

NUNO MANUEL CABRAL DE ALMEIDA RIBEIRO

**MODELAÇÃO DO CRESCIMENTO DA ÁRVORE EM POVOAMENTOS DE SOBREIRO
(*Quercus suber* L.)
Desenvolvimento de modelo de crescimento espacial parametrizado para a região de Coruche**

*Dissertação apresentada à Universidade de Évora para
obtenção do Grau de Doutor em Ciências Agrárias
“Esta tese não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”.*

Orientador: Prof. Doutor Ângelo Manuel Melo Carvalho de Oliveira

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
2006**

NUNO MANUEL CABRAL DE ALMEIDA RIBEIRO

**MODELAÇÃO DO CRESCIMENTO DA ÁRVORE EM POVOAMENTOS DE SOBREIRO
(*Quercus suber* L.)
Desenvolvimento de modelo de crescimento espacial parametrizado para a região de Coruche**

*Dissertação apresentada à Universidade de Évora para
obtenção do Grau de Doutor em Ciências Agrárias
"Esta tese não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri".*



163 374

Orientador: Prof. Doutor Ângelo Manuel Melo Carvalho de Oliveira

12 9 06

2732

P. G.

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
2006**

À memória da minha Mãe

Resumo

No presente trabalho desenvolve-se um modelo de crescimento de árvore espacial para o sobreiro (*Quercus suber* L.) cujos povoamentos se localizam na região nordeste de Coruche.

Os dados foram obtidos em parcelas permanentes instaladas de acordo com um desenho experimental que visou obter informação de toda a gama de graus de coberto com peso equivalente. Este desenho visou a pesquisa dos efeitos da competição no processo crescimento primário e secundário dos sobreiros e permitiu a selecção dos melhores conjuntos de variáveis explanatórias para a construção do modelo.

O modelo de crescimento é constituído por sub-modelos de crescimento em altura total, área de projecção horizontal das copas e em área seccional (lenho e cortiça) tipo função potencial x função modificadora ajustado por regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Um modelo logístico de sobrevivência ajustado pelo método de máxima verosimilhança. Um modelo gerador de estrutura ajustado para os ingressos baseado num processo de Poisson modificado.

Palavras chave: Competição, índices de competição espaciais e não espaciais, sobreiro, simulação

Abstract

In the present work it is developed a spatial single tree growth model to cork oak (*Quercus suber* L.) whose stands are localized in north east o Coruche region.

The data set was collected in permanent plots installed according a experimental design that sampled trees in a large span of crown cover. This dataset permitted the analysis of competition effects in primary and secondary growth of cork oak trees and permitted to select the sets of explanatory variables used in the construction of the model.

The growth model is composed by sub models for growth in height, crown projection area, and sectional area of the stem at 1.3 m (wood and cork) based on the potential modifier approach adjusted by non-linear regression by the ordinary least square method. A survival sub model, based on logistic function was fitted by logistic regression with the maximum likelihood method. A structure generator adjusted for ingrowth was created based in ruled based Poisson process.

Key words: Competition, spatial and non-spatial competition indices, cork oak, simulation

Agradecimentos

- Ao Prof. Jan Dursky, Prof. Peter Biber, Prof. Heinz Utchig, Prof. Markus Khan e Prof. Martin Bachmann pelo inestimável apoio nas longas horas de programação, cálculo e modelação e pelas visitas às florestas Europa Central.
- Ao Peter Surovy por três anos de trabalho conjunto e pelo bom humor fleumático.
- Às entidades financiadoras que tornaram possível desenvolver o presente trabalho através do financiamento dos seguintes projectos: FAIR3-CT96-1438 “Field Assessment and modelling of cork production and quality” PAMAF 4018 “Qualidade da estação, influência na sobrevivência de plantas jovens de sobreiro e azinheira”; QLK5-CT-2000-01349 “Implementing Tree Growth Models as Forest Management Tools”; AGRO 8.1 768 “Regeneração natural e artificial do sobreiro e a gestão sustentada do montado”

Índice

1. Introdução geral.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objectivos.....	3
2. Revisão bibliográfica e tabela conceptual.....	4
2.1. O crescimento das árvores.....	4
2.2. As interacções entre árvores.....	7
2.2.1. Competição.....	7
2.2.2. Modelação da competição.....	12
2.3. Modelos de crescimento florestais.....	20
2.4. O sobreiro.....	24
2.4.1. Introdução.....	24
2.4.2. O sistema produtivo montado.....	24
2.4.3. Estrutura e densidade dos povoamentos de sobreiro.....	28
2.4.4. Modelos de previsão de peso da cortiça.....	31
2.4.5. Modelos de crescimento para o sobreiro.....	41
3. Material e métodos.....	43
3.1. Dispositivo experimental.....	43
3.1.1. Parcelas permanentes.....	43
3.1.1.1. Método de selecção das localizações das parcelas permanentes.....	43
3.1.1.2. Método de localização e instalação das parcelas permanentes.....	45
3.1.1.3. Informação recolhida nas parcelas permanentes.....	46
3.1.2. Tratamento das amostras de campo.....	49
3.2. Variáveis simples e transformadas utilizadas.....	52
3.2.1. Variáveis de árvore.....	52
3.2.2. Variáveis de povoamento.....	54
3.2.3. Estimadores centrados da média populacional para a amostragem estratificada. Expressão da variância.....	56
3.2.4. Estimadores para intervalos de confiança e dimensões óptimas de amostragem.....	56
3.3. Métodos de modelação do perfil da copa.....	59
3.3.1. Medições de campo.....	59
3.3.2. Digitalização do perfil da copa.....	59
3.3.3. Métodos utilizados na modelação do perfil.....	60

3.3.3.1. Método de Koop.....	62
3.3.3.2. Método digital.....	62
3.4. Caracterização da estrutura espacial das parcelas estudadas.....	64
3.5. Índices de competição utilizados.....	67
3.5.1. Índices de competição espaciais.....	67
3.5.2. Índices de competição não espaciais.....	70
3.6. Métodos de ajustamento e avaliação dos modelos de árvore.....	72
3.6.1. Regressão não linear.....	72
3.6.1.1 O Modelo.....	72
3.6.1.2. Estimativas dos mínimos quadrados.....	73
3.6.1.3. Metodologia para selecção do melhor ajustamento.....	75
3.6.1.4. Metodologia para avaliação dos sub modelos seleccionados.....	76
3.6.2. Regressão logística.....	78
3.7. Caracterização da área de estudo.....	83
3.7.1. Localização Geográfica.....	83
3.7.2. Caracterização climática.....	83
3.7.3. Fisiografia.....	84
3.7.4. Solos.....	86
4. Resultados e discussão.....	90
4.1. Caracterização dos dados.....	90
4.2. Apresentação e análise de resultados para a árvore individual.....	92
4.2.1. Resultados e análise de dados agrupados em classes de dimensão.....	92
4.2.2. Análise da matriz de correlações e pesquisa variáveis regressoras.....	99
4.3. Estatísticas para o povoamento.....	104
4.3.1. Resultados da amostragem aleatória estratificada.....	104
4.3.2. Análise da matriz de correlações para as variáveis e características do povoamento.....	108
4.3.3. Pesquisa de variáveis de qualificação da estação.....	110
4.3.4. Avaliação da estrutura espacial ao nível da parcela permanente.....	112
4.4. Modelação do perfil da copa.....	118
4.5. Modelação do crescimento.....	122
4.5.1. Selecção dos índices de competição espaciais e não espaciais para modelação.....	122
4.5.1.1. Índices de competição espaciais.....	122
4.5.1.2. Índices de competição não espaciais.....	125

4.5.2. Construção de modelos de crescimento radial	128
4.5.2.1. Modelação da função potencial.....	128
4.5.2.2. Modelação do modificador.....	132
4.5.3. Crescimento em altura e da copa.....	145
4.5.4. Equações de estado.....	147
4.6. Mortalidade	153
4.6.1. Impacto da mortalidade nos povoamentos de sobreiro estudados	153
4.6.2. Modelo de sobrevivência	156
4.7 Modelo global	160
5. CONCLUSÕES.....	162
Referências bibliográficas	166

Lista de Figuras

Figura 1 – Dimensões espaciais e temporais dos modelos de crescimento florestais.....	20
Figura 2- Mapa das 5 regiões com clima tipo mediterrânico a vermelho. As regiões a amarelo representam a estepe (adaptado de (Le Houe´rou, 1997))	25
Figura 3 – Densidades propostas para povoamentos equiénios dependentes do cap médio.....	29
Figura 4 – Mosaico resultante da fotointerpretação, com base na cobertura aerofotográfica de 1991.....	44
Figura 5 – Distribuição das parcelas de estudo na área de estudo	45
Figura 6 – Percentagens obtidas para as classes de inclinação (esquerda) e para as classes de orientação (direita) nas parcelas permanentes instaladas.....	45
Figura 7 – Esquema das medições efectuadas na árvore	47
Figura 8 – Formas de perfil com diferentes combinações de parâmetros E para a copa de sol e de sombra (adaptado de (Koop, 1989)).	61
Figura 9 – Esquema da árvore com os pontos aup a $\frac{3}{4}$ da altura da copa, adown a $\frac{1}{4}$ da altura da copa e b que corresponde ao maior diâmetro.....	62
Figura 10 – Esquema dos pontos utilizados na definição dos quatro quadrantes da copa.....	63
Figura 11 – Carta de altimetria (m) da zona de estudo	84
Figura 12 – Carta de declives.....	85
Figura 13 – Carta de exposições	86
Figura 14 – Carta de solos da Herdade da Machoqueira do Grou	87
Figura 15 – Percentagens dos tipos de solos identificados na área de estudo	88
Figura 16 – Caixa de bigodes para os dados altura total (h, m) profundidade da copa (cw, m) agrupados por classe de capi.....	93
Figura 17 – Caixa de bigodes para os dados área da projecção horizontal da copa (ac, m ²) agrupados por classe de capi.....	94
Figura 18 – Caixa de bigodes para os dados de altura do fuste (hf, m) agrupados por classe de capi.....	94
Figura 19 – Caixa de bigodes para os dados de intensidade de descortiçamento (idf, esquerda) e coeficiente de descortiçamento (cd, direita) agrupados por classe de capi.....	95
Figura 20 – Caixa de bigodes para os dados de superfície de descortiçamento (sg m ²) e longitude total de descortiçamento (hdt, cm) agrupados por classe de capi	96
Figura 21 Caixa de bigodes para os dados de peso de cortiça verde e anidra (pcv; pcs, m) agrupados por classe de capi.....	96

Figura 22 – Caixa de bigodes para os dados de produtividade de cortiça por unidade de superfície descortiçada verde e anidra (pcm_v^2 , pcm_s^2) por classe de capi	97
Figura 23 – Caixa de bigodes para os dados de espessura de cortiça a 1.3 m ($efl.3$, cm, à esquerda) espessura média de cortiça das pernadas de ordem 1 e 2 ($efp1m$, $efp2m$, cm, à direita) por classe de capi.....	98
Figura 24 – Caixa de bigodes para os dados de percentagem de humidade em verde ($H\%v$, à esquerda) e coeficiente de porosidade (cp , à direita) por classe de capi	98
Figura 25 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis para os dados de 1995	100
Figura 26 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis	101
Figura 27 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis	103
Figura 28 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis	111
Figura 29 – Dispersão de valores de PCMms por estrato	112
Figura 30 – Representação tridimensional da parcelas (esquerda) e gráficos das funções $g(r)$ e $kmm(r)$ (direita)	113
Figura 31 – Carta de copas da parcela 118 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $kmm(r)$ em função da distância r (direita).	114
Figura 32 – Carta de copas da parcela 120 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $kmm(r)$ em função da distância r (direita).	115
Figura 33 – Carta de copas da parcela 223 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $kmm(r)$ em função da distância r (direita).	115
Figura 34 – Dispersão de pontos de valores observados <i>versus</i> valores estimados para o quadrante 2 das árvores 103010 e 302024.	118
Figura 35 – Valores de superfície (cs , m^2) e volume da copa (cv , m^3) <i>versus</i> $capf$	120
Figura 36 – Valores de superfície (cs , m^2) e volume da copa (cv , m^3) <i>versus</i> $capf$	121
Figura 37 – Matriz de gráficos de dispersão pontos das variáveis seleccionadas para a fase de modelação.....	125
Figura 38 – Matriz de gráficos de dispersão de pontos das variáveis seleccionadas para a fase de modelação.....	127
Figura 39 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos ajustados.....	130

Figura 40 – Funções potenciais a01, a02, a11, a12 (icgtpot, m ²) e nuvem de valores de incremento em área seccional total (icgt, m ²) versus área seccional antes e após descortiçamento (abi, abf, m ²).....	131
Figura 41 – Funções potenciais a01, a11, b01, b11, c01, c11 (icgtpot, icgcpot, icglpot, m ²) versus área seccional antes descortiçamento (abi, m ²).....	132
Figura 42 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos espaciais ajustados	135
Figura 43 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos não espaciais ajustados	136
Figura 44 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos ajustados.....	139
Figura 45 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modificadores ensaiados.....	140
Figura 46 – Média e intervalos de confiança 95% para os valões medidos e estimados (modelos b01, b11, b02 e b12) do crescimento de cortiça em área seccional (icgc, icgce, m ²) para as classes de perímetro antes e após o descortiçamento (capi e capf, cm).....	142
Figura 47 – Estimação do crescimento em área seccional (icgt,) com o modelo a01 com e sem adição de uma componente de erro aleatória. Valores de icgt observados (◇), Valores de icgt estimados (■), Valores de icgt com adição de componente aleatória de erro (▲).....	144
Figura 48 – Relação gráfica entre os resíduos e os valores preditos para todas as combinações de modelos ajustados.	148
Figura 49 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modelos ajustados.....	149
Figura 50 – Relação gráfica entre os resíduos e os valores preditos para todas as combinações de modelos ajustados.	151
Figura 51 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modelos ajustados.....	152
Figura 52 – Diferença percentual de densidade (NT) entre as medições de 1995 e 2005	153
Figura 53 – Diferença percentual em área basal (ABT1) entre as medições de 1995 e 2005	154
Figura 54 – Diferença percentual em área de projecção horizontal da copa (ACT) entre as medições de 1995 e 2005	155
Figura 55 – Diferença percentual em peso anidro de cortiça (PCTs) entre dois descortiçamentos	156
Figura 56 – Fluxograma do modelo de simulação	160

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Número de árvores por classe de capi da estrutura proposta por Alvarez e Bentes (1956)	30
Tabela 2 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo	32
Tabela 3 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo	32
Tabela 4 – Coeficientes de alguns dos melhores modelos lineares obtidos pelo autor	34
Tabela 5 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo	34
Tabela 6 – Zona ecológica, modelos com $a_0=0$ e $a_0 \neq 0$ e estatística R^2	35
Tabela 7 – Equações de previsão do peso da cortiça segundo as classes de qualidade	36
Tabela 8 – Modelos ajustados para todas as áreas estudadas	37
Tabela 9 – Coeficientes de correlação entre peso total extraído por árvore (pc) e as possíveis variáveis regressoras e correspondentes valores médios, mínimos e máximos	37
Tabela 10 – Modelos lineares seleccionados, coeficientes, estatísticas e medidas de eficiência..	38
Tabela 11 – Coeficientes e estatísticas dos modelos multiplicativos transformados por logaritmização	39
Tabela 12 – Modelos ajustados para cada nível	39
Tabela 13 – Modelos ajustados para cada unidade de superfície	40
Tabela 14 – Tipo, modelos de descortiçamento para antes e após o descortiçamento	41
Tabela 15 – Área e percentagem correspondente dos estratos 1, 2 e 3 fotointerpretados	44
Tabela 16 – Código, expressão matemática, classificação e autor dos índices de competição utilizados	67
Tabela 17 – Identificação, fórmula e grupo dos algoritmos de selecção de competidores	69
Tabela 18 – Tipo e fórmula dos índices não espaciais calculados	71
Tabela 19 – Características gerais dos métodos numéricos disponíveis para minimizar $S^2(\theta)$..	74
Tabela 20 – Estatísticas utilizadas na avaliação da qualidade do ajustamento	75
Tabela 21 – Estrutura do processo de avaliação e respectivos testes	77
Tabela 22 – Estatísticas de avaliação dos modelos	78
Tabela 23 – Dados climáticos referentes à estação meteorológica de Salvaterra de Magos	83
Tabela 24 – Estatísticas descritivas e ano de medição dos dados dendrométricos de todas as árvores medidas	90
Tabela 25 – Estatísticas descritivas dos dados dendrométricos de todas as variáveis utilizadas na construção de modelos	91

Tabela 26 – Classes de perímetro antes do descortiçamento (capi) e após o descortiçamento (capf) e respectivos limites	92
Tabela 27 – Médias e suas estatísticas dos três estratos da amostragem estratificada.....	104
Tabela 28 – Resultados dos testes de homogeneidade de variâncias de Bartlett (M) e Levene, probabilidade e significâncias para os estratos 1, 2 e 3	105
Tabela 29 – Médias populacionais e suas estatísticas da amostragem estratificada.....	105
Tabela 30 – Padrão de normalidade para povoamentos de sobreiro segundo DGF (1989).....	106
Tabela 31 – Modelos lineares seleccionados, coeficientes, estatísticas e medidas de eficiência	116
Tabela 32 – Estatísticas descritivas para os valores de E para os quadrantes Q1 a Q4 média para a copa de luz (“up”) e de sombra (“down”)......	119
Tabela 33 – Matriz de correlações rho de Spearman e teste de significância bilateral (** Correlação significativa a $\alpha=0.01$; ** Correlação significativa a $\alpha=0.05$)	119
Tabela 34 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral (**correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$).....	123
Tabela 35 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral (**correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$).....	126
Tabela 36 – Modelos de crescimento potencial para icgt, icgc e icgl, parâmetros e estatísticas de validação para todas os grupos de regressores.....	129
Tabela 37 – Parâmetros estimados e estatísticas de validação para os modificadores espaciais testados para as combinações a01 ea11	133
Tabela 38 – Parâmetros estimados e estatísticas de validação para os modificadores não espaciais testados para as combinações a01 ea11	134
Tabela 39 – Modificadores de crescimento potencial para icgt, icgc e icgl, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores, n (a01, a02, b01, b02, c01, c02)=213, n(a11, a12, b11, b12, c11, c12)=165	137
Tabela 40 – Resultados de validação por classes de capi (modelos b01 e b11) e capf (modelos b02 e b12) para a espessura medida e estatísticas de validação.....	142
Tabela 41 – Resultados de validação por classes de capi (modelos b01 e b11) e capf (modelos b02 e b12) para a espessura medida e estatísticas de validação.....	143
Tabela 42 – Estatísticas descritivas dos dados de crescimento da copa e altura	145
Tabela 43 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral (**correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$).....	145

Tabela 44 – Modelos para as equações de estado para h, cw e dc, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores (h01, h02, dc01, dc02)=799, n(h11, h12, dc11, dc12)=816.....	147
Tabela 45 – Modelos para as equações de estado para h, cw e dc, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores n(01, 02)=599, n(11,12)=624.....	150
Tabela 46 – Resultados do teste Score graus de liberdade (gl) e teste de χ^2 para as variáveis seleccionadas.....	157
Tabela 47 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2	158
Tabela 48 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2	158
Tabela 49 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2	158
Tabela 50 – Valores preditos <i>versus</i> observados e percentagem de pares concordantes para os valores limite 0.75, 0.80 e 0.85.....	159

Simbologia

Árvore

Circunferência à altura do peito antes e após o descortiçamento (capi, capf, cm).

Circunferência das pernas antes e após o descortiçamento (cpi, cpf, cm).

Altura total (h, m)

Altura da base da copa (hbc, m)

Altura do fuste (hf, m).

Altura de descortiçamento no fuste (hdf, m).

Altura de descortiçamento nas pernas (hdp, m).

Ordem de pernas descortçadas (o).

Quatro raios perpendiculares da copa (r1, r2, r3, r4, m).

Coefficiente de Porosidade (Cp)

Profundidade da copa (cw, m)

Altura de descortiçamento total (hdt, m)

Peso de cortiça verde e seco total (pcv e pcs, kg)

Superfície geradora de cortiça de reprodução (sg, m²)

Peso de cortiça verde e seca por unidade de superfície descortçada (pcm_v², pcm_s², kg, m⁻²)

Área da projecção horizontal da copa calculada por soma de quartos de elipse (ac, m²)

Área basal antes e após o descortiçamento (gi e gf, m²)

Com os dados medidos no campo calcula-se a espessura da cortiça no fuste (efl.3, cm)

Espessura da cortiça nas pernas, média de todas as pernas descortçadas (ep)

Coefficiente de descortiçamento (cd)

Intensidade de descortiçamento (id)

Superfície descortiçamento estimada máxima e total (artmax, arttot, m²)

Solo

Profundidade do perfil (Pperf, cm)

Profundidade de expansão radicular (Praiz, cm)

Densidade aparente (Dap)

Fósforo (P, ppm)
Nitratos (N, ppm)
Potássio (K, ppm)
Capacidade de troca catiónica (CEC, meq 100g⁻¹)
Magnésio (Mg, meq)
Cálcio (Ca, meq)
Sódio (Na, meq)
Potássio (K, meq)
Soma de catiões (Scat, meq)

Povoamento

Densidade absoluta (NT, arv ha⁻¹)
Densidade absoluta de árvores exploradas (NE, arv ha⁻¹)
Densidade absoluta de árvores exploradas na copa (NP, arv ha⁻¹)
Área basal total antes e após o descortiçamento (ABTi, ABTf, m² ha⁻¹)
Área da projecção horizontal da copa total (ACT, , m² ha⁻¹)
Coeficiente de descortiçamento médio CDM
Intensidade de descortiçamento do povoamento (IDP)
Superfície geradora total (SGT, m² ha⁻¹)
Índice de árvores exploradas (ERN)
Índice de circunferência explorada (ERC)
Índice de pernadas exploradas (ERP)
Peso total verde, seco (PTv, PTs, kg ha⁻¹)
Peso verde e seco, por unidade de superfície descortificada médio (PCM²ms, PCM²ms, kg m²)

1. Introdução geral

1.1. Introdução

As quercíneas estão disseminadas por todo planeta e têm um papel ecológico relevante em muitos ecossistemas florestais onde estão presentes, especialmente nas fases finais das sucessões vegetais. Os seres humanos cedo se aperceberam do valor das quercíneas como fonte de alimento (quer directamente por utilização do fruto, quer indirectamente através da caça e silvopastorícia) e de madeira (para combustível e construção). Na bacia do mediterrâneo e península Ibérica, surgiu uma formação florestal artificial por acção do homem sobre as florestas naturais de quercíneas (sobreiro, azinheira, carvalho português, negral, alvarinho) designada por montado. Como sistema de produção, o montado é um sistema multifuncional sendo descritas muitas variantes que vão do agro-florestal ao agro-silvo-pastoril.

Em Portugal continental, as espécies exploradas em sistema de produção montado são o sobreiro (montado de sobro) e a azinheira (montado de azinho) que ocupam uma área de aproximadamente de 1.2 milhões hectares (750000 ha de montado de sobro e 450000 ha de montado de azinho).

O montado de sobro representa um enorme valor sócio-económico, ambiental e patrimonial para Portugal e pode ser o alicerce do desenvolvimento rural em parte importante do País. Como sistema de produção, o montado é um sistema agro-silvo-pastoril multifuncional onde podem ocorrer conflitos de interesses entre, e.g., a maximização da produção de cortiça, a maximização da pastorícia, manutenção de um coberto constante e uma estrutura sustentável com garantia de regeneração, minimização dos riscos de erosão, etc. Neste quadro, a que acresce a orientação do segundo pilar da PAC, que visa uma maior contribuição desta política para o incremento da multifuncionalidade, é necessário uma gestão eficaz que tenha em conta a conjuntura económica e as alterações nos mercados e que integre bens e serviços ambientais, por vezes designados pró-externalidades positivas, fundamentais para a sustentabilidade dos ecossistemas. Apesar da sua importância, tem-se assistido nas últimas décadas a uma degradação do sistema produtivo do montado de sobro. Este facto deve-se particularmente à baixa regeneração dos povoamentos e a fenómenos cíclicos de mortalidade. Assim, tem-se observado uma diminuição da densidade dos povoamentos que em algumas situações atinge proporções alarmantes, comprometendo a sua continuidade. Natividade (1950) refere os problemas de regeneração natural detectados, e alerta para as inevitáveis quebras de produção decorrentes. Mais tarde, (DGF, 1989), volta a alertar para a deficiente regeneração natural, baixas densidades

e deficiente estrutura dos povoamentos de sobreiro, factos que podem comprometer, a médio longo prazo, as produções nacionais de cortiça. Face ao panorama actual torna-se necessário regenerar os povoamentos de sobreiro. A regeneração natural é um processo complexo e o recrutamento de novos indivíduos é fortemente afectado pela mortalidade, mesmo em anos de boa produção de semente. Uma efectiva regeneração pode ocorrer apenas em anos muito favoráveis. Mesmo assim, o pastoreio e a intervenção no solo podem impedir o sucesso. Assim, apesar de um aumento de área de 10% em relação ao valor de 1995 (3º IFN – DGF), há muitos montados em que falta a regeneração. Isto é especialmente crítico nos casos onde se fez sentir a mortalidade precoce das árvores. Por outro lado, A perturbação causada pelos processos de regeneração artificial levam a uma “crise” em que se potenciam perdas de biodiversidade e erosão do solo.

No passado recente ocorreram mudanças na gestão dos montados principalmente com a crescente mecanização e redução na mão-de-obra que, combinadas com a instalação de novos povoamentos, criaram a necessidade de desenvolvimentos de instrumentos de apoio à decisão para otimizar a gestão dos povoamentos na óptica da sua sustentabilidade (Ribeiro *et al.* 2001a). Um sistema de apoio à decisão (SAD) é um conjunto flexível e interactivo de ferramentas informáticas que integram os pontos de vista do responsável pela decisão, com capacidades de processamento de informação para melhorar a qualidade da tomada da decisão (Pukkala e Miina, 1997; Rauscher, 1999; Valsta, 1992). Na sua base têm que estar adequados modelos de simulação da produção. Os modelos de árvore espaciais são constituídos por submodelos que estimam o crescimento e mortalidade das árvores dependentes da qualidade da estação e competição permitindo prever os efeitos de opções de gestão no desenvolvimento das árvores (Pretzsch, 1992, 1995; Vanclay, 1994).

O presente trabalho visa a criação de modelos de crescimento, de regeneração e mortalidade permitindo simular o crescimento dentro de um espectro alargado de competição e intensidade de descortiçamento e qualidade da estação. Trata-se de um trabalho exploratório que pretende aferir uma metodologia de análise intensiva do sistema produtivo do montado de sobreiro. Para tal, combinam-se diversas metodologias de recolha de informação, com o objectivo de obter uma caracterização minuciosa do sistema produtivo em estudo. A articulação e associação dessa informação, através de métodos estatísticos, permite obter uma visão integrada do sistema, tornando assim possível, avaliar a potencialidade produtiva das árvores e povoamento sobre diversas condições. Com esta metodologia, pretende-se não só identificar os problemas, mas também encontrar as soluções, dentro do próprio povoamento, através da identificação de estratos da população que se aproximem do modelo óptimo.

1.2. Objectivos

Considerando os problemas que afectam os povoamentos de sobreiro e tendo em conta a linha de investigação proposta, pretendeu-se atingir os seguintes objectivos:

- Identificar os principais parâmetros dendrométricos que definem a árvore do ponto de vista da sua produção, produtividade e intensidade de exploração;
- Qualificar a estação combinando abordagens fitocêntricas e geocêntricas.
- Observar a variação destes parâmetros, na árvore e no povoamento, de forma a poder avaliar o impacto da silvicultura praticada, quer na árvore individual, quer no povoamento;
- Avaliar a influência da competição intraespecífica e interespecífica no crescimento das árvores principalmente ao nível da produção e produtividade de cortiça.
- Criação de um modelo de crescimento que integre sub modelos para: (1) crescimento secundário (tronco e cortiça), (2) crescimento primário (altura total e área da projecção horizontal da copa), (3) mortalidade, (4) ingresso.

Em geral, foram atingidos os objectivos propostos, tendo-se verificado que a metodologia seguida permitiu caracterizar minuciosamente o sistema de produção possibilitando a construção de sub-modelos de crescimento, mortalidade e ingresso com uma precisão elevada obtida com conjuntos de dados independentes.

2. Revisão bibliográfica e tabela conceptual

A revisão bibliográfica inicia-se pelo estudo do crescimento das árvores seguindo-se a interacção entre árvores, modelação do crescimento e finalmente sobre o sobreiro e seu sistema de produção, que inclui características que o tornam numa aplicação específica da silvicultura.

2.1. O crescimento das árvores

A essência da vida de uma planta é dada pela sua capacidade contínua de crescimento. Os meristemas apicais (presentes nos gomos e nas pontas das raízes) permanecem activos ao longo da vida das plantas produzindo novos ramos, folhas, flores e raízes. Os meristemas secundários garantem a expansão contínua do sistema condutor e manutenção das camadas exteriores da casca (Larcher, 1995). O crescimento das árvores resulta da acumulação de carbono ao longo do tempo nos diversos órgãos que as compõem. A fotossíntese é o único processo que fornece a energia química necessária a esta dinâmica (Landsberg e Gower, 1997). O crescimento e desenvolvimento das plantas são regulados por factores endógenos e externos. Os factores endógenos estão activos tanto ao nível celular e molecular, afectando os processos metabólicos, quanto ao nível de todo o organismo coordenando-o através das fito-hormonas. Os factores externos como a intensidade, duração e distribuição espectral da radiação, temperatura, gravidade e outras forças naturais como sejam o vento, precipitação assim como influências químicas, afectam o crescimento e o desenvolvimento das plantas de várias formas: por iniciação e ou finalização dos processos de desenvolvimento afectando a regulação temporal; por influenciar velocidade e extensão do crescimento e por afectar a morfogénese e os tropismos (Landsberg e Gower, 1997).

A produção primária líquida (PPL) é definida pela diferença entre a produção primária bruta (PPB) e a respiração autotrófica (RA). A PPL é quantidade de carbono acumulado por uma árvore num determinado intervalo de tempo. Nas árvores, os padrões de crescimento são resultado da alocação diferencial de carbono pelos diferentes órgãos. Estes padrões de alocação diferencial dos produtos da fotossíntese são responsáveis pelo crescimento, capacidade competitiva e respostas específicas a restrições estacionais (Landsberg e Gower, 1997). Os fotoassimilados de uma árvore são alocados seguindo uma ordem de prioridades e embora não estejam ainda esclarecidos os mecanismos, em geral assume-se a seguinte hierarquia embora sejam consideradas sobreposições (Landsberg e Gower, 1997; Larcher, 1995; Oliver e Larson, 1996):

A primeira prioridade para os fotoassimilados vai para a respiração de manutenção dos tecidos vivos. À medida que a árvore cresce em altura, diâmetro, número de ramos e raízes maiores são os custos com a respiração reduzindo-se a PPL;

A produção de raízes finas e folhas constituem a segunda prioridade. Neste processo não são só alocados carboidratos nas folhas e nas raízes como também são incrementados os custos com a respiração. As raízes finas têm uma prioridade ligeiramente inferior à das folhas;

A terceira prioridade vai para a produção de flores e frutos. O crescimento em altura e diâmetro em geral abranda durante os anos de produção muito activa de frutos o mesmo podendo também acontecer com a produção de folhas.

Uma prioridade mais baixa vai para o crescimento primário (crescimento dos ramos laterais e terminais e extensão das raízes). Os tecidos de reacção como sejam o lenho de tensão ou compressão e tecido cicatrizante podem obter uma prioridade superior ao crescimento em altura;

Por fim, as restantes quantidades de fotoassimilados (quando disponíveis) são investidas no crescimento secundário (diâmetro dos troncos ramos e raízes) e no sistema imunitário (resinas e compostos químicos).

Nas árvores as fontes (*sources*) de carboidratos são as folhas e os restantes tecidos vivos tecidos consumidores os reservatórios (*sink*). As taxas de crescimento estão muito relacionadas com as dimensões relativas da copa em relação às dimensões da árvore pois esta indica a proporção das fontes em relação aos reservatórios (Jobling e Pearce, 1977; Krajicek e Brinkman, 1957; Krajicek *et al.*, 1961; Mitchell, 1968; Oliver e Larson, 1996). As estratégias de alocação de carboidratos dependem da qualidade da estação. Assim, em estações com solos pobres ou em climas com acentuado deficit hídrico, são alocados mais fotoassimilados nas raízes finas do que no tronco. Esta estratégia tem por objectivo aumentar a superfície de absorção de nutrientes e água no sentido de compensar as deficiências desses factores de crescimento (Oliver e Larson, 1996; Stiell, 1970; Wu *et al.*, 1985).

Magnoler e Cambini (1970) testaram o efeito da desfoliação na no crescimento de sobreiros na Sardenha tendo observado que após as desfoliações (de 50% e 100%) se regenerava uma nova camada de folhas entre os 30-40 dias seguintes ao tratamento. No entanto, o peso seco da nova assentada de folhas era inferior à da inicial. A resposta imediata à desfoliação total consistiu numa redução do crescimento em altura (63%) e em na largura do anel de lenho (45%). Em relação à remoção de 50% das folhas, as reduções do crescimento em altura e largura do anel de lenho foram respectivamente de 19% e 26%. Em relação ao crescimento de cortiça, este foi reduzido em 36% e 20% respectivamente para os tratamentos de 100% e 50% de folhas

removidas. No ano subsequente, não se observaram diferenças significativas entre as árvores controlo e as desfoliadas em relação ao crescimento de cortiça no entanto as reduções observadas no crescimento do lenho correspondem a uma superfície geradora de cortiça inferior, assim as perdas em produção de cortiça foram de 60% no primeiro ano após a desfoliação de 100% e 32% no segundo ano. Para o tratamento correspondente à extracção de 50% das folhas estas perdas em produção de cortiça foram de 42% no primeiro ano e 10% no segundo ano após a aplicação do tratamento.

2.2. As interações entre árvores

2.2.1. Competição

A actividade de qualquer organismo modifica o ambiente onde vive podendo observar-se cinco categorias de interações entre indivíduos: (1) competição, (2) predação, (3) parasitismo, (4) mutualismo e (5) saprofitismo. A competição tem sido considerada uma das interações mais importantes para a dinâmica e estrutura das populações vegetais (Goldberg, 1990; Oliver e Larson, 1996). A competição é uma interação em que um organismo consome um recurso que seria utilizado por outro. Esta interação pode ser interespecífica (quando se processa entre indivíduos de espécies diferentes) ou intraespecífica (quando ocorre entre indivíduos da mesma espécie). As populações de indivíduos da mesma espécie apresentam necessidades de recursos muito similares para a sua sobrevivência, crescimento e reprodução. A competição intraespecífica, inicia-se assim que a necessidade combinada de recursos da população excede a capacidade de abastecimento da estação. A competição intraespecífica em povoamentos puros equiênicos tem sido conceptualizada como estando continuamente representada entre um processo de depredação de recursos e um processo de utilização dos mesmos pela ocupação antecipada do espaço de crescimento (Brand e Magnussen, 1988; Cannell e Rothery, 1984; Ford, 1975; Newton e Cole, 1991; Weiner, 1990). Este processo conduz a uma redução da sobrevivência, crescimento e reprodução de, pelo menos, algum dos indivíduos da população (Begon et al., 1996).

Ford *et al.* (1992) e Vanclay e Skovsgaard (1997) definiram o processo de competição através de 5 axiomas: (1) As plantas modificam o seu ambiente à medida que crescem, reduzindo os recursos disponíveis para as outras plantas (competição); (2) O mecanismo primário da competição é a iteração espacial; (3) A morte das plantas devido à competição é uma reacção que ocorre após a redução do crescimento motivada pela falta de recursos básicos de sobrevivência; (4) As plantas ajustam-se às mudanças ambientais, respondendo assim à competição e alterando a sua natureza;

Existem diferenças no processo de competição consoante a espécie.

Já segundo Perry (1985) a natureza das interações entre os indivíduos podia ser descrita de três formas: (1) apesar da influência negativa da densidade no crescimento dos indivíduos de uma população, densidades muito baixas podem não utilizar toda a potencialidade produtiva da estação. Assim, para determinada combinação de espécies e de estação tem de se procurar a densidade da população óptima; (2) a competição levou ao desenvolvimento de adaptações relacionadas com a alocação diferencial de recursos entre indivíduos e espécies. A compreensão dessas particularidades específicas, conduzirá a um melhor aproveitamento das estações; (3) as

produções em povoamentos constituídos por indivíduos geneticamente heterogêneos são em geral mais protegidas contra pragas, doenças e alterações climáticas quando comparadas com populações geneticamente homogêneas da mesma espécie. A competição influencia não só o crescimento individual como também a distribuição desse crescimento no indivíduo. O impacto da competição altera a quantidade de carbono fixada por unidade de área foliar e as dimensões e estrutura da copa. Em geral é bem conhecido o decréscimo da taxa de assimilação líquida com o aumento do índice de área foliar. Assim, a acumulação de tecidos fotossintéticos em árvores dominantes devido ao aumento das dimensões da copa e fuste conduzem a um aumento das taxas de respiração levando a uma menor eficiência produtiva. Outro impacto da competição dá-se na alocação de carboidratos e conseqüentemente na forma da árvore. A composição química da árvore também pode ser alterada pela competição, por exemplo a redução da taxa fotossintética pode levar a uma redução da alocação de fotossintatos para aqueles compostos químicos mais exigentes em energia tais como taninos e terpenos (usados na defesa).

Segundo Ford (1976) o termo competição implica que algumas plantas foram bem sucedidas e tornam-se maiores enquanto que outras permanecem pequenas. Assmann (1970) considerou que o desenvolvimento das árvores num povoamento produz uma seleção de genótipos superiores ao contrário de Stern (1969) que considerou que a variabilidade genética era conservada e apenas se obtinham povoamentos homogêneos decorrentes da dinâmica de desenvolvimento. Para Kimmins (1997) a competição interespecífica ocorre quando duas espécies diferentes exploram o mesmo recurso limitado. Não existe competição quando as necessidades de ambas as espécies por um recurso são satisfeitas. A competição também pode ocorrer em situações de abundância de recursos quando as plantas interferem umas com as outras no sentido de usar esses recursos.

Os processos competitivos podem ser simétricos/assimétricos e unilaterais/bilaterais. No processo de competição bilateral a partilha de recursos é feita por todos os indivíduos da população enquanto que na unilateral apenas se realiza entre indivíduos de maiores dimensões. A competição simétrica é usualmente definida como sendo a forma de como as plantas obtêm recursos de crescimento proporcionalmente à sua dimensão. A competição assimétrica acontece quando os indivíduos de maiores dimensões têm um efeito competitivo desproporcionado no consumo de recursos em relação a árvores de menores dimensões (Brand e Magnussen, 1988; Lundqvist, 1994; Perry, 1985; Soares, 1999). Weiner (1990) refere que modelo de competição não é um simples processo simétrico ou assimétrico mas sim uma combinação simetria assimetria. O processo de competição assimétrica ocorre acima da linha do solo pela luz. Harper

(1977) afirmou que o efeito competitivo é proporcional à dimensão e inversamente proporcional à distância ao competidor.

A competição assimétrica é em geral resultado da competição para a luz enquanto que a competição simétrica é resultado da partilha de recursos do solo (água, nutrientes, espaço de crescimento) (Lundqvist, 1994). Stiel (1970) referiu que a competição acima e abaixo do nível do solo ocorrem em zonas de dimensões distintas: enquanto que a competição pela luz se confina ao espaço ocupado pelas copas individuais a competição por recursos do solo (água e nutrientes) é difusa e de dimensão desconhecida, em geral estendendo-se bem para além da área de projecção da copa. O carácter difuso da competição por recursos do solo acentua-se nos climas semi-áridos onde o sistema radicular se pode estender muito para além da projecção horizontal da copa (Wu et al., 1985). Segundo Newton e Cole (1991), a alocação de fotoassimilados tem de ser suficiente para que possa haver extensão das raízes e do tronco no sentido das plantas aproveitarem eficientemente a água, luz e nutrientes necessários para a sustentação estrutural. Quando em situações competitivas moderadas e severas a árvore necessita de alongar e de expandir o seu sistema radicular para evitar futuras deficiências fotossintéticas, de água e nutrientes. O volume de raízes apresentou uma correlação elevada (72%) com a matéria seca da parte aérea de plantas de 5 anos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *Menziesii* em estações escavadas com explosivos usadas para analisar os efeitos da competição no desenvolvimento da biomassa radicular. O rácio entre a biomassa da parte aérea/biomassa da parte radicular foi constante para cada tipo de competição estudado. O rácio ramos/raízes foi o que mais se modificou com a competição sendo em média de 4:1 mas em árvores suprimidas apresentou valores decrescentes até ao mínimo antes da morte 1:1. Para Reed (1980), o crescimento das plantas é um processo fisiológico controlado pelos níveis de luz, temperatura, humidade, nutrientes e stress mecânico. A luz afecta não só a taxa fotossintética como também a actividade hormonal e a temperatura da folha. Todos os processos bioquímicos são influenciados directa ou indirectamente pela temperatura, estado nutritivo e deficit em água. Um dos efeitos do deficit hídrico no crescimento resulta de fecho dos estomas que reduz a taxa fotossintética e consequentemente a produtividade.

Para Lundqvist (1994) a competição simétrica (bilateral) é usualmente definida como sendo a forma como as plantas obtêm recursos de crescimento proporcionalmente à sua dimensão. A competição assimétrica (unilateral, luta pelos recursos) acontece quando os indivíduos de maiores dimensões têm um efeito competitivo desproporcionado no consumo de recursos em relação a árvores de menores dimensões. A competição assimétrica é em geral resultado da competição para a luz enquanto que a competição simétrica é resultado da partilha

de recursos do solo (água, nutrientes, espaço de crescimento). Quando os povoamentos se aproximam do fechamento do coberto inicia-se a competição assimétrica e o auto-desbaste inicia-se. Quando a mortalidade não se concentra nas árvores suprimidas mas é distribuída de forma igual pelas árvores de todas as classes de diâmetro o fenómeno de competição é simétrico. Weiner (1990) refere que um incremento linear com a dimensão indica que se está em presença de competição simétrica. Para Hara (1992) o modelo de competição não é um simples processo simétrico ou assimétrico mas sim uma combinação simetria assimetria. Newton e Jolliffe (1998) verificaram existir uma relação assimétrica direccional entre as árvores alvo e os seus competidores indicando a ocorrência de competição assimétrica. As respostas à competição direccional de vizinhos de maiores dimensões consistiram na diminuição da produção de ramos e modificações na morfologia foliar. A estratégia das árvores da espécie *Picea mariana* (Mill) BSP consistiu na diminuição da alocação de recursos nas componentes não fotossintéticas, manutenção do aparelho fotossintético através de ajustamentos na morfologia da folhagem e conservação de nutrientes através da sua retenção nas folhas.

Os resultados experimentais têm mostrado que a competição entre plantas em comunidades vegetais naturais embora seja comum não está sempre presente. Assim, torna-se necessário definir metodologias que permitam diferenciar as respostas competitivas das provocadas por outras interações. Neste contexto Connell (1990) refere que a competição pode ser devida: 1- a interferência directa que envolve contacto entre indivíduos ou através de contacto físico ou através da exsudação de substâncias tóxicas; 2- interferência indirecta que se dá por partilha de recursos limitados (luz, água, nutrientes); 3- competição aparente que acontece devido à interacção com inimigos naturais; 4- competição aparente produzida por interações positivas entre espécies. Estes tipos de combinações podem dificultar a interpretação dos efeitos reais da competição. Para Goldberg (1990) as duas principais formas de competição entre as plantas são a competição por recursos (do solo por um lado e luz por outro) e a competição por interferência (principalmente alelopática). Goldberg (1990) considera que os efeitos e respostas competitivas condicionam as interações entre plantas de uma comunidade. Os estudos de competição devem incidir a dois níveis: 1º- nos efeitos da competição nos níveis dos recursos definidos pelas taxas de variação dos factores de crescimento (nutrientes, água, luz) e 2º- nas respostas das plantas às taxas de variação de recursos através de alterações nas taxas de reprodução, crescimento e sobrevivência.

