}^{m_j} \frac{g_{m_{ij}} \text{ hf}_{m_{ij}}}{m_j}$$

Assumindo que é possível obter um valor para a altura formal média de cada grupo (hf_j) virá:

$$V = \sum_{j=1}^k n_j \text{ hf}_j \sum_{i=1}^{m_j} \frac{g_{m_{ij}}}{m_j} = \sum_{j=1}^k n_j \text{ hf}_j \bar{g}_j$$

Mas $n_j \bar{g}_j = \frac{G}{k}$ qualquer que seja o grupo, pelo que

$$V = \sum_{i=1}^k n_i \bar{g}_i \text{ hf}_i = \frac{G}{k} \sum_{j=1}^k \text{ hf}_j = G \frac{\sum_{j=1}^k \text{ hf}_j}{k} = G \bar{\text{hf}}$$

Finalmente, o volume do povoamento pode ser calculado por:

$$V = G \bar{\text{hf}}$$

O método de Hartig corresponde, portanto, a calcular o volume do povoamento através do produto da área basal do povoamento pela altura formal média do mesmo, daí que seja também designado por método da altura formal média. Na prática, pode recorrer-se directamente a esta expressão. Uma vez obtida uma estimativa da área basal do povoamento e uma avaliação da respectiva altura formal média, pode estimar-se o volume, de uma forma célere, multiplicando-se estas estimativas. O relascópio de Bitterlich surge, como veremos no ponto 3 (avaliação de variáveis do povoamento pelo método de Bitterlich), como uma alternativa bastante adequada para a aplicação do método de Hartig.

4.7.3 Estimação do volume por unidade de área

4.7.3.1 Equações de cubagem

Uma equação de cubagem é uma expressão matemática (ajustada por regressão) que permite avaliar o volume do povoamento indirectamente, a partir de outras variáveis do povoamento.

Nas equações de cubagem de povoamentos clássicas, que se servem de medições efectuadas no terreno, a avaliação do volume por hectare aparece expressa como função da área basal total (de todas as árvores que vegetam no hectare) e de uma altura do povoamento, geralmente a altura dominante. Pode juntar-se ainda uma variável formal, um factor de forma médio, sendo que, então, as equações se dizem formais.

Quando se consideram as equações a utilizar com fotografias aéreas, as variáveis independentes são, como regra, a altura visual média e a quota parte do hectare coberto pelas copas, ou medição equivalente.

Na tabela 40 apresentam-se alguns exemplos, retirados da bibliografia, de algumas equações de cubagem de povoamentos disponíveis em Portugal.

Exemplificando com a equação de cubagem de Azevedo Gomes (1952), o volume de um povoamento com uma área basal ide 24.7 m² ha⁻¹ e uma altura dominante de 22 m, virá:

$$V = 55.745 + 0.3873 \cdot 24.7 \cdot 22 = 266.20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Tabela 40. Algumas equações de cubagem de povoamentos para as espécies mais importantes em Portugal

| Região e referência | Expressão matemática |
|-----------------------|----------------------|
| Pinheiro bravo | |

| | |
|---|--|
| Mata Nacional de Leiria Gomes (1952) | $V = 55.745 + 0.3873 G \text{ hdom}$ |
| | V (m ³ ha ⁻¹) G (m ² ha ⁻¹) hdom (m) |
| Vale do Tâmega (Moreira e Fonseca, 2002) | $V = 0.2768 \frac{G}{\text{hdom}} + 0.4376 G \text{ hdom}$ (povoamento principal antes do desbaste) |
| | V (m ³ ha ⁻¹) G (m ² ha ⁻¹) hdom (m) |
| Eucalipto | |
| Centro Litoral ¹ Tomé et al. (2001) | $V = \left(0.4886 - 0.1348 \frac{100}{S \sqrt{Npl}} \right) t^{0.0655} \text{hdom}^{0.8839} G^{1.0263}$ |
| | V (m ³ ha ⁻¹) G (m ² ha ⁻¹) hdom (m) |

1 para outras regiões e rotações veja-se a publicação original

4.7.3.2 Métodos baseados em equações de volume

A primeira ferramenta de que um técnico deve dispor paraubar um povoamento segundo este método é uma equação de volume apropriada. Para o efeito, apresenta-se-lhe a seguinte alternativa:

- a) ou constrói uma equação destinada a resolver o problema presente, caso a superfície ou o valor do lenho o justifiquem;
- b) ou utiliza uma equação já existente, devendo escolher então, do conjunto das equações publicadas ou de que tenha conhecimento, aquela que melhor se adapte à conjuntura do momento.

Existem três métodos baseados em equações de volume:

1. Enumeração completa de diâmetros e alturas;
2. Métodos baseados em árvores modelo de altura e relações hipsométricas locais;
3. Métodos baseados em relações hipsométricas gerais.

Enumeração completa de diâmetros e alturas

Uma vez de posse de uma equação de volume aplicável ao povoamento em causa, uma enumeração completa de diâmetros e alturas permitir-lhe-á fazer uma avaliação bastante correcta do volume do povoamento. Para tal, basta utilizar a equação de volume para estimar o volume de cada árvore da parcela, resultando, então, o respectivo volume da soma dos volumes de cada árvore.

A figura 96 ilustra o cálculo do volume total de uma parcela pelo método da enumeração completa de diâmetros e medição de altura em árvores modelo. Caso se disponha das alturas em todas as árvores, o cálculo é em tudo idêntico.

Métodos baseados em árvores modelo de altura e relações hipsométricas locais

Os métodos para seleccionar árvores modelo, já descritos anteriormente, podem ser utilizados para seleccionar árvores modelo de altura, ou seja, árvores nas quais, para além da medição do diâmetro à altura do peito, se procede também à medição da altura. O cálculo do volume pode, então, ser feito por recurso a três processos:

- a) elaboração de uma relação hipsométrica local, com os dados obtidos na parcela;
- b) elaboração de uma relação hipsométrica local com os dados do povoamento;
- c) cálculo do volume com os dados agrupados por classes de diâmetro.

Elaboração de uma relação hipsométrica local, com dados obtidos na parcela.

Se a parcela for suficientemente grande para garantir uma dimensão adequada à amostra de alturas (como é o caso de algumas parcelas permanentes com área de 1000 m² ou superior), é possível ajustar uma relação hipsométrica local aos dados da parcela e proceder, em seguida, à avaliação indirecta da altura de cada árvore, seguida da avaliação do volume da parcela, como no caso da enumeração completa.

Elaboração de uma relação hipsométrica local com os dados do povoamento

Se a área da parcela for pequena, mas esta estiver inserida num povoamento homogéneo ou num dos estratos de um povoamento que foi objecto de estratificação, no qual sejam medidas várias parcelas (como é, geralmente, o caso na realização de inventários florestais para a preparação de planos de ordenamento), é possível ajustar uma relação hipsométrica local com os dados de todas as parcelas medidas no mesmo povoamento. O cálculo do volume de cada parcela é, então, feito pelo processo descrito em a) e que é semelhante ao ilustrado na figura 96 para uma relação hipsométrica geral.