A influência da competição no crescimento das plantas tem sido intensamente estudado mas como referiu Ford (1975), a modelação da competição é difícil devido à falta de prova da relação entre o crescimento de alguns indivíduos com a redução de recursos e a redução da taxa

de crescimentos de outros. Em geral em povoamentos puros equiênios a distribuição de diâmetros torna-se bimodal à medida que o povoamento se desenvolve. As taxas de crescimento são determinadas por mecanismos de competição que por sua vez são fortemente influenciados pela estrutura e desenvolvimento do coberto. Cannell e Rothery (1984) mostraram a influência do estado competitivo na variação da taxa relativa de crescimento em altura (TRCh) em plantas de 7 anos de *Pinus stichensis* onde 25% da variação era explicada. Em povoamentos de 5 anos de *Pinus contorta* o estado competitivo explicava cerca de 58% da variação. A competição observada era unilateral e estava confinada aos vizinhos de 1ª ordem. Larocque e Marshall (1993) estudaram o desenvolvimento de povoamentos de *Pinus resinosa* Ait. instalados com diferentes espaçamentos recorrendo às taxas absolutas de crescimento. A taxa absoluta de crescimento apresentava correlações positivas com as dimensões das árvores enquanto que a taxa relativa de crescimento decresce com a dimensão em situações de competição ausente e cresce com a dimensão em situações de competição severa. Este facto indica que na ausência de competição, as árvores de menores dimensões são mais eficientes na produção de biomassa do que as árvores grandes. Quando se instalam fenómenos competitivos as árvores pequenas são rapidamente suprimidas perdendo eficiência de crescimento. A taxa relativa de crescimento é uma medida muito adequada para expressar o estado competitivo em relação à taxa absoluta de crescimento. A taxa relativa de crescimento representa o incremento em biomassa ajustado pela biomassa acumulada é portanto o incremento por unidade de dimensão da árvore. É uma medida da capacidade produtiva da planta que é independente de processos secundários tais como: defesa, reprodução e manutenção. A TRC permite comparar plantas que diferem em dimensões iniciais, idade ou condições ambientais. Perry (1985) sugeriu que em povoamentos de *Pseudotsuga menziesii* (mirb) Franco a TRC decresce com a dimensão se não houver competição, é constante com a dimensão no início do processo competitivo e cresce com a dimensão em situações de competição severa.

$$TAC = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} \quad \text{e} \quad TRC = \frac{\ln(d_2) - \ln(d_1)}{t_2 - t_1}.$$

Larocque e Marshall (1994a, b) verificaram que o rácio entre o diâmetro da copa e a altura da copa decrescia com o diâmetro a 1.3 m, na ausência de competição, e aumentava sob condições severas de competição. Esta medida representa a capacidade da árvore em interceptar a luz. A medidas superfície da copa/volume da copa e biomassa foliar/volume da copa foram sempre negativamente correlacionadas com o d indicando que as árvores grandes usam o seu espaço de crescimento aéreo de forma menos eficiente do que as árvores de menores dimensões, em todos os estágios de crescimento. Larocque e Marshall (1994a) examinaram as medidas de

eficiência similares ao conceito de TRC: incremento em $d/\text{diâmetro de copa}$; incremento em $d/\text{área de copa}$; incremento em $d/\text{biomassa foliar}$. Estas medidas decrescem com a dimensão se não houver competição, são constantes com a dimensão no início do processo competitivo e crescem com a dimensão em situações de competição severa.

Embora diversos autores tenham diferenciado entre competição acima e abaixo do nível do solo o que é facto é que estes dois processos estão integrados já que as árvores possuem estratégias adaptativas no sentido de se ajustarem não só à presença de vizinhos como também aos factores causadores de stress. No clima mediterrânico com uma estação marcada de deficit hídrico e em sistemas de exploração silvo-pastoris a competição deve-se principalmente pela partilha de recursos do solo escassos como sejam a disponibilidade hídrica e nutrientes. Assim, nestes sistemas pode-se admitir a competição como bilateral e simétrica considerando que a captação dos nutrientes é proporcional à dimensão do sistema radicular. No entanto no caso dos sobreiros, dada a sua marcada intolerância ao ensombramento na fase adulta é de esperar que em povoamentos mais densos o processo de competição seja bilateral mas combinando competição assimétrica e simétrica. O carácter difuso deste tipo de competição (por recursos do solo) associado à grande variabilidade espacial dos solos tornam difícil a quantificação dos efeitos reais da competição por poderem estar confundidos com impactos negativos resultantes de deficiências localizadas ao nível dos recursos do solo.

2.2.2. Modelação da competição

Nos trabalhos florestais têm sido desenvolvidos modelos matemáticos com o objectivo de quantificar a competição designados por índices de competição. Estes índices podem conter informação espacial e ser designados índices de competição espaciais (ou dependentes da distância) ou, caso contrário, designam-se por índices de competição não espaciais (ou independentes da distância).

Os índices de competição espaciais podem ser divididos em três grupos (Biging e Dobbertin, 1992; Pretzsch, 1992; Tomé e Burkhart, 1989): (1) razão de dimensões, (2) sobreposição de zonas de influência, (3) área potencialmente disponível. Vanclay e Skovsgaard (1997) sugeriram outra classificação: (1) Zona de influência competitiva. Sobreposição da área de crescimento; (2) Área potencialmente disponível; (3) Razão de dimensões e distância; (4) luz incidente e intersecção da luz.

Alemdag (1978) desenvolveu um índice de competição APD (área potencialmente disponível) num estudo de crescimento em diâmetro de *Picea glauca* (Moench) Voss. O índice foi desenvolvido em duas etapas: 1- definição do critério de selecção de competidores e do conceito de zona de influência; 2- formulação do índice de competição exercida sobre a árvore pelos seus competidores. O autor incluiu um novo conceito ao considerar o número de competidores de forma a obter uma medida de densidade à volta da árvore alvo $I_c = \frac{n}{k}$ onde n é o número de competidores e k o espaço de crescimento. Com base neste conceito construiu dois índices que diferem na construção da área de crescimento potencialmente disponível: poligonal no PAGAP (“Proportionally Available Growing Space Area of Polygon”) e circular no PAGAS (“Proportionally Available Growing Space Area of Sector”). O autor concluiu que os índices de competição dependentes da distância nem sempre se superiorizaram ao diâmetro inicial na estimação do incremento em diâmetro facto este que o autor justifica pela homogeneidade do povoamento em estudo (plantação) onde não foi possível estudar uma gama ampla de combinações competitivas. A utilização de zonas de influência de maiores dimensões conduziu a resultados superiores o que levou o autor a concluir à semelhança de Daniels (1976) que a competição se dava muito para além dos limites da área de projecção das copas das árvores. O melhor índice estudado foi o PAGAS. Bella (1971) desenvolveu um modelo de competição de sobreposição de zonas de influência que consiste em duas componentes básicas: (1) a zona de influência de cada árvore é função do diâmetro; (2) Natureza e dimensão da interacção, que depende da distância entre competidores e dimensão relativa entre árvore alvo e competidor. Este tipo de índice avalia a competição com base na área da sobreposição das zonas de influência de cada árvore. A zona de influência é calculada com base na área de projecção da copa de uma árvore isolada com o mesmo diâmetro. Nos estudos de competição/crescimento é difícil separar os efeitos da competição de outros factores não controlados tais como: história da árvore, características genéticas e variações micro-estacionais. O efeito cumulativo da competição passada e outros factores está expresso no dap da árvore num determinado momento justificando a sua capacidade preditiva do crescimento. O autor observou que a competição parecia influenciar muito mais as árvores de pequenas dimensões do que as árvores de maiores dimensões. O autor verificou que as interacções competitivas se faziam sentir para além da zona de influência calculada com na copa da árvore isolada com o mesmo diâmetro, facto este que sugere que a competição pelos recursos do solo é muito importante para explicar o crescimento. Hegyi (1974) introduziu uma forma simples mas eficiente de calcular o índice de competição somando os rácios entre os diâmetros do competidor e da árvore alvo dividindo pela distância entre árvores. Usou no seu estudo um raio de busca de competidores fixo que mais tarde veio a

ser substituído com sucesso por Daniels (1976) que substituiu o raio de busca fixo por um ângulo de busca.

Para Biging e Dobbertin (1995), os índices de competição independentes da distância são aqueles que não incorporam informação espacial das posições das árvores. Os índices de competição independentes da distância com inclusão de parâmetros de copa (superfície e volume) foram os que obtiveram melhores performances quando comparadas com as medidas de densidade (área basal, densidade, factor de competição de copas e índice de densidade de Reineke), área basal das árvores maiores que a árvore alvo de Wykoff et al. (1982) e índices dependentes da distância de Biging e Dobbertin (1992). A superioridade deste tipo de índices ficou-se a dever segundo o autor, ao facto de se terem usado para o índice independente da distância todas as árvores da parcela enquanto que para o índice dependente da distância o algoritmo seleccionado não incluía todas as árvores da parcela subestimando o verdadeiro efeito da competição (considerando que esta pode ser por recursos do solo e por isso se estender para além dos limites seleccionados pelo algoritmo seleccionador). O autor mostrou a superioridade dos índices que usam os parâmetros da copa na explicação dos crescimentos corroborando experimentalmente as constatações de Assmann (1970) em relação à importância da superfície da copa no crescimento das árvores. A dimensão da parcela pode ter estado na base da fraca performance do índice de padrão espacial de Clark e Evans.

Segundo Brand (1986) a competição tem sido definida como a tendência de duas plantas para usarem o mesmo quanta de luz, ião do nutriente mineral, molécula de água ou volume de espaço. Muitos estudos indicam ser a luz o factor dominante para o vigor e crescimento das árvores (Eissenstat e Mitchell, 1983; Magnussen, 1983). A disponibilidade de água e nutrientes actuam mais fortemente no processo de crescimento quando a intensidade de luz é aceitável. O autor propôs um índice de competição baseado na interceptção da luz nas copas. A taxa relativa de crescimento é comumente usada em estudos de crescimento na agricultura no entanto, nas árvores, apresenta algumas limitações devido à acumulação de material não produtivo, que causa um declínio no crescimento. O autor propôs assim o uso de uma medida relativa de crescimento ($\text{trc} = x_i/x_{i-1}$). O autor verificou que o vigor das árvores (*Pseudotsuga menziesii*) era função da idade e do índice de competição. As medidas do vigor baseadas em medições da folhagem estavam mais relacionadas com o índice de competição do que com a g ou h .

Existem diversas abordagens para a modelação do crescimento, assim Smith et al. (1997) mencionaram que as raízes de uma árvore, ocupam o espaço de crescimento a uma velocidade muito maior do que os ramos. Em estações com baixa taxa de retenção de água e/ou precipitações baixas, as raízes desempenham um papel fundamental na competição por recursos.

Consequentemente nestas condições, a densidade pontual e a dimensão da árvore são mais eficientes na descrição do processo de competição do que medidas complicadas da copa. Para (Burton *et al.*, 1993) a competição é usualmente um factor limitante do crescimento que no entanto, não é determinante para o processo. Assim, qualquer medição da competição não é só por si suficiente para prever o crescimento individual num povoamento. As diferenças micro-estacionais e as respostas auto-ecológicas das espécies do povoamento resultam numa grande variação na dimensão da área competitiva e sugerem, a necessidade de distinguir diferentes pesos de competição para combinações distintas de estação e espécie. Diferenças da estação e do clima, quando associadas às diferenças entre espécies na alocação de fotoassimilados, acima e abaixo do nível do solo, alteram a intensidade da competição de ano para ano. A dinâmica do sistema não pode ser representada por uma medida no espaço e no tempo. Uma das limitações importantes de qualquer índice de competição é a de ser estático. Representa o estado dinâmico do sistema num ponto no tempo. A avaliação instantânea não pode determinar inequivocamente a importância da interferência:

A competição pode ser intensa sem ser importante: apenas as árvores que estão sob competição forte são afectadas no seu crescimento, todas as outras são limitadas primariamente por outros factores como sejam os microestacionais, a presença de herbívoros, etc. Assim, estas árvores são insensíveis à distinção entre níveis de competição intraespecífica baixos e médios.

A área de competição não é de dimensão constante: A interacção e alocação no solo é mais acentuada em estações com solos esqueléticos (ou mediterrânicos) onde a disponibilidade de água e nutrientes limitam o crescimento das árvores como mostrou (Keyes e Grier, 1981) em povoamento de *Pseudotsuga menziesii* onde em solos férteis a produção de biomassa radicular foi de 4.1 t ha⁻¹ e em solos pobres foi cerca do dobro (8.1 t ha⁻¹). Paradoxalmente, é nestas situações que os índices de competição, baseados apenas em atributos aéreos, têm melhores performances. Este facto pode explicar-se pela proporcionalidade entre a parte aérea e a parte subterrânea das árvores.

Para (Doyle, 1990) o termo “stress” (natural ou artificial) denota uma inibição do processo de crescimento de forma que esta se processe aquém do crescimento potencial, isto é, sem stress. A competição também pode ter um papel importante influenciando o grau de resposta das árvores a outros factores de stress. Os modelos e análises das respostas dos povoamentos e das árvores ao stress causado pela influência humana não podem ignorar os efeitos das várias situações competitivas. Uma vez que os modelos de competição também utilizam diferenças de dimensões para pesar a influência de um competidor, esta abordagem recai sobre a competição

em vez de observar as características espaciais e temporais das respostas das espécies e do desenvolvimento dos povoamentos.

(Daniels *et al.*, 1986) testaram 5 índices de competição dependentes e independentes da distância com correlações simples com os crescimentos de *Pinus Taeda* L. E correlações múltiplas com os crescimentos em presença de outros atributos da árvore. A família dos índices dependentes da distância incluiu: índices de sobreposição de áreas de influência; índices de razões de dimensões pesados para a distância entre competidores; densidade pontual de (Spurr, 1962) e (Brown, 1965) e área potencialmente disponível. A família dos índices independentes da distância incluiu medições relativas das dimensões desde a individual à média das dimensões. O rácio da copa também foi incluído no estudo. Todos os índices apresentaram correlações significativas com o crescimento tendo nas correlações simples, sido observada a superioridade da densidade pontual de Spurr e APA. Os melhores índices dependentes da distância não apresentaram vantagens significativas em relação aos independentes da distância nas correlações múltiplas. Entre os índices dependentes da distância destacou-se o APA que o autor sugere ser utilizado sempre que se tenha uma base de dados completa. (Gourlet-Fleury, 1998) utilizou quatro índices de competição simples: dois estáticos como sejam número de árvores com diâmetro superior à árvore alvo e área basal correspondente; e dois dinâmicos correspondentes às diferenças dos índices anteriores durante o intervalo de medição. As áreas de influência foram fixadas com círculos concêntricos centrados na árvore alvo cujo raio foi testado segundo 2 métodos de expansão (amplitude constante e superfície constante). A autora verificou que a eficiência do melhor índice não explicava mais de 21% da variância do crescimento anual médio quando todas as espécies foram avaliadas em conjunto. Os melhores resultados obtiveram-se com os índices unilaterais para as classes de menores diâmetros e raios de pesquisa de competidores superiores a 20m. A autora referiu que fenómenos de comensalismo podem estar na base dos resultados obtidos.

Para (Lorimer, 1983) a maior limitação dos índices de competição dependentes da distância resultam do facto do seu valor numérico decrescer num determinado povoamento com a idade mesmo quando a ocupação permanece constante. Testes feitos a índices de competição aplicados a povoamentos equienios de folhosas indicam que a correlação entre a competição e o crescimento é máxima numa gama larga de raios de competição indicando que a inclusão das distâncias entre árvores não acrescentam grande valor aos índices, mesmo tendo em conta a variabilidade espacial a pequena escala. Os melhores resultados obtêm-se quando os índices incorporam nos seus cálculos apenas as árvores da classe de copa igual ou superior à árvore alvo. Em povoamentos onde grandes clareiras ocorram em intervalos mais ou menos regulares a

introdução da distância nos índices de competição pode ser benéfica para estimar os crescimentos.

Segundo Martin e Ek (1984) a introdução de uma medida de competição no modelo de crescimento em diâmetro trouxe um acréscimo de precisão. No entanto, pouca diferença se observou na precisão com a introdução de IC's dependentes ou independentes da distância. O melhor ajustamento obteve-se com a medida de competição independente da distância, área basal, este facto, que é provavelmente devido ao carácter uniforme da distribuição espacial das árvores nas plantações de *Pinus resinosa* Ait. Em povoamentos naturais a distribuição espacial e estrutura aconselham ao uso de modelos de crescimento semi-empíricos e medidas de competição dependentes da distância.

Monserud e Sterba (1996) observaram que os índices de competição independentes da distância foram superiores aos dependentes da distância. A área basal das árvores com dimensões superiores à árvore alvo, foi o que obteve a melhor performance nos modelos de crescimento em área basal de povoamentos equiênicos e inequiênicos com várias composições das seguintes espécies: *Picea abies*, *Abies alba*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *P. cembra*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. cerris*. Embora os factores topográficos apenas explicarem 2-6% da variação em crescimento em área basal estes foram significativos e necessários na análise de estimativas particulares.

Mugasha (1989) testou sete índices de competição dependentes e independentes da distância para prever o crescimento em volume de árvores com 8 anos de *Pinus banksiana* Lamb. E *Populus tremuloides* Michx. O IC dependente da distância que obteve o melhor performance foi o índice de Hegyi (1974) modificado por Daniels (1976). O melhor IC independente da distância foi o de Lorimer (1983). O autor constatou que os índices dependentes da distância eram superiores aos independentes da distância corroborando os resultados obtidos por Daniels (1976), Hamilton e Edwards (1976) e Martin e Ek (1984).

Penridge e Walker (1986) usaram a área foliar como indicador da dimensão das árvores e verificaram que as medidas de competição que incluíam as dimensões dos competidores e da árvore central eram mais eficientes na caracterização da influência da competição na taxa relativa de crescimento em diâmetro.

Em geral os índices de competição dependentes da distância explicam só por sí, uma quantidade pequena da variação do crescimento. Invariavelmente a variável preditora mais importante é a dimensão antes do período de crescimento, independentemente dos seus competidores. Existem 4 razões para este facto: (1) As interacções competitivas do passado estão integradas nas dimensões actuais; (2) As diferenças genéticas condicionam as respostas às

situações competitivas assim como as diferenças microestacionais; (3) As interações entre indivíduos podem ser cooperativas em vez de competitivas; (4) Quando a luz é o factor limitativo os índices baseados na competição bilateral podem não expressar com precisão as relações competitivas (Perry, 1985).

Para Pukkala e Kolstrom (1987) o efeito das árvores vizinhas no crescimento de um indivíduo pode ser descrito por um índice de competição como o de Makela e Hari (1986): $IC = \frac{ic}{ic_{pot}}$. O autor testou 9 índices de competição 7 deles baseados no somatório dos ângulos entre as árvores centrais e as competidoras ou entre as alturas das árvores centrais em relação às competidoras. Os competidores foram seleccionados a distâncias fixas. O diâmetro de uma árvore pode ser olhado como a característica que descreve a competição passada (Perry, 1985). Pukkala e Kolstrom (1987) verificaram que esta característica pode reflectir também a competição actual. Is IC's usados explicaram cerca de 50% da variação de crescimento radial de *Pinus sylvestris* L. Em geral conseguem explicar 20% da variação que não podia ser explicada com dados não espaciais. Nos povoamentos estudados a variação na densidade tem menos efeito na competição do que variação nas dimensões das árvores. Esta é provavelmente a situação observada em muitos povoamentos não desbastados uma vez que a variação nas dimensões das árvores são em parte consequência das variações na competição (Perry, 1985). Muita da variação residual resulta da variação espacial de factores de estação e apenas uma pequena parte das diferenças genéticas (Arney, 1973; Perry, 1985).

Segundo Pukkala (1989), num povoamento puro os efeitos dos vizinhos no crescimento de uma árvore depende de quatro factores: (1) número de competidores; (2) dimensão dos competidores; (3) distância dos competidores; (4) orientação dos competidores. A distribuição direccional dos competidores influencia o crescimento do indivíduo. Quanto mais agrupados num dos lados, menor é o efeito no crescimento. Outro factor importante é a dimensão dos competidores uma vez que esta define a proporção de recursos explorados na área de competição (Penridge e Walker, 1986). Pukkala e Kolstrom (1987) testaram dois modelos: (1) baseado em índices empíricos de competição; (2) modelo ecofisiológico que calcula as superfícies e consumos de nutrientes e espaço de crescimento. Os modelos de crescimento espaciais explicaram cerca de 80% da variação o que pode ser devido ao facto de se ter trabalhado com a área basal em vez de diâmetro. Uma forma de aumentar a capacidade descritiva dos índices de competição será a de utilizar factores morfológicos da copa e das raízes. (Mitchell, 1968).

Estudos empíricos Biging e Dobbertin (1995), Martin e Ek (1984) e Opie (1968) sugerem que os índices de competição dependentes da distância raramente acrescentam valor explicativo nas estimativas dos crescimentos quando comparados com medidas de competição

independentes da distância. Estes autores referem que o acréscimo de precisão não compensa o trabalho de recolha de informação espacial (muito dispendiosa). Rouvinen e Kuuluvainen (1997) observou que os modelos espaciais pouco acrescentaram na explicação da variação em relação aos não espaciais: 2.22% na modelação da altura da base da copa e 1.77% na modelação do diâmetro da copa.

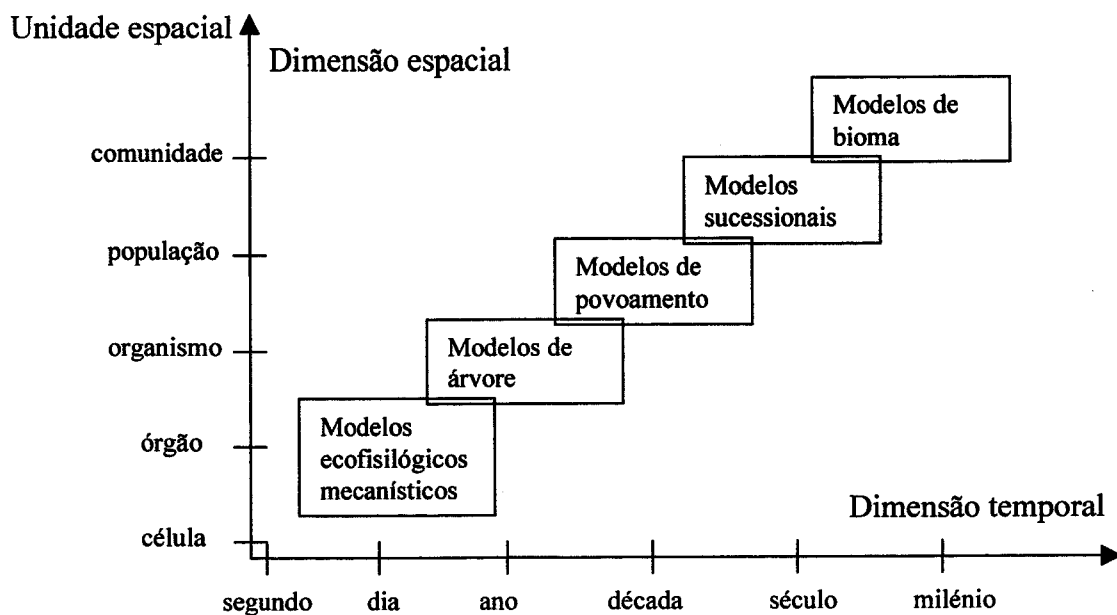
Os resultados apresentados por alguns autores, que referem a baixa eficiência dos índices de competição espacial em comparação com os não espaciais, podem ser motivados por limitações dos seus dispositivos experimentais, que não permitem a expressão da potencialidade dos índices de competição espaciais tais como: (1) Função potencial (em abordagens $ic=icpot*\text{modificador}$) de forma errada que pode prejudicar a performance do índice de competição; (2) A reduzida dimensão das parcelas permanentes que podem permitir não obter, para cada árvore, a real situação competitiva. A dimensão reduzida também obriga a correcções dos efeitos de bordadura que nunca são perfeitos na caracterização da competição fora da parcela; (3) Muitos estudos baseiam-se em dados de povoamentos puros regulares sem desbastes o que prejudica a performance dos índices de competição porque na ausência de desbastes existe uma homogeneidade ao longo do tempo da situação competitiva das árvores e dado que as dimensões presentes são determinadas pelas condições passadas em geral estas são melhores indicadores de competição (diâmetro no início do período de crescimento) (Soares, 1999).

No entanto, mesmo em situações de performance equivalente, os índices de competição espaciais tem uma utilização muito mais vasta especialmente se se considerar que as ferramentas de simulação e planeamento da gestão têm evoluído na utilização da informação da detecção remota (com precisão inferior a 40 cm) na identificação da árvore (espécie, dimensões e coordenadas), em vastas áreas onde a aferição da competição só é possível através de índices de competição espaciais.

2.3. Modelos de crescimento florestais

Nos processos de crescimento das árvores e florestas estão envolvidos muitos factores (bióticos e abióticos) que condicionam a dinâmica dos ecossistemas florestais, conforme as combinações entre os mesmos. Os modelos de crescimento florestais são representações destes sistemas complexos podendo ser encarados como simplificações dos mesmos. Munro (1983) refere que até 1973 se utilizaram funções únicas para a modelação dos crescimentos, após esse ano surgiu o conceito de sub modelo como descritor de uma parte do sistema. A simulação de todo o processo realiza-se com a utilização interligada dos sub modelos. Segundo Vanclay e Skovsgaard (1997) os modelos de crescimento são ferramentas fundamentais para os gestores e investigadores possibilitando a gestores e investigadores prever produções futuras para os povoamentos florestais e mais, importante ainda, explorar opções de gestão alternativas, simulando o seu impacto na dinâmica dos povoamentos. Um modelo de crescimento é uma abstracção da realidade ou a representação simplificada de uma realidade. Um modelo de crescimento é uma abstracção da dinâmica natural de uma floresta. Pode englobar sub modelos de crescimento, mortalidade, ingresso e gestão.

A modelação dos ecossistemas florestais pode-se realizar a diversos níveis de resolução temporal (com escalas variando entre segundos e milénios) e espacial (desde a célula aos continentes) (Landsberg e Gower, 1997; Pretzsch, 1998) (figura 1)



Adaptado de (Pretzsch, 1998)

Figura 1 – Dimensões espaciais e temporais dos modelos de crescimento florestais

O objectivo de um modelo e o conhecimento acerca do sistema em estudo determinam a complexidade da abordagem a seguir (Pretzsch, 1998).

Diversos critérios de classificação têm sido usados por diferentes autores para agruparem os modelos e as suas abordagens metodológicas (Amaro, 1997; Bruce, 1990; Bruce e Wensel, 1987; Landsberg e Gower, 1997; Munro, 1983; Pretzsch, 1992; Soares, 1999; Tomé e Burkhardt, 1989; Vanclay, 1995). Assim, não é possível utilizar uma classificação padronizada.

Em termos gerais os modelos podem ser classificados quanto ao grau de conhecimento do sistema, unidades de modelação e variáveis utilizadas.

Quanto ao grau de conhecimento do sistema os modelos podem ser divididos em dois grandes grupos: modelos empíricos e modelos processuais.

Os modelos empíricos, estatísticos ou preditivos são empíricos porque se baseiam em medições periódicas e não fazem nenhuma tentativa de medir todos os factores que afectam o crescimento. Estes modelos baseiam-se em formulações matemáticas que expressam as relações entre as variáveis sem no entanto tentar explicar as relações causa efeito dos sistemas em modelação. A parametrização destes modelos é feita com base em métodos de análise de regressão sendo os melhores ajustamentos seleccionados não só através de critérios estatísticos como também biológicos.

Os modelos processuais, mecanísticos ou com bases eco-fisiológicas: Modelam o processo de crescimento vegetal com base em dados ambientais tais como: luz, temperatura e nutrientes disponíveis no solo, níveis de dióxido de carbono no ar que são usados em sub modelos de fotossíntese, respiração, e alocação de foto-assimilados nas várias componentes das plantas (Landsberg e Gower, 1997). Modelos processuais, funcionais: simulam o processo biológico que converte o dióxido de carbono, nutrientes e água em biomassa (Bruce, 1990). Bons modelos confiam mais no conhecimento da silvicultura e em princípios básicos de crescimento do que em testes estatísticos na selecção de modelos e algoritmos.

Os modelos híbridos: São modelos que incluem componentes específicos dos modelos processuais nos modelos empíricos (modelos de árvore) (Kimmins, 1993). A combinação do conhecimento dos processos eco-fisiológicos combinados com os dados das séries temporais de crescimento dos modelos empíricos permite melhorar estas ferramentas de gestão e planeamento.

De acordo com Vanclay e Skovsgaard (1997) os modelos de crescimento são ferramentas fundamentais para os gestores e investigadores possibilitando a gestores e investigadores prever produções futuras para os povoamentos florestais e mais importante ainda explorar opções de gestão alternativas, simulando o seu impacto na dinâmica dos povoamentos. Segundo Korzukhin *et al.* (1996) os modelos de crescimento são usados na resolução de problemas representando o

objecto de modelação de uma forma simplificada e poder prever a evolução do sistema sob determinadas condições. As fases de desenvolvimento de um modelo são: (1) observação e especulação acerca do objecto de modelação; (2) colheita de dados descritivos acerca do processo a modelar fase descritiva; (3) fase explicativa. Os modelos empíricos são mais importantes durante a fase descritiva enquanto que os modelos processuais o são na fase explicativa. O primeiro passo na modelação consiste em identificar a complexidade do processo a modelar: (a) os ecossistemas florestais são mutidimensionais, sendo representados por um grande número de variáveis de estado (carbono ou balanço hídrico de uma árvore subdividida em muitos compartimentos); (b) as florestas apresentam uma grande heterogeneidade espacial (solo e vegetação em mosaicos resultantes de distribuições diferenciais); (c) - a maior parte dos atributos da floresta ocorrem em grandes escalas espaciais; (d) as florestas desenvolvem-se em longos períodos de tempo fazendo com que as previsões a longo prazo sejam muito complicadas; (e) os cenários de gestão podem atingir milhares de combinações potenciais (tipos de tratamento * amplitude de intensidade * tempo de tratamento * estado do povoamento). A aplicabilidade dos modelos processuais não está condicionada pelas alterações climáticas enquanto que os modelos empíricos ou de verosimilhança estão limitados devido à sua natureza descritiva.

Unidade primária de simulação	{	Célula
		Orgão
		Árvore
		Povoamento
		Distribuições por classes de dimensão
Concepção	{	Modelos determinísticos
		Modelos estocásticos

Segundo Bossel (1991) os modelos descritivos (estatísticos) não se coadunam com as mudanças ambientais e de gestão. Os modelos processuais eco-fisiológicos estão mais capacitados para a computação da dinâmica dos povoamentos no quadro actual de mudanças rápidas do clima. Para Bruce (1990 e Bruce e Wensel (1987) os modelos processuais simulam o processo biológico que converte o dióxido de carbono, nutrientes e água em biomassa. Modelos empíricos ou preditivos: são empíricos porque se baseiam em medições periódicas e não fazem nenhuma tentativa de medir todos os factores que afectam o crescimento. Um modelo é uma função matemática, ou sistema de funções, usada para relacionar a taxa de crescimento a uma medição da árvore, povoamento e estação. Estimação é o processo estatístico de derivar os coeficientes do modelo. Verificação é o teste do modelo com os dados que lhe deram origem. Calibração é o ajustamento do modelo a condições que podem diferir daqueles para que o

modelo foi construído. Monitorização é o acto observar continuamente os outputs do modelo em busca de deficiências. Avaliação consiste em definir o utilizador final. Quantificar os componentes, qualificar o sistema e verificar a plausibilidade biológica. Simulação é usar o modelo de crescimento para estimar o desenvolvimento de um povoamento ao longo do tempo com diversas alternativas de gestão.

Actualmente existem quatro classes de modelos de crescimento: 1- modelos baseados em variáveis médias e totais do povoamento, 2- modelos baseados em distribuições por classe de dimensão, 3- modelos de árvore, 4- Modelos processuais, mecanísticos ou ecofisiológicos.

Os modelos de crescimento baseados em variáveis médias e totais do povoamento simulam o crescimento do povoamento com base em variáveis de povoamento como sejam: a classe de qualidade, idade, espécie, área basal, altura média, altura dominante, etc.

Os modelos mais antigos das ciências florestais, as tabelas de produção, datam dos fins do sec. XXIII princípios do sec XIX, por exemplo a tabela de produção de (Paulsen, 1795). Pretzsch (1998), considera que os modelos de povoamento podem ser agrupados em 4 gerações. Os modelos de 1ª geração, tabelas de produção, foram construídos com bases de dados limitadas o que levou à criação de uma rede de parcelas permanentes na Europa central no sentido de colmatar as falhas de informação desses modelos. Os modelos de 2ª geração já seguiam princípios uniformes de construção propostos pela “Association of Forestry Research Stations” e em consistentes bases de dados empíricos que permitiram a construção de tabelas de produção ainda em uso. A 3ª geração de modelos iniciou a utilização de modelos baseados em princípios teóricos e funções biométricas. Os sistemas de equações funcionais dos modelos de 3ª geração são baseados em relações de crescimento observadas utilizando para a sua construção métodos estatísticos de parametrização. Estes modelos já se apresentavam sob a forma de aplicações informáticas permitindo um uso mais eficiente. Os modelos de 4ª geração, simuladores de crescimento de povoamento, são aplicações informáticas baseadas em sistemas de equações biométricas complexas que estão parametrizadas para um conjunto muito vasto de combinações de espécies (em povoamentos puros ou mistos), estrutura espacial, qualidade de estação e de gestão possibilitando simular a dinâmica dos povoamentos para uma gama elevada de cenários de gestão (Pretzsch, 1998).

2.4. O sobreiro

2.4.1. Introdução

Os povoamentos de sobreiro (*Quercus suber* L.) ocupam em Portugal (DGF, 1995), cerca de 725000ha representando cerca de 22% da área florestal do continente (3.321 milhões de hectares). Do ponto de vista económico estes povoamentos produzem em média cerca de 170000ta⁻¹ e em 1998 exportaram-se cerca de 139958t com um valor de cerca de 716.9 milhões de euros. Desde a produção até à transformação, a actividade relacionada com o montado de sobreiro, move uma fileira com um grande significado socio-económico. Na produção, o montado de sobreiro centra um conjunto de actividades silvo-agro-pastoris que impede a desertificação das áreas produtoras de cortiça. Na transformação, existem cerca de 600 unidades fabris que empregam cerca de 14000 pessoas.

2.4.2. O sistema produtivo montado

Os povoamentos de sobreiro desenvolvem-se num clima mediterrânico que abrange as regiões ocidentais dos continentes entre as latitudes 30° a 43° Norte ou Sul (Rambal, 2001; Walter, 1973; Le Houérou, 1997). Este tipo de clima caracteriza-se por invernos chuvosos e verões quentes e secos. Os verões secos devem-se a um fluxo de ar contínuo proveniente dos anticiclones formados nos desertos tropicais à latitude de aproximadamente 20° Norte e Sul do equador (Archibold, 1995). As condições de crescimento neste tipo de clima são severamente afectadas por uma combinação de factores de stress decorrentes da baixa pluviosidade no período quente (Pereira, 2004): solos com baixa capacidade de armazenamento de água e teores em matéria orgânica, elevada evapotranspiração potencial, intensidade de radiação e temperaturas altas. No período frio, onde se concentram as precipitações as limitações ao crescimento decorrem da combinação de temperaturas baixas, baixa intensidade de radiação e baixa evapotranspiração potencial. O crescimento dos sobreiros processa-se, com maior expressão, em dois períodos (Pereira et al., 1997): (1) na Primavera observa-se o período de crescimento mais intenso onde as condições de crescimento são optimizadas; (2) no Outono observa-se um crescimento moderado a baixo dependente das condições de temperatura e pluviosidade. Nos estudos de Oliveira *et al.* (1996^a) e Oliveira *et al.* (1996^b) foi referida esta dinâmica anual de crescimento, que está fortemente dependente dos eventos pluviométricos significativos de Primavera, Verão e Outono. Se a quantidade de água for suficiente para ser utilizada pela árvore inicia-se a migração dos nutrientes dos raminhos para as folhas e inicia-se a produção de folhas e alongamento dos raminhos. O mesmo é observado com os fluxos de

carbono que têm um aumento na atmosfera (do montado) após os eventos de chuva de Outono (por activação da biosfera do solo) sendo depois reduzido significativamente com a activação do crescimento das árvores. Outros autores referiram a importância dos da quantidade de chuva nos períodos de crescimento de primavera e Outono no crescimento radial dos sobreiros dos fustes a 1.3 m (Costa *et al.*, 2001).

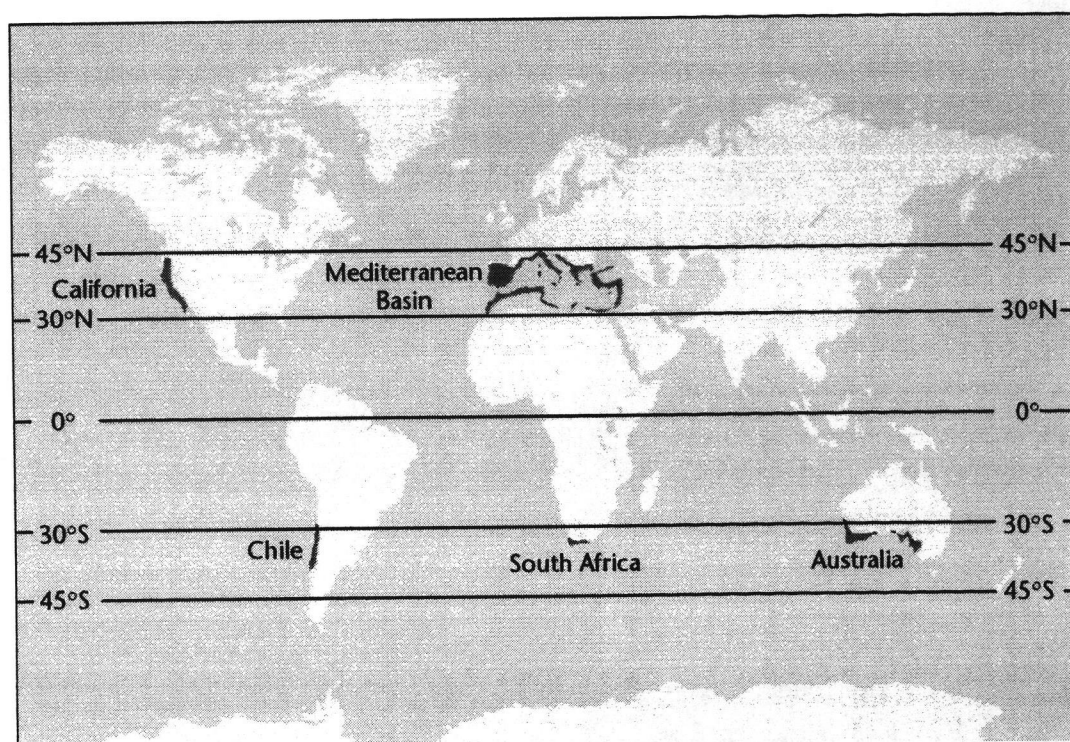


Figura 2- Mapa das 5 regiões com clima tipo mediterrânico a vermelho. As regiões a amarelo representam a estepe (adaptado de (Le Houérou, 1997))

O montado de sobreiro é um sistema produtivo agro-silvo-pastoril que tem nas árvores o seu componente principal. A componente agrícola (nem sempre existente) e a componente animal estão em equilíbrio com as árvores (Natividade, 1950).

As árvores têm um papel ecológico importante na manutenção da estabilidade destes sistemas para além das suas potencialidades produtivas específicas. Os efeitos mais importantes de ponto de vista ecológico são:

- Intersecção da radiação e vapor de água
 - As copas isoladas das árvores são muito eficientes na utilização da humidade do ar que condensam e absorvem nas suas folhas e por vezes precipitam essas gotas de orvalho para o solo. A radiação é intersectada pelas copas criando sob coberto microclimas mais amenos do que o clima da região, isto é, menos frios durante o Inverno mas principalmente mais frescos e húmidos durante o Verão. Estes

microclimas são mais favoráveis para a vegetação sob coberto (Montero *et al.*, 1998).

- Intersecção e redistribuição das precipitações
 - As copas dispersas das árvores apresentam uma grande superfície de captação fazendo com que durante as precipitações seja retida uma quantidade de água por unidade de superfície superior sob coberto, em relação à precipitação sobre o solo nu. Este facto é tanto mais evidente quando está vento e as gotas de chuva não têm uma direcção perpendicular ao solo, já que a superfície da copa atingida pelas gotas é maior e esta água retida pelas folhas e posteriormente precipitada no solo é somada à água que atinge directamente o solo sob a copa (David, 2000; David *et al.*, 2002; Montero, 1988; Montoya, 1985, 1986). Outro efeito das copas das árvores é o de reduzir a velocidade das gotas de água diminuindo os efeitos deletérios do impacto no solo. Finalmente, a passagem da água na copa e no tronco faz com que esta dissolva os nutrientes (N, P, K) presentes e restitua os mesmos ao solo acelerando o ciclo de nutrientes aumentando por isso a sua eficiência.
- Redução da velocidade do vento
 - A distribuição espacial das árvores características destes sistemas é muito eficiente na redução da velocidade dos ventos diminuindo assim, especialmente durante os Verões quentes e secos, o seu efeito dissecador. Esta redução da velocidade do vento também protege o sistema das tempestades aumentando a sua resiliência (Montero *et al.*, 1998).
- Redução do conteúdo em humidade nas camadas superficiais do solo
 - A redução de água nas camadas superficiais do solo deve-se à acção da evapotranspiração das árvores e condiciona o desenvolvimento dos estratos vegetais arbustivo e herbáceo.
- Ciclo de nutrientes
 - As árvores com os seus sistemas radicais pivotantes conseguem absorver nutrientes a profundidades elevadas do solo que depois restituem à superfície do solo através da mineralização da folhada. Esta acção disponibiliza nutrientes nas camadas superficiais do solo
- Incorporação de matéria orgânica
 - O aumento de fertilidade é também acompanhado com a incorporação de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo aumentando a capacidade de troca

catiónica e a capacidade de retenção de água incrementando assim a qualidade da estação

O montado é um sistema silvícola pois todas as suas componentes dependem das árvores para que se atinja o equilíbrio.

O montado de sobro é um sistema produtivo que resulta da acção do homem sobre a floresta mediterrânica natural.

A estrutura e composição dos montados actuais resultam: (1) de desbastes das outras espécies conduzindo a povoamentos puros inequiénios, mistos dominantes inequiénios, mistos dominados inequiénios; (2) da florestação por regeneração natural de áreas de intervenção da campanha do trigo conduzindo a povoamentos puros equiénios, puros inequiénios, mistos dominantes inequiénios, mistos dominados inequiénios; (3) de florestação por regeneração artificial (sementeiras e plantações) da qual resultam povoamentos puros equiénios, mistos dominantes equiénios, mistos dominados equiénios .

A regeneração natural é abundante e representa a melhor forma de obter novos indivíduos mas necessita de alterações na gestão do parque pecuário e áreas de pastagem e forragem para que a instalação das novas plantas tenha sucesso.

As árvores são sujeitas a podas de formação durante os primeiros 15 anos para que se possam obter fustes com cerca de 3 m. O primeiro descortiçamento (onde se extrai cortiça virgem) ocorre assim que a árvore atinja um perímetro à altura do peito (1.3 m do solo) de 70 cm. O segundo efectua-se passado um período mínimo de 9 anos (produzindo cortiça segundeira). Os restantes descortiçamentos realizam-se de 9 em 9 anos até à morte da árvore (as cortiças destes descortiçamentos designam-se por amadias). Em certas áreas os períodos entre descortiçamentos podem ser prolongados para 10 ou mais anos para que se obtenham os calibres de cortiça que tragam valor acrescido ao valor de comercialização deste produto.

A gestão do sob-coberto é feita em função do subsistema de montado utilizado (Cabral *et al.*, 1993; Montero *et al.*, 1991; Montero *et al.*, 1994; Montoya *et al.*, 1984; Natividade, 1950):

- Nos montados de sobro extremes sem aproveitamento agro-pastoril o controlo dos matos é feito com o uso de gradagem ou cortamatos principalmente como medida preventiva de incêndios. Estas intervenções são necessárias para manter a estrutura e composição do montado e sem elas rapidamente se instala a vegetação mediterrânica.
- Nos montados de sobro extremes com aproveitamento agro-pastoril podem ser mantidos vários sub-cobertos: (1) Vegetação arbustiva e herbácea natural que constitui a pastagem natural. Esta vegetação é controlada pelo gado através do pastoreamento e também pode ser renovada periodicamente através de uso de cortamatos ou gradagem esta última

acompanhada, em geral, de sementeira de um cereal (aveia, cevada, trigo, etc.) e de uma fertilização. Este último sistema permite aumentar o período entre mobilizações do solo porque retarda o aparecimento das espécies arbustivas: (2) Pastagens artificiais instaladas sob coberto com o fim de permitirem um encabeçamento superior devido ao maior valor nutritivo da vegetação instalada.

Segundo Diniz (1994) as opções anteriores podem ser implementadas em três graus de intensidade: 1º grau, silvopastorícia com impactos pouco significativos no meio edáfico; 2º grau, intervenções simples com impacto ligeiro não afectando a regeneração; 3º grau, intervenções intensas com impacto forte conduzindo à degradação das condições físicas do solo por compactação, redução da permeabilidade, excessiva retenção hídrica, quebra da regeneração natural e sistema radicular afectado.

2.4.3. Estrutura e densidade dos povoamentos de sobreiro

Em relação à estrutura dos povoamentos, a tendência actual da política florestal é a de se desenvolver uma “floresta com dimensão sustentável, que equilibre as necessidades económicas sociais e ambientais”. Esta filosofia pressupõe a utilização de estruturas irregulares, ou inequiénias, nos povoamentos que, segundo Alves (1988), atingem a auto-suficiência auto-regeneração perpetuando a sua permanência e aproximando-se mais do ecossistema natural, com todas as vantagens bio-ecológicas que daí advêm.

Alvarez e Bentes (1958) definiram como estrutura teórica óptima para os povoamentos de sobreiro, a jardinada ou inequiénia. Montero (1988) adoptou esta estrutura e referiu ser esta distribuição diamétrica dos povoamentos naturais de sobreiro, uma vez que é atingida assim que cessam as intervenções silvícolas nas áreas exploradas. Para além disso, a estrutura inequiénia, parece ser mais estável, mais fácil de manter, mais protectora para o solo (devido ao maior coberto), mais eficiente na utilização das frutificações e conseqüente regeneração natural, mais resistente a pragas e intempéries e com um valor estético e ambiental deveras superior.

A determinação da densidade dos povoamentos de sobreiro mais adequada para a maximização das produções de cortiça, é um tema que tem suscitado as mais diversas respostas. Este facto, deve-se principalmente ao aproveitamento silvo-pastoril das áreas de sobreiro, o que levou os diversos autores a sugerir, como óptimas, um amplo intervalo de densidades dos povoamentos, dependente da maior ou menor utilização sob coberto. Na figura 3, apresentam-se as curvas propostas por diversos autores para as densidades de árvores necessárias para manter

um coberto constante. Estes autores basearam-se na relação existente entre a circunferência à altura do peito (capi) e área da copa (ac), considerando para os povoamentos uma estrutura equiédia.

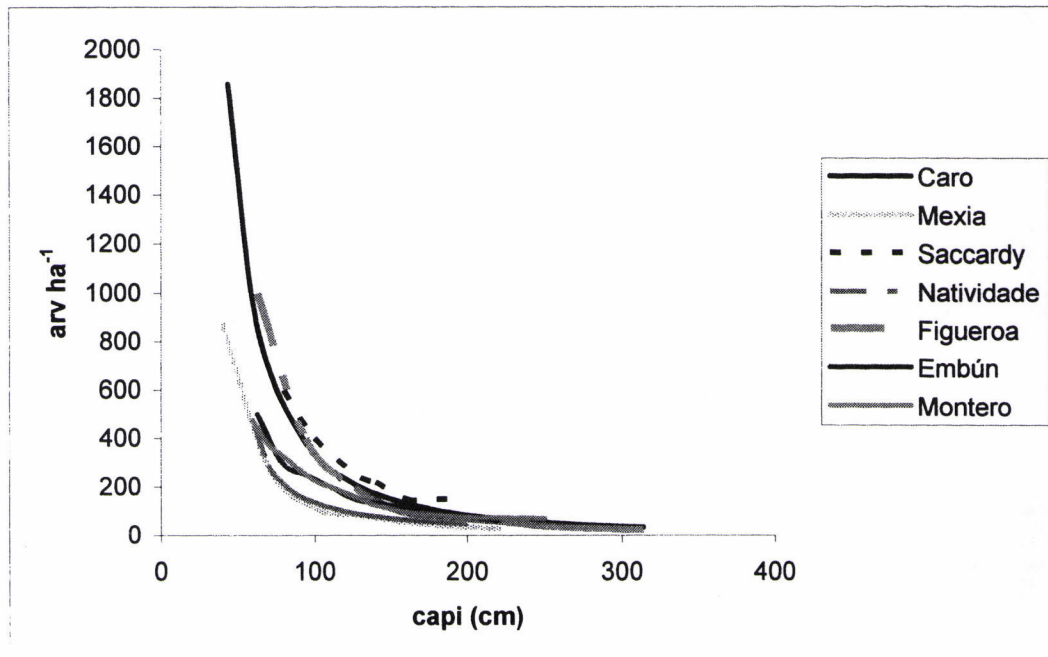


Figura 3 – Densidades propostas para povoamentos equiédios dependentes do cap médio.

A diferença entre as propostas dos diversos autores está no número inicial de árvores. Atingida a maturidade (capi = 140 cm) as diferenças prendem-se com a intensidade de actividade sob coberto considerada (Figura 3).

Assim, Lamey (1893) citado por Natividade (1950), considerou que a fracção de área coberta (FAC) pela projecção das copas devia ser próxima de $FAC=1$. Através da média da área de projecção da copa, por classe de circunferência à altura do peito (CAP), calculou o número de árvores necessárias, para cada classe, para se obter uma área de projecção da copa próxima de 10000 m^2 por hectare ($FAC=1$). Mexia (1934) indicou, como óptima, a fracção de área coberta pela projecção das copas $FAC=0.383$. O autor considerou que era esta a ocupação óptima para que não houvesse deformação das copas, nem competição entre as árvores que impedisse uma iluminação máxima das copas. Através da área média da projecção da copa, para cada classe de circunferência, calculou o número de árvores necessárias para atingir os 3830 m^2 de área de projecção da copa por hectare. Este foi o primeiro autor a fazer referência à influência negativa da competição pelo factor luz tendo sugerido um valor óptimo para o coeficiente de iluminação ($c_i=s_i/v$) para uma produção máxima de cortiça. Natividade (1950) utilizou a fracção de área coberta pela área de projecção da copa $FAC=0.58$. Este valor foi obtido a partir do princípio de que o espaçamento ideal da periferia das copas, de duas árvores contíguas, deveria ser metade do

raio (da copa). Este valor foi considerado óptimo para que a iluminação da área foliar seja máxima e a competição entre as árvores seja mínima. A partir do valor médio da área da projecção da copa, para cada classe de capi, o autor calculou o número de árvores necessário para que a área coberta pelas copas seja 5800 m² por hectare. Embum (1952) e Regodon (1957), citados por Montero (1988), utilizaram os dados dos projectos de ordenamento das áreas de sobreiro espanholas e calcularam o número de árvores por hectare para cada classe de capi. (Montoya, 1985) utilizou o índice de Reineke e o crescimento em diâmetro das árvores, em cada classe de qualidade de estação, considerou ainda o FAC=0.58 e calculou o número mais conveniente, de árvores por hectare, para a produção de cortiça.

Pode-se observar que só Lamey e Regodon apresentam valores de ocupação de coberto perto de 100 %, o que não se observa nos outros autores, que não ultrapassam os 56% de ocupação. Isto, deve-se ao facto da maioria dos autores considerar que se deve deixar espaço para a utilização do sob coberto, quer para pastagens, quer para culturas arvenses, já que consideram o montado como um sistema agro-silvo-pastoril.

Os autores que consideraram como óptimas as estruturas inequiénias sugeriram também densidades diferentes das dos autores anteriores.

Alvarez e Bentes (1956) estudaram a distribuição das árvores, por classes de cap, mais adaptada à produção de cortiça, considerando a ocupação constante, quer a nível de superfície coberta (4970 m²/ha) quer quanto ao número de árvores (186 árvores/ha). Com base nestes pressupostos sugeriram a estrutura e densidade da Tabela 1.

Tabela 1 – Número de árvores por classe de capi da estrutura proposta por Alvarez e Bentes (1956)

Classe de capi (cm)	Ni (arv ha ⁻¹)
NT1 ≤50	74
NT2 [51,80]	47
NT3 [81,110]	29
NT4 [111,140]	18
NT5 [141,170]	11
NT6 ≥171	7
Total	186

Montero (1988), adoptou como padrão a estrutura referida no Tabela 1, por considerar que era esta a estrutura e densidade mais adequadas para os povoamentos de sobreiro. O autor refere-se às densidades nas estruturas equiénias, propostas na figura 3, como uma forma de exploração que pode envolver alguns riscos para a continuidade dos povoamentos, porque o reduzido número de árvores, na fase final da revolução, pode conduzir a uma degradação acentuada da estação, impedindo a regeneração natural do novo povoamento.

2.4.4. Modelos de previsão de peso da cortiça

Mexia (1934) foi um dos primeiros investigadores portugueses a estudar alguns caracteres biométricos do sobreiro, tendo tido um papel muito importante na pesquisa de relações entre as diversas variáveis dendrométricas e as produções de cortiça. Assim, sugeriu um coeficiente de iluminação (C_i) que permitia orientar as podas de forma a obter uma quantidade de radiação incidente máxima que, segundo o autor, permitia maximizar as produções. A expressão numérica deste coeficiente é: $C_i = S_i/V$ onde S_i é a projecção da copa sobre o plano perpendicular aos raios solares e V é o volume da copa. O autor sugeriu que os valores de C_i se deviam compreender entre 0.366 e 0.650. Os modelos propostos são:

$$1: sg = 6.158 * cap + 0.531 * np + 3.43$$

$$2: sg = 5.64 * cap + 0.573 * np + 0.5199 hf$$

Estas expressões permitem estimar a superfície geradora (sg) e através da produtividade de cortiça por metro quadrado de superfície descortiçada (pcm_v^2) das árvores da região, obter uma estimativa das produções esperadas tendo sido o primeiro autor a referir a utilidade desta variável na qualificação produtiva ao nível regional.

Mais tarde, Natividade (1950), citando Acúrcio Rodrigues, apresenta já uma expressão que permite estimar directamente a produção de cortiça através de variáveis dendrométricas. A tabela de peso verde de cortiça, apresentada num nomograma, tem como base uma amostra de 348 árvores e o modelo base é do tipo $pc = f(capi, hdmax)$, onde $hdmax$ = altura de descortiçamento incluindo fuste e pernadas. O autor fez notar que, para obter o peso final se deve ter em conta que a cortiça perde 20% de água.

Natividade (1950) cita também o trabalho de Gomes Guerreiro onde refere a importância da variável $capi$ (circunferência à altura do peito) para a modelação das produções, tendo apresentado os seguintes modelos e suas estatísticas, com base numa amostra de 200 árvores só com duas pernadas (razão pela qual o autor não inclui no estudo a variável np):

Modelos	F
$pcv = 72.545 * capi + 3.172 * hf + 0.689 * dc - 54.940$	117
$pcv = 70.477 * capi + 2.731 * capi^2 - 43.728$	174
$pcv = 76.881 * capi - 47.185$	344

O autor fez ainda um estudo das correlações entre variáveis independentes e ponderou acerca do ruído que estas causariam no modelo e os ganhos da sua exclusão, daí a apresentação dos modelos só com o $capi$.

Guerreiro (1951) através de uma amostra de 460 árvores medidas na região de Chamusca onde se mediram o capi, a hdmax, npern, dc e pc. O autor seleccionou 50 árvores e realizou uma análise da matriz de correlação entre algumas variáveis medidas e o peso (Tabela 2):

Tabela 2 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo

	capi	hdmax	ef	hf	dc	cdmax	pc
capi	1	0.57	0.54	0.008	0.83	-0.01	0.84
hdmax	----	1	0.12	----	0.50	----	0.77
ef	----	----	1	----	----	----	0.47
hf	----	----	----	1	----	0.53	0.05
dc	----	----	----	----	1	----	0.62
cdmax	----	----	----	----	----	1	0.22
pc	----	----	----	----	----	----	1

Após a análise da matriz anterior, o autor eliminou as variáveis dc, hf e cdmax uma vez que a primeira é de difícil medição e está fortemente correlacionada com o capi e a segunda e terceira não melhoram a previsão. O autor decidiu-se pela divisão da amostra em dois grupos: grupo I de 230 árvores apenas descortiçadas no fuste; e grupo II de 170 árvores descortiçadas na copa, tendo seleccionado os seguintes modelos:

Modelos	QMR	R ²
I: $pc=36.76*capi+7.40*hdmax+0.092*ef1.3-31.173$	16.5	0.91
II: $pc=40.06*capi+12.20*hdmax+0.4637*ef1.3-65.75$	104.9	0.84

O autor validou os modelos utilizando as 460 árvores da amostra tendo obtido um erro de 0.1 %, valor esperado já que se utilizou o mesmo conjunto de dados para ajustamento e validação. De referir que o autor mantém a espessura da cortiça no modelo, por considerar que esta tem uma importância na diferenciação regional e embora seja de difícil estimação, pode ser substituída por um valor médio, permitindo assim o uso dos modelos I e II.

Alves (1958) seguindo a metodologia de Guerreiro (1951), apresentou um estudo muito completo sobre a aferição de tabelas de previsão de peso de cortiça em pé para a grande zona dos xistos do carbónico. Partindo de uma amostra de 120 árvores, calculou igualmente a matriz de correlação (Tabela 3):

Tabela 3 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo

	capi	hdmax	ef	ht	dc	cdmax	pc
capi	1	0.26	0.33	0.16	0.52	0.28	0.74
hdmax	----	1	-0.24	----	0.18	----	0.69
ef	----	----	1	----	----	----	0.07
ht	----	----	----	1	----	0.65	0.14
dc	----	----	----	----	1	----	0.63
cdmax	----	----	----	----	----	1	0.26
pc	----	----	----	----	----	----	1

De igual forma ajustou os modelos com 100 árvores seleccionadas de entre as 120 medidas e obteve os seguintes resultados:

Modelos	SQ	R ²
A: $P_c=f(\text{capi},\text{hdmax},\text{ef})$	18666	0.87
B: $P_c=f(\text{capi},\text{ht},\text{cdmax})$	12427	0.74
C: $P_c=f(\text{capi},\text{hdmax},\text{dc})$	20207	0.94
Variação total	22856	

Tendo sido eleito o modelo A: com a seguinte expressão:

$$pc=50.89*\text{capi}+9.73*\text{hdmax}-0.07*\text{ef}-46.47$$

O autor justificou a escolha da equação A e não da C devido à correlação entre o capi e o dc $r=0.52$ (Tabela 4) que faria prever problemas de colinearidade para a equação C. Para além disso, o dc é uma variável de difícil medição e muito dependente das podas praticadas, pelo que não seria um bom indicador das produções, embora este modelo apresentasse um R² elevado. Com vista a obter um modelo mais parcimonioso, o autor eliminou sequencialmente uma das variáveis da equação A obtendo:

$$P_c=f(\text{capi},\text{hdmax},\text{ef})-R = 0.8780$$

$$P_c=f(\text{capi},\text{hdmax})-R = 0.8778$$

$$P_c=f(\text{capi})-R = 0.80$$

Verificou que a exclusão do ef não alterava o R² significativamente, o mesmo já não acontecendo com a exclusão do hdmax, onde se verificava um decréscimo maior do R² que, segundo o autor, deveria conduzir à diminuição da precisão das estimativas do peso não se justificando, por isso, a simplificação. Assim, o autor optou pela seguinte equação:

$$P_c=49.52*\text{capi}+9.89*\text{hdmax}-47.91 \quad R^2=0.87$$

A validação do modelo foi efectuada com uma subamostra, 40 das 100 árvores utilizadas para o ajustamento, sendo o erro de predição obtido de 18.49%.

Alves e Morais (1958) seguiram a mesma metodologia de recolha de dados para a região do pliocénico, a sul do rio Tejo. Partindo de uma amostra de 130 árvores das quais foram seleccionadas 100, chegaram ao seguinte ajustamento:

$$P_c=64.34*\text{capi}+7.68*\text{hdmax}-50.68$$

Para a validação do modelo utilizaram 45 árvores (das árvores já utilizadas anteriormente) e obtiveram o erro de 25.79%, que é muito elevado, o que foi justificado pelos autores como devendo-se à grande dispersão de dados verificada, motivada principalmente pela presença de árvores de dimensões muito diversas.

Ferreira *et al.* (1986) utilizaram dados de 12 parcelas permanentes instaladas nas principais regiões produtoras do País, num total de 240 árvores e ajustaram 127 modelos de

previsão de peso da cortiça com base nas seguintes variáveis: circunferência à altura do peito (sobre cortiça) capi, calibre da cortiça (ef), raio médio das copas (rc), número de pernadas (npern), altura máxima de descortiçamento (hdmax), coeficiente máximo de descortiçamento (cdmax), área total máxima de descortiçamento. Este autor referiu a importância da variável $artmax=capi*hdmax$ que era responsável, isoladamente, por uma grande parte da variância (83.2%) embora não tenha apresentado nenhum modelo baseado apenas nesta variável. Os melhores modelos obtidos estão representados no Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de alguns dos melhores modelos lineares obtidos pelo autor

Modelo	capi	ef	rc	npern	hdmax	cdmax	artmax	const.
1	-9.789	0.462	8.855	4.251	0.000	-9.864	12.590	-29.552
2	0.000	0.462	8.272	4.075	0.211	-7.718	11.675	-42.045
3	2.229	0.502	8.932	4.210	-5.918	0.000	12.756	-52.576
4	-13.061	0.444	8.790	4.171	3.184	-13.792	12.166	-23.251
5	-17.324	0.000	8.537	4.040	7.119	-19.318	11.859	-0.041
6	-10.252	0.429	9.401	0.000	5.308	-14.242	12.185	-24.547

Montero (1988) construiu, para as seis grandes regiões produtoras espanholas, tabelas de previsão do peso da cortiça, baseado numa amostragem de aproximadamente 6000 árvores. Este autor estabeleceu parcelas permanentes as quais acompanhou por nove anos, entre duas tiragens de cortiça. Os dados retirados permitiram obter as seguintes variáveis dendrométricas: peso de cortiça verde extraída da árvores (pcv), perímetro à altura do peito (1.30 m), antes e após o descortiçamento (capi, capf), altura do fuste (hf), altura de descortiçamento, correspondente à altura máxima do arco de descortiçamento (hdmax), área da projecção horizontal da copa (ac), superfície geradora de cortiça (sg), área seccional antes e após o descortiçamento 1.3 m (gi, gf), calibre da cortiça no fuste (ef1.3), coeficiente de descortiçamento máximo (cdmax), intensidade de descortiçamento (id) e peso de cortiça por metro quadrado de superfície descortificada (pcm^2). O autor obteve assim a seguinte matriz de correlação (Tabela 5):

Tabela 5 – Matriz de correlação entre as variáveis em estudo

	Pc	pcm ²	capi	capf	hf	hdmax	ac	sg	abi	efl.3	cdmax	id
pc	1											
pcm ²	0.123	1										
capi	0.855	-0.016	1									
capf	0.834	-0.074	0.989	1								
hf	0.412	0.181	0.336	0.281	1							
hdmax	0.851	-0.090	0.829	0.807	0.439	1						
ac	0.762	0.003*	0.751	0.704	0.228	0.708	1					
sg	0.907	-0.142	0.893	0.896	0.319	0.877	0.712	1				
abi	0.826	-0.083	0.944	0.967	0.283	0.754	0.669	0.906	1			
Efl.3	0.288	0.351	0.242	0.136	0.138	0.164	0.307	0.147	0.097	1		
cdmax	0.305	-0.126	0.164	0.047	0.301	0.591	0.223	0.326	0.100	-0.080	1	
id	0.349	-0.182	0.225	0.038	0.182	0.571	0.712	0.415	0.121	0.105	0.753	1

*=não significativo a $\alpha=5\%$

O autor referiu a particularidade do pcm^2 ter uma correlação negativa com praticamente todas as variáveis, o que poderia indiciar que a produtividade baixa ligeiramente com o aumento das dimensões das árvores (capi, capf, ac), bem como com a prática de exploração excessiva (sg e hdmax elevados que correspondem a cdmax e id altos). Outra relação interessante vem da correlação negativa da espessura da cortiça (ef) com id e cdmax o que indicia, segundo o autor, uma quebra de espessura quando se aumenta a pressão de descortiçamento. Montero (1988) observou valores de correlação, entre variáveis, diferentes nos dois trabalhos de Guerreiro (1951) e Alves (1958), especialmente no que respeita à espessura de cortiça (ef) com o peso (pc). Segundo este autor, estes resultados podem dever-se a metodologias diferentes na recolha dos dados (nível de precisão), já que não se espera que a região vá influenciar a relação entre estas variáveis. Este facto levanta a questão da necessidade de homogeneizar as metodologias de recolha de dados, com vista a poderem comparar-se os vários estudos sobre as relações biométricas entre as variáveis.

Para a construção dos modelos de previsão de peso da cortiça, o autor baseou-se na observação da matriz de correlação do Tabela 5, para a selecção das variáveis mais correlacionadas com a produção de cortiça. De seguida, procedeu à eliminação daquelas que se mostraram muito difíceis de medir, uma vez que se pretendia obter um modelo de aplicação fácil e pouco onerosa. Os modelos de previsão de cortiça seleccionados têm como base a seguinte expressão: $Pc = a_0 + a_1 * artmax$ com e sem a_0 , onde artmaxi indica que se utilizou o capi e artmaxf o capf (Tabela 6).

Tabela 6 – Zona ecológica, modelos com $a_0=0$ e $a_0 \neq 0$ e estatística R^2

Zona	Modelos obtidos: $a_0=0$	R^2	Modelos obtidos: $a_0 \neq 0$	R^2
1	$pc = 9.14 * artmaxi$	0.97	$pc = -2.10 + 9.86 * artmaxi$	0.94
	$pc = 10.69 * artmaxf$	0.97	$pc = -1.02 + 11.08 * artmaxf$	0.90
2	$pc = 7.85 * artmaxi$	0.97	$pc = -1.81 + 8.06 * artmaxi$	0.94
	$pc = 8.67 * artmaxf$	0.97	$pc = -0.86 + 8.56 * artmaxf$	0.93
3	$pc = 9.32 * artmaxi$	0.97	$pc = -5.72 + 9.26 * artmaxi$	0.95
	$pc = 9.07 * artmaxf$	0.96	$pc = -3.80 + 9.74 * artmaxf$	0.93
4	$pc = 10.53 * artmaxi$	0.96	$pc = -6.11 + 11.68 * artmaxi$	0.91
	$pc = 12.21 * artmaxf$	0.96	$pc = -3.92 + 13.04 * artmaxf$	0.90
5	$pc = 11.70 * artmaxi$	0.97	$pc = -0.73 + 11.79 * artmaxi$	0.94
	$pc = 13.44 * artmaxf$	0.95	$pc = 1.62 + 13.19 * artmaxf$	0.91
6	$pc = 11.43 * artmaxi$	0.99	$pc = -1.88 + 12.59 * artmaxi$	0.88
	$pc = 13.94 * artmaxf$	0.99	$pc = -0.03 + 12.93 * artmaxf$	0.86
	$pc = 9.96 * artmaxi$	0.98	$pc = -1.46 + 11.47 * artmaxi$	0.88

Este modelo tem a grande vantagem de ser muito simples e bastante preciso. As variáveis que utiliza são fáceis de medir, o que torna os trabalhos de campo menos onerosos (Montero,

1988). Devido à estabilidade do parâmetro pcm_v^2 para uma grande amplitude de intensidade de exploração e dimensões da árvore (Montoya, 1985) Montero (1988) propôs definir tabelas não regionais mas sim por classes de qualidade (Tabela 7):

Tabela 7 – Equações de previsão do peso da cortiça segundo as classes de qualidade

Classe de pcm_v^2 ($kg\ m^{-1}$)	Qualidade	Modelos obtidos	R ²
>12	I	$pc=11.88*artmaxi$	0.98
10-12	II	$pc=10.19*artmaxi$	0.98
8-10	III	$pc=8.72*artmaxi$	0.98
6-8	IV	$pc=7.79*artmaxi$	0.98
<6	V	$pc=6.83*artmaxi$	0.97
>12	I	$pc=13.78*artmaxf$	0.98
10-12	II	$pc=11.71*artmaxf$	0.98
8-10	III	$pc=9.78*artmaxf$	0.98
6-8	IV	$pc=8.59*artmaxf$	0.98
<6	V	$pc=7.54*artmaxf$	0.97

Os modelos do Tabela 7 são mais gerais, uma vez que podem ser aplicados em todas as regiões, bastando para isso que se determine a classe de pcm^2 e depois aplica-se o modelo adequado. Para além destes modelos de árvore individual, o autor sugeriu um modelo de produção, por unidade de superfície (o hectare), com a seguinte expressão:

$$PT=ABT*IDT*PCM^2$$

que se pode deduzir a partir de:

$$PT=PT \Leftrightarrow PT=PCM^2*SGT*(ABT/ABT)$$

como $IDT=(SGT/SGT)$ então:

$$PT=ABT1*PCM^2*IDT$$

onde PT =peso de cortiça ($kg\ ha^{-1}$), $ABT1$ =área basal em ($m^2\ ha^{-2}$), IDT =intensidade de descortiçamento média, SGT =superfície geradora ($m^2\ ha^{-2}$) e PCM^2 - produtividade média por unidade de superfície descortificada ($kg\ m^{-2}$). Este modelo pode prever o peso de uma forma muito simples: como foi verificado que o valor de PCM^2 é muito estável para grandes superfícies e pode ser obtido na pilha de cortiça, como o IDT pode ser fixado pelo descortificador (entre 34 e 36), então basta apenas medir a área basal que, como depende só do capi, é fácil de obter.

Ferreira e Oliveira (1991), no seguimento do trabalho Ferreira *et al.* (1986), utilizaram dados de 32 parcelas permanentes nas principais zonas produtoras do país, tendo sido amostradas 498 árvores, que serviram para a o ajuste dos modelos de previsão de peso de cortiça com base na função $pcv=a_0+a1*artmax$ (Tabela 8).

Tabela 8 – Modelos ajustados para todas as áreas estudadas

Região	Modelos obtidos
Alcácer do Sal	$pc = -9.02 + 13.349 * artmax$
Grândola	$pc = -2.94 + 10.625 * artmax$
Mora	$pc = -11.88 + 13.569 * artmax$
Montemor-o-Novo	$pc = -11.78 + 13.413 * artmax$
Azaruja	$pc = -5.27 + 10.645 * artmax$
Escoural (I)	$pc = -2.26 + 14.30 * artmax$
Escoural (II)	$pc = -9.04 + 14.550 * artmax$
Porto Alto	$pc = -0.35 + 10.895 * artmax$
Idanha-a-Nova	$pc = -16.49 + 13.683 * artmax$
S. Brás de Alportel	$pc = -1.03 + 10.554 * artmax$
Macedo de Cavaleiros	$pc = -16.89 + 15.034 * artmax$

O autor concluiu, à semelhança de Montero (1988), ser este o modelo que melhor se adaptava ao binómio precisão simplicidade.

Ribeiro (1995), com base numa amostra de $n=262$ árvores na região de Coruche (herdade da Carreta) obteve as correlações e estatísticas descritivas da Tabela 9 onde se pode observar que os valores dos coeficientes de correlações não são muito diferentes dos obtidos por Montero (1988) indicando que as relações alométricas nas árvores são relativamente estáveis nesta espécie.

Tabela 9 – Coeficientes de correlação entre peso total extraído por árvore (pc) e as possíveis variáveis regressoras e correspondentes valores médios, mínimos e máximos

Variáveis	R	Média	Mínimo	Máximo	Unidades
pc	1.00	32	3	135	kg
sg	0.94	3.0	0.5	12.1	m ²
artmax	0.94	3.1	0.5	10.2	m ²
arttot	0.94	4.1	0.5	19.0	m ²
hdtot	0.90	321	92	1010	m
hdmax	0.86	256	92	560	m
capi	0.85	112	52	240	cm
capf	0.84	95	40	217	cm
ac1	0.77	41	3	142	m ²
ac2	0.76	40	2	142	m ²
ncpi	0.76	1	0	7	---
cdtot	0.70	3.1	1.0	8.0	---
id	0.51	36	13	73	---
cdmax	0.39	2.7	1.0	5.2	---
ef	0.23	2.9	0.6	6.7	cm
pcm2	.021	10.9	4.6	21.0	kg/m ²

Ribeiro (1995) ajustou modelos lineares de previsão de peso de cortiça para dois grupos de variáveis com base na altura de descortiçamento utilizada (hdmax e hdtot):

Nº	Grupo 1	Grupo 2
1	capi	capi
2	hdtot	hdmax
3	arttot	artmax
4	cdtot	cdmax
5	np	np
6	hf	hf

O autor utilizou selecção das variáveis, “Stepwise with forward selection”, para cada grupo, tendo sido seleccionados os seguintes modelos: $pc=f(\text{capi},\text{hdtot},\text{arttot},\text{cdtot},\text{np})$ para o grupo 1 e $pc=f(\text{capi},\text{hdmax},\text{artmax},\text{cdmax},\text{np})$ para o grupo 2. Este método de selecção teve apenas como objectivo obter o modelo total constituído pelas variáveis que seguirão no estudo.

De seguida, procedeu-se à selecção dos 10 melhores modelos, utilizando um algoritmo que testou todas as combinações de variáveis possíveis e seleccionou os modelos com base no coeficiente de Mallows (C_p). De referir que também se testou a selecção dos modelos com base no coeficiente de correlação ajustado (R_{aj}^2), tendo-se chegado a resultados idênticos. O autor validou os modelos com as estatísticas de predição da soma de quadrados PRESS:

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2$$

Procedeu ainda a validação cruzada com as seguintes estatísticas:

Somatório dos valores absolutos dos resíduos (SAres):

$$SA\ res = \sum_{i=1}^{n_2} |y - \hat{y}_i|, \text{BIAS} = \text{SAres}/n_2$$

Na Tabela 10 apresentam-se os coeficientes e estatísticas obtidas pelo autor.

Tabela 10 – Modelos lineares seleccionados, coeficientes, estatísticas e medidas de eficiência

Grupo	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	QMR	R ²	R _{aj} ²	C _p	PRESS	BIAS	
1	pc=f(1,2,3,4,5)	-26.19	0.28	-0.093	7.909	8.33	2.24	51.46	0.92	0.92	6.00	14227	3.64	
	pc=f(1,3,4,5)	-19.45	0.22	4.92	2.69	-2.63	----	54.16	0.92	0.92	19.48	14750	4.14	
	pc=f(1,2,3,4)	-25.186	0.290	-0.110	7.803	8.592	----	54.20	0.92	0.92	18.63	14822	3.93	
	pc=f(1,2,3,5)	-11.87	0.17	0.022	4.76	-2.37	----	56.54	0.91	0.91	30.35	15514	3.97	
	pc=f(1,3,5)	-7.72	0.15	5.96	-1.96	----	----	57.27	0.91	0.91	33.09	15489	3.87	
	pc=f(1,3,4)	-16.84	0.23	4.16	1.84	----	----	58.08	0.91	0.91	37.14	15698	4.11	
	pc=f(1,3)	-8.63	0.17	5.08	----	----	----	59.52	0.91	0.91	43.56	15965	4.04	
	pc=f(1,2,3)	-10.33	0.18	0.0085*	4.54	----	----	59.59	0.91	0.91	44.75	16202	4.03	
	pc=f(3,5)	4.35	7.37	-2.85	----	----	----	64.85	0.90	0.91	70.35	17460	3.88	
	pc=f(2,3,5)	4.86	-0.004*	7.59	-2.73	----	----	65.04	0.90	0.90	72.08	17843	3.88	
	pc=f(1,2)	-25.960	0.308	0.072	----	----	----	69.37	0.89	0.89	93.13	18764	5.14	
	pc=f(3)	5.675	6.323	----	----	----	----	70.21	0.89	0.89	96.69	18712	4.66	
	2	pc=f(1,2,3,4,5)	-10.784	0.111	-0.177	15.864	8.570	2.473	59.02	0.91	0.91	6.00	16581	5.38
		pc=f(2,3,4,5)	1.076*	-0.167	17.344	6.153	2.375	----	60.09	0.91	0.91	9.66	16820	5.17
pc=f(2,3,5)		4.241	-0.063	13.100	2.347	----	----	63.49	0.90	0.90	23.54	17372	5.60	
pc=f(1,2,3,5)		4.991*	-0.008*	0.065	13.318	2.341	----	63.73	0.90	0.90	25.50	17507	5.59	
pc=f(1,2,3,4)		-9.983*	0.087*	-0.171	17.414	7.894	----	66.08	0.90	0.90	35.75	18532	6.08	
pc=f(2,3,4)		-0.699*	-0.164	18.528	6.017	----	----	66.62	0.90	0.90	37.20	18606	10.39	
pc=f(1,3,5)		-8.084	0.091	8.601	2.394	----	----	66.97	0.90	0.90	38.74	18142	5.91	
pc=f(1,3,4,5)		-5.413*	0.071*	9.000	-0.599*	2.378	----	67.15	0.90	0.90	40.41	18232	5.97	
pc=f(3,4,5)		2.132*	10.207	-1.842	2.318	----	----	67.44	0.90	0.89	40.78	18252	6.08	
pc=f(3,5)		-1.805*	9.897	2.306	----	----	----	68.88	0.90	0.89	46.24	18559	5.76	
pc=f(3)		-3.476	11.202	----	----	----	----	74.93	0.88	0.88	72.10	20012	6.30	
pc=f(1,2)		-38.023	0.362	0.114	----	----	----	100.73	0.84	0.84	186.03	27011	8.01	

O autor seleccionou, à semelhança de Montero (1989) e Ferreira et al. (1991), os modelos $pcv=-3.476+11.202artmax$, e $pcv=5.675+6.323arttot$ para serem aplicados respectivamente a dados sem e com informação individual das pernas descortçadas.

Ribeiro (1995) propôs ainda modelos ajustados pelo método de regressão multiplicativa com erros log-normais. Aplicando o método dos mínimos quadrados o autor estimou os parâmetros e estatísticas para grupos de variáveis que são as mais performantes dos modelos lineares:

Nº	Grupo 1	Grupo 2
1	ln(capi)	ln(capi)
2	ln(hdtot)	ln(hdmax)

De notar que o autor não utilizou ln(art) porque, $\ln(\text{art}) = \ln(\text{cap}) + \ln(\text{hd})$. Da mesma forma $\ln(\text{cd}) = \ln(\text{hd}) / \ln(\text{cap})$. Como se obtiveram valores de $n_{\text{pern}} = 0$ não se pôde incluir esta variável logaritmizada no estudo.

Os resultados dos modelos ensaiados apresentam-se no Tabela 11.

Tabela 11 – Coeficientes e estatísticas dos modelos multiplicativos transformados por logaritmização

GrupoModelo	b_0	b_1	b_2	θ_2	θ_3	QMR	R^2	R^2_{aj}	BIAS	
1	ln(pc)=f(1)	-8.399	2.467	----	1.08	1.08	0.1464	0.79	0.79	8.24
	ln(pc)=f(2)	-3.907	1.263	----	1.06	1.06	0.1131	0.84	0.84	7.64
	ln(pc)=f(1,2)	-7.052	1.247	0.781	1.03	1.03	0.0564	0.92	0.92	4.08
2	ln(pc)=f(2)	-6.093	1.695	----	1.06	1.06	0.1169	0.83	0.83	9.39
	ln(pc)=f(1,2)	-8.530	1.284	1.040	1.03	1.03	0.0532	0.93	0.93	5.79

Para estimar os valores de peso de cortiça tem de utilizar um factor de correcção θ_* . As estimativas de peso verde de cortiça (kg) obtêm-se para cada grupo de variáveis com os seguintes modelos:

$$\begin{aligned} \hat{p}c &= \theta_3 0.00087(\text{capi})^{1.2473} (\text{hdtot})^{0.7808} \\ \hat{p}c &= \theta_3 0.00020(\text{capi})^{1.2840} (\text{hd max})^{1.0402} \end{aligned}$$

Costa (1997), seguindo uma metodologia muito idêntica aos autores anteriores, validou o modelo de Ferreira e Oliveira (1991) para a Charneca Pliocénica do Ribatejo, concelho de Benavente. O autor decidiu estratificar a amostra em três níveis: I- árvores descortçadas só no fuste ($n_1=1485$ observações), II- árvores descortçadas no fuste e ramos ($n_2=702$ observações) e III- árvores descortçadas no fuste, ramos e braços ($n_3=386$ observações). Desta forma, o autor conseguiu diminuir a variação entre estes três grupos de árvores. Para cada nível o autor apresentou a equação de regressão do Tabela 12.

Tabela 12 – Modelos ajustados para cada nível

Nível	Modelos obtidos	R^2
I	$pt = -2.33 + 11.20 * artmax$	0.87
II	$pt = -6.88 + 13.84 * artmax$	0.84
III	$pt = -15.90 + 18.04 * artmax$	0.86

O autor elaborou também modelos de previsão de peso da cortiça por unidade de superfície (kg ha⁻¹) com base na área basal ABT (m²/ha) e área de descortiçamento aparente (ARTMAX=somatório de todas as superfícies aparentes (artmax) das árvores presentes num hectare). Com base nestas variáveis, apresentou os modelos do Tabela 13.

Tabela 13 – Modelos ajustados para cada unidade de superfície

Modelos obtidos	R ²
PT=-98.177+315.87*ABT	0.95
PT=-47.374+12.926*ARTMAX	0.96

Estes modelos permitem a estimação fácil das produções através de variáveis simples de medir, especialmente a área basal do povoamento.

Fonseca e Parresol (2001) ajustaram um modelo exponencial para a Região de Trás-os-Montes e Alto Douro com base numa amostra de 205 árvores com a seguinte expressão:

$$pcv=0.6183e^{(capi*hdot)^{0.2183}}, R^2=0.864.$$

Os autores construíram intervalos de para a média dos valores estimados pelo modelo através de métodos da regressão não linear e ainda um método para criar os limites nas estimativas para os povoamentos.

Ribeiro e Tomé (2002) construíram um conjunto de modelos de previsão de peso (seco ao ar pcsa, humidade ambiente) para uso antes e após o descortiçamento. Os autores concluíram que as medições a precisão das medições da altura do descortiçamento não acrescentam qualidade aos modelos e sugerem modelos que usam a hdmax em vez dos que usam hdtot (ver ponto 3.2.1). Os autores usaram a validação cruzada e calcularam para as sub amostras de validação as seguintes estatísticas: média dos resíduos de predição, soma de valores absolutos dos resíduos de predição. Os modelos são utilizados de acordo com a informação recolhida nas árvores: (1) Sem informação das pernadas; (2) Conhecendo o número de pernadas descortiçadas; (3) Com informação da altura da pernada mais alta; (4) conhecendo as longitudes de todas as pernadas descortiçadas (Tabela 14).

Tabela 14 – Tipo, modelos de descortiçamento para antes e após o descortiçamento

Tipo	Modelos pré descortiçamento	Modelos pós descortiçamento
1	$\ln(\text{pcsa}) = 2,37 + 2,27 \ln(\text{capi}) + 0,44 \ln(\text{hdf})$	$\ln(\text{pcsa}) = 3,01 + 2,00 \ln(\text{capf})$ $\ln(\text{pcsa}) = 2,75 + 1,92 \ln(\text{capf}) + 0,47 \ln(\text{hdf})$
2	$\ln(\text{pcsa}) = 2,16 + 1,58 \ln(\text{capi}) + 0,51 \ln(\text{np}+1) + 0,67 \ln(\text{hdf})$	$\ln(\text{pcsa}) = 2,21 + 0,96 \ln(\text{capf} * \text{hdf}) + 0,65 \ln(\text{np}+1)$
3	$\ln(\text{psa}) = 2,01 + 0,75 \ln(\text{capi} * \text{hdmax}) + 0,08 (\text{np} + 1)$	$\ln(\text{pcsa}) = 2,33 + 0,66 \ln(\text{capf} * \text{hdmax}) + 0,09 (\text{np}+1)$
4	$\ln(\text{pcsa}) = 2,01 + 0,75 \ln(\text{capi} * \text{hdot}) + 0,15 \text{hdf}$	$\ln(\text{pcsa}) = 1,83 + 0,83 \ln(\text{sg}) + 0,31 \ln(\text{capf}) + 0,45 \ln(\text{efl.3})$ $\ln(\text{pcsa}) = 1,85 + 0,60 \ln(\text{capf} * \text{hdmax}) + 0,44 \ln(\text{CALC}) + 0,251 \ln(\text{sgf})$

Piqué (2002) utilizou os dados dos segundos descortiçamentos das parcelas de Ferreira e Oliveira (1991) e apresentou modelos de previsão de peso de cortiça de árvore utilizando modelos de efeitos mistos (efeitos fixos e aleatórios) para caracterizar a influência das dimensões das árvores, pressão de descortiçamento, período de descortiçamento e competição intraespecífica na estimação do peso seco de cortiça. Os efeitos aleatórios foram decompostos para as escalas: árvore, parcela e região aumentando a sensibilidade dos modelos e obtendo melhores estruturas de variância co-variância quando comparados com os modelos de efeitos fixos. O autor observou que 80 % a 90 % da variabilidade ao nível da árvore e apenas 1 % a 3 % ao nível da parcela. Este facto deve-se à heterocedasticidade decorrente da dimensão da árvore devido à soma de factores aleatórios de perturbação da produção de cortiça (feridas, pragas, doenças, podas radiculares e da copa, etc.).

Em relação à influência da competição intraespecífica Piqué (2002) observou que os modelos espaciais não conseguiram explicar as variações de produção de cortiça concluindo que os índices de competição utilizados não conseguem estimar os processos competitivos ao nível das raízes (nutrientes e água). Os índices de competição espaciais com melhor performance são os de sobreposição de áreas de influência e espaço de crescimento (ver ponto 5.5.1.). Nos modelos não espaciais os índices de competição com melhor performance foram os de razões de dimensões entre o diâmetro da árvore e o diâmetro médio da parcela indicando que a dimensão da árvore é um factor importante na estimação da produção de cortiça, o que já está implícito nas outras variáveis do modelo.

2.4.5. Modelos de crescimento para o sobreiro

Para o sobreiro existem dois modelos de crescimento de cortiça ajustados para Portugal ambos de quarta geração: (1) SUBER (Tomé *et al.*, 2001; Tomé e Paulo, 2005); (2) CORKFITS (Ribeiro *et al.*, 2006).

O modelo de árvore SUBER é não espacial e está parametrizado a nível nacional. O modelo de árvore CORKFITS é espacial e está parametrizado para a região de Coruche.

3. Material e métodos

3.1. Dispositivo experimental

3.1.1. Parcelas permanentes

Neste ponto pretende-se caracterizar os critérios de selecção e instalação das parcelas permanentes de onde foram recolhidos os dados que serviram de base ao desenvolvimento dos modelos de árvore espaciais (integram a informação das coordenadas das árvores) do presente trabalho.

A selecção das localizações das parcelas permanentes é muito importante nos estudos de crescimento devendo, segundo (Vanclay, 1994), ser instaladas aleatoriamente e:

1. Abranger uma gama de condições topográficas tal que permita descrever muitas das condições dos povoamentos;
2. Englobar amplamente os factores da estação que não podem ser manipulados experimentalmente;
3. Amostrar povoamentos com diferentes estruturas e densidades.
4. Acompanhar o desenvolvimento do povoamento durante um período suficientemente longo, de forma a minimizar as variações anuais do crescimento e a englobar as características sazonais da mortalidade.

3.1.1.1. Método de selecção das localizações das parcelas permanentes

Uma vez que se pretende estudar o efeito da competição no crescimento dos sobreiros, decidiu-se estratificar a área com base na densidade do coberto para assim poder amostrar árvores instaladas em povoamentos com diferentes graus de ocupação.

Os trabalhos de estratificação realizaram-se em fotografias aéreas da cobertura aérea de 1991 (pancromática) com base no seguinte critério:

Estrato	% de coberto
1	[10, 25[
2	[25, 50[
3	[50, 100]

O mosaico resultante da fotointerpretação está representado na Figura 4 e as áreas correspondentes a cada estrato na tabela 15.