Métodos baseados em relações hipsométricas gerais

Se a área da parcela é pequena, sendo a parcela em questão a única representante de uma determinada mancha florestal (como é o caso nos inventários florestais regionais e nacionais), pode recorrer-se a uma relação hipsométrica geral para obter, por avaliação indirecta, a altura de cada árvore, calculando-se então o volume da parcela como nos casos anteriores. A relação hipsométrica geral pode, eventualmente, ser obtida com base nas alturas medidas no inventário em questão. No caso contrário (utilização da relação hipsométrica geral obtida na literatura), não é mesmo necessário obter uma amostra de alturas, sendo medidas apenas as alturas necessárias à aplicação da relação hipsométrica geral (por exemplo, a altura dominante).

Na figura 96 ilustra-se o cálculo do volume de uma parcela de pinheiro bravo com área igual a 500 m² com base numa relação hipsométrica geral. Utilizou-se a relação hipsométrica ajustada para povoamentos regulares de bastio de pinheiro bravo em Oliveira do Hospital (Tomé et al., 1992) e a equação de volume total de Alegria 1993). Indicam-se, a cinzento, as alturas das árvores modelo e, a amarelo, as das árvores dominantes, nas quais a altura não foi estimada com base na relação hipsométrica.

| d | h medida | g | h | v |
|------|----------|--------|-------|---------|
| 11.1 | | 0.0097 | 8.14 | 0.04720 |
| 11.5 | 10.5 | 0.0104 | 10.50 | 0.06081 |
| 13.9 | | 0.0152 | 9.78 | 0.07854 |
| 14.5 | | 0.0165 | 10.08 | 0.08665 |
| 14.6 | 9.40 | 0.0167 | 9.40 | 0.08254 |
| 17.1 | | 0.0230 | 11.21 | 0.12756 |
| 18.2 | | 0.0260 | 11.62 | 0.14771 |
| 19.6 | 16.1 | 0.0302 | 16.10 | 0.23022 |
| 20.3 | | 0.0324 | 12.31 | 0.19090 |
| 21.1 | | 0.0350 | 12.54 | 0.20899 |
| 21.5 | | 0.0363 | 12.65 | 0.21838 |
| 21.6 | 17.7 | 0.0366 | 17.70 | 0.30344 |
| 21.7 | | 0.0370 | 12.71 | 0.22315 |
| 22.1 | | 0.0384 | 12.82 | 0.23287 |
| 22.4 | | 0.0394 | 12.90 | 0.24031 |
| 22.7 | | 0.0405 | 12.97 | 0.24788 |
| 22.7 | | 0.0405 | 12.97 | 0.24788 |
| 23.2 | | 0.0423 | 13.10 | 0.26078 |
| 23.2 | 14.5 | 0.0423 | 14.50 | 0.28742 |
| 23.4 | | 0.0430 | 13.15 | 0.26604 |
| 23.5 | | 0.0434 | 13.17 | 0.26869 |
| 24.1 | | 0.0456 | 13.31 | 0.28489 |
| 24.1 | | 0.0456 | 13.31 | 0.28489 |
| 24.2 | | 0.0460 | 13.34 | 0.28764 |
| 25.2 | | 0.0499 | 13.56 | 0.31591 |
| 25.4 | | 0.0507 | 13.60 | 0.32173 |
| 25.4 | | 0.0507 | 13.60 | 0.32173 |
| 25.7 | 15.2 | 0.0519 | 15.20 | 0.36635 |
| 26.0 | 14.50 | 0.0531 | 14.50 | 0.35797 |
| 26.4 | 14.90 | 0.0547 | 14.90 | 0.37855 |
| 27.5 | 19.2 | 0.0594 | 19.20 | 0.52460 |
| 30.6 | 14.20 | 0.0735 | 14.20 | 0.48138 |

| | |
|-------|--|
| Vpar= | 7.9836 m ³ |
| V= | 159.67 m ³ ha ⁻¹ |

Figura 96. Cálculo do volume da parcela da figura 89b com base numa relação hipsométrica geral.

Cálculo do volume com dados agrupados por classes de diâmetro

Se se optar por não utilizar relações hipsométricas, é possível calcular o volume com dados agrupados por classes de diâmetro. Neste caso, o cálculo do volume é baseado no valor central de cada classe de diâmetro (ou, alternativamente, no diâmetro médio de cada classe) e na altura média das respectivas árvores modelo. O volume da parcela calcula-se então como:

$$V = \sum_{j=1}^k n_j \overline{vc}_j \quad \text{com} \quad \overline{vc}_j = f(\overline{dc}_j, \overline{hm}_j)$$

onde \overline{vc}_j é o volume correspondente ao valor central da classe de diâmetro j , calculado com a equação de volume, em função de \overline{dc}_j ; o valor central da classe j , e \overline{hm}_j a altura média das árvores modelo da classe j . Alternativamente, pode utilizar-se o diâmetro quadrático médio da classe j , \overline{dg}_j .

A figura 97 ilustra o cálculo do volume da parcela cuja medição se encontra na figura 96, desta vez com os dados agrupados em classes de diâmetro. Como se pode ver, o volume é bastante semelhante ao obtido por enumeração completa de diâmetros e alturas.

| classe d | v.central | nºarv | nºarv/ha | hclasse | vclasse | vclasse/ha |
|-----------|-----------|-------|----------|---------|---------|------------|
| 7.5-12.4 | 10 | 2 | 40 | 7.37 | 0.03779 | 1.51 |
| 12.5-17.4 | 15 | 4 | 80 | 10.32 | 0.09378 | 7.50 |
| 17.5-22.4 | 20 | 9 | 180 | 12.22 | 0.18435 | 33.18 |
| 22.5-27.4 | 25 | 15 | 300 | 13.52 | 0.31014 | 93.04 |
| 27.5-32.4 | 30 | 2 | 40 | 14.46 | 0.47140 | 18.86 |

N= 640

V= 154.10 m³ ha⁻¹

Figura 97. Cálculo do volume da parcela da parcela da figura 96 com os dados agrupados

Alguns comentários sobre o uso de equações de volume para a cubagem de povoamentos

Uma das maiores dificuldades com que se depara o engenheiro florestal, quando efectua a cubagem dos povoamentos por este método, consiste na introdução de convenientes correcções volumétricas que atendam aos casos anormais. As protuberâncias de influência radical, em particular as que atinjam o nível do d , as pontas partidas, a destruição ou inutilização parcial do tronco pela acção dos vários agentes de destruição e a existência de ramificações anormais do eixo são circunstâncias que afectam a estimativa individual e a cubagem colectiva, ainda que com um peso dependente da respectiva intensidade individual e da frequência com que ocorrem.

As equações de volume estimam os volumes médios das árvores sãs e normais. Sendo assim, as correcções que atendam às anormalidades merecem a mais cuidada atenção, não se dê o caso de se cometerem erros grosseiros por excesso ou por defeito. Se o número de indivíduos anormais for restrito, o procedimento mais cómodo e preciso consiste em proceder a uma correcção individual. Já quando a anormalidade for frequente, a experiência assinala a vantagem de proceder a uma dedução global, mediante a análise da frequência relativa dos indivíduos defeituosos e do valor médio da quebra volumétrica verificada.