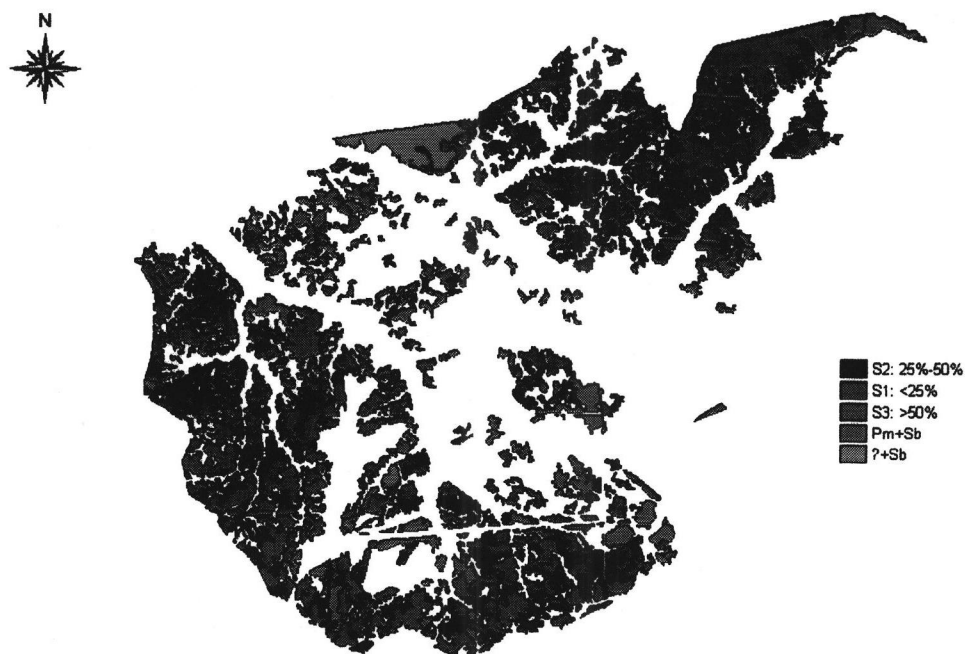


Figura 4 – Mosaico resultante da fotointerpretação, com base na cobertura aerofotográfica de 1991

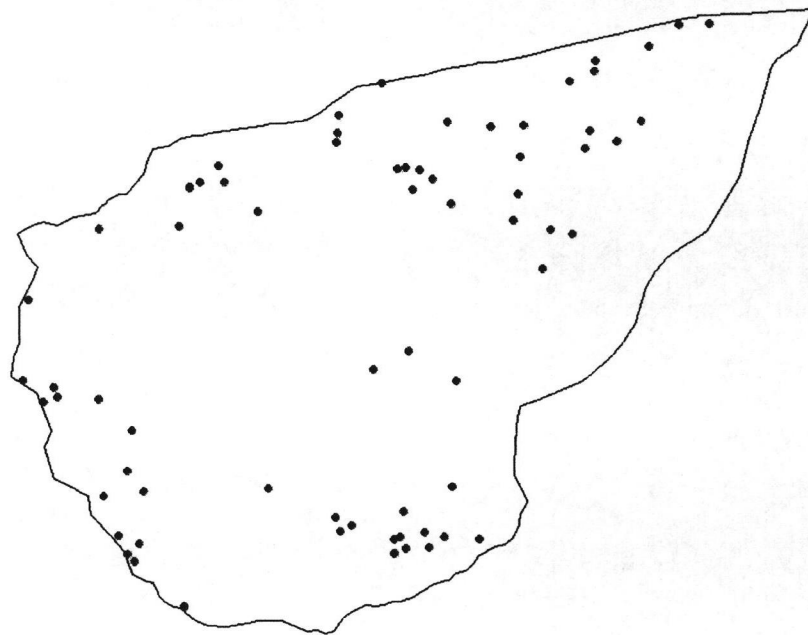
Tabela 15 – Área e percentagem correspondente dos estratos 1, 2 e 3 fotointerpretados

Estrato	Área (ha)	Percentagem da área total em 1991 (%)
1	592	78
2	148	19
3	21	3

Na tabela 15 pode-se observar que os povoamentos de sobreiro mais densos (do estrato 2 e 3) apenas ocupam 21% da área. Os povoamentos do estrato 1 ocupam 78% da superfície da área de estudo.

Tendo em conta o objectivo do presente estudo, de avaliar a influência da competição intraespecífica no crescimento das árvores, decidiu-se instalar as parcelas permanentes com base numa amostragem aleatória estratificada com a instalação de um número aproximadamente igual de parcelas por cada estrato definido (20 no estrato 1, 25 no estrato 2 e 22 no estrato 3).

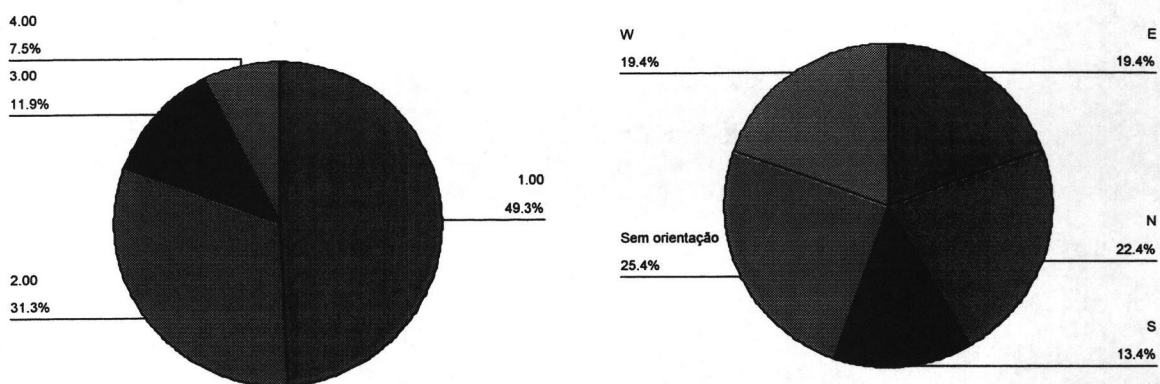
Na Figura 5 pode-se observar a distribuição das parcelas na área de estudo.



• Parcelas.sho

Figura 5 – Distribuição das parcelas de estudo na área de estudo

A distribuição aleatória permitiu capturar uma variedade razoável de condições topográficas (inclinação e orientação) como se pode observar na Figura 6.



Classes de inclinação (%) 1-]0,5]; 2-]5,10]; 3-]10,15]; 4-]15, ∞]

Figura 6 – Percentagens obtidas para as classes de inclinação (esquerda) e para as classes de orientação (direita) nas parcelas permanentes instaladas.

3.1.1.2. Método de localização e instalação das parcelas permanentes

A localização das parcelas permanentes efectuou-se através de fotointerpretação dos pontos marcados na fotografia aérea.

Optou-se por instalar parcelas circulares devido à maior facilidade de instalação e aos menores problemas de bordadura decorrentes do perímetro inferior destas em relação às parcelas de forma quadrada ou rectangular.

Cada parcela foi instalada da seguinte forma:

- Marcação do centro com uma estaca de madeira numerada;
- Correção do raio da parcela para a inclinação α (em graus) obtida com um clinómetro através da seguinte expressão $r_{cor} = r/\cos\alpha$;
- Numeração de todas as árvores incluídas com tinta com um algarismo de 6 dígitos em que o primeiro corresponde ao estrato (1, 2 ou 3), os segundo e terceiro à parcela e os últimos 3 ao número da árvore.

A área escolhida para as parcelas foi de 2000m^2 ($r=25.23\text{m}$) com uma bordadura de aproximadamente 3000m^2 ($25.23\text{m}<r\leq 40\text{m}$).

3.1.1.3. Informação recolhida nas parcelas permanentes

A informação recolhida nas parcelas permanentes tem por objectivo a construção de modelos de árvore espaciais, por isso foi delineado um esquema de medições que caracterizasse intensivamente os atributos dendrométricos e espaciais de cada árvore. Foram tidas em linha de conta os procedimentos sugeridos pelos autores (DGF, 1989; Ferreira et al., 1991; Montero, 1988; Philip, 1994; Ribeiro, 1995; Torres, 1995; Vanclay, 1995) na decisão respeitante às medições a realizar:

Medições efectuadas nas árvores de $\text{cap} \geq 30\text{cm}$ (Figura 7):

- Circunferência à altura do peito antes e após o descortiçamento (capi , capf , cm).
- Circunferência das pernadas antes e após o descortiçamento (cpi , cpf , cm).
- Altura total (h , m)
- Altura da base da copa (hbc , m)
- Altura do fuste (hf , m).
- Altura de descortiçamento no fuste (hdf , m).
- Altura de descortiçamento nas pernadas (hdp , m).
- Altura de descortiçamento máximo nas pernadas (hdpmax , m).
- Ordem de pernadas descortiçadas (o).
- Quatro raios perpendiculares da copa ($r1$, $r2$, $r3$, $r4$, m).

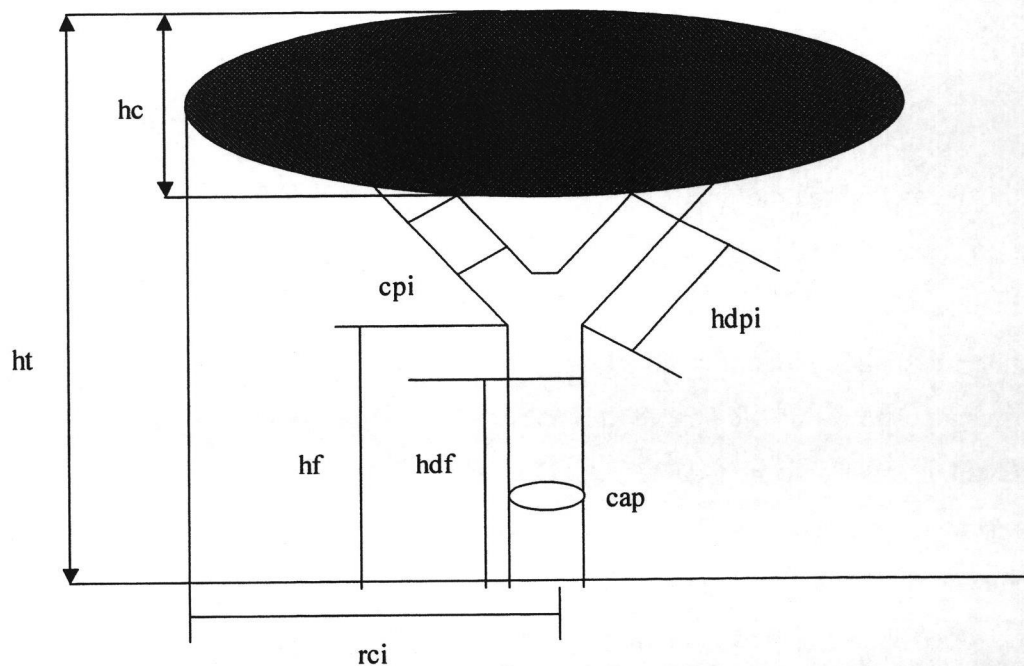


Figura 7 – Esquema das medições efectuadas na árvore

Medições obtidas após descortiçamento, fora da árvore

- Peso verde da cortiça extraída do fuste (pf, kg).
- Peso verde da cortiça extraída das pernadas (pp, kg).
- Amostra de cortiça para determinação da humidade, em embalagem estanque (previamente pesada em balança de precisão).
- Amostra de cortiça de dimensões 20*40cm para determinação de:
 - Calibre antes e após cozedura
 - Anéis de crescimento antes da cozedura
 - Análise de imagem após a cozedura

Os pesos foram obtidos, imediatamente após a extracção.

Medição das árvores de regeneração ($capi < 30\text{cm}$):

- Altura inferior a 1.30 m
 - Altura total
 - Dois diâmetros de copa
- Altura superior a 1.30 m com fuste indefinido
 - Altura total
 - Dois diâmetros de copa
- Altura superior a 1.30 m com fuste indefinido
- Altura superior a 1.30 m com fuste indefinido
 - Altura total

- Altura da copa
- Dois diâmetros de copa
- Altura do fuste

Medição das árvores mortas:

- Quando a árvore ainda não foi abatida medem-se todos as variáveis anteriores excepto os parâmetros da copa.

- Quando foi abatida medem-se dois diâmetros do cepo

Informação espacial medida para todas as árvores (adultas, regeneração e mortas):

- Distância do fuste ao centro da parcela
- Inclinação da posição da árvore em relação ao centro da parcela
- Orientação do fuste em relação ao centro da parcela

As informações de carácter não dendrométrico obtidas foram:

- Tipo de exploração

{	Pau batido
	Meças
	Misto
- Actividade sob coberto

{	{	Agrícola
		Não agrícola
	{	
		Pastagem natural
		Pastagem artificial

Em todas as parcelas foi aberto e descrito um perfil de solo e recolhidas amostras para cada nível do perfil para análises físico-químicas tendo-se obtido o seguinte conjunto de variáveis:

- Medições no perfil
 - Classificação Portuguesa de solos
 - Profundidade do perfil (Pperf, cm)
 - Profundidade de expansão radicular (Praiz, cm)
- Análises físicas
 - Densidade aparente (Dap)
 - (Cap, %)
- Análises químicas
 - Fósforo (P, ppm)
 - Nitratos (N, ppm)
 - Potássio (K, ppm)
 - Capacidade de troca catiónica (CEC, meq 100g⁻¹)

- Magnésio (Mg, meq)
- Cálcio (Ca, meq)
- Sódio (Na, meq)
- Potássio (K, meq)
- Soma de catiões (Scat, meq)
- $V = \frac{100 Scat}{CEC}$

Foi recolhida informação das coordenadas dos centros das parcelas com GPS, orientação (graus), declive (graus).

Nos descortiçamentos de 1996 a 2001 as variáveis caracterizadoras da produção de cortiça só foram medidas nas parcelas de 2000 m². Nos descortiçamentos de 2005 e 2006, foram recolhidos dados de produção de cortiça na totalidade de área da parcela (5000 m²). As outras variáveis morfológicas foram recolhidas na parcela de 5000 m² em 1995 e 2005.

3.1.2. Tratamento das amostras de campo

Neste ponto apresentam-se os trabalhos realizados no tratamento das amostras de campo recolhidas.

As amostras de cortiça referentes à determinação da humidade foram pesadas (embalagem e cortiça) obtendo-se o peso verde (subtraindo ao peso total da amostra o peso da embalagem). De seguida as amostras foram secas em estufa a 103 ± 2°C até atingirem peso constante. De seguida foram pesadas e determinado o peso seco. O conteúdo em humidade foi calculado da seguinte forma:

$$H = \frac{\text{peso verde} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

Para a medição dos anéis de crescimento foram seguidos os seguintes procedimentos:

- Corte da porção da cala correspondente à altura da base.
- Polimento das faces dessa porção da cala.(lixa p100).
- Digitalização da face da cala a 254dpi (cada pixel corresponde a um quadrado com 0.1mm de lado).
- As dimensões dos anéis de crescimento são obtidas com o programa de análise de imagem ()

Como se está a trabalhar com cortiças com 10 anos de criação foram medidos em cada amostra 9 anéis de crescimento completos.

Para a determinação dos parâmetros de qualidade procedeu-se ao cozimento das calas nas instalações fabris da EQUIPAR. O procedimento consiste na introdução das calas em água em ebulição por um período de 1h. A sequência de trabalhos seguida foi:

- Polimento com lixa P100 do corte transversal da cala correspondente à altura basal.
- Determinação do calibre
- Digitalização da face correspondente ao referido corte transversal a 254dpi.
- Determinação dos parâmetros de qualidade através de análise de imagem:
 - Variáveis simples
 - Perímetro individual dos poros
 - Área individual dos poros
 - Diâmetro do “Ferret”
 - Factor de forma
 - Compactness
 - Comprimento do maior eixo
 - Área total da amostra
 - Variáveis transformadas
 - N.º de poros por 100 cm² (> 0,1mm²; >1,0 mm²; >2,0mm² e >4,0mm²)
 - Área média dos poros (> 0,1mm²; >1,0 mm²; >2,0mm² e >4,0mm²)
 - Maior eixo médio dos poros (> 0,1mm²; >1,0 mm² e >2,0mm²)
 - Coeficiente de Porosidade

$$CP = \frac{\text{ÁreaTotaldosPoros}}{\text{ÁreaTotal}} * 100$$

- Factor de geometria sem ponderação (> 0,1mm²; >1,0 mm²; >2,0mm²) e com ponderação usando os poros >1,0mm² e >2,0mm²

$$FG = \frac{\text{Diâmetro do Feret}}{\text{MaiorEixo}}, 0 \text{ (forma linear)} < FG < 1 \text{ (forma circular)}$$

- Factor de forma com ponderação (> 0,1mm²; >1,0 mm²; >2,0mm²) e com ponderação usando os poros >1,0mm² e >2,0mm²

$$FF = \frac{4\pi \times \text{Área}}{\text{Perimetro}^2}, 0 \text{ (objecto irregular)} < FG < 1 \text{ (círculo regular)}$$

- “Compactness” com ponderação (> 0,1mm²; >1,0 mm²; >2,0mm²) e com ponderação usando os poros >1,0mm² e >2,0mm²

$$\text{Comp} = \frac{\text{Perímetro}^2}{\text{Área}}$$

3.2. Variáveis simples e transformadas utilizadas

3.2.1. Variáveis de árvore

As medições obtidas no ponto 3.3.1 permitem obter os coeficientes e parâmetros quantitativos que vão permitir a análise da potencialidade produtiva e o diagnóstico do impacto do sistema produtivo sobre as árvores. Assim, através de operações com e entre as variáveis medidas, obtém-se as seguintes expressões:

- Perímetro sobre casca (capi, cm) e circunferência sobre o entrecasco (capf, cm)

Considerando p=pernadas exploradas tem-se para a árvore individual:

- Profundidade da copa (cw, m)

$$cw = h - hbc$$

- Altura de descortiçamento total (hdt, m) (DGF, 1989)

$$hdtot = hdf + \sum_{v=1}^p hdp_v$$

- Altura de descortiçamento máxima (hdmax, m) (Natividade, 1950)

$$hdmax = hdf + hdpmax$$

em que hdmax = altura do arco máximo do descortiçamento

- Peso de cortiça verde e seco total (pcv e pcs, kg)

$$pcv = pf + \sum_{v=1}^p pp_v, \quad pcvs = pf + \sum_{v=1}^p pp_s$$

- Superfície geradora de cortiça de reprodução (sg, m²)

$$sg = capf + \sum_{v=1}^p (cpf_v * hdp_v)$$

- Peso de cortiça verde e seca por unidade de superfície descortiçada (pcm_v², pcm_s², kg, m⁻²)

$$pcm_{v,s}^2 = pca/sg$$

- Área da projecção horizontal da copa calculada por soma de quartos de elipse (ac, m²)

$$ac = \pi/4 * [(r_1 * r_4) + (r_1 * r_2) + (r_2 * r_3) + (r_3 * r_4)]$$

- Área basal antes e após o descortiçamento (abi e abf, m²)

$$abi = \frac{capi^2}{4\pi}; \quad abf = \frac{capf^2}{4\pi}$$

- O crescimento anual da cortiça é expresso pela medida da espessura dos anéis completos medidos (a_i)

$a_i, i=1, \dots, 9$ (porque se está a trabalhar com cortiças de 10 anos de criação)

- O crescimento acumulado da cortiça é calculado de diferentes formas conforme a origem dos dados:

1- Com os dados obtidos pela medição de anéis obtém-se um estimador da espessura de cortiça utilizável (sem costa e sem raspa)

$$efu_9 = \sum_{i=1}^9 a_i$$

2- Com os dados medidos no campo calcula-se a espessura da cortiça no fuste ($efl.3$) (com raspa e costa) e a espessura da cortiça nas pernadas, média de todas as pernadas descortaçadas (ep)

$$efl.3 = \frac{(capi - capf)}{2\pi} \quad ep = \frac{\sum_{v=1}^p (cpi_v - cpf_v)}{2\pi np}$$

3- As variáveis anteriores podem ainda ser expressas em crescimento de cortiça em área seccional (m^2) $icgfu_9$, $icgf_{10}$ e $icgpm_{10}$.

- Coeficiente de descortiçamento máximo ($cdmax$)

$$cdmax = hdmax/capi$$

- Coeficiente de descortiçamento total (cd)

$$cd = hdtot/capi$$

- Intensidade de descortiçamento (id)

$$id = sg/abf$$

- Superfície descortiçamento estimada máxima e total ($artmax$, $arttot$, m^2):

$$artmax = capf * hdmax ; arttot = capf * hdtot$$

representa-se a superfície aparente de descortiçamento com base na circunferência final, mas também serão usadas as superfícies aparentes iniciais que se obtêm substituindo $capf$ por $capi$

- Coeficiente de forma antes do descortiçamento e após o descortiçamento máximo e total ($cf1max$, $cf2max$, $cf1tot$ e $cf2tot$)

$$cf1max = sg/(capi * hdmax); cf2max = sg/(capf * hdmax)$$

$$cf1tot = sg/(capi * hdtot); cf2tot = sg/(capf * hdtot)$$

3.2.2. Variáveis de povoamento

As variáveis do ponto anterior podem ser expressas por unidade de superfície e desta forma permitem obter informação sobre o povoamento. Como o povoamento é constituído por um conjunto de árvores, a maior parte das variáveis de povoamento representam a soma dos parâmetros da parcela, aferidos para o hectare. Quanto aos coeficientes, e uma vez que se pretende avaliar os valores gerais, utilizam-se as médias dos valores obtidos em cada árvore da parcela.

O factor de correcção calcula-se da seguinte forma:

$$F_c = \frac{10000m^2}{\text{área da parcela}}$$

Considerando para a parcela de amostragem a=número total de árvores, e=número de árvores exploradas e c=número de árvores exploradas na copa, as expressões das variáveis de povoamento vêm:

Variáveis indicadoras da ocupação da estação:

- Densidade absoluta (NT, arv ha⁻¹)

$$NT = \left(\sum_{i=1}^a i \right) * F_c$$

- Densidade absoluta de árvores exploradas (NE, arv ha⁻¹)

$$NE = \left(\sum_{i=1}^e i \right) * F_c$$

- Densidade absoluta de árvores exploradas na copa (NP, arv ha⁻¹)

$$NP = \left(\sum_{i=1}^c i \right) * F_c$$

- Circunferência total antes e após descortiçamento (CIT, CFT, m)

$$CIT = \left(\sum_{j=1}^a \text{capi}_j \right) * F_c; \quad CFT = \left(\sum_{j=1}^a \text{capf}_j \right) * F_c$$

- Circunferência total das árvores exploradas antes e após o descortiçamento (CEIT, CEFT, m)

$$CEIT = \left(\sum_{j=1}^e \text{capi}_j \right) * F_c; \quad CEFT = \left(\sum_{j=1}^e \text{capf}_j \right) * F_c$$

- Circunferência à altura do peito antes do descortiçamento média e médio explorado (CAPM e CAPEM, m)

$$\text{CAPM} = \left(\sum_{j=1}^a \text{capi}_j \right) / a, \quad \text{e} \quad \text{CAPEM} = \left(\sum_{j=1}^e \text{capf}_j \right) / e$$

- Área basal total antes e após o descortçamento (ABTi, ABTf, m² ha⁻¹)

$$\text{ABTi} = \left(\sum_{j=1}^a \text{abi}_j \right) * \text{Fc}; \quad \text{ABTf} = \left(\sum_{j=1}^a \text{abf}_j \right) * \text{Fc}$$

- Área da projecção horizontal da copa total (ACT, , m² ha⁻¹)

$$\text{ACT} = \left(\sum_{i=1}^a \text{ac}_i \right) * \text{Fc}$$

Variáveis indicadoras do tipo e intensidade da exploração praticada:

- Coeficiente de descortçamento médio CDM e CDMmax

$$\text{CDM}(\text{tot ou max}) = \left(\sum_{i=1}^e \text{cd}(\text{tot ou max})_i \right) * \text{Fc} / \text{NE}$$

- Intensidade de descortçamento do povoamento (IDP)

$$\text{IDP} = \left(\sum_{i=1}^e \text{id}_i \right) * \text{Fc} / \text{NE}$$

- Superfície geradora total (SGT, m² ha⁻¹)

$$\text{SGT} = \left(\sum_{i=1}^e \text{sg}_i \right) * \text{Fc}$$

- Índice de árvores exploradas (ERN)

$$\text{ERN} = \text{NE} / \text{NT}$$

- Índice de circunferência explorada (ERC)

$$\text{ERC} = \text{CET}_i / \text{CT}_i$$

- Índice de pernadas exploradas (ERP)

$$\text{ERP} = \text{NP} / \text{NT}$$

Variáveis indicadoras da produção e produtividade

- Peso total verde, seco (PTv, PTs, kg ha⁻¹)

$$\text{PTv} = \left(\sum_{i=1}^e \text{pcv}_i \right) * \text{Fc}, \quad \text{PTs} = \left(\sum_{i=1}^e \text{pcs}_i \right) * \text{Fc}$$

- Peso verde e seco, por unidade de superfície descortçada médio (PCM²mv, PCM²ms, kg m²)

$$\text{PCM}^2\text{mv} = \left(\sum_{i=1}^e \text{pcv}_i^2 \right) * \text{Fc} / \text{NE}, \quad \text{PCM}^2\text{ms} = \left(\sum_{i=1}^e \text{pcs}_i^2 \right) * \text{Fc} / \text{NE},$$

3.2.3. Estimadores centrados da média populacional para a amostragem estratificada. Expressão da variância

Numa amostragem estratificada conhecem-se as dimensões dos estratos N_h ($h=1,\dots,L$) (pré-estratificação). Assim a média populacional \bar{Y} de uma característica y pode ser obtida através do estimador centrado (Cochran, 1977; Vries, 1986):

$$\hat{Y}_E = \frac{\sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h}{N} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h,$$

onde $\bar{y}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} y_{hi}}{n_h}$ e $N = \sum_{h=1}^L N_h$. As expressões da variância vêm:

$$\text{var } \hat{Y}_E = \sum_{h=1}^L \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \frac{W_h^2 S_h^2}{n_h},$$

onde $W_h = N_h/N$ tal que $\sum_{h=1}^L W_h = 1$, $S_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)^2}{N_h - 1}$ considerando $n_h/N_h = f_h$ o factor de correcção para populações finitas (Cochran, 1977). Se se utilizar informação recolhida por amostragem, a variância pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$\hat{\text{var}} \hat{Y}_E = \sum_{h=1}^L (1 - f_h) \frac{W_h^2 s_h^2}{n_h},$$

onde $s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)^2}{n_h - 1}$.

3.2.4. Estimadores para intervalos de confiança e dimensões óptimas de amostragem

No caso da amostragem aleatória estratificada seguem-se dois métodos para a construção dos intervalos de confiança mediante a igualdade ou não das variâncias S_h^2 entre estratos.

Para testar essa igualdade, utiliza-se o teste de Bartlett sob a hipótese nula e alternativa:

$H_0: S_h^2 = S_w^2$ versus $H_1: \text{Nem todas as variâncias } S_h^2 \text{ são iguais.}$ A estatística de teste vem:

$$M = \frac{-2 \ln(\mu)}{1 + \frac{1}{3(L-1)} \left\{ \left(\sum_{h=1}^L \frac{1}{n_h - 1} \right) - \frac{1}{n-L} \right\}} \approx \chi_{L-1}^2,$$

onde:

$$\mu = \frac{\prod_{h=1}^L \left(\frac{n_h S_h^2}{n_h - 1} \right)^{\frac{1}{2}(n_h - 1)}}{\left(\frac{\sum_{h=1}^L n_h S_h^2}{n - L} \right)^{\frac{1}{2}(n-L)}}.$$

Se $M < \chi_{L-1}^2(1 - \alpha)$, com $\alpha=0.05$, não se têm razões para rejeitar a hipótese nula H_0 e considerando-se as variâncias S_h^2 iguais em todos os estratos e então:

$$\frac{\hat{Y}_E - \bar{Y}}{\sqrt{\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E)}} \approx t_{[1 - \frac{\alpha}{2}, n-L]},$$

donde se constrói o intervalo de confiança para $\alpha=0.05$:

$$\hat{Y}_E - t_{[1 - \frac{\alpha}{2}, n-L]} * \sqrt{\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E)} < \bar{Y} < \hat{Y}_E + t_{[1 - \frac{\alpha}{2}, n-L]} * \sqrt{\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E)},$$

considera-se que $se = t_{[1 - \frac{\alpha}{2}, n-L]} * \sqrt{\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E)}$ é o erro amostral e $se\% = \frac{se}{\hat{Y}_E} * 100$ representa a percentagem do erro amostral em relação à média estimada.

Se $M \geq \chi_{L-1}^2(1 - \alpha)$, com $\alpha=0.05$, rejeita-se a hipótese nula H_0 e considerando-se que nem todas as variâncias S_h^2 são iguais. Então o cálculo dos graus de liberdade para obter um intervalo de confiança de 95% resulta, segundo Vries (1986), da solução do problema de Behrens-Fisher. Então tem-se que:

$$\frac{\hat{Y}_E - \bar{Y}}{\sqrt{\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E)}} \approx t_{[1 - \frac{\alpha}{2}, \hat{f}]},$$

com

$$\hat{f} = \frac{\left(\hat{\text{vâr}}(\hat{Y}_E) \right)^2}{\sum_{h=1}^L \left(\frac{S_h^2}{n_h} \right)^2},$$

onde se pode provar que $n_{\hat{f}}-1 < \hat{f} < n-L$. Então o intervalo de 95% confiança vem (com $\alpha=0.05$):

$$\hat{Y}_E - t_{\left[1-\frac{\alpha}{2}, \hat{f}\right]} * \sqrt{\text{vâr}(\hat{Y}_E)} < \bar{Y} < \hat{Y}_E + t_{\left[1-\frac{\alpha}{2}, \hat{f}\right]} * \sqrt{\text{vâr}(\hat{Y}_E)}$$

Para a construção dos intervalos de confiança anteriores, assumem-se pressupostos de normalidade que nem sempre se verificam (Vries, 1986). Assim, os intervalos obtidos nem sempre têm o nível de confiança (no presente caso 95%), que se pretende que tenham, são aproximações. Por este motivo o autor refere que para os casos anteriores se usa o pressuposto de que \hat{Y} tem uma distribuição aproximadamente normal com variância $\text{vâr}(\hat{Y}_E)$ e então,

$$t_{[0.975, n-L]} = t_{[0.975, \hat{f}]} = 2.$$

3.3. Métodos de modelação do perfil da copa

No presente ponto são descritos os métodos de modelação do perfil da copa utilizados no presente trabalho.

3.3.1. Medições de campo

Os dados foram obtidos através de fotografias de perfil das copas dos sobreiros. Foram seguidos os seguintes procedimentos na obtenção das fotografias:

1. Foram seleccionadas aleatoriamente 20 parcelas permanentes dentro do grupo de 67. Em cada uma das 20 parcelas foram seleccionadas aleatoriamente 4 árvores, 1 em cada classe

de capcc definida para este efeito: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Classe 1 - } cbh \leq 80 \text{ cm} \\ \text{Classe 2 - } 80 < cbh \leq 120 \text{ cm} \\ \text{Classe 3 - } 120 < cbh \leq 160 \text{ cm} \\ \text{Classe 3 - } cbh > 160 \text{ cm} \end{array} \right.$. Este procedimento de

- selecção teve por objectivo amostrar de forma equilibrada todas as classes de dimensão.
2. Para minimizar os problemas de paralaxe colocou-se a câmara fotográfica à altura do centro da copa.
 3. Para todas as fotografias mediu-se distância da objectiva à árvore. Para cálculos de escala.
 - 4.

3.3.2. Digitalização do perfil da copa

Para a obtenção de dados do perfil da copa, procedeu-se à digitalização das fotografias com um “snaner”. De seguida, todas as fotografias foram sujeitas ao seguinte tratamento:

1. Corte da área referente aos limites da árvore, de forma que os limites da área cortada correspondessem à altura total e largura da árvore (medidas conhecidas). Este procedimento permitiu referir todas as imagens à mesma escala.
2. Marcação dos limites da copa.
3. Determinação das coordenadas ortogonais dos seguintes pontos com um programa de análise de imagem
 - 3.1. Coordenadas (x,y) da base da copa (bc), ponto de inserção do fuste na copa para definir lado esquerdo e direito da copa

- 3.2. Topo da copa (tc) (altura máxima)
- 3.3. Coordenadas dos pontos correspondentes à maior largura da copa da parte esquerda (le) e direita (ld). Estes pontos definem os limites da copa de sol e de sombra.
- 3.4. Coordenadas (x,y) de pontos sobre a linha de perfil
- 3.5. Construção de um programa em Visual Pascal para dividir as copas em 4 quadrantes definidos pelos pontos bc, tc, le e ld.
- 3.6. Coordenadas dos pontos do perfil da copa correspondentes a $\frac{3}{4}$ e $\frac{1}{4}$ da altura da copa para o cálculo da largura da copa nestas alturas relativas.

3.3.3. Métodos utilizados na modelação do perfil

Neste ponto descrevem-se os métodos seleccionados para a modelação do perfil da copa considerando que os limites da copa são descritos por um elipsóide da forma:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^E + \left(\frac{y}{b}\right)^E = 1$$

Com a = altura da copa; b = raio da copa; (x, y)=coordenadas dos pontos e E=parâmetro de forma do elipsóide.

O modelo de copa descrito apresenta uma boa flexibilidade, podendo modelar qualquer forma desde triangular (E=1) a quadrada (E \approx ∞) (Figura 8). Uma vez que se pretende dividir a copa verticalmente, em copa de sombra e copa de sol, à altura correspondente ao maior diâmetro (a), este modelo apresenta a vantagem de ser contínuo nos pontos de ligação o que lhe confere uma plausibilidade biológica (Koop, 1989).

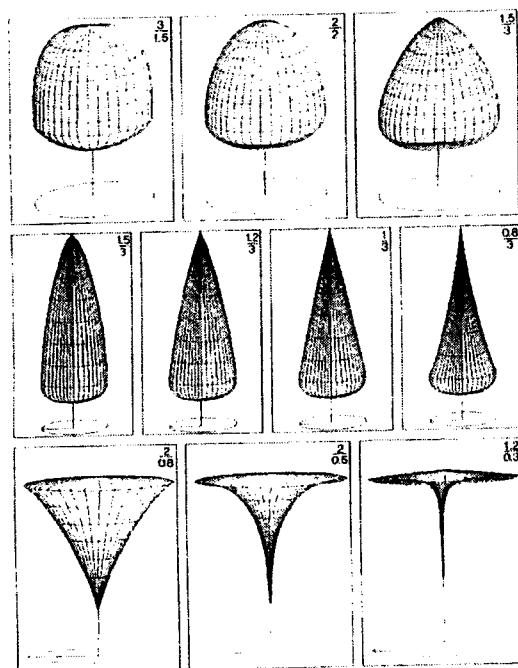


Figura 8 – Formas de perfil com diferentes combinações de parâmetros E para a copa de sol e de sombra (adaptado de Koop (1989)).

Decidiu-se modelar separadamente a copa de sol e de sombra seguindo as metodologias propostas por Koop (1989) e Pretzsch (1992). Esta divisão, para além das justificações fisiológicas (decorrentes do padrão de incidência dos raios solares), deve-se às diferenças de perfil observadas nos sobreiros entre a parte superior da copa (se sol) e a parte inferior (de sombra).

Existem abordagens alternativas para determinar a forma das copas com base em parametrização de modelos de morfologia da copa (diâmetro, posição e comprimento dos ramos) (Biging e Gill, 1997): Colin e Houllier (1992) modelou os diâmetros máximos e médios de ramos dentro de uma espiral, a distância à ponta da árvore à espiral e ângulo de inserção em *Picea abies*. Os autores usaram dados normais de inventário para estimar os parâmetros do modelo com o objectivo de o inserir num modelo de simulação de qualidade da madeira. (Maguire et al., 1994) modelou o número, diâmetro e distribuição de ramos primários no fuste em *Pseudotsuga menziesii* jovens. Nestes estudos é pouco usual estimar o comprimento dos ramos mas se forem combinados com modelos de longitude dos ramos é possível obter uma descrição detalhada da forma da copa (Ford *et al.*, 1990; Ford e Ford, 1990). No entanto, a parametrização destes modelos exige um conjunto de dados da copa raramente disponíveis.

Os métodos a seguir descritos diferem na forma de estimação do parâmetro E.

3.3.3.1. Método de Koop

O método proposto por Koop (1989) consiste estimar o parâmetro E através de três medidas que podem ser obtidas no campo ou tem fotografias de perfil de copas. Estas medidas apresentam-se esquematicamente na Figura 9.

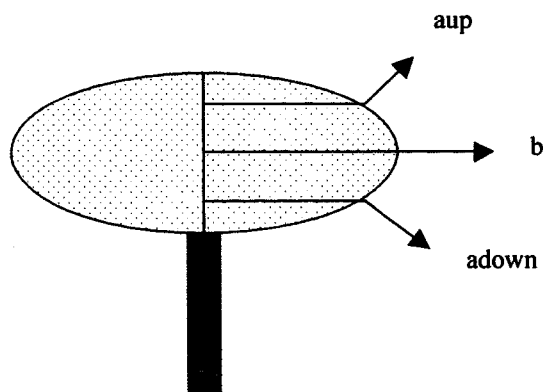


Figura 9 – Esquema da árvore com os pontos aup a ¾ da altura da copa, adown a ¼ da altura da copa e b que corresponde ao maior diâmetro

O método consiste em obter o diâmetro da copa a ¾ (aup) e ¼ (adown) e o maior diâmetro da copa (b) bem como a sua altura em relação à base da copa. Com estes pontos pode-se estimar o parâmetro de forma E usando a seguinte expressão:

$$\left(\frac{a}{b}\right)^E + \left(\frac{3}{4}\right)^E = 1$$

A estimação do parâmetro E foi efectuada por processos numéricos disponíveis no programa MATEMÁTICA, para os quatro quadrantes de cada copa esquematizados na Figura 10.

3.3.3.2. Método digital

O outro método seguido consistiu no uso de todos os pontos digitalizados para cada perfil e estimar o parâmetro E para os quatro quadrantes definidos pelos pontos representados na Figura 10.

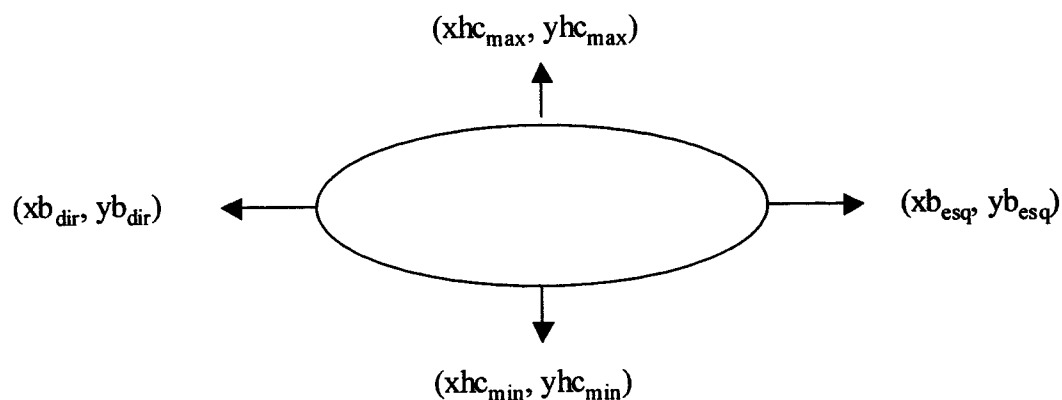


Figura 10 – Esquema dos pontos utilizados na definição dos quatro quadrantes da copa

A estimação do parâmetro E para cada quadrante fez-se usando o modelo:

$$y = b \left(1 - \left(\frac{x}{a} \right)^E \right)^{\frac{1}{E}}$$

Os parâmetros E (de cada quadrante) foram estimados com base no algoritmo Levenberg-Marquardt (SPSS, 2005) disponível do modo de regressão não linear do programa SPSS 13.1.

3.4. Caracterização da estrutura espacial das parcelas estudadas.

A complexidade da estrutura espacial de um povoamento florestal deve-se ao facto das árvores explorarem o espaço horizontal como também o espaço vertical (acima e abaixo do nível do solo) (Wu et al., 1985). A abordagem mais simples para reduzir esta complexidade consiste em reduzir o povoamento a um conjunto de pontos no espaço definidos pelas suas coordenadas (x,y) representando a localização das árvores no espaço horizontal. Os processos pontuais podem ser usados para descrever e analisar esses padrões pontuais pela determinação de algumas propriedades globais (leis) nas posições aleatórias das árvores no povoamento (Tomppo, 1986).

Um processo pontual é um processo estocástico que gera um padrão aleatório de pontos que partilham a mesma estrutura espacial (lei do processo) como, por exemplo, padrões completamente aleatórios de Poisson, padrões regulares e padrões agregados. Assim, um povoamento pode ser considerado como uma realização de um processo pontual cujas propriedades são boas descritoras da estrutura espacial de um povoamento ((Goreaud et al., 1997).

Penttinen et al. (1992) descreve um processo pontual marcado como um modelo matemático de um sistema aleatório de pontos $[x,m(x)]$ em que x representa os pontos no plano (posições das árvores) e $m(x)$ a sua marca (características dendrométricas das árvores). As características fundamentais de um processo pontual homogéneo são a sua densidade λ (árvores ha^{-1}) e a média da marca ($m(x)$) μ (diâmetro do tronco a 1.3m do solo, diâmetro da projecção horizontal das copas e altura da árvore). As marcas são consideradas como características de 1ª ordem por dizerem respeito à árvore individual e μ é a média das marcas de um processo pontual escolhido aleatoriamente. A intensidade λ pode ser interpretado da seguinte forma: considere-se um círculo de raio infinitesimalmente pequeno com área dx , então a probabilidade de encontrar uma árvore em dx é dada por λdx . Para descrever a variabilidade e correlações em povoamentos florestais têm de ser consideradas as características de 2ª ordem definidas por pares de árvores. Assim, se se considerarem dois círculos de raio infinitesimalmente pequeno com áreas dx e dy , a uma distância r então a probabilidade $P(r)$ de que ambos os círculos contenham um ponto do processo pontual é:

$$p(r) = \lambda^2 g(r) dx dy$$

A função $g(r)$ é a função de correlação de pares e é uma função apenas da distância r . Num processo homogéneo de Poisson $g(r) \equiv 1$, num processo pontual agregado $g(r) > 1$, e num processo pontual segregado $g(r) < 1$.

A característica cumulativa de segunda ordem é dada pela função de Ripley (Penttinen et al., 1992):

$$K(r) = \int_0^r g(u) 2\pi u du, \quad r > 0$$

Intuitivamente $\lambda K(r)$ representa o número médio de pontos a uma distância inferior a r de um ponto escolhido aleatoriamente. Num processo de Poisson $K(r) = \pi r^2$.

Considere-se agora as marcas: considerem-se outra vez os dois círculos infinitesimalmente pequenos, seja $M(x)$ o produto médio das marcas dentro desses círculos, $M(x) = 0$ a não ser que os dois círculos contenham ambos um ponto. Pode-se então escrever $M(r)$ da seguinte forma:

$$M(r) = \lambda^2 g(r) k_{mm}(r) dx dy$$

Em que $k_{mm}(r)$ descreve as relações entre as marcas. Se $k_{mm}(r) > \mu^2$ existe uma correlação positiva entre as marcas e negativa caso contrário. Pode-se interpretar $k_{mm}(r)$ como a esperança de $m(x).m(y)$ dados dois pontos com localizações x e y em que r é a distância Euclidiana $\|x-y\|$. Para facilitar a interpretação, e tendo em conta que num processo independentemente marcado k_{mm} é idêntico a μ^2 para todo o r . Pode-se então definir a função de correlação de marcas:

$$\mathbf{k}_{mm}(r) = k_{mm}(r) / \mu^2$$

Se $\mathbf{k}_{mm}(r) \equiv 1$ as dimensões das árvores não estão correlacionadas, $\mathbf{k}_{mm}(r) > 1$ as dimensões estão positivamente correlacionadas e negativamente caso contrário (Penttinen et al., 1992).

Os estimadores para o cálculo das funções de correlação de pares $g(r)$ e de marcas \mathbf{k}_{mm} são construídos com base num função núcleo w e um factor de correcção de efeitos de bordadura $s(r)$:

A função núcleo de Epanechicov $w(x)$ é não negativa e simétrica em relação à origem:

$$w(x) = \begin{cases} \frac{3}{4\delta} \left(1 - \frac{x^2}{\delta^2}\right), & \text{se } -\delta < x < \delta \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \text{ com } \delta = \frac{0.1 \dots 0.2}{\sqrt{\lambda}}$$

$$\hat{k}_{mm}(r) = \frac{\sum_{i \neq j} w(\|x_i - x_j\| - r) m_i m_j}{(\hat{\lambda}^2 \hat{\mu} 2\pi s(r) \hat{g}(r))}, \quad r > 0 \qquad \hat{g}(r) = \frac{\sum_{i \neq j} w(\|x_i - x_j\| - r)}{(\hat{\lambda}^2 2\pi s(r))}, \quad r > 0$$

em que :

r = distância entre árvore, n = número de árvores dentro da área de amostragem A

$\hat{\lambda} = \frac{n}{A}$ intensidade estimada do processo de Poisson

m_i, m_j são os valores das dimensões em estudo

$\hat{\mu}$ = média estimada da marca

$\|x - y\|$ = Distância euclidiana entre os pontos x e y

A correcção do efeito de bordadura para as parcelas circulares vem:

$$s(r) = \begin{cases} \frac{d^2}{2} \left[\arccos\left(\frac{r}{d}\right) - \frac{r}{d} \left(1 - \left(\frac{r}{d}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \right], & \text{se } 0 < r < d \text{ Com} \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad d = \text{diâmetro da parcela circular}$$

3.5. Índices de competição utilizados.

Neste ponto são apresentadas as expressões matemáticas dos índices de competição utilizados nos estudos de competição. Foi usada uma bateria extensa de índices de competição espaciais e como controlo de eficiência dos mesmos usou-se um grupo mais restrito de índices de competição não espaciais.

3.5.1. Índices de competição espaciais

Os índices de competição espaciais foram agrupados de acordo com a seguinte classificação utilizada por diversos autores como (Bachmann, 1997; Biging e Dobbertin, 1992; Pretzsch, 1992; Soares, 1995; Tomé e Burkhart, 1989; Vanclay *et al.*, 1995) (ver ponto 2.2):

Classes dos índices de competição espaciais

{	1 - razão de dimensões
	2 - sobreposição de áreas de influência
	3 - espaço de crescimento

Na Tabela 16 apresentam-se as expressões matemáticas dos índices bem como o seu código, classificação e autor.

Tabela 16 – Código, expressão matemática, classificação e autor dos índices de competição utilizados

Código	Expressão matemática	Classificação	Autor
H	$\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} * \frac{1}{dist_{ij}}$	1	(Hegyí, 1974)
D	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{d_j}{d_i}\right)^2 * \frac{1}{dist_{ij}}$	1	(Daniels, 1976)
ME1	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{d_j}{d_i}\right) * e^{\frac{-c * dist_{ij}}{RC_i + RC_j}}$	1	(Monserud e Ek, 1977)
ME2	$\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} * \frac{1}{dist_{ij} + 1}$	1	(Martin e Ek, 1984)
ME	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{d_j}{d_i}\right) * e^{\frac{-16 * dist_{ij}}{d_i + d_j}}$	1	(Martin and Ek, 1984)

Tabela 16 – Continuação

MDRF 123	$\sum_j^n \frac{d_j}{d_i} F^{123} - \sum_j^{n_2} \frac{d_j}{d_i} F^{123}$	1	(Tomé e Burkhart, 1989)
DDF ¹²³	$(d_j - d_i) * F^{123}$	1	(Tomé e Burkhart, 1989)
MAOF 1	$\sum_j^n \frac{a_{ij}}{A_i} F^{123} - \sum_j^{n_2} \frac{a_{ij}}{A_i} F^{123}$	2	(Tomé e Burkhart, 1989)
C	$\sum_{j=1}^n \frac{AC_j}{AC_i} * \frac{1}{(dist_{ij} + 1)}$	1	(Biging e Dobbertin, 1992)
V	$\sum_{j=1}^n \frac{VC_j}{VC_i} * \frac{1}{(dist_{ij} + 1)}$	1	(Biging e Dobbertin, 1992)
M	$\sum_{j=1}^n \frac{ASC_j}{ASC_i} * \frac{1}{(dist_{ij})}$	1	(Biging e Dobbertin, 1992)
VU	$\sum_{j=1}^n \frac{VC_j}{VC_i}$	1	(Biging e Dobbertin, 1992)
MU	$\sum_{j=1}^n \frac{ASC_j}{ASC_i}$	1	(Biging e Dobbertin, 1992)
G	$\frac{1}{A_i} * \sum_{j=1}^n a_{ij}$	2	(Gerrard, 1969)
B	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A_i} * \left(\frac{d_j}{d_i} \right)^{\text{exp}} \right)$	2	(Bella, 1971)
Ar	$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} + A_i}{A_i} * 100$	2	(Arney, 1972)
EM	$\frac{\sum_{j=1}^n \left(a_{ij} * \frac{r_j * h_j}{r_i * h_i} \right)}{A_i} * 100$	2	(Ek e Monserud, 1974)
HR	$\sum_{j=1}^n \frac{VSR_{ij}}{VR_i}$	2	Holmes and Reed (1991)
P	$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} * \left(\frac{AC_j}{AC_i} \right)$	2	(Pretzsch, 1995)

Tabela 16 – continuação

HR1	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij} * FP_{ij}}{A_i} \right)$	2	(Holmes e Reed, 1991)
Br	APA	3	(Brown, 1965)
Mo	APA	3	(Moore et al., 1973)
	APA	3	(Pelz et al., 1978)
A	$n / \sum_{j=1}^n \left\{ \pi * \left(\frac{dist_{ij} * d_i}{dist_{ij} + d_j} \right)^2 * \frac{d_j}{dist_{ij}} \right\}$	3	(Alemdag, 1978)
Do	$\sum_{j=1}^n \left[\frac{\theta_{ij}}{360} * \left(\frac{d_i * dist_{ij} * CR_i}{d_i + d_j} \right)^2 \right]$	3	(Doyle, 1983)
N	APA	3	(Nance et al., 1987)

Onde i: árvore alvo, j: competidor; d: diâmetro a 1.3m de altura, h: altura total, $dist_{ij}$: distância entre a árvore alvo i e o competidor j, n: número de competidores, r: raio da copa de uma árvore isolada, a_{ij} : área de sobreposição, A_i : área da projecção horizontal da copa da árvore isolada com o mesmo diâmetro da árvore i, θ_{ij} : ângulo de influência do competidor, CR: componente de competição radicular, VSR: volume de intersecção, VR: volume radicular, CC: componente de competição de copas, AC: área seccional da copa a uma altura determinada, VC: volume da copa acima de uma altura determinada, ASC: superfície da copa acima de uma altura determinada, $(F^1 = \frac{1}{dist_{ij}}, F^2 = \frac{1}{dist_{ij}^2}, F^3 = e^{-dist_{ij}})$, β_{ij} : inclinação da linha definida pelo vértice do cone de pesquisa de competidores e a ponta da árvore competidora as $\geq 60^\circ$

Dado o desconhecimento das distâncias de influência dos competidores na dinâmica de crescimento da cortiça dos sobreiros decidiu-se testar para cada índice de competição várias regras de selecção de competidores bem como diferentes distâncias de busca. Na Tabela 17 apresentam-se as expressões matemáticas dos algoritmos de selecção de competidores utilizadas.

Tabela 17 – Identificação, fórmula e grupo dos algoritmos de selecção de competidores

Identificação	Regra de selecção de competidores	Grupo
D1	$dist_{ij} < \frac{d_i + d_j}{8}$	B
D2	$dist_{ij} < 0.33 * d_j$	B
D3	$dist_{ij} < 0.25 * d_j$	B
D4	$dist_{ij} < \frac{d_i + d_j}{6}$	B
D5	$dist_{ij} < \frac{d_i + d_j}{8}$	B

Tabela 17 – Continuação

Da	$dist_{ij} \langle a * d_j \rangle_{a=0.15, 0.25, 0.35, 0.50}$	B
H1	$dist_{ij} \langle \frac{HT_j}{1.73} \rangle$	A
H2	$dist_{ij} \langle \frac{HT_j}{1.19} \rangle$	A
H3	$dist_{ij} \langle \frac{HT_j - HCB_j}{1.19} \rangle$	A
H4	$dist_{ij} \langle \frac{HT_j - HCB_j}{(50 - HCB_j)} * 30 \rangle$	B
CW1	$dist_{ij} \langle (CW_i - CW_j) \rangle$	A
CW2	$dist_{ij} \langle (CW_i - CW_j) * 2 \rangle$	A

Testaram-se dois grupos de algoritmos de selecção de competidores: A- sobreposição das copas ou das zonas de influência e B- factores de área basal.

3.5.2. Índices de competição não espaciais

Os índices de competição não espaciais não incluem no seu cálculo informação das posições relativas das árvores. Estes índices apresentam a vantagem de necessitarem de muito menos informação para o seu cálculo em relação aos índices espaciais.

No presente trabalho decidiu-se testar a eficiência da utilização da informação espacial, no na modelação do crescimento da cortiça. Os índices não espaciais seleccionados para comparação com os espaciais (Tabela 16) apresentam-se na Tabela 18 (Biging e Dobbertin, 1995; Calama e Montero, 2005; West, 1981).

Tabela 18 – Tipo e fórmula dos índices não espaciais calculados

Tipo	Sigla	Expressão matemática
(a) Soma de diâmetros dos competidores (b) Soma de diâmetros dos competidores $d_j > d_i$	nsp1 _{a,b} ⁽¹⁾	$\sum_{j \neq i}^n d_j$
(a) Área basal dos competidores (b) Área basal dos competidores $d_j > d_i$	nsp2 _{a,b} ⁽¹⁾	$\frac{\sum_{j \neq i}^n [(d_j/200)^2]}{A}$
(a) Rácio de diâmetro competidor árvore alvo (b) Rácio de diâmetro competidor árvore alvo $d_j > d_i$	nsp3 _{a,b} ⁽¹⁾	$\frac{\sum_{j \neq i}^n d_j}{d_i}$
(a) Rácio de área seccional competidor árvore alvo (b) Rácio de área seccional competidor árvore alvo $d_j > d_i$	nsp4 _{a,b} ⁽¹⁾	$\frac{\sum_{j \neq i}^n d_j^2}{d_i^2}$
(a) Rácio de diâmetro médio dos competidores diâmetro da árvore alvo (b) Rácio de diâmetro médio dos competidores diâmetro da árvore alvo $d_j > d_i$	nsp5 _{a,b} ⁽¹⁾	$\frac{\frac{1}{n} \sum_{j \neq i}^n d_j}{d_i}$
(a) Rácio de área seccional média dos competidores área seccional da árvore alvo (b) Rácio de área seccional média dos competidores área seccional da árvore alvo $d_j > d_i$	nsp6 _{a,b} ⁽¹⁾	$\frac{\frac{1}{n} \sum_{j \neq i}^n d_j^2}{d_i^2}$
Superfície da copa das árvores de diâmetro maior do que a árvore central $d_j > d_i$	nsp7	$\frac{\sum_{j \neq i}^n sc_j}{sc_i}$
Volume da copa das árvores de diâmetro maior do que a árvore central $d_j > d_i$	nsp8	$\frac{\sum_{j \neq i}^n vc_j}{vc_i}$

A=área de parcela, $g_{i,j}$ =área seccional da árvore alvo i ou competidor j, d=diâmetro a 1.3 m, sc=superfície da copa, vc=volume da copa

(1) a: cálculo com todas as árvores da parcela; b: cálculo para $d_j > d_i$

3.6. Métodos de ajustamento e avaliação dos modelos de árvore.

Neste ponto são abordadas as metodologias de ajustamento e avaliação usadas na definição das sub componentes do modelo de crescimento para o sobreiro.

Na construção dos modelos de crescimento segue-se uma abordagem potencial modificador (Díaz, 2000; Gourlet-Fleury e Houllier, 2000; Pretzsch, 1992, 1998; Pretzsch *et al.*, 2002; Soares e Tomé, 2002). Considerando uma característica y :

$$y = y_{pot} * \text{modificador} + \varepsilon$$

O crescimento real (y) é função de um crescimento potencial (y_{pot}) reduzido por um modificador (função de um índice de competição espacial ou não espacial) e ε um erro aleatório. As funções de crescimento potencial são ajustadas em função da qualidade da estação (Pretzsch *et al.*, 2002).

3.6.1. Regressão não linear

3.6.1.1 O Modelo

O modelo de regressão não linear pode ser expresso da seguinte forma (Sen e Srivastava, 1990):

Sendo:

$\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ o vector das n variáveis independentes.

$\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$ o vector das k variáveis independentes correspondentes à i -ésima observação.

$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ a matriz das variáveis independentes.

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ o vector dos erros (componente estocástica do modelo).

$\boldsymbol{\theta}^* = (\theta_1^*, \theta_2^*, \dots, \theta_k^*)$ o vector dos parâmetros

Então o modelo não linear pode ser escrito na forma:

$$y_i = f(x_i, \boldsymbol{\theta}^*) + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, n$$

Ao contrário da regressão linear a forma da função f necessita de ser especificada pelo utilizador.

3.6.1.2. Estimativas dos mínimos quadrados

Para a estimação dos parâmetros θ^* associados ao modelo não linear utilizou-se o método dos mínimos quadrados. Assim, tendo em conta os pressupostos (Draper e Smith, 1981; Ratkowsky, 1990; Sen e Srivastava, 1990):

- Media nula dos erros: $E(\varepsilon_i) = 0, \forall_i$
- Homocedasticidade: $V(\varepsilon_i) = \sigma^2, \forall_i$
- Erros não correlacionados: $E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \forall_{i \neq j}$

A estimativa de θ^* é dada pelo valor θ de que minimiza:

$$S^2(\theta) = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, \theta))^2,$$

Assumindo que f é diferenciável então os parâmetros θ_j ($j=1, \dots, k$) obtêm-se resolvendo as k equações normais em ordem a θ_j :

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, \theta)) \left[\partial f(x_i, \theta) / \partial \theta_j \right]_{\theta^* = \theta} = 0 \text{ para todo o } j=1, \dots, k,$$

Dada a natureza não linear das equações normais, a solução das mesmas é em geral difícil de obter pelo que são usados métodos iterativos para a estimação dos parâmetros θ_j (Draper e Smith, 1981).

Cumpridos os pressupostos anteriores e se não se observarem problemas de multicolinearidade então θ e $s^2 = \frac{S^2(\theta)}{n-k}$ são estimativas consistentes de θ^* e σ^2 respectivamente. Se $\varepsilon \cap N(0, \sigma^2)$ então θ é o estimador de máxima verosimilhança de θ^* . Nesta situação para amostras de grandes dimensões consideram-se válidas as seguintes propriedades assintóticas:

$$\frac{(n-k)s^2}{\sigma^2} \approx \chi_{n-k}^2 \text{ e } \frac{S(\theta^*) - S(\theta)/k}{S(\theta)/(n-k)} \sim F_{k, n-k}$$

Quando o pressuposto da homocedasticidade ($V(\varepsilon_i) = \sigma^2, \forall_i$) é violado pode-se utilizar um factor de ponderação (w_i) inversamente proporcional à variância do erro (σ_i). Neste caso a estimativa de θ^* é dada pelo valor θ de que minimiza:

$$S^2(\theta) = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - f(x_i, \theta))^2$$

Dos diversos métodos numéricos disponíveis para minimizar $S^2(\theta)$ podem-se salientar os seguintes: Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt, Quasi-Newton, Simplex e Rosenbrock (Amaro, 1997; Draper e Smith, 1981; Sen e Srivastava, 1990). Na Tabela 19 resumiam-se as características gerais de cada um dos métodos

Tabela 19 – Características gerais dos métodos numéricos disponíveis para minimizar $S^2(\theta)$

Método	Características
Gauss-Newton	Convergência rápida Muito sensível a valores iniciais errados
Levenberg-Marquardt	Convergência rápida Muito sensível a valores iniciais errados Muito sensível aos mínimos locais
Simplex e Rosenbrock	Convergência lenta Pouco sensível a valores iniciais errados É robusto no que respeita à convergência para mínimos locais
Simplex	Convergência lenta Pouco sensível a valores iniciais errados Testa se o mínimo é local ou global
Quasi-Newton	Convergência rápida Muito sensível a valores iniciais errados Converge para mínimos locais com facilidade

Segundo Sen e Srivastava (1990), quando $S^2(\theta)$ é continuamente diferenciável o problema central prende-se com a possibilidade da convergência se dar num dos vários mínimos locais. Em algumas situações é possível mostrar teoricamente que existe apenas um mínimo local logo é global. Quando não se tem informação teórica disponível e se pretende estimar um número reduzido de parâmetros, podem-se calcular valores para $S^2(\theta)$ para diferentes θ 's podendo-se observar o comportamento de $S^2(\theta)$. Alternativamente, estimar os parâmetros com base em valores iniciais muito díspares e observar se a convergência se dá para diferentes mínimos locais. Se esta situação se der, testam-se mais valores iniciais e escolhem os θ 's que apresentem o mínimo mais pequeno. Outra sugestão do mesmo autor consiste em linearizar a função (quando possível) e estimar os parâmetros com base nos mínimos quadrados da regressão linear e comparar o QMR com $S^2(\theta)$, se os valores forem próximos pode-se considerar que existem grandes possibilidades de se ter atingido o mínimo global.

A escolha dos parâmetros iniciais é, como se referiu, fundamental para o processo de estimação de parâmetros. Vários autores propuseram metodologias para a obtenção das estimativas iniciais dos parâmetros. Draper e Smith (1981) sugere que se resolvam as k equações $y_i = f(x_i, \theta)$ em ordem a θ em que os k conjuntos de variáveis independentes são seleccionados entre todos os x_i para que a sua amplitude seja grande. Os parâmetros iniciais são

obtidos a partir das soluções da k equações. Sen e Srivastava (1990) propõe que, ignorando o erro, pode-se utilizar a regressão linear para a estimação dos parâmetros da forma linearizada $y = f(x, \theta)$ e usá-los como estimativas iniciais.

3.6.1.3. Metodologia para selecção do melhor ajustamento

Segundo Wilkinson (1989) “A estimação não linear é uma arte. A estimação de um parâmetro é minimalista, a estimação multi-paramétrica é Rococó. Existem muitas armadilhas (dependências, descontinuidades, mínimos locais, etc.) que podem arruinar o seu dia”. No presente trabalho utilizaram-se um conjunto de procedimentos e estatísticas como decisores na selecção de cada um dos sub modelos. Esta metodologia teve como objectivos: observar se os pressupostos da estimação dos mínimos quadrados não linear não foram violados, verificar se não existiam problemas de multicolinearidade entre as variáveis independentes seleccionadas para cada modelo. Na Tabela 20 apresentam-se os procedimentos e estatísticas usados.

Tabela 20 – Estatísticas utilizadas na avaliação da qualidade do ajustamento

Parâmetro (símbolo)	Formulação	Objectivo
Coefficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajust.}$)	$1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2)$	1
Erro quadrático médio (s^2)	$s^2 = \frac{SQR}{(n-k)}$	σ^2
Valores médios dos resíduos (PRESS)	$PRESS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2$	0
Resíduos studentizados	$(r_{stud})_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{s_{(i)} \sqrt{1 - h_{ii}}}$, $h_{ii} = x_i (XX')^{-1} x_i'$	Normalidade
Intervalos de confiança assintóticos dos parâmetros		Não incluir 0
Correlação entre os parâmetros		<0.90

$s_{(i)}$ é equivalente a s mas calculado sem a observação i

Mesmo quando se verificam as condições de Gauss-Markov, a qualidade das estimativas dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados pode ser seriamente afectada se as variáveis independentes estão proximamente relacionadas. Este problema designa-se por multicolinearidade (SEN, 1990). Para evitar problemas de multicolinearidade utilizou-se O “variance inflation factor” (VIF):

$$VIF = \frac{1}{1 - R_i^2},$$

onde R_i^2 = Coeficiente de determinação da regressão obtida regredindo a variável regressora que se pretende incluir com todas as outras já incluídas. Esta estatística detecta as variáveis incluídas no modelo que podem causar problemas de colinearidade. Segundo Afifi e Clark (1984), se $VIF > 100$, a qualidade dos estimadores virá certamente afectada mas Myers (1986) refere que para valores de $VIF > 10$ já se deve ponderar na eliminação da variável em causa do estudo.

Para efectuar a verificação dos pressupostos de Gauss-Markov utilizam-se métodos gráficos e estatísticas:

Para a homoscedasticidade ($E(\epsilon_i) = \sigma^2$) utiliza-se o gráficos dos resíduos (e_i) versus valores estimados (\hat{y}). A nuvem de pontos deverá distribuir-se paralelamente à recta dos valores estimados. O gráfico dos resíduos (e_i) versus regressores, $X_{ji}, X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}$ permite identificar o ou os regressores que apresentam variância não constante. A nuvem de pontos também se deve de distribuir de forma paralela ao longo das variáveis regressoras.

Para verificar a normalidade dos resíduos usa-se:

Papel de probabilidade normal: no papel de probabilidade normal os resíduos ($e_{(i)}$), ordenados, são representados contra $100[i-3/8]/(n+1/4)$, ou qualquer aproximação: $100i/n$; $100(i-0.5)/n$ e $100i/(n+1)$, resultando uma aproximadamente uma recta se os resíduos forem normais.

Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S)

O teste de Kolmogorov-Smirnov utiliza-se quando se tem uma dimensão amostral grande ($n > 50$) uma vez que nestas condições é mais potente que outros como Shapiro-Wilk.

Pretende-se testar se e_1, \dots, e_n provém de uma distribuição normal ($N(0, \sigma^2)$) $F_H(x)$. Seja $F(x)$ a distribuição empírica dos e_i 's então a estatística de K-S vem:

$$D = \sup_x |F(x) - F_H(x)|$$

então sob a hipótese nula (H_0) de normalidade dos e_i 's o teste rejeita H_0 se $D \geq D_{n,\alpha}$ onde $D_{n,\alpha}$ pode ser obtido em tabelas de valores críticos para o teste de K-S de uma amostra, de referir que n é a dimensão da amostra e α é o nível de significância.

3.6.1.4. Metodologia para avaliação dos sub modelos seleccionados

(Soares *et al.*, 1995; Vanclay e Skovsgaard, 1997) referem que a avaliação dos modelos não se deve cingir a um mero procedimento mecânico das suas credenciais técnicas mas deve

também envolver as considerações filosóficas dos modeladores e dos utilizadores. A avaliação deve tentar revelar erros e deficiências do modelo através na verificação dos seguintes pontos (Soares *et al.*, 1995; Vanclay, 1994; Vanclay e Skovsgaard, 1997):

1. Adequação das equações usadas ao processo que se quer modelar.
2. Combinação correcta das equações no modelo.
3. Qualidade das constantes numéricas ajustadas.
4. Adequação à realidade das estimativas fornecidas pelo modelo no domínio de aplicação do modelo.
5. Teste da precisão do modelo em relação aos níveis de precisão requeridos.
6. Sensibilidade das estimativas do modelo aos erros nos coeficientes estimados e das variáveis independentes.

Vanclay e Skovsgaard (1997) sintetizou os pontos-chave do processo de avaliação propostos por diversos autores (Tabela 21)

Tabela 21 – Estrutura do processo de avaliação e respectivos testes

Avaliação	Testes
Estrutura lógica do ponto de vista teórico e biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Parcimonialidade • Realismo biológico • Consistência com as teorias existentes para o crescimento florestal
Propriedades estatísticas do modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Natureza do erro (aditivo ou multiplicativo, independência, etc.) • Propriedades dos estimadores dos parâmetros
Características dos erros	<ul style="list-style-type: none"> • Precisão • Natureza dos resíduos (distribuição, dependências em relação às condições iniciais dos povoamento e período de projecção • Intervalos de confiança e erros críticos • Contribuição de cada componente do modelo para o erro total
Teste usando estatísticas	<ul style="list-style-type: none"> • Enviesamento e precisão do modelo e seus componentes • Ajustamento das distribuições das dimensões estimadas • Padrões na distribuição dos erros • Correlações temporais entre componentes do modelo
Análises de sensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da influência das componentes do modelo na estimação • Determinação da propagação do erro na estimação

No presente trabalho a avaliação das equações de crescimento, produção de cortiça, predição da altura total, diâmetro da copa incidiu nas equações que passaram a fase de

ajustamento. A bateria de testes utilizada apresenta-se na Tabela 22 (Amaro, 1997; Draper e Smith, 1981; Sen e Srivastava, 1990; Soares, 1999; Vanclay, 1994).

Tabela 22 – Estatísticas de avaliação dos modelos

Parâmetro (símbolo)	Formulação	Objectivo
Resíduo médio (RM)	$n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)$	0
Valor médio da soma dos quadrados dos resíduos (MSQR)	$n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$	0
Resíduo absoluto médio (RAM)	$n^{-1} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i - y_i $	0
Eficiência do modelo (EM)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	1
Parâmetros da regressão (a e b)	$y_i = a + b\hat{y}_i$	a=0 b=1 $R^2 = 1$

3.6.2. Regressão logística

A regressão logística múltipla é uma ferramenta eficiente nos estudos de probabilidade de mortalidade ou de sobrevivência ao nível da árvore (Blennow e Lindkvist, 2000; Dursky, 1997; Eid e yen, 2003; Granhus e Fjeld, 2001; Guan e Gertner, 1991; Lynch *et al.*, 1999; Perkins e Roberts, 2003; Zwolinski *et al.*, 1994). Entende-se por classificar a atribuição de uma probabilidade a um determinado indivíduo. Este método consiste na construção de uma função das variáveis em estudo, e na classificação de cada um dos indivíduos com uma variável resposta dicotómica, que toma os seguintes valores:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{árvore viva} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Neste caso, tem-se um conjunto de variáveis independentes que vão ser caracterizadas pelo vector $\mathbf{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$. Considere-se a probabilidade condicional de que a variável

resposta está presente como sendo $E(Y/\mathbf{x}) = \pi(\mathbf{x}) = P(Y = 1/\mathbf{x})$. Então, a forma do modelo de regressão logística será dada por:

$$\pi(\mathbf{x}) = \frac{e^{g(\mathbf{x})}}{1 + e^{g(\mathbf{x})}}$$

A transformação "logit" será, então, a seguinte:

$$g(\mathbf{x}) = \ln \left[\frac{\pi(\mathbf{x})}{1 - \pi(\mathbf{x})} \right] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$$

Assume-se que se tem uma amostra de n observações independentes do par (y_i, \mathbf{x}_i) , com $i=1, \dots, n$. Para o ajustamento do modelo, torna-se necessário obter as estimativas do vector $\beta' = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$.

Utiliza-se o Método da Máxima Verosimilhança para se obter as estimativas dos coeficientes do modelo. Uma forma conveniente de exprimir a contribuição da função de verosimilhança para o par (y_i, \mathbf{x}_i) , $i=1, \dots, n$, é representada através da seguinte expressão:

$$f(\mathbf{x}_i) = \pi(\mathbf{x}_i)^{y_i} (1 - \pi(\mathbf{x}_i))^{1 - y_i}$$

Como as n observações são independentes, a função de máxima verosimilhança é obtida através do produto dos termos da expressão anterior e, tem-se:

$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n f(\mathbf{x}_i)$$

O princípio da máxima verosimilhança, determina que se deve utilizar como estimativas de β , os valores que maximizam a expressão anterior. Para tal, e por uma questão de facilidade de cálculos, determinam-se as derivadas parciais do logaritmo da função de verosimilhança $L(\beta) = \ln[l(\beta)]$. Assim, determinando $\frac{\partial L(\beta)}{\partial \beta_u}$, para $u=0, \dots, p$, obtêm-se as $p+1$ equações de verosimilhança:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n [y_i - \pi(\mathbf{x}_i)] = 0 \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} [y_i - \pi(\mathbf{x}_i)] = 0, \quad j = 1, \dots, p \end{cases}$$

No entanto, como estas equações não são lineares em $\hat{\beta}$, são necessários métodos iterativos para as resolver.

O método de estimação das variâncias e covariâncias dos $\hat{\beta}$, resulta do desenvolvimento da teoria da estimação de máxima verossimilhança. Esta teoria determina que os $\hat{\beta}$ são obtidos através da matriz das segundas derivadas parciais de $L(\beta)$. Esta matriz é denominada por matriz de informação e, representa-se da seguinte forma:

$$\hat{I}(\hat{\beta}) = X'VX$$

onde

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad V = \begin{bmatrix} \hat{\pi}_1(1-\hat{\pi}_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \hat{\pi}_2(1-\hat{\pi}_2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \hat{\pi}_n(1-\hat{\pi}_n) \end{bmatrix}$$

As variâncias e covariâncias dos $\hat{\beta}$ são obtidas através da inversa da matriz de informação $I(\beta)$, a qual é representada por $\Sigma(\hat{\beta}) = (X'VX)^{-1}$.

Assim:

- $\hat{\sigma}(\hat{\beta}_j)$ representa o j-ésimo elemento da diagonal principal dessa matriz, que é a variância de $\hat{\beta}_j$.
- $\hat{\sigma}(\hat{\beta}_j, \hat{\beta}_u)$, $u \neq j$; $j, u = 0, 1, \dots, p$; representa um elemento arbitrário fora da diagonal principal, que é a covariância entre $\hat{\beta}_j$ e $\hat{\beta}_u$.

Em resumo:

$$\hat{\sigma}(\hat{\beta}_j, \hat{\beta}_u) = \text{cov}(\hat{\beta}_j, \hat{\beta}_u) \quad \text{com } u \neq j$$

e

$$\hat{\sigma}^2(\hat{\beta}_j) = \text{var}(\hat{\beta}_j)$$

Depois de ajustado o modelo, torna-se necessário realizar um teste à significância das variáveis incluídas nesse modelo. Os testes estatísticos utilizados para se atingir tal objectivo, são: Teste da Razão de Verossimilhanças, o Teste de Wald e o Teste de "Score".

O Teste de Razão de Verossimilhanças, serve para se testar a significância de m coeficientes das variáveis independentes do modelo, ou seja, analisar a seguinte hipótese:

$$H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_m = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \exists_{j=0, \dots, m} \text{ e } m=1, \dots, p : \beta_j \neq 0.$$

Tal hipótese é testada através da seguinte estatística:

$$G = D(\text{modelo sem as } m \text{ variáveis}) - D(\text{modelo com as } m \text{ variáveis}) =$$

$$= -2 \ln \left[\frac{l(\text{modelo sem as } m \text{ variáveis})}{l(\text{modelo com as } m \text{ variáveis})} \right], \text{ sendo}$$

$$D = -2 \ln \left[\frac{l(\text{modelo corrente})}{l(\text{modelo saturado})} \right], \text{ e}$$

Modelo Saturado = Modelo com Todas as Variáveis e Interações

Modelo Corrente = Modelo apenas com as Variáveis que se querem Estudar

l = Função de Verossimilhança.

A estatística de teste G segue, sob a hipótese nula, uma distribuição de um Qui-quadrado com m graus de liberdade. Caso se rejeite a hipótese H_0 , conclui-se que, pelo menos um, ou até todos os m coeficientes estimados, diferem de zero.

Antes de tal conclusão, dever-se-á testar a importância individual de cada coeficiente, utilizando o Teste de Wald. Este teste utiliza as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \beta_i = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : \beta_i \neq 0, \quad \text{com } i = 0, \dots, p$$

A respectiva estatística de teste, tem a seguinte expressão:

$$W_j = \frac{(\hat{\beta}_j)^2}{\text{var}(\hat{\beta}_j)}$$

a qual, sob a hipótese nula H_0 , segue uma Distribuição de um Qui-Quadrado com 1 grau de liberdade. Assim, o valor desta estatística fornece uma indicação de quais as variáveis que no modelo são, ou não, significativas.

O Teste "Score", cuja estatística de teste é a seguinte:

$$S_j = \frac{[U(\beta_j)]^2}{I(\beta_j)} \quad \text{em que} \quad U(\beta_j) = \frac{\partial L(\text{modelo com m variáveis})}{\partial \beta_j}$$

e

$$I(\beta_j) = -\frac{\partial^2 L(\text{modelo com m variáveis})}{\partial^2 \beta_j}.$$

A estatística de teste S_j segue, sob $H_0: \beta_j=0$, uma Distribuição de um Qui-quadrado com 1 grau de liberdade (g.l.).

O "odds ratio", que se pode representar por Ψ , é uma medida de associação bastante utilizada em Problemas Epidemiológicos, pois dá uma ideia de quanto mais (ou menos) é que a variável resposta está presente nos indivíduos com $x=1$ do que naqueles com $x=0$. No modelo de regressão logística multivariado, os coeficientes β_i , com $i=1, \dots, p$, correspondem ao logaritmo dos "odds ratio", uma vez que $\Psi=e^{\beta_i}$, com $i=1, \dots, p$.

3.7. Caracterização da área de estudo

3.7.1. Localização Geográfica

A área de estudo localiza-se na herdade da Machoqueira do Grou, que coincide com uma bacia hidrográfica de aproximadamente 2500ha, localizada no concelho da Chamusca. É abrangida pelas cartas 366, 367 e 369 dos Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25 000.

3.7.2. Caracterização climática

As características ambientais da área em estudo já foram alvo de pesquisa no trabalho precedente de Ribeiro (1995), pelo que apenas se apresentam aqui, os parâmetros climáticos mais significativos da estação meteorológica mais próxima, com dados dos últimos 30 anos (Tabela 23).

Tabela 23 – Dados climáticos referentes à estação meteorológica de Salvaterra de Magos

Lat. = 39°02' N Long. = 8°47' W Alt.= 5 m		
Parâmetros meteorológicos	Valores	Unidades
Pluviosidade anual	594,4	mm ano ⁻¹
Pluviosidade máxima mensal	80,0	mm
Pluviosidade mínima mensal	3,2	mm
Humidade relativa do ar às 9h	80,0	%
Humidade relativa do ar às 18h	70,0	%
Temperatura média anual	15,4	°C
Temperatura máxima média mensal	28,3	°C
Temperatura mínima média mensal	4,6	°C
Número de dias com nevoeiro	34,5	dias ano ⁻¹
Número de dias com geada	45,7	dias ano ⁻¹
Ventos mais frequentes	NW(25,5)	km h ⁻¹
Média das velocidades dos ventos mais intensos	NW(12,0)	km h ⁻¹

Fonte: INMG (2000)

A área de estudo está incluída na zona ecológica submediterrânea, fazendo parte das formações arenosas do Miocénico. O índice xerotérmico indica que o clima é mesomediterrâneo atenuado. A classificação de Thornthwait indica que o clima é, quanto à evapotranspiração potencial, mesotérmico ou temperado, com um índice hídrico correspondente a um clima sub-

húmido seco onde se espera um excesso de água moderado, no Inverno, que pode intensificar os fenómenos de má drenagem e erosão (Ribeiro, 1995).

3.7.3. Fisiografia

A topografia é do tipo mesas rasgadas por grandes ravinas, onde afloram arenitos consolidados por cimentos ferruginosos ou argilosos, e gredas. As linhas de água principais correm em vales largos com perfis transversais em U.

Como se pode ver a altitude da área de estudo varia, sensivelmente, entre os 80 e 170 m com declives maioritariamente inferiores a 5% (Figuras 11 e 12).

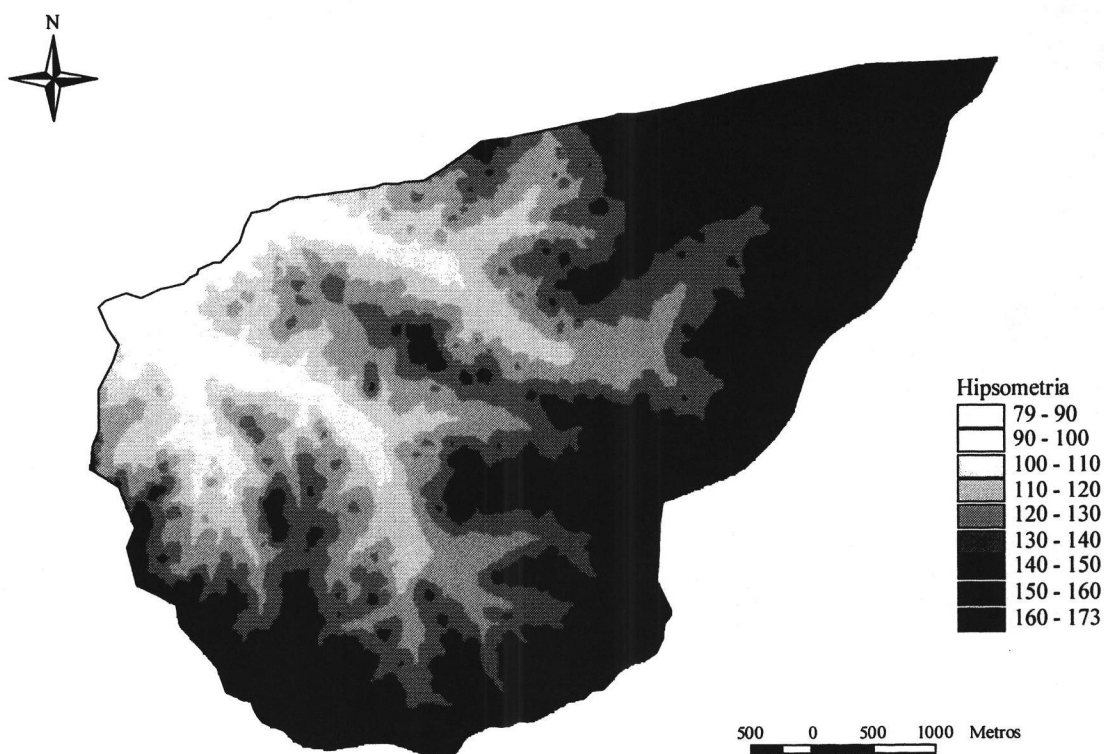


Figura 11 – Carta de altimetria (m) da zona de estudo



Figura 12 – Carta de declives

Quanto à exposição podemos verificar na Figura 13 que a maior parte da área não tem exposição definida (Flat) e as restantes exposições (Norte, Sul, Este e Oeste) estão presentes aproximadamente na mesma proporção.

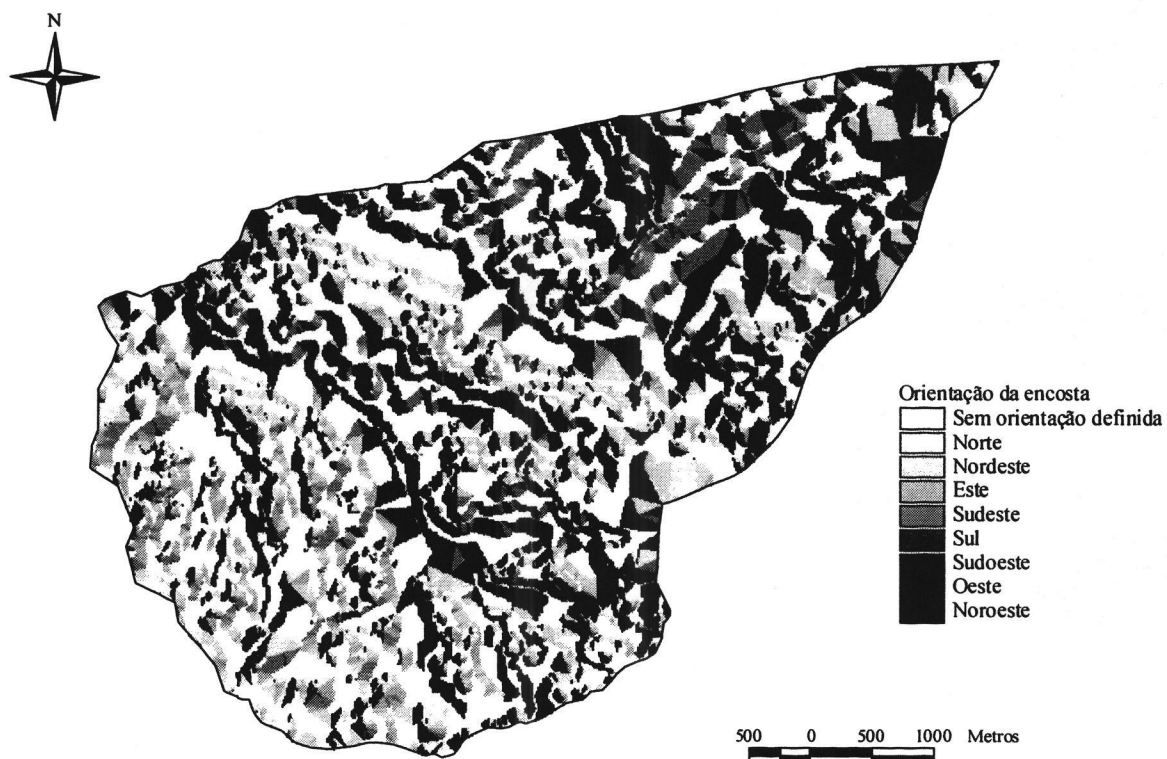


Figura 13 – Carta de exposições

3.7.4. Solos

Segundo a carta de solos da área de estudo (Figura 14) os solos presentes são principalmente Solos Litólicos, não Húmicos de arenitos grosseiros (Vt) ocupando cerca de 60% da área, e Podzóis com Surraipa de materiais arenáceos pouco consolidados ou de ou sobre granitos (Ppr e Ppt) em aproximadamente 30% da área.

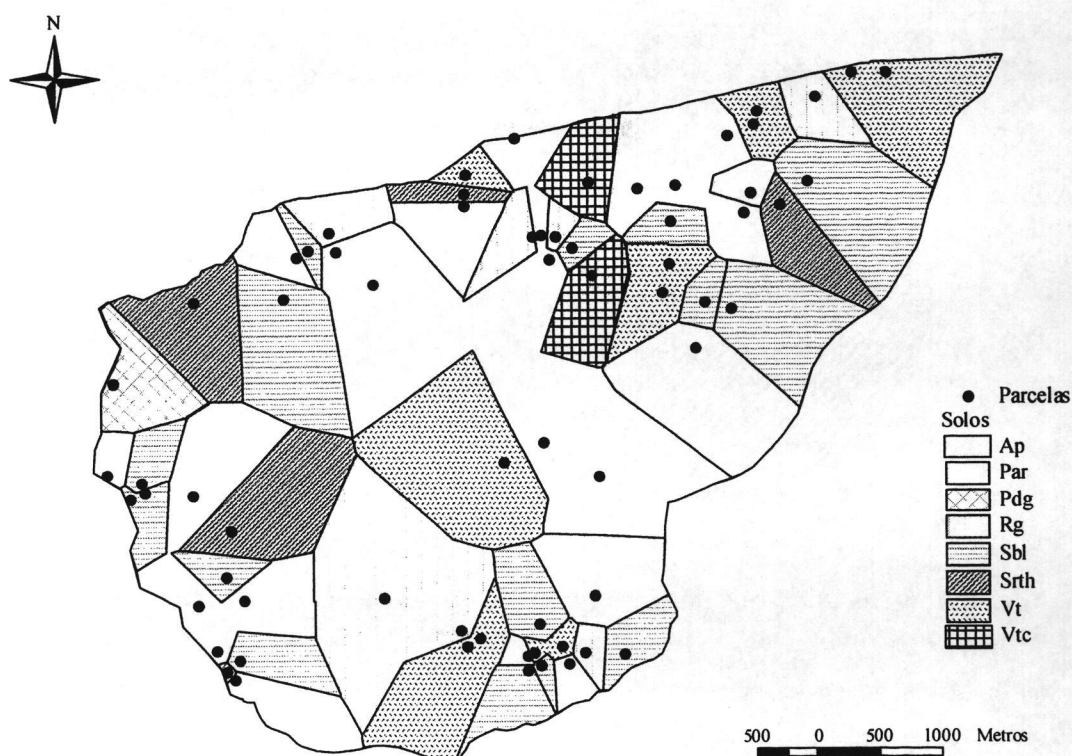


Figura 14 – Carta de solos da Herdade da Machoqueira do Grou

A partir da descrição dos perfis efectuada no campo (66 parcelas) localizadas em área de montado, com base na Classificação dos Solos de Portugal, classificaram-se vários tipos de solos, correspondentes às Famílias abaixo indicadas (Afonso, 1997):

- Regossolos Psamíticos não Húmicos (Rg);
- Solos de Baixa de textura ligeira sem Carbonatos (Sbl);
- Solos Litólicos não Húmicos de materiais arenáceos não consolidados (Par);
- Solos Litólicos não Húmicos de arenitos(vermelhos) (Vt);
- Solos Mediterrâneos Pardos Para-Hidromórficos de arenitos arcósicos ou arcoses (Srth);
- Solos Mediterrâneos Pardos Para-Hidromórficos de arcoses ou depósitos afins (Pdg);
- Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de arenitos (Vtc);
- Podzóis não Hidromórficos sem Surraipa de areias ou arenitos (Ap).

Os solos referidos foram identificados nas percentagens da Figura 15 com dominância para os par, sbl e ap.

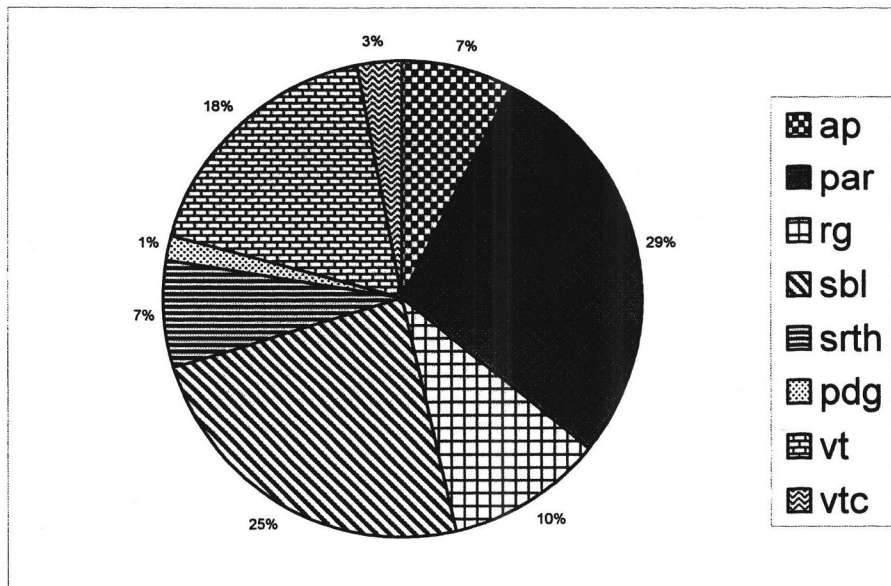


Figura 15 – Percentagens dos tipos de solos identificados na área de estudo

Todos os solos descritos apresentam textura ligeira e teor em argila baixo, podendo no entanto aumentar com a profundidade levando formação de horizontes de acumulação. Assim a capacidade de troca catiónica é geralmente baixa à excepção dos horizontes de acumulação onde o teor em argila é elevado. Alguns solos apresentam uma certa acumulação de matéria orgânica à superfície, não excedendo, no entanto 1-1,5%. Os regossolos (Rg) e solos de baixa (Sbl) são solos de carácter predominantemente arenoso e cujo perfil aparece pouco diferenciado. São portanto solos pouco evoluídos do ponto de vista pedogenético. Os podzóis (Ap) e os solos mediterrâneos vermelhos (Vtc) apresentam dominância do ião cálcio no complexo de troca. Os solos litólicos (Par e Vt) podem à semelhança dos anteriores (Ap), apresentar sintomas de podzolização. Nos solos Litólicos não húmicos (Vt) bem como nos solos Mediterrânicos (Vtc) pode verificar-se migração de ferro em profundidade. Por outro lado nos solos Mediterrâneos pardos (Srth) podem-se observar manchas ao longo do perfil em resultado da presença de concreções ferruginosas (Afonso, 1997).