Quando se trata de inventariar o volume dos arvoredos vegetando em grandes áreas, e a finalidade imediata não seja a de estimar para comerciar, mas apenas para fornecer às entidades interessadas uma avaliação suficientemente precisa da existência, as correcções que atendam às anormalidades não interessam sobremaneira (a não ser no caso de existirem extensos tratos florestais muito depauperados - p.e. arvoredos danificados por incêndios).

Desde que a relação hipsométrica seja desenvolvida a partir de uma amostra bem representativa da população em causa, ou se se utilizar uma relação hipsométrica geral bem adaptada às condições edafo-climáticas e culturais do povoamento em questão, podem obter-se estimativas totais com base em equações de volume com erros inferiores a 10%, ou, não raro, bastante inferiores (Azevedo Gomes, 1952).

4.8 Índice de área foliar

O índice de área foliar é a soma da área foliar de todas as árvores do povoamento expressa por unidade de área. É, portanto, uma grandeza adimensional. Como se pode depreender, é uma variável que não é de fácil determinação. É geralmente determinada por uma de três metodologias alternativas:

- a) com base em árvores modelo de área foliar;
- b) por estimação com recurso a equações alométricas da árvore;
- c) por avaliação indirecta com base na luz interceptada.

4.8.1 Métodos baseados em árvores modelo

O conceito de árvore modelo é idêntico ao que foi apresentado para o volume do povoamento, podendo utilizar-se as mesmas metodologias que se explicou para essa variável. A única diferença reside no facto de que a variável a medir em cada árvore modelo é a área foliar (tal como se explicou quando se apresentaram as variáveis da árvore).

4.8.2 Estimação com equações alométricas da árvore

Se se dispuser de uma equação alométrica para a estimação da área foliar de cada árvore, esta pode ser aplicada a cada uma das árvores da parcela, obtendo-se, depois, a área foliar total da parcela por soma das áreas foliares estimadas para cada árvore. O problema levantado por esta metodologia prende-se com o facto das equações alométricas para a estimação da área foliar de cada árvore utilizarem frequentemente, como variáveis independentes, algumas variáveis que nem sempre são registadas para todas as árvores, nomeadamente a altura total ou a altura da base da copa. Tal como no caso da estimação do volume com base em equações de volume, há, então, que estimar estas variáveis com equações disponíveis da bibliografia.

Tal como na variável volume, põe-se a hipótese de proceder ao cálculo da área foliar por vários processos:

- a) enumeração completa de diâmetros e de todas as variáveis independentes das equações alométricas para estimação da área foliar da árvore;
- b) com base em árvores modelo nas quais se procede à medição das variáveis independentes necessárias para a utilização das equações alométricas para estimação da área foliar da árvore, procedendo-se depois, com base nestes dados, ao desenvolvimento de equações para a predição destas variáveis;
- c) com recurso a equações para a estimação das variáveis independentes, necessárias para a utilização das equações alométricas para estimação da área foliar da árvore, disponíveis na bibliografia.

4.8.3 Avaliação indirecta com base na luz interceptada

A área foliar de um povoamento está, como seria de esperar, bastante correlacionada com a luz interceptada. Tal como já foi mencionado em relação à árvore, pode recorrer-se a um ceptómetro para avaliar a luz interceptada por um povoamento. Para que as medições realizadas sejam representativas da luz interceptada pela totalidade do povoamento, há que fazer um planeamento muito cuidadoso da amostragem a realizar, de forma a realizar medições com o ceptómetro sob todas as situações presentes no povoamento: totalmente sob a copa, em zonas de transição e em zonas abertas. Este tema não se insere, contudo, no contexto destes apontamentos.

4.9 Biomassa do povoamento

A biomassa total de um povoamento define-se como a soma das biomassas de todas as árvores que fazem parte do povoamento, sendo geralmente referida ao hectare. Tal como já se mencionou ao focar a biomassa das árvores, a biomassa do povoamento tem diversas componentes que interessa avaliar separadamente. É vulgar fazer-se a distinção entre biomassa aérea e biomassa radicular. No que respeita à biomassa aérea, faz-se a distinção entre as várias componentes da árvore: lenho, casca, ramos, folhas e flores e frutos. Na biomassa radicular pode separar-se a raiz principal, as raízes grossas e as raízes finas.

A biomassa de um povoamento, assim como de qualquer dos componentes em que se pretenda subdividi-la, pode ser determinada por uma das metodologias seguintes:

- a) com base em árvores modelo de biomassa;
- b) por estimação, com recurso a equações de biomassa da árvore;
- c) por estimação, com recurso a equações de biomassa do povoamento.

4.9.1 Método das árvores modelo de biomassa

O método das árvores modelo de biomassa é, em tudo, semelhante ao descrito sobre a variável volume, com a diferença que a variável a determinar em cada árvore modelo é a biomassa, ou melhor, as biomassas das diversas componentes da árvore. Dada a dificuldade que acarreta, a biomassa das raízes não é geralmente realizada em todas as árvores modelo. Mesmo para as componentes da parte aérea, é usual escolherem-se métodos de árvores modelo que permitam a minimização do número de árvores seleccionadas para amostragem destrutiva, sendo os mais vulgares o método da distribuição normal e o método das classes de igual frequência em diâmetros ordenados.

4.9.2 Estimação com base em equações de biomassa da árvore

A estimação com base em equações de biomassa da árvore é, em tudo, semelhante ao que se descreveu para a variável volume. Levanta-se, também, o mesmo problema que para a estimação da área foliar, em relação à necessidade de conhecer o valor (ou uma sua estimativa) de variáveis que podem não estar disponíveis nos inventários florestais. É o caso da altura da base da copa. O problema terá de ser resolvido do mesmo modo que já foi explicado para a área foliar.

4.9.3 Estimação com equações de biomassa do povoamento

Para algumas espécies, nomeadamente para o eucalipto, dispomos já de equações de biomassa para a estimação por hectare da biomassa aérea total, assim com das componentes lenho, casca, folhas e ramos. A tabela 41 dá um exemplo deste tipo de equações, mostrando as utilizadas pelo modelo GLOBULUS 3.0 (Tomé et al., 2007).

4.10 Estimação de stocks de carbono

A estimação de stocks de carbono é cada vez mais um dos resultados pretendidos num inventário florestal. Pode incluir apenas a componente arbórea mas é frequente que se pretenda obter também o stock de carbono no sub-bosque, na folhada e no solo. Com excepção do stock de carbono no solo, todos os outros se avaliam com base na biomassa da componente que se pretende avaliar multiplicada pelo correspondente conteúdo em carbono.

O conteúdo em carbono das diversas componentes da árvore é geralmente próximo de 0.5, pelo que este valor é frequentemente utilizado para estimar o stock de carbono na componente vegetal a partir da correspondente biomassa.

Tabela 41 Equações de biomassa do povoamento utilizadas pelo modelo GLOBULUS 3.0 (Tomé et al., 2007)

| Componente | Equação e parâmetros |
|-------------|--|
| Tronco | $W_w = a_w G^{b_w} h_{dom}^{c_w}$ $a_w = 0.0967$ $b_w = 1.0547 - 0.0018 \times rot - 0.0065 \times \left(\frac{N}{1000}\right) - 0.5198 \times \left(\frac{S}{1000}\right) - 1.2105 \times \left(\frac{t}{1000}\right)$ $c_w = 1.1886$ |
| Casca | $W_b = a_b G^{b_b} h_{dom}^{c_b}$ $a_b = 0.03636$ $b_b = 1.1691 - 0.0083 \times rot - 0.0459 \times \left(\frac{N}{1000}\right) + 3.2289 \times \left(\frac{S}{1000}\right) + 2.0880 \times \left(\frac{t}{1000}\right)$ $c_b = 0.6710$ |
| Folhas | $W_l = a_l G^{b_l} h_{dom}^{c_l}$ $a_l = 1.0440$ $b_l = 1.0971 - 0.0112 \times \left(\frac{N}{1000}\right) - 1.2207 \times \left(\frac{S}{1000}\right) - 6.2807 \times \left(\frac{t}{1000}\right)$ $c_l = -0.3129$ |
| Ramos | $W_{br} = a_{br} G^{b_{br}} h_{dom}^{c_{br}}$ $a_{br} = 0.3972$ $b_{br} = 1.0005 - 0.0192 \times \left(\frac{N}{1000}\right) + 3.3170 \times \left(\frac{S}{1000}\right) - 1.2747 \times \left(\frac{t}{1000}\right)$ $c_{br} = -0.0160$ |
| Total aérea | $W_a = W_w + W_b + W_l + W_{br}$ |
| Raízes | $W_r = 0,2487 W_a$ |
| Total | $W = W_a + W_r$ |

Unidades: todas as biomassas em Mg ha⁻¹, G em m² ha⁻¹, N em ha⁻¹, t em anos

4.11 Perguntas sobre a matéria do capítulo

1 A selecção da forma e tipo das parcelas de amostragem são duas das decisões a tomar durante o planeamento de um inventário florestal.

Diga quais as formas que as parcelas de inventário podem ter, discutindo as respectivas vantagens e inconvenientes

Quais os tipos de parcelas de inventário que conhece? Para cada um dos tipos de parcelas que indicou, diga como faz a expansão ao hectare do valor de uma variável calculada para a parcela.

2 “A delimitação correcta das parcelas de amostragem é uma das operações mais importantes para a exactidão dos resultados de um inventário florestal”.

Justifique esta afirmação.

Explique a sequência de operações necessária para, com um hipsómetro de Blum-Leiss, delimitar uma parcela circular em terreno declivoso. Haveria alguma vantagem em realizar a mesma operação com um Vertex?

Como é que procede no caso de uma parcela composta?

3 Tipos de parcelas – parcelas combinadas

O que são parcelas combinadas?

Quais as vantagens que estas parcelas apresentam em relação às parcelas simples?

Explique como é que nas parcelas deste tipo se procede à avaliação de variáveis por ha.

4 Delimitação de parcelas de amostragem de forma quadrada

Explique a sequência de operações necessárias para a delimitação de uma parcela quadrada

Quais os cuidados a ter num terreno declivoso?

As parcelas quadradas apresentam algumas vantagens em relação às parcelas de outras formas?

5 Marcação de parcelas quadradas. Diga, justificando, quais das seguintes frases estão correctas:

- a) Os lados da parcela devem ser marcados segundo a ordem dos ponteiros do relógio.
- b) Deve começar-se por marcar um lado e marcar em seguida os lados perpendiculares a este.

- c) A parcela deve ser marcada com dois dos lados colocados na horizontal e os outros segundo o máximo declive.
- d) A parcela deve ser marcada de modo a que os lados tenham o menor declive possível.

6 “A determinação da altura dominante da parcela é essencial para a avaliação da capacidade produtiva da estação”.

Defina altura dominante.

Explique como é que, a partir da altura dominante de um povoamento, consegue avaliar a sua capacidade produtiva.

7 Lotação e densidade de um povoamento

Explique os conceitos de lotação e densidade de um povoamento

O factor de Wilson é um dos índices mais utilizados em Portugal para quantificar a densidade de um povoamento. Defina factor de Wilson e explique o princípio em que este índice se baseia

O que entende por factor de competição das copas (FCC)? Explique como se procede para calcular, na prática, o FCC de uma parcela

O que entende por índice da densidade do povoamento (IDP)? Explique como se procede para calcular, na prática, o IDP de uma parcela

8 Um florestal optou por obter as seguintes medições em cada uma das parcelas medidas num povoamento de eucalipto:

- Medição completa de d's
- Medição da altura em árvores amostra (seleccionadas pelo método de Draudt modificado)
- Medição da altura das árvores mais grossas (na proporção de 100 árvores por ha)

Explique como, com os dados acima descritos, avaliaria o volume de cada uma das parcelas medidas no povoamento em questão.

Se o povoamento fosse de uma espécie exótica de introdução recente em Portugal, que alterações proporia às medições a realizar em cada parcela?

Para que efeito pensa que foram medidas as alturas das árvores mais grossas?

9 Explique como se procede à medição de uma parcela circular na qual : a) se medem os diâmetros de todas as árvores; b) se mede a altura de árvores modelo seleccionadas pelo método de Draudt modificado pelos Serviços Florestais

10 Avaliação do volume com base em árvores modelo

Explique o conceito de árvore modelo

Explique como se calcula o volume de uma parcela de amostragem pelo método da árvore modelo única. Acha que este método é adequado para avaliar o volume por categorias de aproveitamento num pinhal irregular? Justifique.

Explique como se seleccionam as árvores modelo pelo método de Draudt modificado pelos Serviços Florestais. Explique como pode avaliar o volume de uma parcela se utilizar este método para seleccionar árvores modelo de altura.

5 Avaliação de variáveis dendrométricas do povoamento pelo método de Bitterlich

Bitterlich (1948) inventou o método da numeração angular (angle count technique) e a partir dessa altura desenvolveu-se uma técnica de amostragem de povoamentos florestais sem a delimitação de parcelas, designada por amostragem pontual. Temos então esta técnica em oposição aos métodos convencionais de amostragem por parcelas (“plotless” métodos). Estes baseiam-se em probabilidades iguais de selecção de árvores, independentemente da sua dimensão, ao contrário dos métodos de amostragem pontual em que as árvores individuais são seleccionadas proporcionalmente a uma variável dependente do tamanho das árvores (ex. diâmetro). Pelo contrário, na amostragem por parcelas, as árvores de uma certa dimensão são seleccionadas proporcionalmente à frequência de árvores com essa dimensão no povoamento.

5.1 Amostragem pontual horizontal – o método de Bitterlich

A ideia central de Bitterlich resume-se na ideia de exprimir a quantidade adimensional área basal por hectare com recurso a outra grandeza adimensional. A noção do ângulo de visão ou ângulo crítico, ou seja, do ângulo que circunscreve uma secção ao nível do d , foi determinante pois é a base do método da numeração angular: a contagem, a partir de um ponto, das árvores cuja secção ultrapassa um certo ângulo crítico, vai conduzir a uma estimativa não enviesada da área basal por hectare. Em termos resumidos temos que a área basal por unidade de superfície do povoamento é avaliada com base na contagem do número de árvores que satisfazem determinada condição definida por um ângulo α . Vejamos então como Bitterlich provou o princípio da contagem de ângulos. Quando uma árvore com diâmetro d_i , à distância $dist$ do operador, é comparada com uma barra de referência de largura l , colocada a uma distância r do operador, são possíveis as seguintes situações:

- A. O diâmetro da árvore é aparentemente superior à largura da barra
- B. O diâmetro da árvore é aparentemente igual à largura da barra
- C. O diâmetro da árvore é aparentemente inferior à largura da barra

Estas situações estão representadas esquematicamente na figura 106.