Diniz (1994) estudou 25 unidades de solo da carta de Portugal onde estão implantadas as principais manchas de sobreiro incluindo litossolos, regossolos, psamíticos, aluviosolos antigos e coluviosolos, solos litólicos não húmicos, solos mediterrâneos pardos calcários e não calcários, solos mediterrâneos avermelhados calcários e não calcários, podzóis e solos higromórficos. Os sobreiros adaptam-se bem a uma gama bastante variada de tipos de solo, exigindo um conjunto de condições físicas que proporcionem livre expansão radicular como por exemplo: um grau de arejamento elevado, drenagem interna boa ou regular, inexistência de horizontes compactos na zona de expansão radicular. Tem ainda preferência por solos de reacção ácida (pH entre 5 e 6.5)

não tolerando solos calcários (especialmente os ricos em calcário activo), salinos, orgânicos e hidromórficos. Nos solos de textura ligeira, que têm como características principais: a elevada permeabilidade; fraca retenção de humidade; baixo índice de fertilidade intrínseca, o sobreiro vegeta em condições normais ou até de forma exuberante nas unidades derivadas de arenitos dada a particularidade do substrato geológico (não consolidado e profundamente alterado) que permite a retenção hídrica e favorece a progressão das raízes até camadas profundas. Os solos que apresentam estas características são os Litólicos não húmicos (Vt, Vts, e Par) e alguns podzois sobretudo quando derivados de arenitos (Ap e Ppt). Nos solos ligeiros profundos que se relacionam com mantos de areia muito espessos, em regra de permeabilidade excessiva, o sobreiro poderá vegetar em condições normais desde que haja retenção hídrica até poucos metros de profundidade como acontece nas superfícies aplanadas do domínio dos regossolos (Rg) de reduzida evolução pedológica ou de Podzois (Ap). Nos solos hidromórficos, o sobreiro rarefaz-se bastante e apenas vegeta nas situações sujeitas a reduzida retenção hídrica como acontece em algumas manchas de planossolos (Ps) em especial onde as condições de arejamento do subsolo são atenuadas por horizontes arenosos superficiais que proporcionam a expansão radicular nos mesmos. O sobreiro suporta mal o excesso de humidade quando esta é retida ao nível superficial do solo ou no subsolo, daí que para além dos hidromórficos também os podzois de surraipa dura (Pz) com tendência a tornar-se contínua nas formas demissionárias do microrelevo condicione o aparecimento de clareiras onde estas condições negativas ocorrem. As manchas de solo de textura pesada, englobando os barros, correspondem naturalmente, a áreas sem montado reflectindo a incompatibilidade do sobreiro para com o meio edáfico fortemente condicionado pelos baixos índices de permeabilidade, de arejamento conduzindo à atrofia radicular. Relativamente às baixas ribeirinhas, o sobreiro vegeta bem nos terraços marginais, em correspondência com plataformas sobreelevadas não inundáveis e naturalmente bem drenadas onde o lençol freático estaciona a alguns metros de profundidade assim, em aluviossolos antigos de textura mediana (At) ou ligeira (Atl) ou em coluviossolos também de textura mediana (Sb e Sbl) o sobreiro vegeta em boas condições.

Com base na informação recolhida por Diniz (1994) construiu-se a Tabela do Anexo 1 que servirá para a pesquisa de classes de qualidade.

4. Resultados e discussão

4.1. Caracterização dos dados

Para a caracterização geral dos dados recolhidos nas parcelas permanentes apresentam-se as estatísticas descritivas das variáveis das árvores e dos povoamentos divididos por ano de medição e estrato. Para as parcelas com medições repetidas são apresentadas as estatísticas descritivas dos acréscimos medidos.

Como foi referido no ponto 3.1.1.2 as parcelas permanentes têm um círculo interior (amostra usada na modelação) e um anel exterior ou de bordadura (amostra utilizada nos cálculos dos índices de competição e ocupação).

Tabela 24 – Estatísticas descritivas e ano de medição dos dados dendrométricos de todas as árvores medidas

	capi	hf	h	cw	ac
Ano de medição			1995		
Espécie			Sb		
n			3752		
Média	88.58	352	8.209	3.99	30.97
Erro padrão da média	0.644	2.096	0.03	0.02	0.49
Desvio padrão	39.426	128.34	1.98	1.32	30.29
Mínimo	20	103	3.1	1.11	0.79
Máximo	282	820	16.2	13.4	320.44
Espécie			Pm		
n			88		
Média	109.81	284.64	9.05	6.2	51.08
Erro padrão da média	5.47	16.87	0.43	0.29	4.62
Desvio padrão	51.27	158.26	4.03	2.74	43.30
Mínimo	26	140	3.00	1.4	3.14
Máximo	215	775	18.5	12.3	154.99
Espécie			Pb		
n			181		
Média	76.21	473.52	11.59	6.85	20.65
Erro padrão da média	3.07	22.90	0.39	0.20	1.76
Desvio padrão	41.26	308.05	5.24	2.67	23.71
Mínimo	22	160	2.3	0.8	0.95
Máximo	195	1400	22.5	7.5	123.46
Ano de medição			2005		
Espécie			Sb		
n			3235		
Média	101.04	274.06	8.73	4.68	34.64
Erro padrão da média	0.65	1.85	0.03	0.02	0.51
Desvio padrão	36.76	105.22	1.91	1.25	28.91
Mínimo	28	103	2.92	1.13	0.99
Máximo	298	813	16.54	11.29	280.17

Tabela 24 – Continuação

Espécie			Pm		
n			83		
Média	136.63	277.90	10.68	6.85	75.20
Erro padrão da média	5.03	16.12	0.33	0.17	5.33
Desvio padrão	45.81	146.86	2.96	1.54	48.58
Mínimo	50	150	5.70	3.46	10.46
Máximo	233	700	18.30	10.11	205.37
Espécie			Pb		
n			85		
Média	84.64	284.75	11.46	7.69	24.73
Erro padrão da média	4.29	21.70	0.28	0.17	3.33
Desvio padrão	39.55	200.10	2.58	15.60	30.72
Mínimo	31	140	6.30	3.90	2.40
Máximo	205	850	19.80	13.38	144.73

Sb- sobreiro, Pm- pinheiro manso e Pb- pinheiro bravo

Na Tabela 24 podem-se ler as estatísticas descritivas de todas as árvores medidas e as datas das medições. As variações nas médias não se devem apenas ao crescimento mas também a alterações de densidade por morte de árvores (caso do sobreiro) ou cortes no caso do pinheiro manso e pinheiro bravo.

Nas parcelas interiores obtiveram-se os dados usados na construção dos modelos de crescimento de sobreiro. Na Tabela 25 apresentam-se as estatísticas descritivas das árvores que foram descortçadas duas vezes e para as quais se tem um ciclo completo de medições.

Tabela 25 – Estatísticas descritivas dos dados dendrométricos de todas as variáveis utilizadas na construção de modelos

	capcc	capsc	h	ac	idf	cd	sg	pcs	pcs ²	efl.3	icgt	icgl	icgc
n	536												
Média	111.05	92.38	8.209	30.97	31.13	2.15	2.33	20.42	8.87	2.98	0.0355	0.0046	0.0309
Erro padrão da média	0.92	0.89	0.03	0.49	0.23	0.02	0.06	0.50	0.06	0.02	0.0005	0.0001	0.0005
Desvio padrão	33.41	32.13	1.98	30.29	8.32	0.78	2.02	17.95	2.14	0.84	0.0251	0.0031	0.0204
Mínimo	48.5	39	3.1	0.79	8.91	0.90	0.44	2.5	1.90	0.16	0.0621	0.0081	0.0540
Máximo	302.5	257	16.2	320.44	71.76	7.84	31.95	238.67	20.00	8.28	0.2418	0.0315	0.2103

De notar que o desvio padrão para a generalidade das variáveis é muito elevado sugerindo uma grande variabilidade entre árvores. De notar que em média, o crescimento de lenho em área seccional (icgl, m²) representa cerca de 14 % do crescimento total o que está de acordo com os resultados obtidos por Costa e Oliveira (2001) que obtiveram valores médios de 15 % para árvores de parcelas permanentes instaladas nas regiões de Mora, Alcácer do Sal e Benavente.

4.2. Apresentação e análise de resultados para a árvore individual

De acordo com o ponto 3.2.1, as variáveis dendrométricas simples e transformadas podem-se agrupar em quatro grupos: (1) Variáveis caracterizadoras da morfologia das árvores simples e transformadas; (2) Variáveis espaciais e não espaciais indicadoras da intensidade da competição inter e intraespecífica; (3) Variáveis de produção, produtividade de cortiça e intensidade de exploração; (4) variáveis de crescimento.

Para a apresentação e análise dos resultados, decidiu-se combinar informação dos quatro grupos de variáveis referidos de forma a obter uma caracterização integrada da árvore por classe de dimensão e identificação das relações alométricas mais importantes entre as variáveis em análise.

4.2.1. Resultados e análise de dados agrupados em classes de dimensão

Para o conhecimento dendrométrico da população de árvores que constituem a amostra do presente estudo decidiu-se dividir a mesma em classes de *capi*, de acordo com os intervalos da Tabela 26, e construir as caixas de bigodes para cada uma das variáveis. As caixas de bigodes utilizam estatísticas de ordem (medianas e quartos) na sua construção facilitando a identificação de assimetrias nas distribuições, a amplitude da variação e a localização dos valores discordantes, possíveis “outliers” (Hoaglin et al., 1992).

Classe de <i>capi</i> ,f	Intervalo de classe de <i>capi</i>
1	[0,50[
2	[50,70[
3	[70,90[
4	[90,110[
5	[110,130[
6	[130,150[
7	[150,170[
8	[170,190[
9	[190, + ∞ [

Tabela 26 – Classes de perímetro antes do descortiçamento (*capi*) e após o descortiçamento (*capi*f) e respectivos limites

As variáveis dendrométricas simples ou transformadas foram divididas em três grupos: o primeiro constituído pelas variáveis indicadoras das características morfológicas das árvores (*h*, *pf* e *ac* e *hf*), o segundo agrupa as variáveis que expressam as pressões de exploração das árvores

(id, cd) e o terceiro onde se apresentam as variáveis relacionadas com a produção e produtividade (sg, pcv, pcs, ef, pcvm², pcvm²).

Na Figura 16 pode-se observar um padrão das medianas para a altura (h) muito comum nas curvas hipsométricas. No entanto, a variabilidade (achatamento) observada para cada classe de capi é muito elevada e existe uma tendência para a existência uma assimetria à direita acompanhada de valores discordantes. O padrão de distribuição das medianas para profundidade da copa (cw) é mais linear sugerindo que, em classes de capi mais altas, as copas têm tendência a alongar-se no sentido do solo com o aumento do número e ramos e raminhos pendentes. Este padrão é comum em árvores isoladas de grandes dimensões.

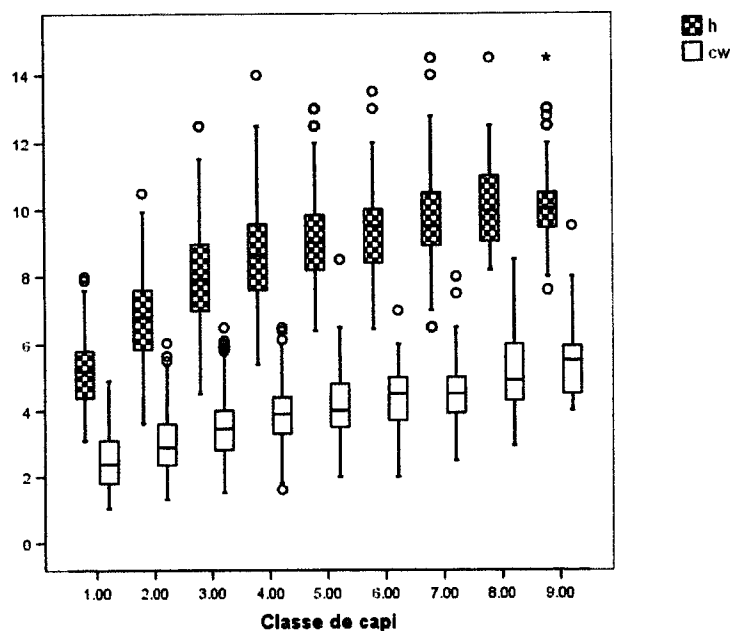


Figura 16 – Caixa de bigodes para os dados altura total (h, m) e profundidade da copa (cw, m) agrupados por classe de capi

A área de projecção horizontal da copa (ac) apresenta um padrão de distribuição das medianas que sugere uma relação alométrica entre o capi e a ac (Figura 17). Para esta variável nota-se uma variabilidade menor do que a observada para a altura total e distribuições mais simétricas embora se continuem a verificar valores discordantes especialmente para as classes 1 a 4. Os valores discordantes da classe 9 correspondem a duas árvores de grandes dimensões (com capi de 276 cm e 302 cm).

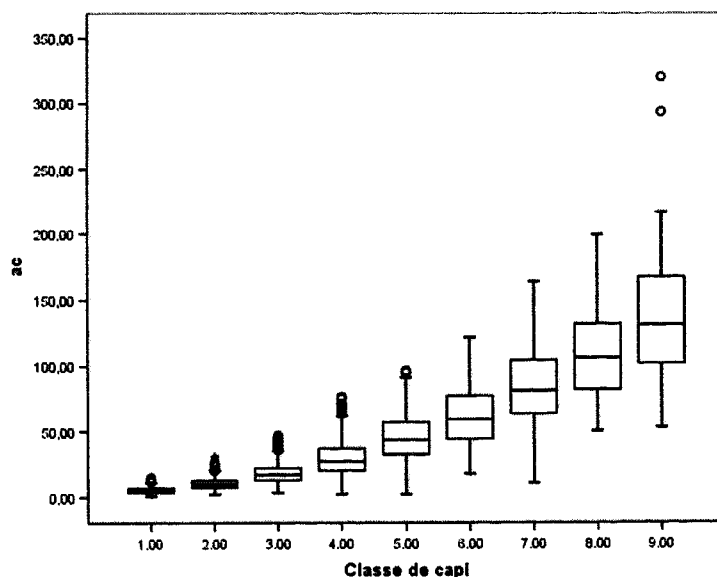


Figura 17 – Caixa de bigodes para os dados área da projecção horizontal da copa (ac, m²) agrupados por classe de capi

Quanto à altura do fuste (hf) observa-se uma tendência, já referenciada nos trabalhos da (DGF, 1989) e (Ribeiro, 1995), que sugere uma modificação da técnica da poda de formação que privilegia mais recentemente fustes mais altos visando o fim da exploração da cortiça nas ramas e braças (ver distribuição de medianas na Figura 18). A variabilidade é muito marcada nas classes de capi 2 a 4 o que se deve à grande dificuldade em conduzir as árvores em altura devido ao baixo controlo epinástico, característico desta espécie. Este facto pode ser notado na classe de capi 1 que inclui as árvores que ainda não foram sujeitas a poda de formação.

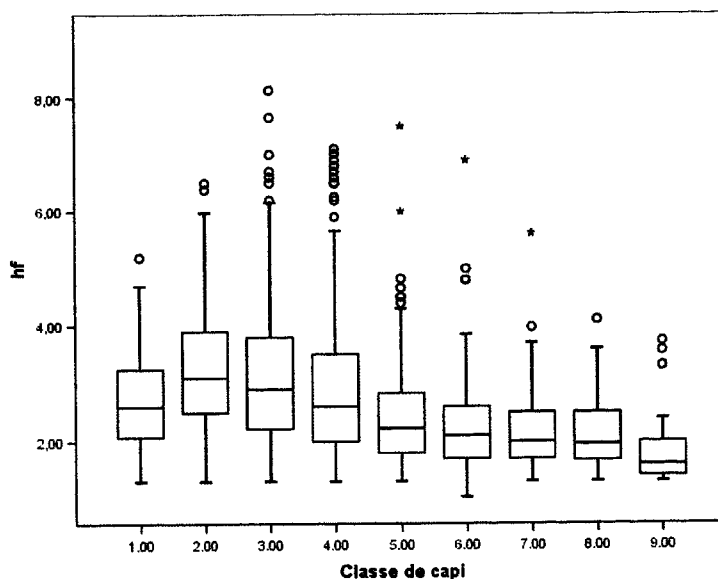


Figura 18 – Caixa de bigodes para os dados de altura do fuste (hf, m) agrupados por classe de capi

Quanto aos indicadores de pressão de descortçamento *idf* e *cd* observa-se na Figura 19 que em geral as árvores não estão a ser sobreexploradas à exceção das árvores da classe 2 e dos valores discordantes observados nas classes 3, 4 e 5. Verifica-se um padrão equivalente na relação entre as classes de *capi* e as variáveis *cd* e *idf* e uma variabilidade indicadora de inexistência de um critério rigoroso na definição da altura de descortçamento.

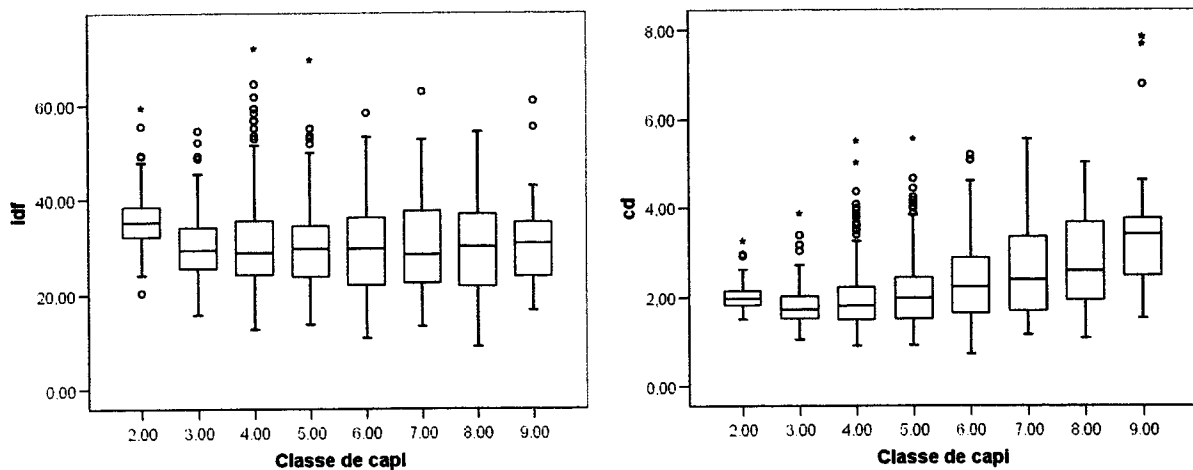


Figura 19 – Caixa de bigodes para os dados de intensidade de descortçamento (*idf*, esquerda) e coeficiente de descortçamento (*cd*, direita) agrupados por classe de *capi*

A superfície geradora (*sg*) e a longitude total de descortçamento (*hdt*) apresentam um padrão de distribuição das medianas muito idêntico sugerindo, à semelhança do observado para *ac*, uma relação alométrica com *capi* (Figura 20). A variabilidade aumenta com a dimensão das árvores o que se deve ao crescente número de pernas e braços exploradas por árvore o que justifica também a existência dos valores discordantes das classes de *capi* 3, 4, 5 e 6.

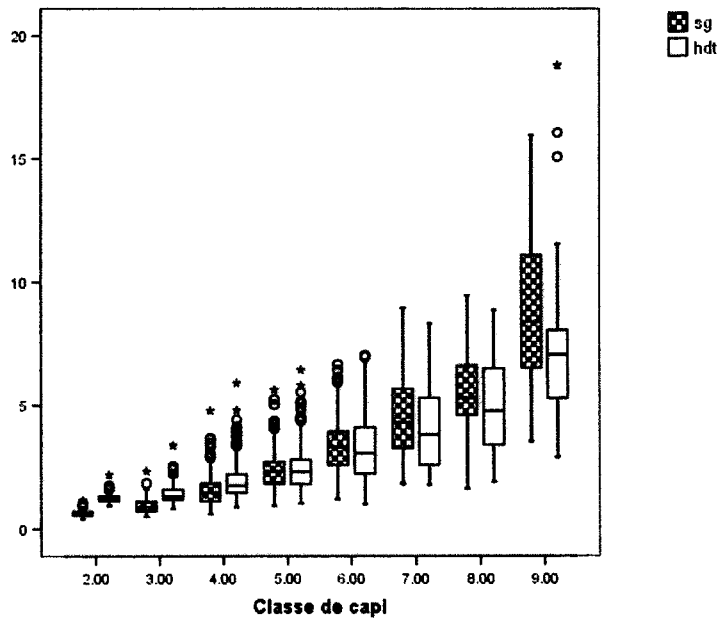


Figura 20 – Caixa de bigodes para os dados de superfície de descortiçamento (sg m²) e longitude total de descortiçamento (hdt, cm) agrupados por classe de capi

Na Figura 21, observa-se que para o peso da cortiça verde (pcv) e anidro (pcs), o padrão alométrico se mantém. De notar os valores máximos de produção de cortiça obtidos para as duas árvores de grandes dimensões já referenciadas (pcv de 282 kg e 305 kg; pcs de 229 kg e 190 kg).

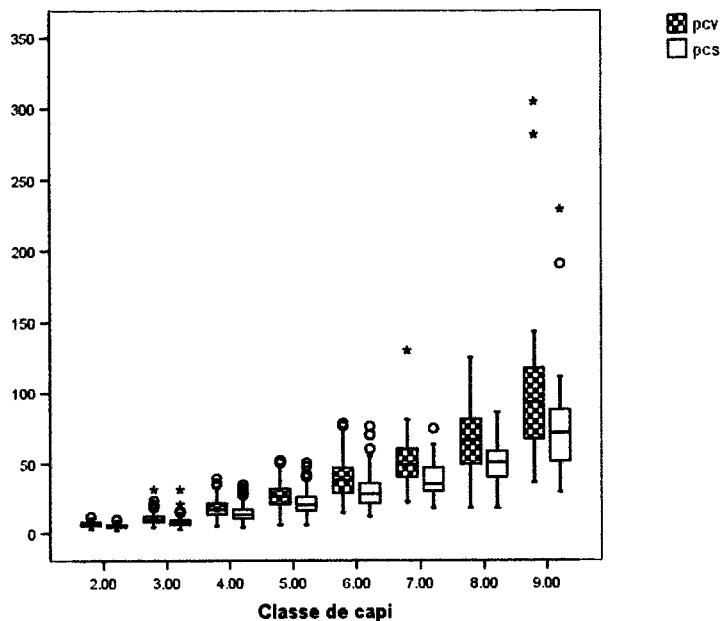


Figura 21 - Caixa de bigodes para os dados de peso de cortiça verde e anidro (pcv; pcs, m) agrupados por classe de capi

A produtividade de cortiça por unidade de superfície descortificada verde (pcm_v²) e anidro (pcm_s²) apresentam uma grande estabilidade entre as classes de capi 3 e 8, nas classes 2 e 3 observa-se a maturação do felogénio e na classe 9 a senescência do mesmo. Esta variável tem

sido utilizada para qualificação das estações (Costa, 1997; Montero, 1988; Montero et al., 1991; Montoya et al., 1984) mas como se pode notar na Figura 22 esta variável apresenta uma grande variabilidade ao nível da árvore, mesmo se se considerar a produtividade anidra. Os factores que contribuem para esta variabilidade estão ligados ao tecido suberoso cuja densidade é alterada com a porosidade e incrustações de lenho (prego) pelo que a utilização desta variável como qualificador da estação deve basear-se num critério de selecção de árvores com características homogéneas ao nível da cortiça.

Uma variável muito importante na qualificação da cortiça é a sua espessura efl.3, na Figura 23 o padrão de medianas é muito idêntico aos padrões de pcm_v^2 e pcm_s^2 à excepção da classe de capi 9 onde não se observa o decréscimo esperado. Outro facto interessante é a relação constante entre a espessura de cortiça do fuste a 1.3 m (efl.3) com a das pernasas de 1ª (efp1m) e 2ª (efp2m) para as classes de capi 6 até 9 (Figura 23, direita). Esta relação indica uma perda média de espessura de 20 % entre cada um dos níveis indicação que pode ser muito útil na estimacão desta variável a partir dos modelos ajustados a 1.3 m.

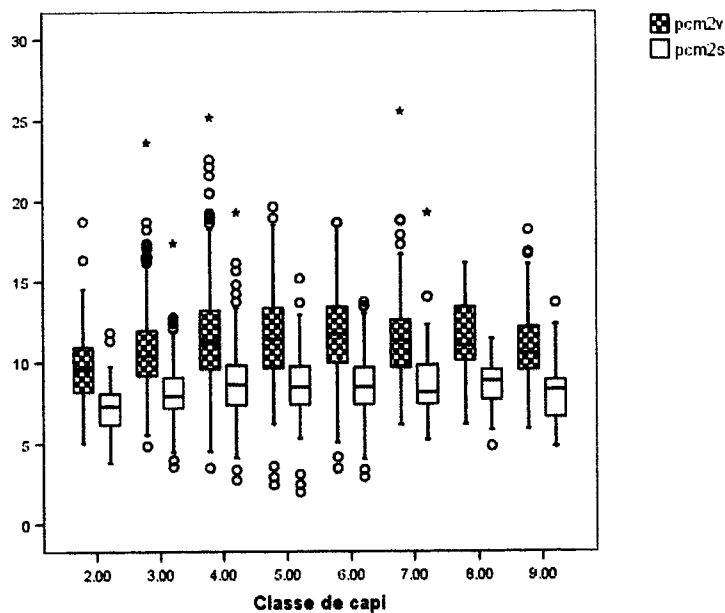


Figura 22 – Caixa de bigodes para os dados de produtividade de cortiça por unidade de superfície descortiçada verde e anidra (pcm_v^2 , pcm_s^2) por classe de capi

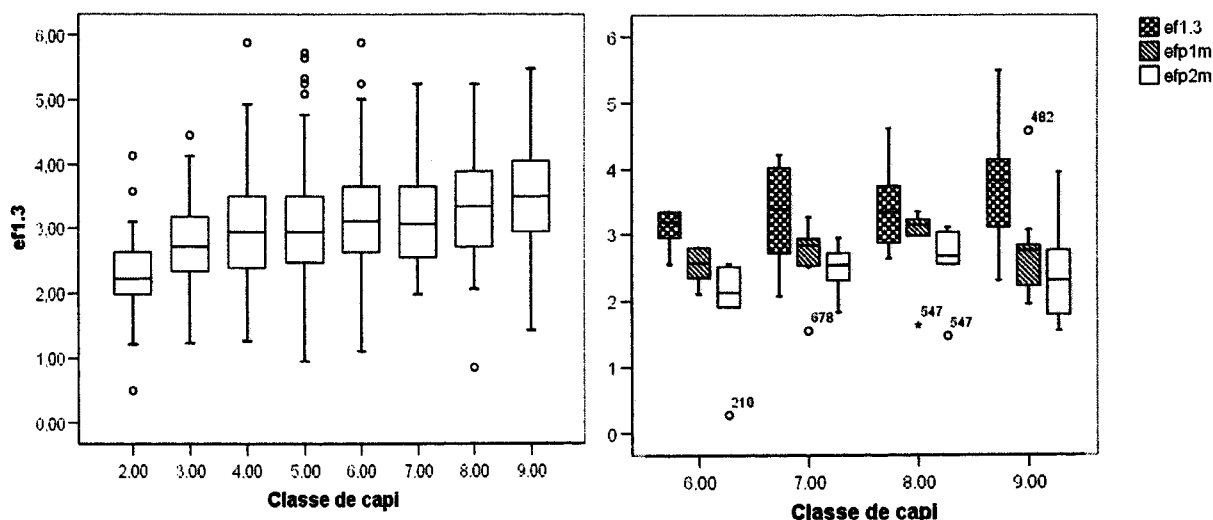


Figura 23 – Caixa de bigodes para os dados de espessura de cortiça a 1.3 m (ef1.3, cm, à esquerda) espessura média de cortiça das pernas de ordem 1 e 2 (efp1m, efp2m, cm, à direita) por classe de capi

Para finalizar, na Figura 24 estão representados os coeficientes de porosidade (cp) e percentagem de humidade em verde (H%v) podendo-se concluir que as medianas apresentam uma grande estabilidade entre classes para a humidade e que a porosidade tem um padrão crescente até à classe de capi 8 notando-se depois, um decréscimo na classe 9 o que pode indicar uma qualidade superior destas cortiças que por apresentarem um tecido suberoso mais puro podem justificar a menor produtividade específica referida acima.

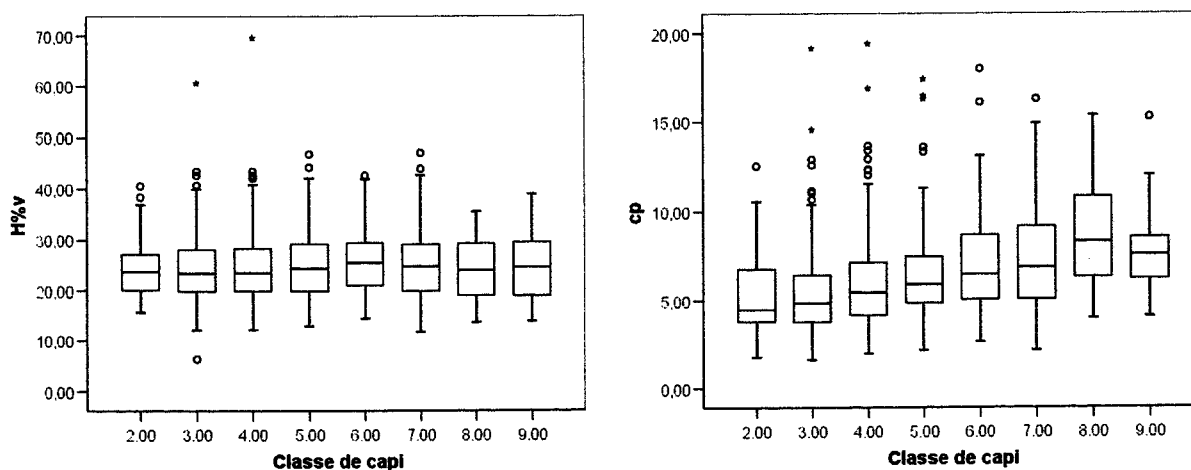


Figura 24 – Caixa de bigodes para os dados de percentagem de humidade em verde (H%v, à esquerda) e coeficiente de porosidade (cp, à direita) por classe de capi

4.2.2. Análise da matriz de correlações e pesquisa variáveis regressoras

No seguimento do exposto no ponto 4.1.1 procede-se agora à análise da matriz de coeficientes de correlação rho de Spearman para obter uma perspectiva integrada das relações alométricas entre as variáveis em estudo. A escolha de estatísticas não paramétricas (baseadas em estatísticas de ordem) justifica-se pela sua maior robustez a valores discordantes que são muito comuns em populações heterogéneas como as de sobreiro, sem que, no entanto, não constituam erros de medição. As relações alométricas não são lineares nem iguais para cada par de variáveis estudadas pelo que os coeficientes de correlação encontrados são provavelmente inferiores aqueles que se obteriam com o modelo correcto. Assim, mesmo tendo em conta as limitações destas estatísticas, decidiu-se pela sua utilização por representarem uma forma de análise exploratória de dados muito útil na interpretação integrada das interrelações entre todas as variáveis.

Para a construção da matriz de correlações utilizaram-se dois conjuntos de dados: (1) dados recolhidos na totalidade das árvores em 1995 e 2005; (2) dados recolhidos apenas nas árvores descortaçadas. Para o conjunto de dados (1) são analisadas as correlações entre as variáveis morfológicas simples e transformadas de forma a incluir informação sobre as árvores mais jovens (com $\text{capi} > 20$ cm). O conjunto de dados (2), para além de toda a informação referida para (1), contém informação sobre produção, produtividade e pressão de descortçamento tendo sido decidido utilizar a totalidade das variáveis (simples e transformadas) em estudo na construção da matriz de correlações.

Nas Tabelas 1 e 2 do Anexo 2 pode-se observar que as relações entre variáveis não se alteram de forma significativa entre as medições sendo as diferenças devidas, principalmente, ao número de árvores mortas entre as duas medições.

Os valores dos coeficientes de correlação entre o perímetro a 1.3 m (capi) e a altura total (h , $\rho=0.663$), a área da projecção horizontal das copas (ac , $\rho=0.882$) a profundidade da copa (cw , $\rho=0.581$) e relação altura diâmetro (h/d , $\rho=-0.792$) são todos significativos a um nível de confiança de 99 % indicando uma forte relação entre as variáveis morfológicas (Tabela 1, Anexo 2).

Na Figura 25 pode-se observar a não linearidade das relações alométricas entre os diversos pares de variáveis sendo de referir a forma oposta das nuvens de pontos capi vs ac e capi vs h facto que justifica a relação negativa entre capi e h/d e está de acordo com a estratégia de crescimento das árvores que na primeira fase da vida têm um crescimento em altura mais pronunciado em relação ao diâmetro basal invertendo-se esta tendência com o amadurecimento e

senescência a da árvore (Eerikainen, 2003; Jayaraman e Zakrzewski, 2001; Oliver e Larson, 1996; Philip, 1994; Zeide e Vanderschaaf, 2002). A relação do capi com h/d tem um decréscimo muito acentuado nas árvores em estudo sugerindo uma influência do espaçamento no comportamento desta variável (Zeide e Vanderschaaf, 2002). Os coeficientes de correlação entre h ($\rho=-0.117$) e cw ($\rho=-0.187$) com h/d embora significativos são claramente inferiores aos registados para o capi ($\rho=-0.792$) e ac ($\rho=-0.705$) com h/d, o que corrobora a possível importância do espaçamento no desenvolvimento das árvores com o aparecimento de muitas árvores a crescer praticamente isoladas.

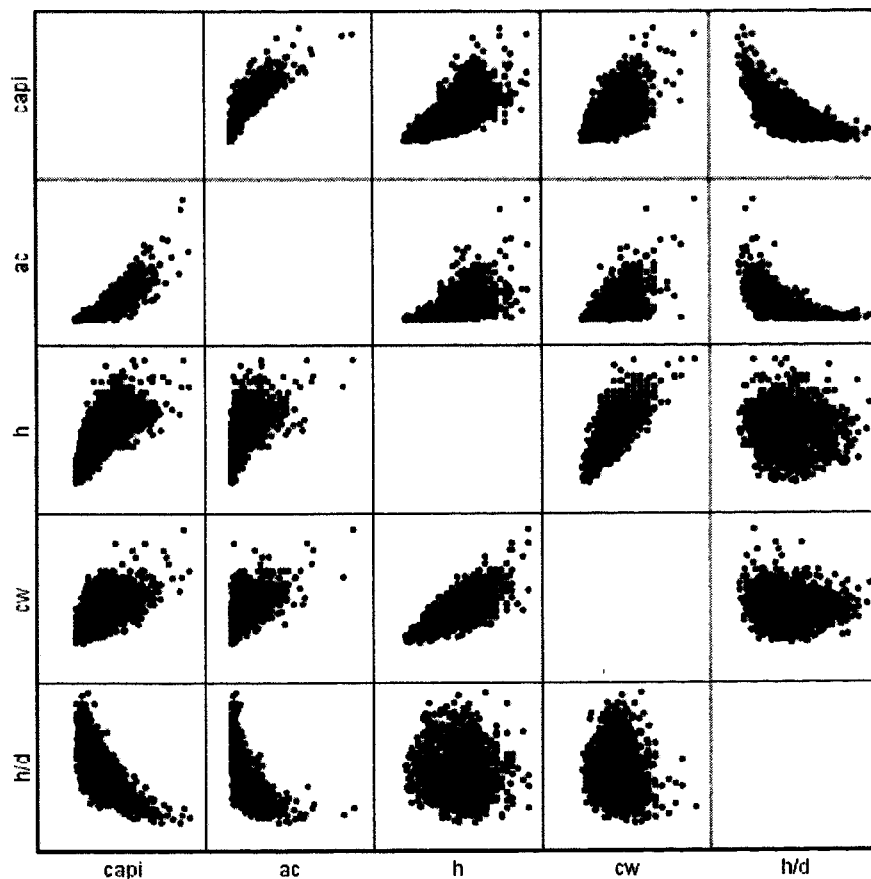


Figura 25 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis para os dados de 1995

Em relação ao conjunto de dados obtidos apenas em árvores descortçadas, pode-se observar na Tabela 3 do Anexo 2 que os coeficientes de correlação do peso anidro (pcs) com as variáveis capi ($\rho=0.909$), capf ($\rho=$) longitude total de descortçamento (hdt, $\rho=0.893$), superfície de descortçamento (sg, $\rho=0.946$) coeficiente de descortçamento (cd, $\rho=0.506$) intensidade de descortçamento (id, $\rho=0.213$), peso anidro de cortiça por unidade de superfície descortçada (ρ_{cm^2} , $\rho=0.240$) e espessura de cortiça a 1.3 m (efl.3, $\rho=0.289$) são muito idênticas às obtidas por outros autores (noutras regiões) para as mesmas variáveis, sugerindo que

o padrão alométrico é comum nas árvores exploradas na península Ibérica (Ferreira et al., 1986; Montero, 1988; Montero et al., 1991; Ribeiro, 1995; Torres, 1995). Na Figura 26 mostram-se as nuvens de pontos dos pares de variáveis referidas podendo-se destacar a variabilidade dos dados e a existência de relações não lineares entre as variáveis à exceção de pcs vs sg que se deve à estabilidade da produção de cortiça por unidade de superfície descortiçada. A variabilidade observada tem componentes genéticos mas é também decorrente dos resultados aleatórios das operações que incidem individualmente em cada árvore: podas radiculares, feridas no entrecasco, sobreexploração, ataque de pragas e doenças, etc.

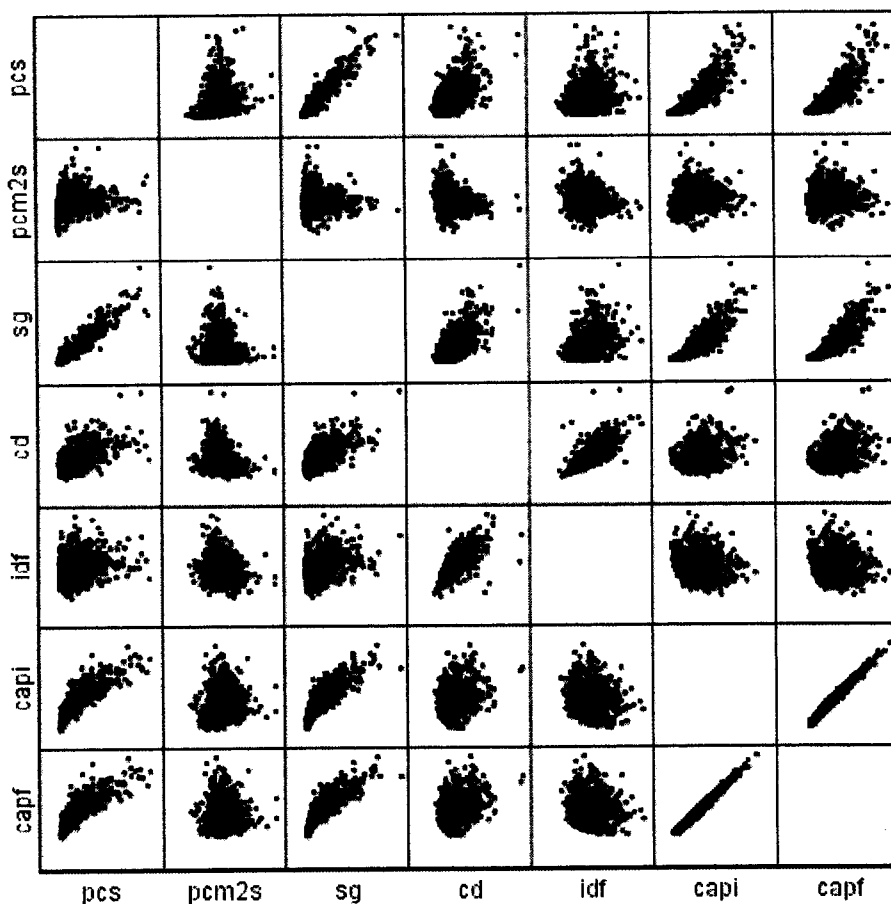


Figura 26 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis

No presente trabalho, foi determinado o conteúdo em água da cortiça (H%v) tendo-se decidido apenas trabalhar com pcs e pcm_s². Assim, se observar os coeficientes de correlação entre H%v e as outras variáveis, verifica-se que os coeficientes de correlação são muito baixos e não significativos para a maioria delas à exceção da do efl.3 (rho=0.662) e área seccional de cortiça (gc, rho=0.454) o que se pode dever ao efeito do aumento volumétrico da porosidade ou a uma melhor preservação do conteúdo em água no interior de cortiças com maior calibre ou pode

dever-se ainda, a um maior vigor vegetativo da árvore com conseqüente maior percentagem de tecido suberoso em diferenciação logo com maior conteúdo em água (estes factos vão ser analisados no ponto 4.5.1.1).

Os baixos coeficientes de correlação entre pcm_s^2 e: (correlações positivas) capi (rho=0.160), capf (rho=0.060), h (rho=0.031), cw (rho=0.144), pcs (rho=0.237), efl.3 (0.656) mostram a relativa estabilidade deste parâmetro com as dimensões dos sobreiros mas alguma dependência da produção e uma forte dependência com a espessura, como seria de esperar; (correlações negativas) hdt (rho=-0.084), sg (rho=-0.037), cd (rho=-0.293) e idf (rho=-0.244) indicam um efeito negativo ligeiro como aumento de hdt e sg mas um efeito negativo moderado com o aumento dos indicadores de pressão de descortiçamento.

Em relação às variáveis que expressam o crescimento de cortiça efl.3 e gc também se pode dividir os coeficientes de correlação de acordo com o seu sinal assim para efl.3: (correlações positivas) capf (rho=0.167), h (rho=0.103), cw (rho=0.221), sg (rho=0.113) observam-se valores baixos mas significativos indicando existir uma evolução de calibre com a idade; (correlações negativas) cd (rho=-0.162), id (rho=-0.114) mostrando que em situações de sobrexploração o crescimento de cortiça é moderadamente afectado. Para a área seccional de cortiça gc os valores de correlação são: (correlações positivas) capf (rho=0.759), h (rho=0.381), cw (rho=0.450), sg (rho=0.672), cd (rho=0.084) que expressam o padrão de produção de cortiça com as dimensões da árvore; (correlações negativas) id (rho=-0.130) o valor obtido é baixo mas significativo e de sinal contrário a cd contrariando o esperado (Tabela 3 do Anexo 2). Dados os resultados obtidos para as variáveis de crescimento de cortiça decidiu-se estratificar a população usando dois critérios: (1) avaliar os dados apenas das árvores vivas em 2005 pressupondo que já estariam em declínio no momento do descortiçamento; (2) avaliar separadamente as árvores com cortiça secundária e amadia subentendendo que o grupo dos sobreiros descortijados pela terceira vez, expressam, com menos ruído, o efeito do processo de descortiçamento nos padrões de crescimento seguintes. Assim, na Tabela 4 do Anexo 2 pode-se observar que não houve uma melhoria dos coeficientes de correlação, para a generalidade dos pares de variáveis. Já nas Tabelas 5 e 4 do Anexo 2, se pode observar que as árvores com cortiça secundária apresentam correlações mais elevadas entre os efl.3 e: (correlações positivas) capf (rho=0.608), h (rho=0.183), cw (rho=0.292), sg (rho=0.365); (correlações negativas) cd (rho=-0.488), id (rho=-0.340). Para a área seccional de cortiça gc os valores de correlação são: (correlações positivas) capf (rho=0.796), h (rho=0.351), cw (rho=0.460), sg (rho=0.674); (correlações negativas) cd (rho=-0.641), id (rho=-0.587) estes resultados são um indicador claro do impacto do descortiçamento nos sobreiros jovens corroborando as advertências de Natividade (1950) em

relação ao efeito do descortiçamento excessivo na no comprometimento da potencialidade produtiva futura dos sobreiros jovens. As nuvens de pontos da Figura 27 mostram de forma mais clara o impacto da intensidade de exploração no crescimento de cortiça nas árvores com cortiça segundeira (à esquerda) em comparação com as de cortiça amadia (direita). As árvores com cortiça amadia incluem árvores com mais de 3 tiradas e à medida que as tiradas aumentam aumenta também a variabilidade resultado do ruído causado por um conjunto de factores isolados ou combinados tais como feridas no entrecasco motivadas por descortiçamento ou choque de alfaías, podas radiculares resultantes da mobilização do solo, presença de pragas ou doenças, etc. Esta variabilidade não explicada é estrutural e torna muito complexo o processo de construção de modelos.