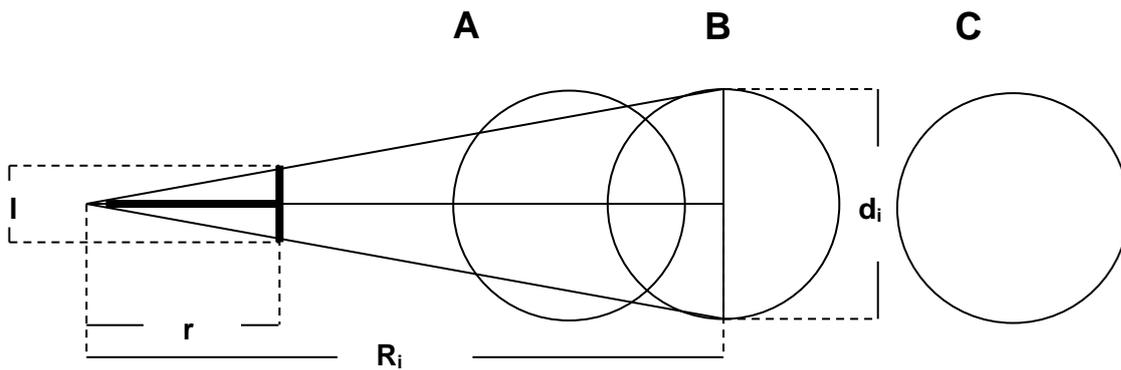


Figura 106. Princípio da contagem de ângulos segundo Bitterlich

Sejam:

d_i - diâmetro da árvore i

R_i - distância radial limite para o diâmetro da árvore i , ou seja a distância para a qual o diâmetro da árvore é aparentemente igual à largura da barra de referência (situação B)

l - largura da barra de referência

r - distância do operador à barra de referência

Pode então calcular-se a distância radial limite para uma árvore com diâmetro d_i :

$$\frac{d_i}{R_i} = \frac{l}{r} \Rightarrow R_i = d_i \frac{r}{l}$$

Situação A: $\text{dist} < R_i = d_i \frac{r}{l} \rightarrow$ árvore contada

Situação B: $\text{dist} = R_i = d_i \frac{r}{l} \rightarrow$ árvore na **posição limite**

Situação C: $\text{dist} > R_i = d_i \frac{r}{l} \rightarrow$ árvore excluída (não contada)

A área basal por hectare que equivale a uma árvore de diâmetro d_i que é contada está relacionada com a área de um círculo com raio R_i :

$$g_i \text{ (m}^2\text{)} \quad \frac{\pi d_i^2}{4} \quad \pi R_i^2$$

$$g_i \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} \quad \frac{\pi d_i^2}{4} \quad 10000$$

$$g_i \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} = 10000 \frac{\pi d_i^2}{4 \pi R_i^2} = \frac{10000 \pi d_i^2}{4 \pi \left(d_i \frac{r}{d_i}\right)^2} = 2500 \left(\frac{1}{r}\right)^2 = K \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$$

Conclui-se assim que a área basal por ha correspondente a uma árvore com diâmetro d_i não depende da sua dimensão. Para obter a área basal por hectare basta então contar as árvores que se encontram em situação de contagem, situação A na figura 106, e multiplicar este valor pelo valor K , designado por factor de área basal (K):

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^n K = Kn \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} \quad \text{com} \quad K = 2500 \left(\frac{1}{r}\right)^2$$

As árvores na posição limite devem ser contadas como $\frac{1}{2}$ ou, se se pretender uma avaliação mais precisa, realizam-se as medições necessárias para decidir se a árvore é ou não contada. Neste último caso há que medir a distância na horizontal entre o operador e a árvore ($dist$) e o diâmetro da árvore à altura do peito (d). A árvore será contada se se verificar a condição A:

$$dist < R_i = d_i \frac{r}{d_i}$$

Como

$$K = 2500 \left(\frac{1}{r}\right)^2$$

vem que

$$dist < d_i \sqrt{\frac{2500}{k}}$$

A demonstração inicial de Bitterlich é apenas aproximada uma vez que teoricamente, os limites do ângulo de contagem não circunscrevem o diâmetro d_i , mas sim os raios que lhe estão tangentes (figura 107). Uma dedução alternativa, baseada no valor do ângulo α e dos raios tangentes aos seus limites ($d_i/2$) levam a um valor de K um pouco diferente, embora o método de numeração angular se mantenha. O valor correcto de K é então:

$$K = 10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

O valor de R_i pode ser calculado através de:

$$\frac{d_i/2}{R_i} = \sin \frac{\alpha}{2} \quad \rightarrow \quad R_i = \frac{d_i}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

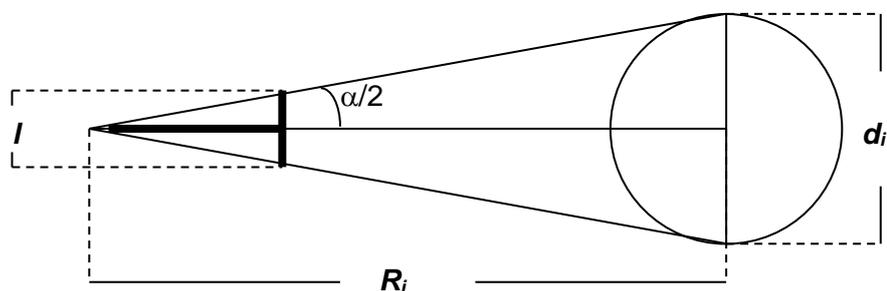


Figura 107. Dedução do valor exacto do factor de área basal K

A área basal por ha de uma árvore vem então:

$$g_i (\text{m}^2) = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{d_i^2}{4} = \frac{d_i^2}{4 \left(\frac{d_i}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)^2} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)^2$$

$$g_i \text{ ha}^{-1} = \frac{10^4}{4} \left(\frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)^2 = 2500 \left(\frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)^2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} = K \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$$

5.2 Parcelas de amostragem simples, combinadas e método de Bitterlich

O ponto de amostragem do método de Bitterlich representa uma generalização do conceito de parcela composta a uma série de parcelas de raio sucessivamente maior, função do diâmetro das árvores incluídas em cada uma delas. Para compreender melhor a relação entre parcelas simples, combinadas e pontos de amostragem de Bitterlich, vejamos como se avalia a área basal de ha em cada um destes casos.

Sejam:

A – área de uma parcela simples

A_i – ($i=1,2,3$) área das parcelas interior, intermédia e maior de uma parcela composta de 3 parcelas

n – número de árvores numa parcela simples ou num ponto de amostragem de Bitterlich

n_i – ($i=1,2,3$) número de árvores com $d < 17.5$ (parcela interior), $17.5 \leq d < 32.5$ (parcela intermédia) e $d \geq 32.5$ (parcela maior) exterior de uma parcela composta de 3 parcelas

Vejamos como é avaliada a área basal por ha em cada um destes casos:

Parcela simples:

$$G = \frac{10000}{A} \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4}$$

Parcela composta:

$$G = \frac{10000}{A_1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{\pi d_i^2}{4} + \frac{10000}{A_2} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{\pi d_i^2}{4} + \frac{10000}{A_3} \sum_{i=1}^{n_3} \frac{\pi d_i^2}{4}$$

Ponto de estação de Bitterlich:

$$G = \frac{10000}{A_{d_1}} \frac{\pi d_1^2}{4} + \frac{10000}{A_{d_2}} \frac{\pi d_2^2}{4} + \dots + \frac{10000}{A_{d_n}} \frac{\pi d_n^2}{4}$$

onde

$$A_{d_i} = \pi d_i^2 \left(\frac{r}{i} \right)^2$$

é a área correspondente a uma árvore com diâmetro d_i . Temos assim que, num ponto de amostragem de Bitterlich:

$$G = \frac{10000}{\pi d_1^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2} \frac{\pi d_1^2}{4} + \frac{10000}{\pi d_2^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2} \frac{\pi d_2^2}{4} + \dots + \frac{10000}{\pi d_n^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2} \frac{\pi d_n^2}{4} =$$

$$= \frac{10000}{4 \left(\frac{r}{l}\right)^2} + \frac{10000}{4 \left(\frac{r}{l}\right)^2} + \dots + \frac{10000}{4 \left(\frac{r}{l}\right)^2} =$$

$$= K + K + \dots + K = Kn$$

É assim possível deduzir a expressão para a avaliação da área basal por ha pelo método de Bitterlich admitindo que o ponto de estação é um conjunto de parcelas concêntricas de área sucessivamente maior e função da dimensão das árvores que são medidas (neste caso “contadas”) em cada parcela.

5.3 Aparelhos para a amostragem pontual horizontal

Existem dois tipos de aparelhos:

- a) sem correcção automática de declive
- b) com correcção automática de declive

5.3.1 Aparelhos sem correcção automática de declive

No primeiro tipo de aparelhos encontra-se a barra de Bitterlich (figura 109), instrumento inicialmente idealizado por Bitterlich para a aplicação do método e que consiste numa barra de madeira, tendo numa das extremidades uma peça, também de madeira, em forma de U, com cantos rectos. A barra de referência, com a qual há que comparar o diâmetro de cada árvore, corresponde à parte interior do U. A dedução do método de Bitterlich só é exacta em terreno plano. A distância *dist* a comparar com a distância radial limite tem que ser horizontal. Se a operação decorrer em terreno declivoso, há que verificar, com fita métrica e medição de declive, a distância horizontal para todas as árvores próximas da situação limite (caso B na figura 105) ou aplicar qualquer outro método para a correcção do declive.

Os prismas ópticos (em forma de cunha) são também utilizados para a amostragem pontual sem correcção de declive. São de utilização bastante generalizada nos Estados Unidos da América, mas raramente utilizados em Portugal pelo que não lhes dispensaremos atenção particular.

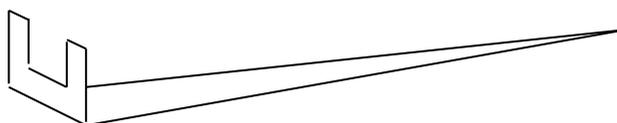


Figura 108. Esquema da barra de Bitterlich

5.3.2 Aparelhos com correcção automática de declive

O método de Bitterlich é geralmente aplicado em Portugal com recurso ao relascópio de Bitterlich, aparelho cuja descrição pode ser vista em Barreiro et al. (2004). O aparelho pode ser utilizado na amostragem pontual horizontal com diversos factores da área basal, correspondentes às diferentes bandas que existem na escala do aparelho: banda 1, banda 2 e diversas combinações da banda 1 com as bandas estreitas. Os correspondentes factores de área basal encontram-se na tabela 42.

Tabela 42. Factores de área basal para as diferentes combinações de bandas do relascópio de espelhos de Bitterlich

| Combinação de bandas ¹ | Factor de área basal |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1e | 1/16 |
| 2e | 1/4 |
| 3e | 9/16 |
| 1 | 1 |
| 1 + 1e | 1+9/16 |
| 2 | 2 |
| 1 + 2e | 2+1/4 |
| 1 + 3e | 3+1/16 |
| 1+ 4e | 4 |

¹ 1 refere-se à banda dos 1, 2 à banda dos 2, Xe a X bandas estreitas

Como se pode depreender das características do aparelho, já explicadas, a sua utilização dispensa a correcção de declives, a qual é feita automaticamente pelo ajustamento da largura das bandas em função do ângulo de pontaria.

O telerelascópio de Bitterlich pode também ser utilizado para a amostragem pontual, estando definidos os valores do factor de área basal em função da unidade taqueométrica e das respectivas fracções que correspondem às barras brancas e pretas em que as UT se encontram divididas. Na figura 110 pode ver-se a parte da escala do telerelascópio na qual se indicam os diversos factores de área basal correspondentes a cada combinação de unidades taqueométricas e respectivas fracções, as quais se encontram também na tabela 43.

Tabela 43. Factores de área basal a utilizar com o telerelascópio para as diferentes combinações de unidades taqueométricas e respectivas fracções.

| Combinação de UT's | Factor de área basal |
|--------------------|----------------------|
| 1 | 1/4 |
| $\sqrt{2}$ | 1/2 |
| 2 | 1 |
| $2\sqrt{2}$ | 2 |
| 3 | 9/4 |
| $2\sqrt{3}$ | 3 |
| 4 | 4 |

5.4 Selecção de um factor de área basal

Para controlar o número de árvores que em média são contadas de um determinado ponto estação, escolhe-se o factor de área basal (K) ou, de um modo equivalente, o ângulo de contagem (α). A selecção de um factor de área basal equivale à selecção de uma dimensão de uma parcela tradicional. Com o aumento do ângulo de contagem, e consequentemente do factor de área basal, o número de árvores contadas diminui. Então, para grandes valores de K , temos menos árvores escondidas, menos árvores em posição limite, menos confusão na contagem, logo menos erros na contagem. Por isso, na amostragem pontual, utilizam-se com frequência pontos satélites, por exemplo, um satélite de 4 pontos, com $K=4$, em vez de um ponto simples com $K=1$. No entanto, há que garantir que com o factor de área basal escolhido se conta um número suficiente de árvores.

Para povoamentos de idade média ou adulta, Bitterlich aconselha $K=4$, o que equivale, na maior parte das densidades, a contar 5-15 árvores em cada ponto de estação. Este número, de 5-20 árvores contadas em cada ponto de estação parece ser razoável. A contagem de menos de 5 árvores implica uma baixa precisão, correspondente a uma parcela de amostragem demasiado pequena, enquanto que um número de árvores contadas superior a 20 dará origem a um maior número de erros de contagem devido a árvores que se “escondem” por detrás de árvores mais próximas.