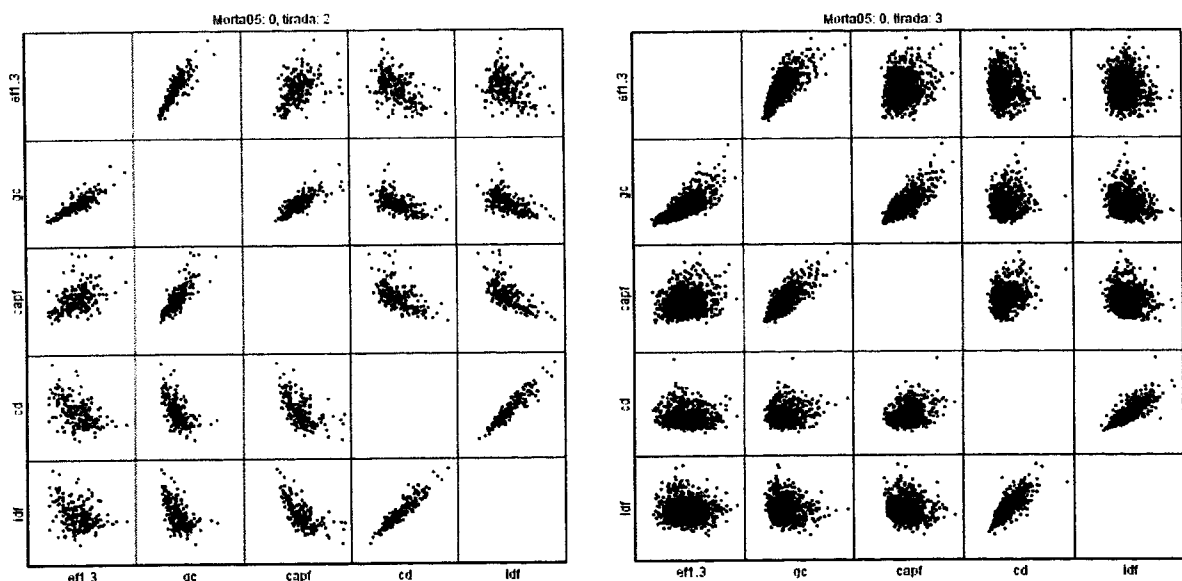


Figura 27 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis

4.3. Estatísticas para o povoamento

Após a breve análise exploratória ao nível da árvore individual procede-se neste ponto a uma caracterização dos povoamentos utilizando: (1) variáveis referidas no ponto 3.2.2 e os estimadores das médias e variâncias para a amostragem aleatória estratificada dos pontos 3.2.3 e 3.2.4 e; (2) matriz de correlações entre as variáveis do ponto 3.2.2 e 3.1.1.3 para interpretar o sistema de produção; (3) análise da estrutura espacial das parcelas usando a função de correlação de pares e a função de correlação de marcas.

4.3.1. Resultados da amostragem aleatória estratificada

Na Tabela 27 apresentam-se os resultados de cada um dos estratos e estatísticas que permitem a avaliação e diagnóstico de cada uma das sub populações consideradas no que respeita à sua ocupação, nível e intensidade de exploração e produção e crescimento de cortiça.

Tabela 27 – Médias e suas estatísticas dos três estratos da amostragem estratificada

Parâmetros	Estrato 1				Estrato 2				Estrato 3				Unidades
	n_1	w_1	\bar{y}_1	$\sqrt{\text{vâr}(\bar{y}_1)}$	n_2	w_2	\bar{y}_2	$\sqrt{\text{vâr}(\bar{y}_2)}$	n_3	w_3	\bar{y}_3	$\sqrt{\text{vâr}(\bar{y}_3)}$	
NT			74.50	7.25			137.60	9.29			145.91	10.67	arv ha ⁻¹
ABTi			5.75	0.45			10.27	0.44			13.49	0.61	m ² ha ⁻¹
ACT			2218.12	200.41			3720.41	134.11			5588.59	318.24	m ² ha ⁻¹
THM			7.32	0.21			8.03	0.15			8.59	0.14	m
THDOM			8.06	0.23			9.52	0.15			10.26	0.18	m
ERN			0.75	0.04			0.75	0.03			0.81	0.02	
ERP	20	0.778	0.22	0.04	25	0.194	0.20	0.03	22	0.028	0.29	0.04	
PCTs			1123.96	124.08			1734.75	148.86			2677.27	199.83	kg ² ha ⁻¹
PCMms			9.39	0.30			8.64	0.15			8.55	0.21	kg ² m ⁻²
SGT			121.02	13.98			206.66	19.17			312.83	18.88	m ² ha ⁻¹
CDm			1.99	0.07			1.99	0.09			2.26	0.06	
IDFm			28.76	0.87			29.05	0.88			31.36	0.82	
EF13m			3.23	0.13			3.07	0.08			2.85	0.08	cm
EPm			2.29	0.34			2.46	0.18			2.44	0.10	cm

Para o cálculo dos resultados globais da amostragem estratificada e construção dos intervalos de confiança para as estimativas procedeu-se a testes de igualdade de variâncias inter estrato tendo-se utilizado duas estatísticas: (1) teste de Bartlett (ponto 3.2.4) sob a hipótese nula e alternativa: H_0 : As variâncias dos estratos são iguais *versus* H_1 : Nem todas as variâncias S_h^2 são iguais; (2) teste de Levene (SPSS, 2005) sob a hipótese nula e alternativa: H_0 : As variâncias dos estratos são iguais *versus* H_1 : Nem todas as variâncias S_h^2 são iguais.

Tabela 28 – Resultados dos testes de homogeneidade de variâncias de Bartlett (M) e Levene, probabilidade e significâncias para os estratos 1, 2 e 3

Parâmetros	M (p)	Levene
NT	3.68 (0.16) ns	1.86 (0.164) ns
ABTi	2.81 (0.25) ns	1.01 (0.370) ns
ACT	14.56 (<0.01) **	8.76 (<0.01) **
THM	3.00 (0.22) ns	2.18 (0.121) ns
THDOM	2.28 (0.32) ns	1.39 (0.257) ns
ERN	8.52 (0.01) *	3.42 (0.039) *
ERP	0.39 (0.82) ns	0.14 (0.873) ns
PCTs	5.08 (0.08) ns	0.74 (0.481) ns
PCMms	6.94 (0.03) *	2.29 (0.109) ns
SGT	3.62 (0.16) ns	1.10 (0.339) ns
CDm	5.68 (0.06) ns	2.99 (0.058) ns
IDFm	0.45 (0.80) ns	0.38 (0.685) ns
EF13m	5.24 (0.07) ns	3.79 (0.028) *
EPm	26.10 (<0.01) **	9.00 (<0.01) **

ns não significativo, * significativo a $\alpha=0.05$, ** significativo a $\alpha=0.01$

Os testes mostram que, à exceção de ACT, ERN, EF1.3m e EPm, a variância é homogênea nos três estratos para os outros parâmetros (Tabela 28). Assim, na construção dos intervalos de confiança (SE, Tabela 29) tem-se em conta a homogeneidade para a determinação dos graus de liberdade a utilizar na estatística t (ver ponto 3.2.4).

Tabela 29 – Médias populacionais e suas estatísticas da amostragem estratificada

Parâmetros	n	População				unidades
		\hat{Y}	$\sqrt{\text{var}(\hat{Y}_{ADE})}$	SE	SE%	
NT		88.74	5.86	11.72	13.21	ary ha ⁻¹
ABTi		6.84	0.36	0.72	10.51	m ² ha ⁻¹
ACT		2603.29	156.70	313.41	12.04	m ² ha ⁻¹
THM		7.49	0.16	0.33	4.38	m
THDOM		8.41	0.18	0.36	4.33	m
ERN		0.75	0.03	0.06	8.55	
ERP	67	0.22	0.03	0.06	29.88	
PCTs		1285.61	99.71	199.42	15.51	kg ² ha ⁻¹
PCMms		9.22	0.24	0.47	5.10	kg ² m ⁻²
SGT		142.97	11.37	22.73	15.90	m ² ha ⁻¹
CDm		2.00	0.06	0.12	5.85	
IDFm		28.89	0.69	1.38	4.76	
EF13m		3.19	0.10	0.20	6.31	cm
EPm		2.33	0.26	0.53	22.61	cm

Para análise e diagnóstico do estado do povoamento decidiu-se utilizar o padrão apresentado por DGF (1989) para as variáveis de ocupação. Para os indicadores de pressão de descortçamento utilizou-se o intervalo CDm ótimo correspondente ao capi médio populacional (98.4 cm) apresentado por Ribeiro (1995) e os intervalos de ID propostos por Montero (1989)

Para a produção total de cortiça anidra (PCTs) obtida por multiplicação da superfície geradora padrão pela produção de cortiça por unidade de área descortiçada (PCMms). O padrão resultante apresenta-se na Tabela 30.

Tabela 30 – Padrão de normalidade para povoamentos de sobreiro segundo DGF (1989)

Parâmetros	Valores	Unidades
NT	185	arv ha ⁻¹
CT	146	m ha ⁻¹
ABTi	12	m ² ha ⁻¹
ACT	4970	m ² ha ⁻¹
SG	375	m ² ha ⁻¹
PCTs	3458	kg ha ⁻¹
CDtot	2.2-2.4	----
ID	34-36	----

Por comparação das Tabelas 28 e 30 conclui-se que o povoamento se encontra sub lotado indicando que não se está a explorar o montado utilizando a sua potencialidade produtiva máxima na componente silvícola uma vez que esta se encontra combinada com uma actividade agrícola e pastoril.

Uma análise mais detalhada do sistema de produção por análise detalhada de cada uma das variáveis de povoamento ao nível populacional e de cada um dos estratos permite concluir (ver Tabelas 28 e 30 e Figuras de 1 a 15 do Anexo 3):

- Que existe uma densidade muito inferior ao padrão (NT=89 arv ha⁻¹ contra as 185 do padrão), que também se observa no estrato 1 e 2 (NT=62 arv ha⁻¹, NT=114 arv ha⁻¹), o estrato 3 apresenta um valor mais próximo do padrão (NT=169 arv ha⁻¹). No teste à posteriori de Scheffe da ANOVA calculada para o factor estrato do Anexo 3 nota-se para a variável NT que o seu valor para estrato 1 é significativamente inferior aos do estrato 2 e 3 assim, tendo em conta que o estrato 1 ocupa 78 % da área, pode-se concluir existir necessidade de intervenção a curto prazo no sentido de proceder à regeneração (natural ou artificial) que implica alterações de gestão da componente agro-pecuária.
- Que a basal apresenta um comportamento idêntico a NT (ABTi=7 m²/ha em relação aos 12 do padrão) mas que neste caso todos os valores dos estratos 1, 2 e 3 (ABT1=6 m²/ha, ABT1=10 m²/ha, ABTi=13 m²/ha) são significativamente diferentes (ver teste à posteriori de Scheffe para ABT1 no Anexo 3) e que os estratos 2 e 3 estão próximos do padrão.
- Que a superfície coberta pela projecção horizontal das copas é muito inferior ao padrão o que tem implicações ao nível da protecção dos solos (ACT=2603 m² ha⁻¹ em relação *versus* os 4970 do padrão). Nos três estratos os valores de ACT (ACT=2218 m² ha⁻¹, ACT=3720 m² ha⁻¹, ACT=5588 m² ha⁻¹) são significativamente diferentes (ver teste à posteriori de Scheffe para

ABTi no Anexo 3) apresentando o estrato 3 valores superiores ao padrão. Mais uma vez é de ressaltar, que em 78 % da área do estrato 1, o grau de coberto é de 22 %, valor claramente insuficiente para a sua função de protecção dos solos.

- d) As variáveis superfície geradora (SGT=142 m² ha⁻¹ *versus* 375 m² ha⁻¹ do padrão) e produção total de cortiça (PCTs=1886 kg ha⁻¹ *versus* 3458 kg ha⁻¹ do padrão) mostram as consequências da sub lotação. Observando os valores para os estratos (SGT=121 m² ha⁻¹, SGT=207 m² ha⁻¹, SGT=312 m² ha⁻¹, PCTs=1123 kg ha⁻¹, PCTs=1734 kg ha⁻¹, PCTs=2677 kg ha⁻¹) verifica-se que são todos significativamente diferentes (Anexo 3) e mostram que apenas em 3 % da área ocupada pelo estrato 3 é que se está próximo da potencialidade produtiva padrão.
- e) Que as variáveis indicadoras da intensidade de exploração individual das árvores (CDm=2 e IDfm=29), indica que as árvores estão em média com uma pressão de descortiçamento inferior ao padrão podendo-se concluir que os valores de SGT e PCTs ainda podem ser aumentados dentro dos intervalos racionais de exploração no presente caso de ocupação. De forma contrária ao esperado, a pressão de descortiçamento aumenta de forma significativa (para CDm e não para IDfm, Anexo 3) no estrato 3 em relação aos estratos 1 e 2 (CDm=1.99, CDm=1.99, CDm=2.26) o que se justifica pela existência de árvores de maiores dimensões no estrato 3 em comparação com os estratos 1 e 2 (CAPm=98 cm, CAPm=97 cm, CAPm=108 cm).
- f) Da totalidade dos sobreiros da população em estudo 75 % já entraram em produção (ERN=0.75) e desses 22 % são explorados nas pernadas (ERP=0.22). Observando os valores destes indicadores nos estratos nota-se que estes são significativamente mais elevados no estrato 3 (ERN=0.75, ERN=0.75, ERN=0.81, ERP=0.22, ERP=0.20, ERPN=0.29) o que está associado às dimensões médias superiores das árvores do estrato 3. Os valores indicam que, mesmo tendo em conta o quadro de sub lotação, existem ainda cerca de 20 % de árvores jovens (com capi>70cm) não exploradas o que constitui uma boa reserva e indica que a regeneração se processou de forma normal até à aproximadamente 20 anos atrás (uma vez que ela era fraca ou muito fraca na data de amostragem 1995).
- g) Para a espessura da cortiça no fuste (EF1.3m=3.19 cm) e para as pernadas (EPm=2.33) a população segue o padrão descrito por Natividade (1950) sendo inferior nas ramas em comparação com o fuste. Os valores médios de EF1.3m são superiores a 2.7 cm, valor mínimo para rolhar, e contribuem em muito para a qualidade e valor de comercialização das cortiças deste povoamento. Os resultados dos estratos mostram um decréscimo significativo de EF1.3m entre o estrato 1 e o estrato 3 (Anexo 3) sendo os valores: EF1.3m= 3.23cm,

EF1.3m=3.07 cm e EF1.3m=2.8 cm. Estes valores podem indiciar um impacto negativo da densidade e pressão de descortiçamento, no crescimento de cortiça (ver Figura 12). A combinação intensidade de descortiçamento com o aumento da competição pode ter um efeito muito negativo no crescimento secundário (Montero et al., 1991; Montoya, 1985; Ribeiro et al., 2002) facto que será avaliado no ponto 4.5.1.1 ao nível da árvore individual.

- h) O indicador de produtividade de cortiça por unidade de superfície descortificada para a população é (PCMms =9.2 kg m⁻²). Para os estratos 1, 2 e 3 observaram-se os valores (PCMms =9.3 kg m⁻², PCMms =8.6 kg m⁻², PCMms =8.6 kg m⁻²). Os valores obtidos corroboram a estabilidade referida por Montoya (1985), da produção por unidade de superfície descortificada para seis regiões de Espanha e mais tarde observada por outros autores (Costa, 1997; Montero et al., 1998; Montero et al., 1991; Ribeiro, 1995; Torres, 1995). O padrão de decréscimo observado para os valores de PCMms (Anexo 3) é muito idêntico ao obtido para EF1.3m corroborando a relação entre estas duas variáveis referida no ponto 4.1.2.
- i) Em relação à altura média (THM=7.5 m) e altura dominante (THDOM=8.4 m), é de notar o acréscimo significativo (Anexo 3) da segunda do estrato 1 ao 3 (THDOM=8.1 m, THDOM=9.5 m THDOM=10.3 m) indiciando uma tendência para uma aumento com a densidade mostrando a resposta à competição por luz em povoamentos mais fechados, estes resultados também podem estar relacionados com a maior dimensão das árvores do estrato 3 (Hasenauer e Kindermann, 2002; Hix e Lorimer, 1990; Meng *et al.*, 1997; York *et al.*, 2003). Os efeitos da competição sobre a árvore individual serão analisadas no ponto 4.5.1.1.

4.3.2. Análise da matriz de correlações para as variáveis e características do povoamento

A interpretação das relações das variáveis de povoamento é fundamental para a construção de modelos, especialmente na pesquisa de variáveis de estratificação para a determinação de classes de qualidade. Para o sobreiro, a produção de cortiça por unidade de superfície descortificada tem sido utilizada na criação de classes de qualidade tendo sido proposta uma classificação para Espanha por Montoya Oliver (1985) e Montero *et al.* (1991) e Portugal por Costa (1997).

Na Tabela 6 do Anexo 2, apresentam-se os coeficientes de correlação calculados para as variáveis dendrométricas (estatísticas de povoamento), topográficas (orientação, declive altitude) e de solos (selecção variáveis resumo das análises físicas e químicas).

As relações anteriormente observadas para a árvore individual no ponto 4.1.2, também se expressam ao nível do povoamento sendo possível observar os coeficientes de correlação significativos entre a área basal (ABTi) e: ACT ($\rho=0.938$), THM ($\rho=0.589$), THDOM ($\rho=0.837$), PCTs ($\rho=0.877$), SGT ($\rho=0.881$), CDm ($\rho=0.266$), Ef1.3m ($\rho=-0.298$). De referir a correlação negativa entre a área basal e a espessura média de cortiça EF1.3m indiciando uma influência da densidade no crescimento secundário (Begon et al., 1996; Larcher, 1995).

No que respeita às variáveis topográficas e dos solos não se encontram correlações significativas com as variáveis dendrométricas podendo-se apenas destacar algumas excepções como por exemplo a correlação positiva significativa entre a Altitude e CDm ($\rho=-0.470$), EF1.3m ($\rho=0.583$). Esta relação indica que os povoamentos situados nas zonas mais elevadas estão sujeitos a uma menor pressão de descortiçamento com conseqüente aumento de espessura de cortiça, sendo a pressão de descortiçamento a única explicação uma vez que não se observam correlações significativas entre a elevação e as outras variáveis de ocupação e do solo (Tabela 7 do Anexo 3). Em relação às características físicas (Dap, CCap) dos solos, não se encontraram coeficientes de correlação significativos já no concerne às características químicas observa-se que a capacidade de troca catiónica (CEC) apresenta coeficientes de correlação significativos de que se destacam ABTi ($\rho=0.420$), ACT ($\rho=0.438$), THM ($\rho=0.300$), THDOM ($\rho=0.418$), SGT ($\rho=0.426$), PCM2m ($\rho=0.426$), CDm ($\rho=0.295$), PCT ($\rho=-0.366$). O magnésio Mg segue um comportamento muito idêntico a CEC o mesmo não acontecendo aos outros nutrientes indicando a importância deste elemento no sistema (Tabela 7 do Anexo 3). Os nitratos apresentam apenas correlações significativas com CDm ($\rho=0.322$) e EF1.3m ($\rho=-0.366$) relação observada para a generalidade dos nutrientes (Tabela 7 do Anexo 3). Os resultados sugerem que nas áreas de melhor fertilidade estão instalados os povoamentos mais densos e que estes estão sujeitos a uma maior pressão de descortiçamento, o que, combinado com a ocupação tem influência no crescimento secundário e conseqüentemente na espessura da cortiça.

4.3.3. Pesquisa de variáveis de qualificação da estação

As diferenças na qualidade da estação podem dever-se a vários factores: solo (fertilidade, drenagem, profundidade); clima (precipitação, temperatura, radiação, etc.); topografia (altitude, exposição, etc.). As estimativas da produtividade da estação devem de ser precisas porque o enviesamento pode propagar-se pelas funções de crescimento mortalidade e ingresso afectando assim os resultados da simulação (Berguson *et al.*, 1994; Guilley *et al.*, 2004; McDill e Amateis, 1992).

Nenhum índice baseado apenas em parâmetros ambientais mostrou precisão suficiente para ser usado em gestão florestal. A vegetação reflecte a maior parte dos parâmetros da estação e pode ser usado como índice (Vanclay, 1994).

A classificação das estações pode ser agrupada sob a sua perspectiva (geocêntrica, fitocêntrica) e metodologia (directa ou indirecta). As metodologias de modelação da qualidade das estações podem ser preditivas (determinam a produtividade da estação com base em dados sincrónicos) ou descritivas (utilizam dados diacrónicos). Dentro de cada uma das classes anteriores pode-se determinar a produtividade de forma qualitativa (variáveis discretas) ou quantitativa (variáveis contínuas). Pretende-se de um sistema preditivo/descritivo quantitativo que seja: (1) reproduzível e consistente em longos períodos de tempo; (2) realmente indicador da qualidade da estação, isto é, que seja independente das condições do povoamento ou gestão; (3) pelo menos tão eficiente quanto outros sistemas de qualificação existentes (Vanclay, 1994).

Tendo em conta o anteriormente exposto, a fertilidade não é estável no tempo, é influenciada pelas actividades agrícolas, especialmente pelas culturas de gramíneas para forragem, que são acompanhadas de fertilizações e afectam a capacidade de troca catiónica por mineralização da matéria orgânica. Por este facto, é muito difícil utilizar os padrões químicos do solo para a definição de classes de qualidade. A altura dominante em sistemas de baixa ocupação, apresenta uma grande dependência a área basal, para além de ser uma variável muito condicionada pelas podas de formação não sendo por isso um bom qualificador (Figura 28).

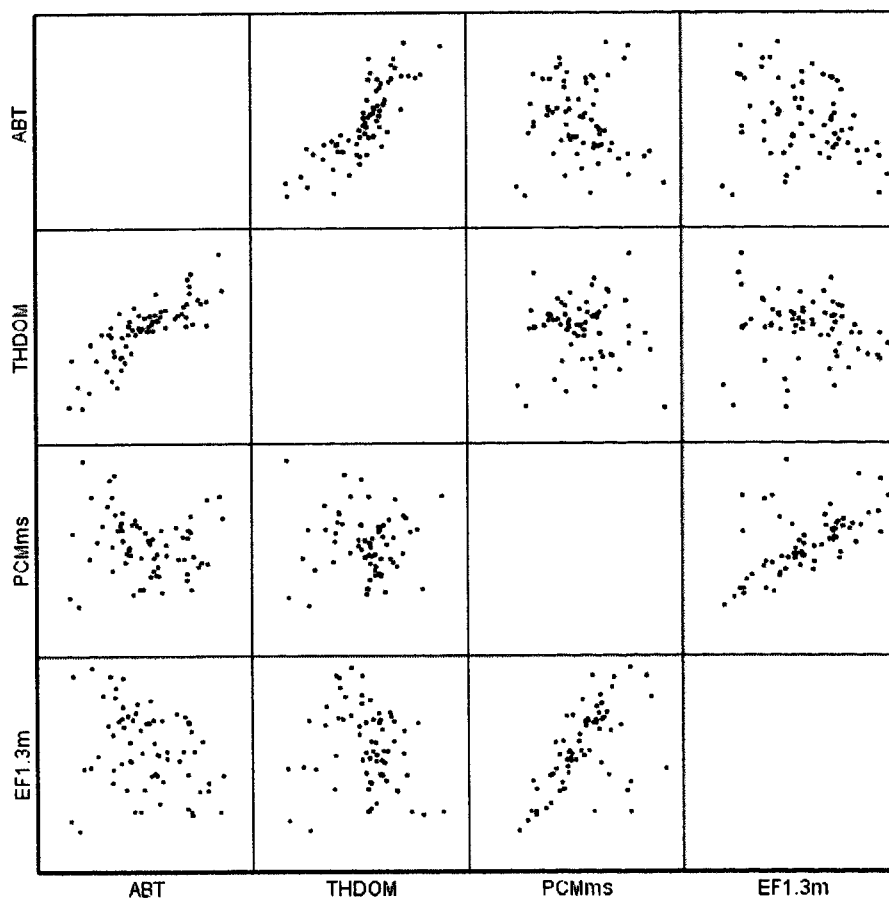


Figura 28 – Matriz de gráficos de dispersão pontos de todas as combinações de pares de variáveis

A produtividade de cortiça por unidade de superfície de descortiçamento (PCMms) está muito correlacionada com o crescimento de cortiça e parece obedecer aos critérios referidos por ser independente da ocupação da estação e da intensidade da exploração mas não da intensidade de exploração consequentemente da gestão (Figura 28). De facto, vários autores usaram esta variável para a classificação da qualidade de estação (Costa, 1997; Montero, 1988; Montoya, 1985; Torres, 1995) mas no presente observou-se uma grande variabilidade deste parâmetro ao nível da árvore e também ao nível da parcela, especialmente se se considerar o peso de cortiça anidro (ver pontos 4.1.1 e 4.1.2 e Figura 29).

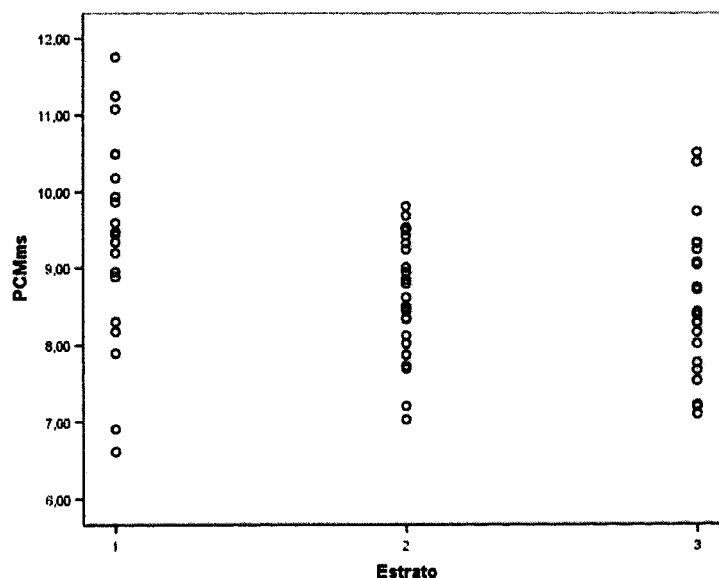


Figura 29 – Dispersão de valores de PCMms por estrato

O único elemento que obedece aos critérios (1) e (2) é o solo porque é independente da gestão, pelo menos para os graus de intensidades de utilização 1 e 2 (Diniz, 1994) e é um elemento estável no tempo de vida das árvores. Assim, decidiu-se utilizar a Tabela 1 do Anexo 1 e classificar os solos de acordo com as suas limitações do crescimento dos sobreiros obedecendo à lei dos mínimos criando duas classes de solos: 0 sem limitações e 1 com pelo menos uma limitação.

No Anexo 6, apresentam-se as estatísticas da ANOVA calculada com o factor limitação do solo para as variáveis ABTi, ACT, THDOM, PCMms e EF1.3m. Embora os resultados não sejam significativos observa-se uma tendência decrescente para todas as variáveis indicando a pior qualidade da estação correspondente aos solos com limitações (ver Figuras 1 a 5 do Anexo 1). Decidiu-se por isso pela classificação da estação de acordo com as limitações dos solos.

4.3.4. Avaliação da estrutura espacial ao nível da parcela permanente

A utilidade das funções de correlação de marcas e de pares fica bem patente na observação da figura 30 onde se pode observar a sensibilidade das funções às características do povoamento. Para o efeito simulou-se um povoamento com compasso 4x6 e distribuição aleatória das árvores com capi entre os 70 cm e 100 cm.

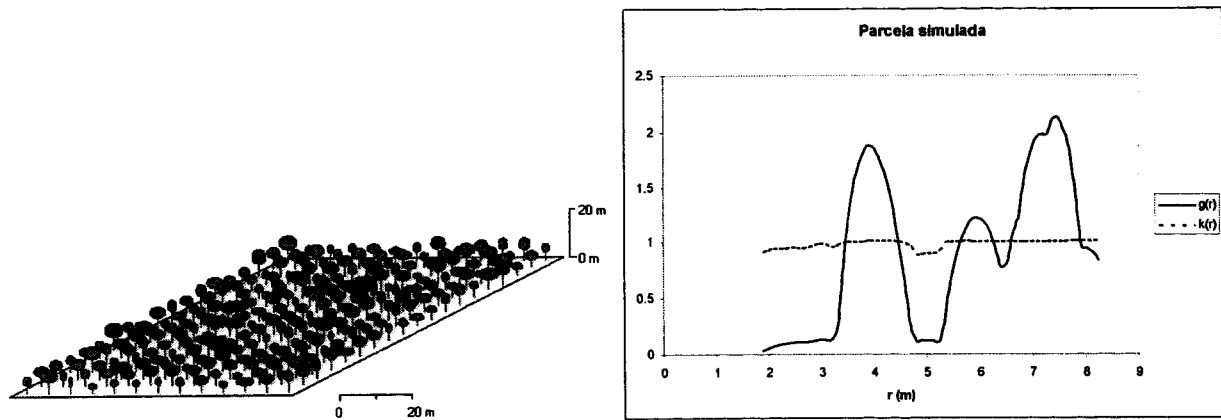


Figura 30 – Representação tridimensional da parcelas (esquerda) e gráficos das funções $g(r)$ e $k_{mm}(r)$ (direita)

Na Figura 30 à direita, mostra-se que a função de correlação de pares $g(r)$ consegue descrever com muita exactidão o compasso de plantação utilizado com os picos de correlação nas distâncias correspondentes ao compasso 4x6 (4 metros na linha e 6m entre linhas e 6.9 na diagonal). No processo de geração das plantações, as marcas foram distribuídas aleatoriamente pelas árvores o que fica expresso pelos valores de $k_{mm}(r) \equiv 1$ (usou-se como marca o diâmetro a 1.3m do solo, di, cm).

No Anexo 4 estão representados os resultados das funções $g(r)$ e $k_{mm}(r)$, esta última calculada para a marca diâmetro a 1.3 m (di) para todas as parcelas permanentes em estudo. O mais notório é a grande variabilidade de estruturas encontradas em termos de distribuição de pontos como das marcas (observável respectivamente nas curvas de $g(r)$ e $k_{mm}(r)$ Figuras 1 a 34 do Anexo 4) e a sua divergência dos processos aleatórios de Poisson. Esta variabilidade é explicada, em parte, pelas distribuições de perímetros por classes de capi (ver Figuras 35 a 37 do Anexo 4).

No entanto podem-se observar alguns padrões comuns de $g(r)$ em grupos de parcelas senão veja-se:

- Sinal de segregação, isto é, com probabilidade baixa ($g(r) < 1$) para encontrar pares de árvores a distâncias pequenas são observáveis nas parcelas 101, 110, 111, 117, 118, 203 a 208, 214, 215, 216, 222 a 225, 301, 303, 306 319 e 320 (ver Figuras 1 a 34 do Anexo 4).
- Sinais agrupamento, isto é, com probabilidade alta ($g(r) > 1$) para encontrar pares de árvores a distâncias pequenas são observáveis nas parcelas 106, 108, 109, 113, 120, 201, 202, 209, 213, 217, 219, 306, 607, 315 e 317 (ver Figuras 1 a 34 do Anexo 4).
- Sinais de regularidade, isto é, com probabilidades elevadas a distâncias regulares observáveis nas parcelas 112, 114, 115, 119, 211, 214, 221 a 225, 302, 306, 309, 312 a 314, 316, 321 e 322 (ver Figuras 1 a 34 do Anexo 4).

As parcelas do grupo a) correspondem a povoamentos em que as árvores se encontram espaçadas como na parcela 118 (ver carta de copas da Figura 31). De notar também, que os pares de distâncias com maior probabilidade ($g(r)$) aparecem pares de distâncias de aproximadamente 16 m o que pode ser confirmado na carta de copas.

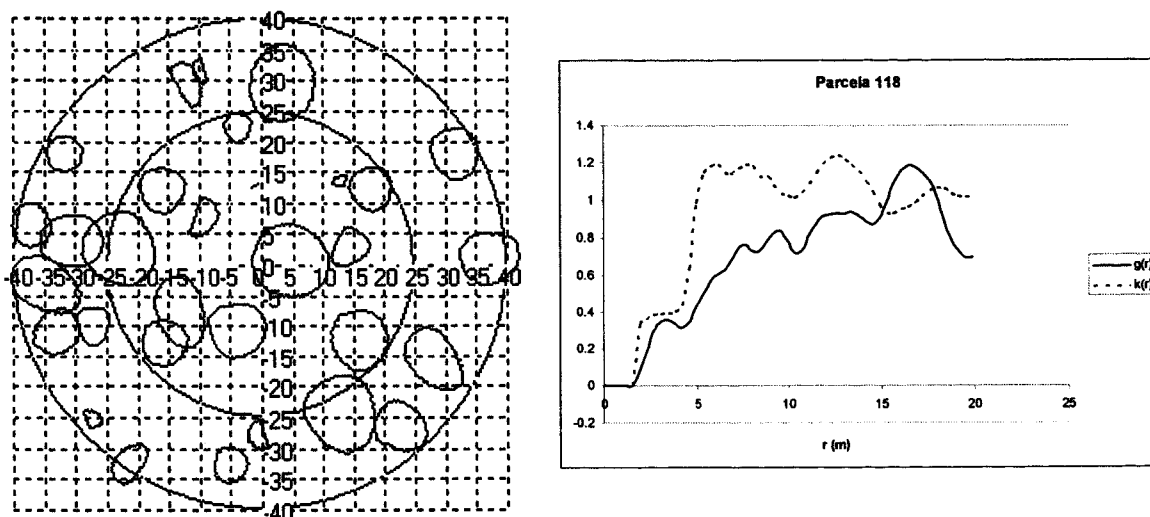


Figura 31 – Carta de copas da parcela 118 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r (direita).

As parcelas do grupo b) correspondem a povoamentos em que as árvores se organizam em manchas como por exemplo no canto inferior direito e no topo da carta de copas da parcela 120 (ver Figura 32). Também é visível a que as árvores aparecem ou a distâncias muito curtas ou a distâncias de 10-12 m o que é observável na curva $g(r)$ na Figura 32.

As parcelas do grupo c) correspondem a povoamentos em que as árvores se organizam de forma regular exemplo no na carta de copas da parcela 223 (ver Figura 33). O espaçamento regular pode ser medido com a função $g(r)$ que apresenta picos para $r=4$ e $r=8$ sugerindo um espaçamentos 4x8 (Figura 33).

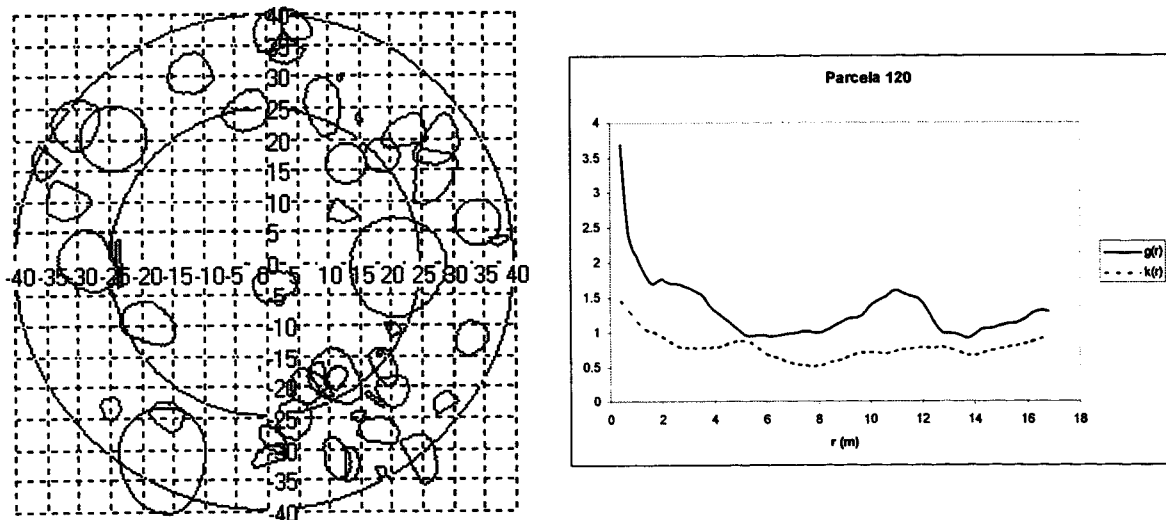


Figura 32 – Carta de copas da parcela 120 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $k_{mm}(r)$ em função da distância r (direita).

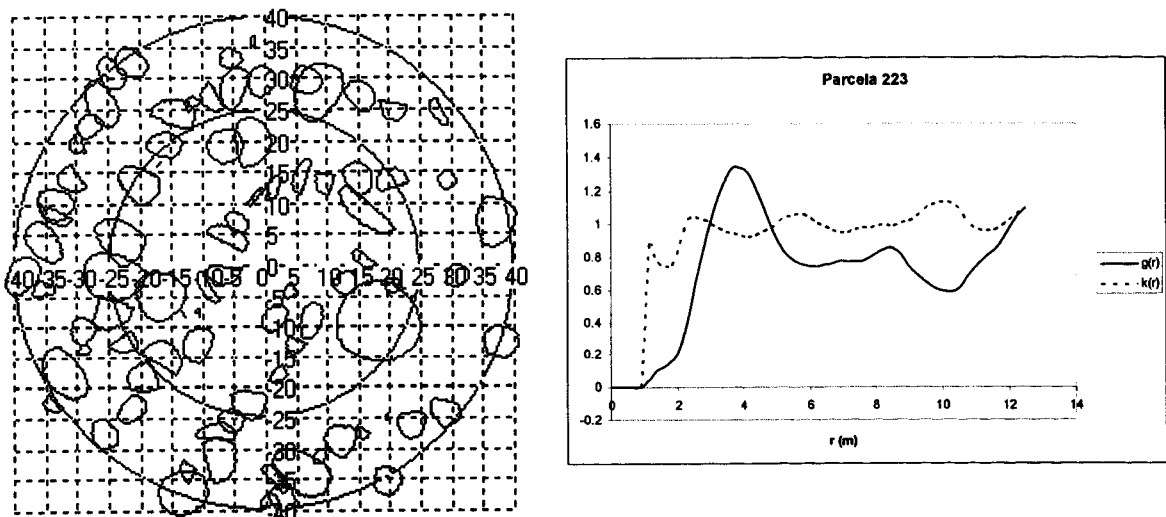


Figura 33 – Carta de copas da parcela 223 (esquerda) e representação das curvas das funções $g(r)$ e $k_{mm}(r)$ em função da distância r (direita).

A função de correlação de marcas $k_{mm}(r)$ apresenta, em muitas parcelas, probabilidades muito próximas de 1 (109, 219, 221, 303) indicando uma proximidade a uma distribuição aleatória de Poisson. Em parcelas segregadas $k_{mm}(r)$ segue o padrão de $g(r)$ o mesmo não sucedendo em parcelas agrupadas (comparar parcela 103 com 104 no Anexo 4) o que sucede porque em parcelas segregadas não existem pares de árvores a distâncias r baixas. Na Figura 31, $k_{mm}(r)$ apresenta picos de probabilidade superiores 1 para r igual a 6 m, 8 m 15 m indicando existem pares de árvores de dimensões opostas a estas distâncias, facto que pode ser observado na carta de copas da parcela 118. Para a parcela 120, os picos de probabilidades para $k_{mm}(r)$ 1

aparecem a distâncias de 1.5-2 m indicando que os grupos de árvores são compostos por indivíduos de diferentes dimensões o que se pode confirmar na carta de copas da Figura 32.

Uma análise integrada dos resultados das funções $g(r)$ e $K_{mm}(r)$ para todas as parcelas, conclui-se (excluindo as parcelas 221 a 225, semeadas a compasso regular em 1968) que as estruturas se afastam de um processo aleatório de Poisson, tanto em relação à distribuição das árvores como também (em grau menor) na distribuição das marcas. Outro facto interessante aparece da identificação dos picos de $g(r)$, que mostram que os pares a distâncias 4 m e 5 m, são os mais comuns para o primeiro pico e que para o segundo, são as distâncias 9m e 10 m, sugerindo um padrão (natural ou resultado da gestão) comum a grande parte da área de montado.

Da análise das cartas de copas, verificou-se que as árvores de dimensões maiores apenas aparecem isoladas ou em combinação com árvores menores (ver Figuras 31 e 32) sugerindo que a dimensão da copa influencia a distribuição dos vizinhos de primeira e segunda ordens.

Assim, para parametrizar o gerador de estrutura SRUGEN (Pretzsch, 1993) calcularam-se as distâncias de cada árvore às 4 árvores mais próximas e construíram-se os filtros de aceitação/rejeição de árvores em função da distância e dimensão da copa dos vizinhos de segunda ordem. O modelo STRUGEN baseia-se num processo de Poisson para gerar pontos aleatórios no espaço bidimensional da área onde se pretende gerar as coordenadas das árvores. O primeiro filtro é conceptual, baseia-se no princípio de que cada árvore tem uma zona (um “Hard Core”) de rejeição de árvores (Pretzsch, 1993). Para o sobreiro considerou-se (dada a sua forte intolerância ao ensombramento e fototropismo) o núcleo de rejeição correspondente à tangente das copas dos dois vizinhos gerados. Assim, o centro de uma árvore aceite está à distância mínima da soma dos raios das copas. O segundo filtro testa a distância ao primeiro vizinho em função da do segundo vizinho.

Para modelação do segundo filtro foram consideradas as seguintes variáveis: Distâncias aos primeiros dois competidores (dist1 e dist2); raios médios das copas da árvore alvo (rmi) e dos vizinhos (rm1 e rm2). Os resultados dos ajustamentos apresentam-se na Tabela 31.

Tabela 31 – Modelos lineares seleccionados, coeficientes, estatísticas e medidas de eficiência

Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	QMR	R ² _{aj}	PRESS	APRESS
dist1=f(dist2, rmi, rm1, rm2)	0.44837*	0.63630**	0.13029**	0.00215 ^{ns}	-0.12481**	2.36943	0.5509	-0.0711	1.1634
dist1=f(dist2, rmi, rm2)	0.45169*	0.63650**	0.13043**	-0.12448**	---	2.3677	0.5512	-0.1242	1.1625
dist1=f(dist2, rmi)	0.24169*	0.62039**	0.11532**	---	---	2.39018	0.5470	0.0246	1.1641
dist1=f(dist2, rm2)	0.65927*	0.65663**	-0.10868**	---	---	2.39250	0.5465	-0.1125	1.1706

Pr > |t| **<0.001, *<0.05, ns>0.05

Decidiu-se por seleccionar como filtro a função:

$$\text{dist1} = 0.24169 + 0.62039 * \text{dist2} + 0.11532 * \text{rmi},$$

por ser a que apresenta os melhores resultados de ajustamento e validação.

Esta função do filtro dois combinada com o filtro um pode apresentar enviesamentos quando aplicada a povoamentos de sobreiro com regeneração abundante por não permitir a alocação de árvores dentro do núcleo de exclusão fazendo com que deixem de se observar os picos de $g(r)$ a pequenas distâncias pelo que a sua aplicação nestas situações deve de ser ponderada.

4.4. Modelação do perfil da copa

No presente ponto apresentam-se os resultados da estimação do parâmetro E do elipsóide com a expressão:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^E + \left(\frac{y}{b}\right)^E = 1$$

Seleccionou-se o método digital para a apresentação e análise de resultados (ver Ponto 3.3.3.2.) porque tem como base muito mais informação para estimação de E em comparação com o método de Koop (ver Ponto 3.3.3.1.) sendo por isso mais fiáveis as estimativas. No método de Koop as irregularidades de perfil podem condicionar a escolha de *aup* e *adown* criando distorções que influenciam muito as estimativas de E como aconteceria com a árvore 302024 da Figura 34.

O método digital, permite obter informação completa do perfil da copa e a utilização de métodos de regressão não linear permite obter estimativas de E menos sensíveis a distorções da copa (Figura 34).

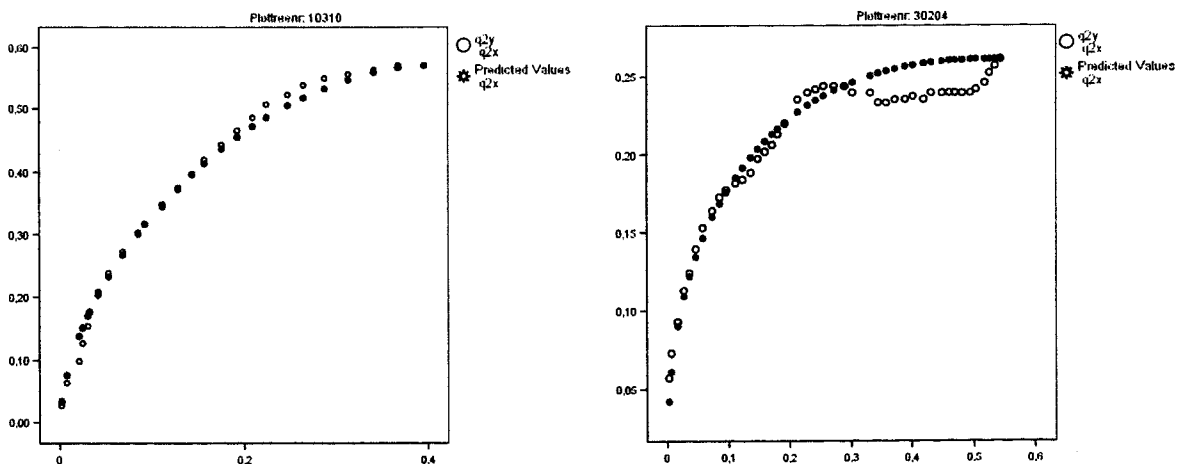


Figura 34 – Dispersão de pontos de valores observados *versus* valores estimados para o quadrante 2 das árvores 103010 e 302024.