Nunca esquecer que o aumento de K , ou seja, o aumento de α leva à diminuição da distância radial limite e portanto do número de árvores contadas num ponto amostra.

5.5 Avaliação das variáveis dendrométricas do povoamento com amostragem pontual horizontal

Vejamos agora como é que o método de Bitterlich pode ser utilizado para avaliar as restantes variáveis do povoamento (para além da área basal).

5.5.1 Área basal por hectare

Como já vimos a área basal por ha é avaliada, em cada ponto estação, pela contagem do número de árvores. Temos assim que a avaliação da área basal obtida num ponto de estação é igual a:

$$G = K n$$

onde K é o factor de área basal utilizado no ponto de amostragem e n é o número de árvores que obedecem à condição de contagem.

5.5.2 Número de árvores por ha e distribuição de diâmetros

Admitamos que as árvores de um povoamento têm todas a mesma dimensão g_i . Então o número de árvores dessa dimensão por ha pode obter-se a partir de:

$$G_i = N_i g_i \Rightarrow N_i = \frac{G_i}{g_i} = \frac{K n_i}{g_i}$$

onde n_i é o número de árvores contadas com diâmetro d_i . Pode então concluir-se que uma árvore de diâmetro d_i e área basal g_i equivale a

$$\frac{K}{g_i} \text{ árvores por ha.}$$

Um outro processo de obter o mesmo resultado será a partir da distância radial limite R_i . Se uma árvore existe num círculo com raio igual a R_i , então

$$1 \text{ árvore} \text{ ————— } \pi d_i^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2$$

$$N_i \text{ ————— } 10000$$

ou seja

$$N_i = \frac{10000}{\pi d_i^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2} = \frac{1000}{4g_i \left(\frac{r}{l}\right)^2} = \frac{K}{g_i}$$

Pode assim obter-se a avaliação do número de árvores por ha com base num ponto de estação:

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = K \sum_{i=1}^n \frac{1}{g_i}$$

onde N é o número de árvores por ha, n é o número de árvores contadas no giro, K é o factor de área basal e g_i a área seccional da árvore i .

Se quisermos obter a distribuição de diâmetros, podemos avaliar o número de árvores por ha na classe de diâmetro d_c , como:

$$N_{d_c} = \sum_{i=1}^{n_c} N_i = K \sum_{i=1}^{n_c} \frac{1}{g_i} \approx K \sum_{i=1}^{n_c} \frac{1}{g_c} = K \frac{n_c}{g_c}$$

onde N_{dc} é o número de árvores por ha da classe de diâmetro d_c , n_i é o número de árvores da classe de diâmetro d_c contadas no giro e g_c é o valor central da classe de diâmetro d_c .

5.5.3 Volume

O volume é uma variável especial que pode ser avaliada, com base em amostragem pontual horizontal, por dois métodos diferentes: a) método geral; b) método da altura formal

O método geral, aplicável a qualquer variável, está descrito no ponto 5.5.5.

Método da altura formal média

A determinação do volume dos povoamentos pelo método da altura formal baseia-se na fórmula geral de cubagem das árvores segundo a qual o volume de uma árvore é, como sabemos, dado por

$$v = g \ hf$$

onde g é a área seccional da árvore e hf é a sua altura formal. Para 1 ha teremos

$$V = \sum_{i=1}^N g_i \ hf_i$$

onde hf_i indica a altura formal da árvore i e N o número de árvores por ha. Se substituirmos a altura formal de cada árvore pela altura formal da árvore média do povoamento hf_g (altura formal do povoamento), vem:

$$V = hf_g \sum_{i=1}^N g_i = G \ hf_g$$

A altura formal média do povoamento obtém-se a partir de uma subamostra de árvores onde se mede directamente a hf , com recurso ao relascópio ou telerelascópio. Note-se que o método de Hartig (método da determinação do volume com base em árvores modelo de forma) conduz à mesma expressão para o cálculo do volume (ver 4.7.2.2).

5.5.4 Altura dominante

A altura dominante está sempre associada a uma média das alturas das árvores maiores do povoamento existindo, como vimos, inúmeras definições alternativas. Algumas são fáceis de utilizar em amostragem pontual horizontal, como é o caso da altura dominante geralmente designada por biológica, que se define como a média das árvores dominantes e codominantes do povoamento. A definição mais seguida em Portugal, e que corresponde à média das 100 árvores mais grossas por ha, não é contudo de aplicação directa em amostragem pontual, uma vez que a esta não está associada nenhuma parcela com área definida. Pollanschutz (1974) sugere que com um factor de área basal igual a 4 se deveriam utilizar 3 árvores para o cálculo da altura dominante, mas esta definição é demasiado simplista. Um método mais geral será a utilização do número de árvores para a área correspondente à distância radial limite para a maior árvore contada no giro de horizonte.

5.5.5 Avaliação de qualquer variável do povoamento (método geral)

Pode deduzir-se uma expressão para o cálculo de qualquer variável do povoamento, a partir da correspondente avaliação do número de árvores por ha. Já vimos que o número de árvores por ha correspondente à árvore i é avaliado como

$$N_i = \frac{K}{g_i} \Rightarrow N_i = \frac{1}{p_i}$$

A estimativa do valor por ha de qualquer variável do povoamento pode então ser feita pela respectiva medição em cada árvore i contada no giro de horizonte com posterior multiplicação por N_i , para a generalização ao ha. Vem então

$$Y = \sum_{i=1}^n N_i y_i = \sum_{i=1}^n \frac{K}{g_i} y_i = K \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{g_i}$$

onde y_i é o valor medido para Y na árvore i e todos os outros símbolos têm o significado das expressões anteriores.

5.6 Comparação entre a amostragem pontual e a amostragem por parcelas

A amostragem pontual horizontal ganhou bastante popularidade em diversos países uma vez que apresenta algumas vantagens sobre a amostragem por parcelas:

1. Em primeiro lugar existe uma proporcionalidade na selecção das árvores amostra relativamente à sua área basal, logo as árvores grandes são preferidas na selecção. Pelo contrário, na amostragem por parcelas, as árvores de diferentes dimensões encontram-se em igualdade perante uma selecção, sendo seleccionadas proporcionalmente à frequência de árvores nessa dimensão. A amostragem pontual dá assim melhores estimativas para a área basal por ha, bem como para as variáveis que estão fortemente correlacionadas com a área basal, como é o caso do volume por ha. Duma maneira geral, pode dizer-se que se num método a probabilidade de selecção das árvores para amostragem é feita proporcionalmente a uma determinada variável, então esse método dá as melhores estimativas do total dessa variável. A amostragem por parcelas é portanto particularmente adequada para a avaliação do número de árvores por ha ou para a distribuição de diâmetros.
2. Na amostragem pontual, não é necessário medir os diâmetros para se obter a área basal total, basta uma simples contagem, embora a avaliação de outras variáveis do povoamento exija a medição dos diâmetros. Note-se que a avaliação do número de árvores por ha, obtida por simples contagem na amostragem por parcelas, exige na amostragem pontual a medição dos diâmetros.
3. Usando um aparelho de medição de ângulos com correcção automática do declive, como é o caso do relascópio e telerelascópio de Bitterlich, ficam anulados todos os problemas de correcção necessários na amostragem por parcelas, aquando da delimitação de parcelas em terreno declivoso.
4. Basta uma só pessoa para fazer visitas rápidas de reconhecimento.

Por seu lado, a amostragem por parcelas apresenta também algumas vantagens:

1. Já vimos que a amostragem por parcelas é mais adequada para a avaliação do número de árvores por ha ou para a distribuição de diâmetros. No primeiro caso não é necessário realizar qualquer medição, sendo necessário medir os diâmetros de todas as árvores “contadas” num ponto de estação para avaliar o número de árvores por ha.
2. Em inventário florestal contínuo a amostragem por parcelas é preferível, uma vez que na amostragem pontual as árvores amostradas em duas medições sucessivas não são as mesmas; na segunda medição há um maior número de árvores amostradas em consequência do seu crescimento em diâmetro.

3. Na amostragem pontual os requisitos intelectuais são maiores do que na amostragem por parcelas, exigindo treino intenso, instrução. São especialmente importantes as verificações regulares de campo. Se for possível encontrar ou treinar equipas de campo, então a amostragem pontual horizontal pode ser eficaz, especialmente em termos de rapidez; no caso contrário é preferível recorrer à amostragem por parcelas.

6 Referências bibliográficas

(SamplingPartialReplacement Biblio-5.pdf).

Alegria, Cristina, 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. Tese de Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

C.M.O.H., 1992 – Inventário Florestal – Relatório final. Concelho de Oliveira do Hospital. Lisboa

Carvalho, Ana Paula., 1999. Modelação do Crescimento de Árvores em Eucaliptais em 1ª rotação Localizados nas Regiões do Norte e Centro Litoral. Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

CT 145, 2003. Norma Portuguesa NP 4406. Sistemas de Gestão Florestal Sustentável. Aplicação dos critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável. Instituto Português de Qualidade, Caparica, Portugal.

DGRF, 2005a. 5º Inventário Florestal Nacional. Manual de instruções para a realização do trabalho de fotointerpretação. Manuscrito.

DGRF, 2005b. 5º Inventário Florestal Nacional. Manual de intruções para a realização do trabalho de campo.

DGSFA, 1969. Tabelas. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa.

Faias, S. P., Tomé, M., Beito, S., Páscoa, F. e Salas, R., 2005. Protocolo de medição de parcelas do dispositivo de inventário para as zonas piloto de Portugal. Manuscrito.

Falcão, J., 1994. Equações de volume total e percentual e equações do perfil do tronco para a *Pinus pinaster* Aiton. na Área Florestal de Sines. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Gomes, A. M. Azevedo, 1952. Medição dos Arvoredos. Colecção “A Terra e o Homem”. Livraria Sá da Costa, Lisboa.

Gregoire, T. G., 2005. Sampling with partial replacement bibliography 1942-present Web address: <http://environment.yale.edu/posts/downloads/o-u/>

Hidrotécnica Portuguesa, 1965. Inventário Florestal. Cartografia, Áreas Florestais e Inventariação. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa.

Husch, B., 1971. Planification de un inventário florestal. FAO Estudios de silvicultura y productos forestales nº 17. Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Roma.

Kimmins, J. P., 1997. Forest Ecology. A Foundation for Sustainable Management, 2ª edição. Prentice Hall.

Koch, N. E. and J. P. Skovsgaard, 1999. Sustainable management of planted forests: some comparisons between Central Europe and the United States. In: J. R. Boyle, J. K. Winjum, K. Kavanagh and E. C. Jensen (eds), Planted Forests: Contributions to the Quest for Sustainable Societies. Kluwer Academic Publishers, pp. 11-22.

Leite, C., 1995. Tabela de Produção provisória para o Pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) das Regiões Montanas e Submontanas. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de engenharia Florestal. U.T.L. Instituto Superior de Agronomia.

Liaison Unit Vienna, 2003. Background information for improved Pan-European indicators for sustainable forest management. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Liaison Unit Vienna, Austria.

Liaison Unit Lisbon, 1998. Declaração geral e resoluções adoptadas na Terceira Conferência Ministerial para a Protecção das Florestas na Europa. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa, Portugal.

Loetsch, F. e K. E. Haller, 1973. Forest Inventory. Vol. I. BLV Verlagsgesellschaft München, Bern, Wien (trad. inglês de E.F. Brünig).

Loetsch, F., Zöhrer, F. E Haller, K. E., 1973. Vol II. BLV Verlagsgesellschaft München, Bern, Wien (trad. inglês de E.F. Brünig).

Lund, H. Gyde e Smith, W. B., 1997. The United States forest inventory program. In: Nyssönen, A. e Ahti, A. (eds). Proceedings, FAO/ECE meeting of experts on Global Forest Resource Assessment, 10-14 June 1996. Kotka, Finland. Finnish Forest Research Institute Research papers 620. Helsinki, Finland, pp. 331-333.

Prodan, M., 1965. Holzmesslehre. I. D. Saver Laender's Verlag. Frankfurt am Main. (cit. Curtis, R. O., 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. Forest Science, 13: 365-375).

Ribeiro, F. & Tomé, M., 2000. Equações para a estimação do peso de cortiça seca ao ar ao nível da árvore na região de Coruche. Relatórios técnico-científicos do GIMREF, nº 2/2000. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Ribeiro, F. & Tomé, M., 2002. Cork weight prediction at tree level Forest Ecology & Management 171(3): 231-241

Soares, P. & Tomé, M., 2001. A tree crown ratio prediction equation for eucalyptus plantations. Annals of Forest Science, 58: 193-202.

Soares, P. & Tomé, M., 2002. Height-diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 166(1-3): 99-109.

Soares, P. e Tomé, M., 2003. Lista de símbolos utilizados na inventariação e modelação de recurso florestais. *Relatórios Técnicos do GIMREF*, nº 1/2003.

Tomé, J., 1990. Estimação do volume total, de volumes mercantis e modelação do perfil do tronco em *Eucalyptus globulus* Labill. Tese de Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Tomé, M, A. Falcão, A. Carvalho e A. Amaro, 1994. A global growth model for eucalypt plantations in Portugal. *Lesnictví-Forestry*, 41 (4): 197-205. (Proceedings of the IUFRO conference "Growth Models for Policy Making", Praga, 26-29 Sept.).

Tomé, M. et al., 1999 – Inventário Florestal do Concelho da Chamusca. Caracterização dos povoamentos. ISA/DEF, GIMREF – Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Tomé, M., 1988. Modelação do crescimento da árvore individual em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. (1ª rotação). Região Centro de Portugal. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal.

Van Soest, J., Ayrál, P., Schober, R. E Hummel, F. C., 1965. The standardization of symbols in forest mensuration, 2ª ed., University of Maine, Maine Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 15.

Ware, K. D. E Cunia, T., 1962. Continuous forest inventory with partial replacement of samples. *Forest Science Monograph* 3.

Ferraz, A., Bretar, F., Jacquemoud, S., Gonçalves, G., Pereira, L., Tomé. M., Soares, P., 2012. 3D mapping of a multi-layered Mediterranean forest using ALS data. *Remote Sensing of Environment* 121: 210-223.