Foram ajustados 276 modelos ajustados (68 árvores x 4 quadrantes) obtiveram sempre com $R_{aj}^2 > 0.90$. As estatísticas dos valores obtidos apresentam-se na Tabela 32.

Tabela 32 – Estatísticas descritivas para os valores de E para os quadrantes Q1 a Q4 média para a copa de luz (“up”) e de sombra (“down”).

		EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	Eup	Edown
N	Valid	68	68	68	68	68	68
	Missing	0	0	0	0	0	0
Mean		2.2754	2.2828	1.8143	1.8425	2.2791	1.8284
Std. Deviation		0.6632	0.6216	0.6550	0.5468	0.5002	0.4542
Minimum		1.00	1.37	0.98	0.94	1.41	1.10
Maximum		3.56	3.78	4.99	3.64	3.56	3.41

As médias obtidas para os quadrantes de luz (Q1 e Q2) e para os de sombra (Q3 e Q4) são muito próximas indicando pelo que se adoptou para cada árvore os valores Eup e Edown para caracterizar o seu perfil respectivamente de luz e sombra. Os valores de Eup correspondem a um perfil de copa de luz com ligeiro achatamento no topo e de Edown a um perfil de copa de sombra com um ligeiro afunilamento na base. Este perfil está de acordo com o esperado para o perfil de iluminação correspondente à latitude de Portugal pois maximiza a captura de luz na copa quer para a radiação directa (achatamento no topo) como para a radiação difusa (afunilamento na parte não iluminada) (Koop, 1989; Oliver e Larson, 1996).

A vantagem do uso dos elipsóides para caracterizar as copas advém da sua continuidade no ponto de ligação porque partilham o mesmo raio de copa (a).

Dos resultados decidiu-se optar por uma proporção de copa de luz copa de sombra igual à média obtida para todas as árvores (perfil esquerdo e perfil direito) para o ponto de inflexão do perfil da copa. Assim;

$$cw_{up} = 0.56 \times cw$$

$$cw_{down} = 0.44 \times cw$$

Foi ainda pesquisada a possível relação entre as estimativas de Eup e Edown e as outras variáveis dendrométricas utilizando-se para isso os coeficientes de correlação de Spearman (Tabela 33).

Tabela 33 – Matriz de correlações rho de Spearman e teste de significância bilateral (Correlação significativa a $\alpha=0.01$; ** Correlação significativa a $\alpha=0.05$)**

	Eup	Edw
capi	0.211	0.025
ac	0.123	0.060
hf	-0.036	0.051
h	0.149	0.016
cw	0.153	-0.054
Eup	1.000	-0.189
Edw	-0.189	1.000

O perfil da copa de luz e de sombra é aparentemente, independente das dimensões da árvore, especialmente para Edown, o que pode traduzir que a organização do perfil é controlado maioritariamente pela resposta da árvore ao padrão de iluminação. A dimensão da amostra (n=68) pode não ter sido suficiente para obter padrões mais claros por isso pensa-se que este tema deve de ser aprofundado. Pode ser importante na clarificação da real importância das podas efectuadas na copa.

O modelo de perfil da copa tem como objectivo o cálculo do volume e superfície da copa para cálculo de índices de competição e para estudos de crescimento em modelos tridimensionais.

$$\text{Perfil copa de luz: } \left(\frac{x}{ri}\right)^{2.2791} + \left(\frac{y}{cw_{up}}\right)^{2.2791} = 1;$$

$$\text{Perfil copa de sombra: } \left(\frac{x}{ri}\right)^{1.8284} + \left(\frac{y}{cw_{down}}\right)^{1.8284} = 1$$

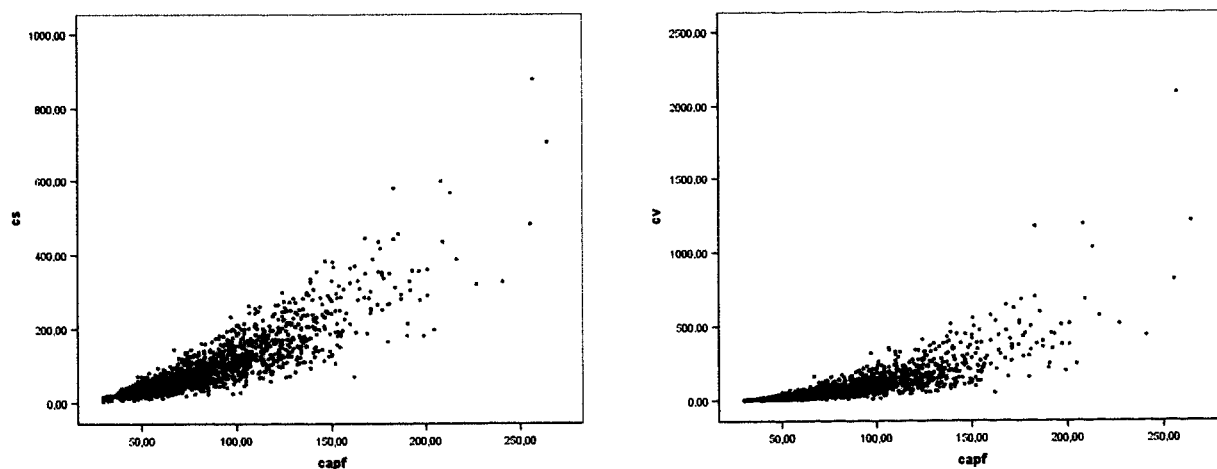


Figura 35 – Valores de superfície (cs, m²) e volume da copa (cv, m³) versus capf.

Utilizando o modelos de perfil da copa obtiveram se os valores de volume e superfície da Figura 35. A relação superfície/volume (cs/cv) é um bom indicador da proporção de tecido fotossintético com os tecidos estruturais (consumidores de fotoassimilados para manutenção) (Landsberg e Gower, 1997; Larcher, 1995). Esta relação é muito importante para a interpretação das taxas de crescimento. Observando a Figura 36 pode-se concluir que a proporção de superfície de copa em relação ao volume decresce muito rapidamente com a dimensão da árvore. Isto fica a dever-se à condução das árvores (fototrópicas) em sistemas abertos que as leva a crescer mais em largura do que em altura (Begon *et al.*, 1996; Oliver e Larson, 1996).

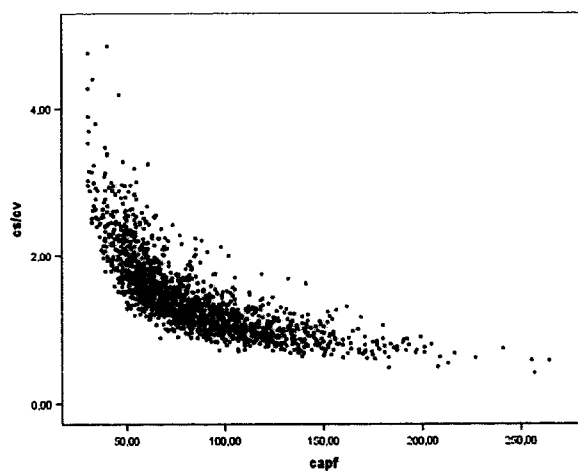


Figura 36 – Valores de superfície (cs, m^2) e volume da copa (cv, m^3) versus capf

4.5. Modelação do crescimento

Do conjunto de dados total (1628 árvores em 67 parcelas), foram efectuadas medições repetidas completas (variáveis morfológicas e produção de cortiça) em 29 parcelas num total de 430 árvores. É sobre esse conjunto de árvores que vão incidir os estudos de modelação para se poder obter uma perspectiva integrada do crescimento das árvores. As variáveis de crescimento disponíveis para modelação são: icgt – crescimento em área seccional total (cortiça e lenho); icgl – crescimento em área seccional do lenho; icgc – crescimento em área seccional da cortiça; ich – crescimento em altura total; iccw – crescimento em profundidade da copa; Icac – crescimento em área de projecção horizontal da copa.

4.5.1. Selecção dos índices de competição espaciais e não espaciais para modelação

A selecção dos índices de competição (IC) mais adequados para usar na construção dos modelos de crescimento seguiu os seguintes critérios: (1) obtenção das melhores correlações com as variáveis de crescimento numa perspectiva integrada; (2) acessibilidade das variáveis usadas no seu cálculo.

Mesmo tendo em conta a relação não linear entre as variáveis de crescimento e os índices de competição, decidiu-se nesta análise preliminar seleccionar os índices com base nas correlações de Spearman devido ao grande número de combinações (algoritmos de busca x índices de competição) em estudo.

4.5.1.1. Índices de competição espaciais

As variáveis de crescimento apresentam correlações negativas significativas com a grande maioria dos índices de competição (IC's) estudados indicando que a competição tem um impacto negativo no crescimento secundário dos sobreiros expresso em área seccional (icgt crescimento lenho e cortiça). As duas componentes de crescimento do lenho e cortiça (icgl, icgc) também apresentam correlações negativas significativas sendo de notar que a componente de cortiça é aquela que parece sofrer uma influência mais marcada dos efeitos da competição (Tabela 11). De facto o crescimento de cortiça representa cerca de 77% do crescimento em

diâmetro indicando que a árvore investe a maior parte da sua energia disponível para o crescimento radial, na reposição da casca. Estes valores estão de acordo com outros autores que obtiveram valores de 80% para o crescimento de cortiça num estudo efectuado em três regiões distintas: Mora, Alcácer do Sal e Benavente (Costa et al., 2001).

A performance dos índices tipo 1 (razão de dimensões) é superior aos do tipo 2 (sobreposição de áreas de influência) e aos do tipo 3 (espaço de crescimento), sendo os dois últimos equivalentes (Tabela 11). Nos IC's tipo 1 é de realçar o excelente performance de V e M de (Biging e Dobbertin, 1995) realçando a importância da superfície e volume da copa no processo de competição em relação à área de projecção da copa C. Os IC's MDRF e DDF (Tomé e Burkhart, 1989) do tipo 1 também apresentam muito boas performances seguidos por H (Hegyi, 1974). Dos IC's de tipo 2 destacam-se os MAOF1 (Tomé e Burkhart, 1989) sendo seguido por B (Bella, 1971) (Tabela 11).

Quanto aos algoritmos de busca, verifica-se que as combinações que incluem os de tipo B (factores de área basal) têm melhores performances que os do tipo A (sobreposição de zonas de influência) indicando que mesmo os competidores neste sistema estão muito para além das zonas de influência consideradas. Os algoritmos de busca que melhores resultados obtiveram foram as combinações D2 e D50 que, para a maior árvore da amostra ($capi=276$ cm), a podem incluir como competidora a 25 m e 39 m respectivamente e que para a árvore média ($capi=111$ cm) essa distância é de 12 m e 17 m. Este facto parece corroborar que competição se processa por partilha de recursos do solo, especialmente os hídricos, sendo por isso imprevisível e difusa estando muito dependente do desenvolvimento do sistema radical (David et al., 2002; Wu et al., 1985).

O IC do tipo 3 A (Alemdag, 1978) ficou aquém do que era esperado já que tem na sua formulação o conceito de espaço de crescimento dependente da dimensão dos competidores, que se adequa ao conceito de competição por recursos de solo.

Tendo em conta os resultados da (Tabela 34) e dos critérios referidos no Ponto 4.5.1 decidiu-se seleccionar as seguintes combinações de IC's com os algoritmos de pesquisa de competidores: HD2; C70D2; V70D2; M66D2; MDRF1D50; DDF1D50; MaoF1D25.

Tabela 34 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral
(**correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$)

	abi	abir	icgt	icgc	icgl
abi	1.000	0.973(**)	0.662(**)	0.687(**)	0.376(**)
abir	0.973(**)	1.000	0.781(**)	0.776(**)	0.515(**)
icgt	0.662(**)	0.781(**)	1.000	0.936(**)	0.738(**)
icgc	0.687(**)	0.776(**)	0.936(**)	1.000	0.497(**)
icgl	0.376(**)	0.515(**)	0.738(**)	0.497(**)	1.000
cd	0.194(**)	0.111(*)	-0.209(**)	-0.202(**)	-0.171(**)

Tabela 34 - Continuação

	abi	abir	icgt	icgc	icgl
idf	-0.089	-0.165(**)	-0.321(**)	-0.334(**)	-0.224(**)
HD1	-0.239(**)	-0.275(**)	-0.376(**)	-0.378(**)	-0.224(**)
HD2	-0.506(**)	-0.539(**)	-0.563(**)	-0.584(**)	-0.324(**)
HD3	-0.397(**)	-0.437(**)	-0.507(**)	-0.511(**)	-0.314(**)
HH1	-0.193(**)	-0.223(**)	-0.307(**)	-0.291(**)	-0.211(**)
HH2	-0.399(**)	-0.421(**)	-0.444(**)	-0.457(**)	-0.255(**)
HH3	-0.157(**)	-0.187(**)	-0.278(**)	-0.286(**)	-0.182(**)
HH4	-0.100(*)	-0.128(**)	-0.218(**)	-0.229(**)	-0.127(**)
MED1	-0.060	-0.103(*)	-0.272(**)	-0.274(**)	-0.162(**)
MED2	-0.227(**)	-0.270(**)	-0.405(**)	-0.420(**)	-0.233(**)
MED3	-0.212(**)	-0.257(**)	-0.394(**)	-0.398(**)	-0.244(**)
MEHh1	-0.128(**)	-0.161(**)	-0.273(**)	-0.256(**)	-0.192(**)
MEH2	-0.230(**)	-0.261(**)	-0.359(**)	-0.368(**)	-0.207(**)
MEH3	-0.128(**)	-0.160(**)	-0.263(**)	-0.270(**)	-0.172(**)
MEH4	-0.089	-0.117(*)	-0.211(**)	-0.223(**)	-0.122(*)
BD4	-0.338(**)	-0.377(**)	-0.454(**)	-0.472(**)	-0.265(**)
BD5	-0.267(**)	-0.304(**)	-0.393(**)	-0.403(**)	-0.244(**)
AD1	-0.336(**)	-0.362(**)	-0.401(**)	-0.403(**)	-0.234(**)
AD3	-0.392(**)	-0.422(**)	-0.473(**)	-0.483(**)	-0.268(**)
AH1	-0.183(**)	-0.210(**)	-0.285(**)	-0.272(**)	-0.186(**)
AH3	-0.146(**)	-0.175(**)	-0.266(**)	-0.276(**)	-0.169(**)
C50D2	-0.589(**)	-0.609(**)	-0.557(**)	-0.584(**)	-0.317(**)
C50H2	-0.443(**)	-0.462(**)	-0.460(**)	-0.480(**)	-0.258(**)
C60D2	-0.597(**)	-0.618(**)	-0.564(**)	-0.587(**)	-0.331(**)
C60H2	-0.441(**)	-0.461(**)	-0.458(**)	-0.476(**)	-0.261(**)
C70D2	-0.606(**)	-0.628(**)	-0.577(**)	-0.593(**)	-0.353(**)
C70H2	-0.443(**)	-0.463(**)	-0.464(**)	-0.478(**)	-0.272(**)
V50D2	-0.616(**)	-0.639(**)	-0.586(**)	-0.594(**)	-0.369(**)
V60D2	-0.634(**)	-0.659(**)	-0.609(**)	-0.607(**)	-0.406(**)
V70D2	-0.629(**)	-0.654(**)	-0.608(**)	-0.596(**)	-0.422(**)
V50H2	-0.457(**)	-0.479(**)	-0.478(**)	-0.487(**)	-0.291(**)
V60H2	-0.468(**)	-0.493(**)	-0.497(**)	-0.501(**)	-0.315(**)
V70H2	-0.468(**)	-0.496(**)	-0.506(**)	-0.503(**)	-0.335(**)
M50D2	-0.588(**)	-0.616(**)	-0.595(**)	-0.603(**)	-0.373(**)
M66D2	-0.600(**)	-0.631(**)	-0.610(**)	-0.603(**)	-0.412(**)
M75D2	-0.593(**)	-0.624(**)	-0.605(**)	-0.606(**)	-0.395(**)
M50H2	-0.442(**)	-0.465(**)	-0.474(**)	-0.481(**)	-0.289(**)
M66H2	-0.455(**)	-0.483(**)	-0.495(**)	-0.493(**)	-0.322(**)
M75H2	-0.463(**)	-0.491(**)	-0.498(**)	-0.502(**)	-0.313(**)
VUges60gH1	-0.171(**)	-0.199(**)	-0.269(**)	-0.252(**)	-0.187(**)
VU6650gH2	-0.353(**)	-0.379(**)	-0.414(**)	-0.415(**)	-0.263(**)
VUges50gH2	-0.347(**)	-0.371(**)	-0.395(**)	-0.391(**)	-0.258(**)
MUges60gH1	-0.167(**)	-0.196(**)	-0.267(**)	-0.252(**)	-0.185(**)
MU6650gH2	-0.355(**)	-0.382(**)	-0.421(**)	-0.423(**)	-0.263(**)
MUges50gH2	-0.354(**)	-0.377(**)	-0.398(**)	-0.398(**)	-0.250(**)
MDRF1D25	-0.556(**)	-0.572(**)	-0.484(**)	-0.492(**)	-0.344(**)
MDRF1D35	-0.647(**)	-0.663(**)	-0.568(**)	-0.577(**)	-0.396(**)
MDRF1D50	-0.720(**)	-0.736(**)	-0.634(**)	-0.647(**)	-0.418(**)
MDRF2D35	-0.492(**)	-0.506(**)	-0.445(**)	-0.449(**)	-0.332(**)
MDRF3D35	-0.239(**)	-0.248(**)	-0.241(**)	-0.242(**)	-0.210(**)
DDF1D25	-0.646(**)	-0.665(**)	-0.557(**)	-0.566(**)	-0.383(**)
DDF1D35	-0.733(**)	-0.753(**)	-0.633(**)	-0.647(**)	-0.422(**)
DDF1D50	-0.797(**)	-0.814(**)	-0.678(**)	-0.697(**)	-0.433(**)
DDF2D35	-0.617(**)	-0.634(**)	-0.540(**)	-0.547(**)	-0.387(**)
DDF3D35	-0.325(**)	-0.337(**)	-0.319(**)	-0.318(**)	-0.265(**)
MaoF1D15	-0.568(**)	-0.583(**)	-0.483(**)	-0.503(**)	-0.324(**)
MaoF1D20	-0.624(**)	-0.647(**)	-0.556(**)	-0.562(**)	-0.380(**)
MaoF1D25	-0.652(**)	-0.676(**)	-0.585(**)	-0.590(**)	-0.409(**)

Como tinha sido referido as relações entre os IC's e as variáveis de crescimento não são lineares (Figura 37). Aproximam-se da forma de uma função exponencial negativa (HD2; C70D2; V70D2; M66D2) à excepção de: MDRF1D50; DDF1D50; MaoF1D25 que apresentam uma forma mais linear muito por causa da formulação dos índices que difere da construção dos anteriores por considerar que os competidores podem influenciar positiva ou negativamente consoante a sua dimensão relativa à árvore alvo. Os valores dos coeficientes superiores para estes últimos IS's são muito provavelmente decorrentes desta relação mais linear (Figura 37).

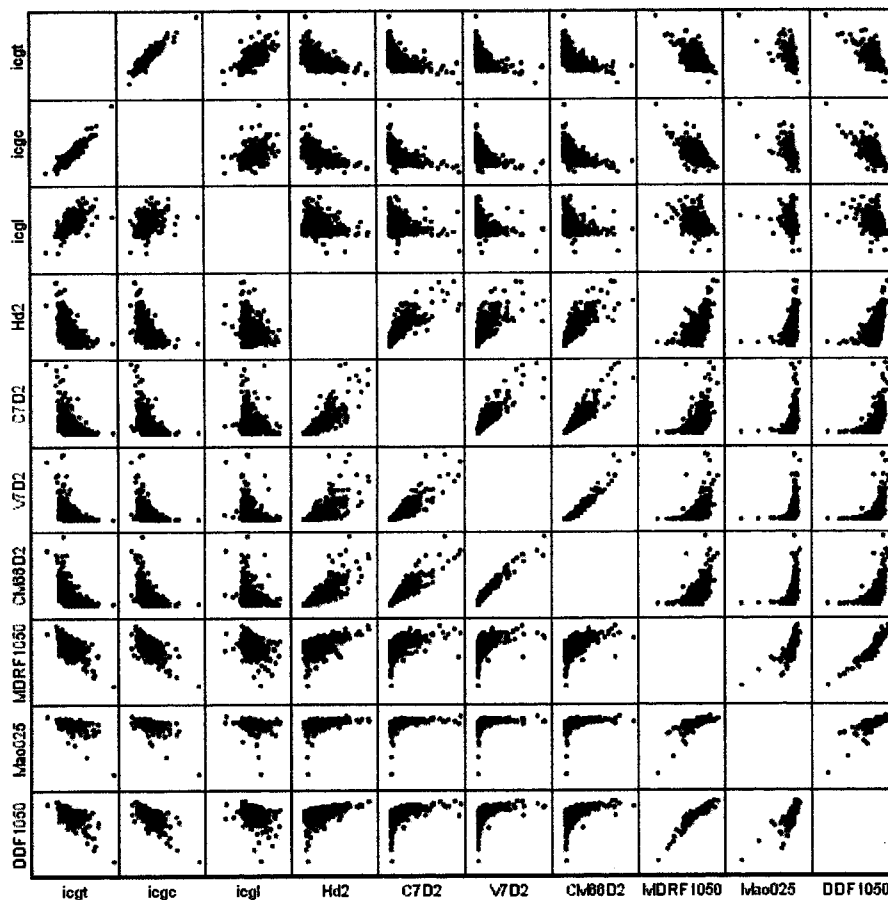


Figura 37 – Matriz de gráficos de dispersão pontos das variáveis seleccionadas para a fase de modelação

4.5.1.2. Índices de competição não espaciais

Seguindo a mesma metodologia de análise do Ponto 4.5.1.1 apresentam-se na Tabela 35 a matriz de correlações de Pearson entre as variáveis de crescimento e os índices de competição não espaciais.

Como se pode ver a performance dos IC's não espaciais é equivalente à dos índices espaciais e em alguns casos ainda superior. Outro facto a notar é a excelente performance dos IC's calculados para as árvores de dimensões superiores à árvore alvo quando o numerador representa o somatório de todas as árvores (nsp1b, nsp2b, nsp3b, nsp4b). Quando o numerador é definido como diâmetro médio dos competidores a situação inverte-se e os índices com a totalidade das árvores competidores funciona melhor (nsp5 e nsp6). Mais uma vez a utilização do volume e superfície das copas funcionou bem, mas em comparação com os índices V e M de Biging e Dobbertin (1995) tem uma performance pior possivelmente por não considerar as árvores menores no cálculo do IC.

A obtenção de resultados equivalentes ou superiores dos IC's não espaciais em relação com os espaciais já foi referido por outros autores (Biging e Gill, 1997; Diaz *et al.*, 2000; Soares, 1999) e deve-se provavelmente à dimensão das parcelas que acaba por levar a um número equivalente de competidores considerados nos cálculos dos IC's espaciais e não espaciais.

Tabela 35 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral (correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$)**

	capi	capir	icgt	icgc	icgl
capi	1	0.980(**)	0.687(**)	0.718(**)	0.353(**)
capir	0.980(**)	1	0.793(**)	0.791(**)	0.482(**)
icgt	0.687(**)	0.793(**)	1	0.943(**)	0.723(**)
icgc	0.718(**)	0.791(**)	0.943(**)	1	0.452(**)
icgl	0.353(**)	0.482(**)	0.723(**)	0.452(**)	1
cd	0.393(**)	0.327(**)	0.002	0.034	-0.067
idf	-0.038	-0.103(*)	-0.247(**)	-0.235(**)	-0.174(**)
nsp1	-0.185(**)	-0.150(**)	-0.019	-0.048	0.048
nsp1b	-0.770(**)	-0.779(**)	-0.639(**)	-0.655(**)	-0.354(**)
nsp2	-0.119(*)	-0.121(*)	-0.155(**)	-0.177(**)	-0.048
nsp2b	-0.730(**)	-0.745(**)	-0.638(**)	-0.653(**)	-0.354(**)
nsp3	-0.772(**)	-0.747(**)	-0.491(**)	-0.510(**)	-0.259(**)
nsp3b	-0.769(**)	-0.775(**)	-0.613(**)	-0.621(**)	-0.355(**)
nsp4	-0.767(**)	-0.765(**)	-0.572(**)	-0.577(**)	-0.337(**)
nsp4b	-0.733(**)	-0.742(**)	-0.587(**)	-0.586(**)	-0.356(**)
nsp5	-0.803(**)	-0.818(**)	-0.692(**)	-0.709(**)	-0.384(**)
nsp5b	-0.754(**)	-0.773(**)	-0.653(**)	-0.663(**)	-0.373(**)
nsp6	-0.746(**)	-0.766(**)	-0.642(**)	-0.646(**)	-0.379(**)
nsp6b	-0.719(**)	-0.741(**)	-0.620(**)	-0.622(**)	-0.371(**)
nsp7	-0.691(**)	-0.712(**)	-0.581(**)	-0.586(**)	-0.339(**)
nsp8	-0.579(**)	-0.606(**)	-0.506(**)	-0.510(**)	-0.299(**)

Tendo em conta os resultados da (Tabela 35) e dos critérios referidos no Ponto 4.5.1 decidiu-se seleccionar os seguintes IC's não espaciais: nsp1b, nsp5, nsp6, nsp7, nsp8.

À semelhança do que aconteceu com os IC's espaciais também a relação com as variáveis de crescimento é não linear e claramente próxima de uma exponencial negativa (Figura 38).

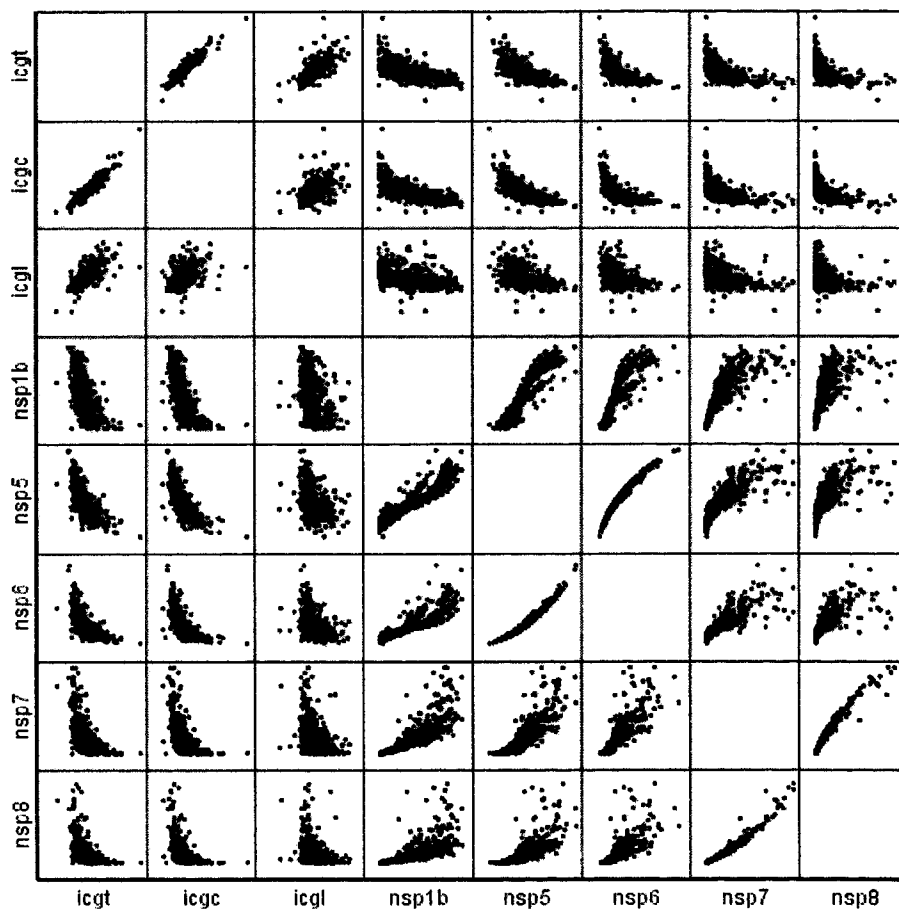


Figura 38 – Matriz de gráficos de dispersão de pontos das variáveis seleccionadas para a fase de modelação

4.5.2. Construção de modelos de crescimento radial

A construção dos modelos observou a utilização do princípio crescimento potencial modificador por se ter concluído ser o crescimento potencial que melhor se relacionava com a qualidade da estação (Pretzsch, 1992a, b; Pretzsch *et al.*, 2002; Pretzsch e Kahn, 1996). O princípio baseia-se na seguinte equação:

$$y = y_{\text{pot}} \cdot \text{modificador} + \varepsilon$$

Onde y corresponde ao acréscimo corrente de uma característica da árvore no período de crescimento considerado, y_{pot} representa o acréscimo corrente para a mesma característica no mesmo período de tempo e o modificador é uma função construída com um índice de competição (espacial ou não espacial). E ε é um erro aleatório.

4.5.2.1. Modelação da função potencial

Para a modelação do crescimento potencial decidiu-se testar o seguinte conjunto de funções de crescimento na sua forma diferencial (Zeide, 1993): Gompertz; Logistic; Monomolecular; Bertalanffy; Chapman-Richards; Levakovic I; Levakovic III; Korf; Weibull; Yoshida I; Sloboda.

Nas funções referidas, a variável t (idade) foi substituída por uma variável de dimensão da árvore uma vez que a idade não é conhecida. Decidiu-se pela área seccional abi e abf como variável de substituição de t .

Para a construção das funções potenciais utilizam-se os percentis 95% da variável de crescimento calculado para cada classe de área seccional em que foi dividida a amostra (utilizou-se um intervalo para abi e abf correspondente a 5 cm de diâmetro a 1.3 m)

Como se tinha referido anteriormente seleccionaram-se como qualificadores da estação as características do solo que condicionam o crescimento, assim: o código 0 é atribuído a solos sem limitações para o desenvolvimento dos sobreiros e o código 1 é utilizado sempre que exista pelo menos uma característica deletéria para o crescimento (critério baseado na lei dos mínimos). No Anexo 2 encontra-se a tabela de classificação utilizada.

Em resumo, decidiu-se pela criação de funções potenciais adoptando o seguinte esquema:

grupo	0	1- variável independente: abi (para aplicação antes do descortiçamento)
		2- variável independente: abf (para aplicação após descortiçamento)
	1	1- variável independente: abi (para aplicação antes do descortiçamento)
		2- variável independente: abf (para aplicação após descortiçamento)

Os modelos são ajustados para o crescimento radial: a-total (cortiça + lenho), b- cortiça, c- lenho. Para poderem ser usados na estimação geral ou só de componentes do crescimento radial. Por exemplo o modelo b permite estimar o calibre de cortiça, o crescimento radial do tronco é calculado com o modelo c. Combinando os códigos anteriores tem-se por exemplo, b12 que representa o modelo de crescimento de cortiça do solo 1 para abf. (Tabela 36).

Na Tabela 36 apresentam-se as estimativas dos parâmetros e as estatísticas de validação para o modelo com melhores performances (Yoshida I) ambos os grupos de solo (0 e 1) para que apenas os parâmetros sejam variáveis. Tendo em conta a variabilidade dos dados decidiu-se minimizar os riscos de não se atingir o mínimo global para a função perda combinando dois métodos de estimação de parâmetros: (1) Método *Levenberg-Marquard*; (2) Método *Quasi-Newton* contornando assim o risco de convergência para mínimos locais (Amaro, 1997). O modelo Yoshida I seleccionado foi o que obteve convergências equivalentes para os dois métodos de estimação de parâmetros para todas as combinações de variáveis acima referidas.

Tabela 36 – Modelos de crescimento potencial para icgt, icgc e icgl, parâmetros e estatísticas de validação para todas os grupos de regressores

Função	grupo	a	b	d	$R^2_{ajust.}$	QME	$\frac{1}{n}$ PRESS	$\frac{1}{n}$ APRESS
$y' = \frac{a \cdot b \cdot d \cdot x^d}{x(b + x^d)^2}$	a01	0.127*	0.595*	1.830*	0.963	2.14E-5	-0.000213	0.003663
	a02	0.142*	0.776*	1.605*	0.892	5.64E-5	-0.000203	0.006096
	a11	0.138*	1.048*	1.683*	0.921	2.63E-5	-0.000064	0.004083
	a12	0.121*	0.897*	1.531*	0.813	5.30E-5	-0.000097	0.006082
	b01	0.134*	1.096*	1.716*	0.948	1.73E-5	-0.000083	0.003316
	b02	0.180*	1.710*	1.502*	0.889	3.30E-5	-0.000104	0.004759
	b11	0.145*	1.567*	1.617*	0.878	2.63E-5	-0.000047	0.004175
	b12	0.111*	1.111*	1.520*	0.850	2.70E-5	-0.000010	0.004255
	c01	0.027*	0.351*	1.838*	0.707	1.53E-5	-0.000088	0.003079
	c02	0.026*	0.343	1.714*	0.712	1.51E-5	-0.000093	0.003100
	c11	0.030*	0.907*	1.666*	0.534	1.32E-5	-0.000083	0.002592
	c12	0.018*	0.352	1.700*	0.441	2.24E-5	-0.000068	0.003501

* Parâmetro significativamente diferente de 0

Como se pode observar nas distribuições dos resíduos em relação aos valores preditos a princípio da homocedasticidade não foi violado na generalidade dos modelos excepto nas combinações a02, b02 e c02 onde se verifica um aumento de variabilidade na parte central dos valores preditos. Também é possível verificar na distribuição dos resíduos, o envezamento negativo expresso na estatística PRESS/n (Figura 39). A estatística APRESS/n mostra um erro absoluto médio aceitável para as funções potenciais.

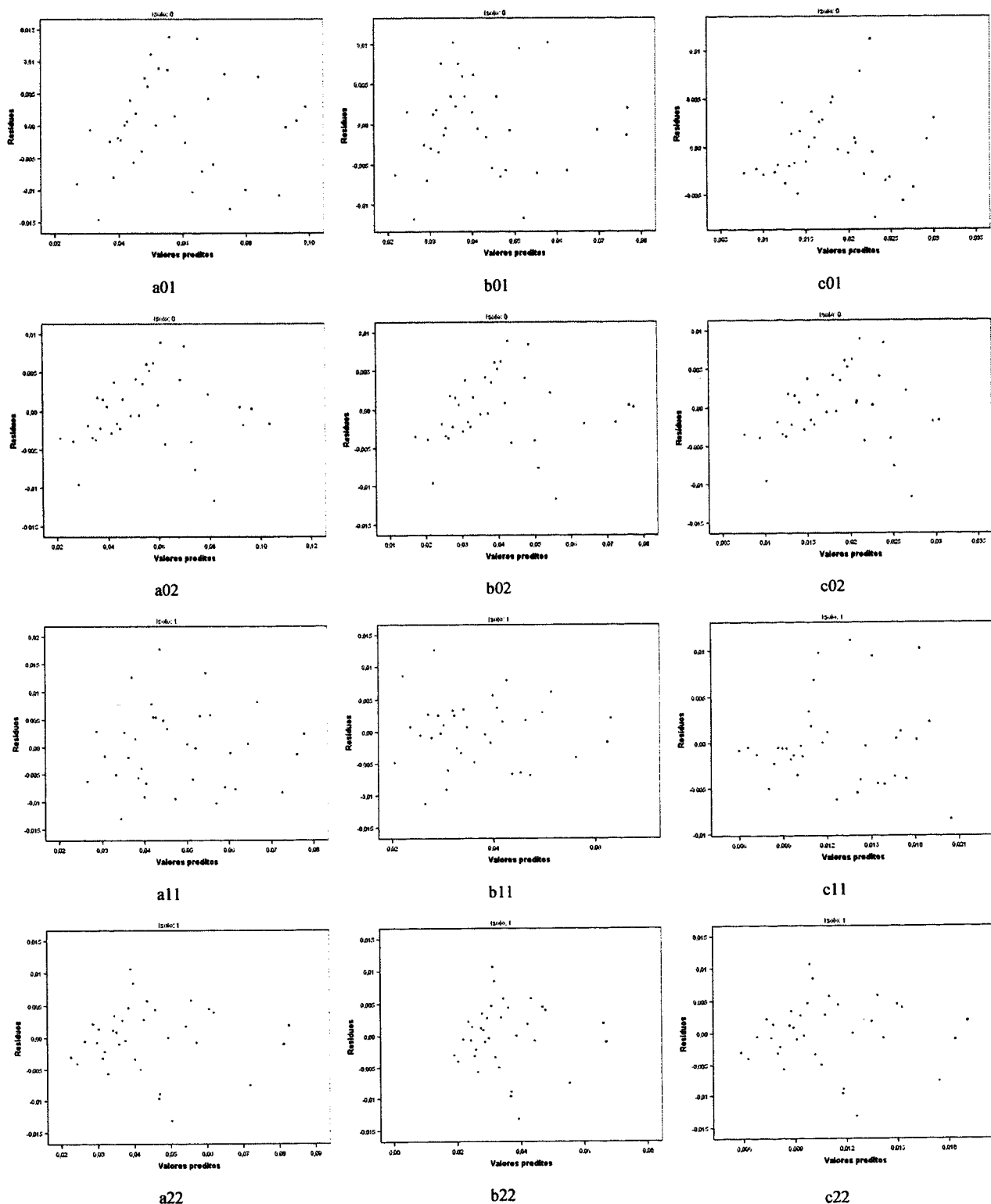


Figura 39 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos ajustados.

Na Figura 40 podem-se observar as funções potenciais a01, a02, a11, a12 e os valores individuais de incremento total (icgt).

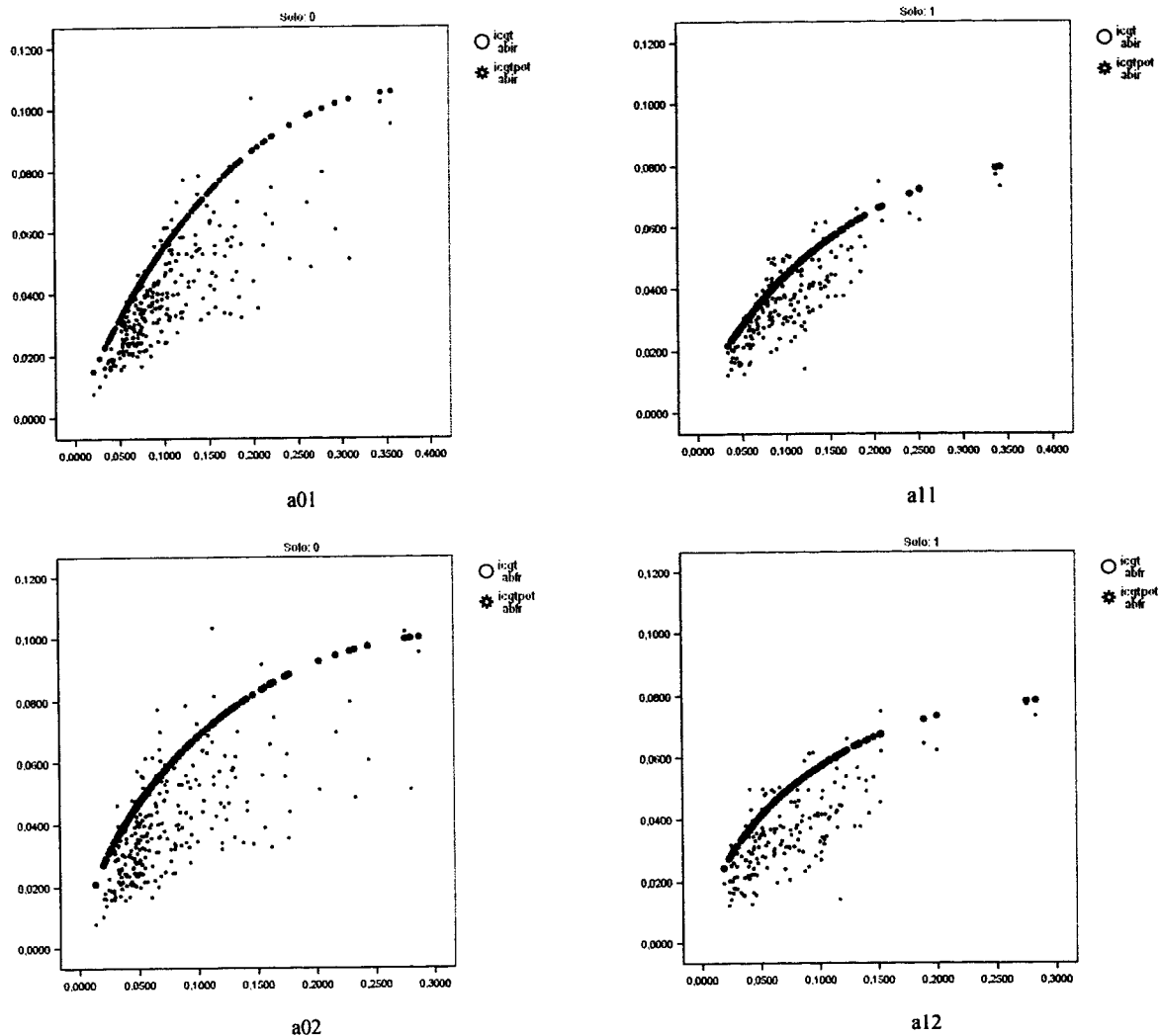


Figura 40 – Funções potenciais a01, a02, a11, a12 (icgtpot, m²) e nuvem de valores de incremento em área seccional total (icgt, m²) versus área seccional antes e após descortiçamento (abi, abf, m²)

De notar que as funções potenciais mostram que as diferenças entre os solos estudados se começam a acentuar com o aumento da dimensão, sugerindo que nos solos com limitações (solo: 1) os crescimentos e dimensão máxima são inferiores aos dos solos sem limitações (solo: 0). Parece que as limitações do solo afectam não só os acréscimos correntes como também a longevidade das árvores.

Na Figura 41 pode-se ver a representação das três funções potenciais a01, a11 (incremento total em área seccional), b01, b11 (incremento de cortiça em área seccional) e c01, c11 (incremento de lenho em área seccional).

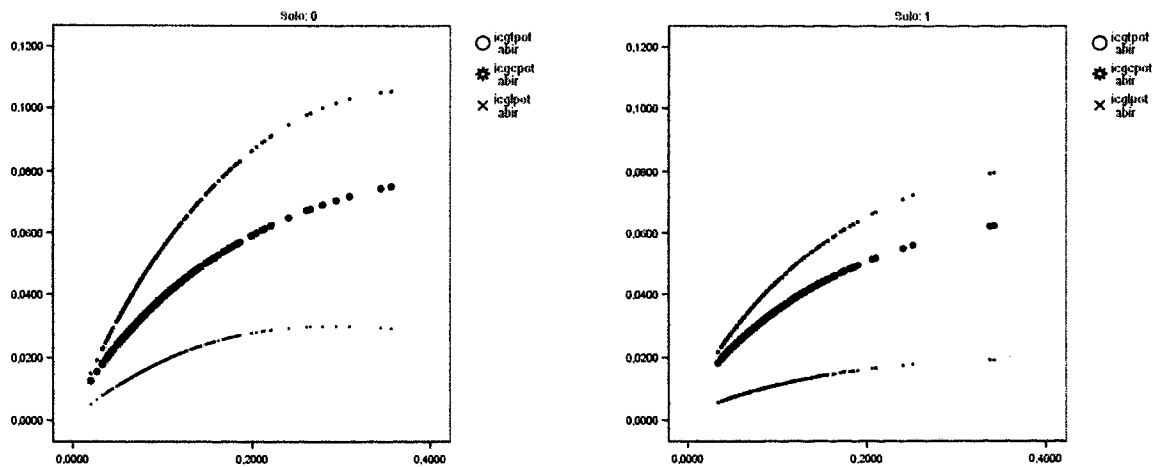


Figura 41 – Funções potenciais a01, a11, b01, b11, c01, c11 (icgtpot, icgcpot, icglpot, m²) versus área seccional antes descortiçamento (abi, m²)

De notar a diferença entre o comportamento das funções potenciais com as limitações do solo podendo-se destacar que a contribuição relativa do crescimento do lenho para o crescimento total é superior nos solos sem limitações (solo 0) o que é muito importante para o aumento de dimensão das árvores. Este facto justifica as menores dimensões atingidas pelas árvores instaladas no solo 1.

Conclui-se que a classificação da estação com base nas limitações do solo tem plausibilidade biológica e explica os padrões de crescimento observados.

4.5.2.2. Modelação do modificador

Para a modelação do modificador existem duas variáveis intuitivamente candidatas, o índice de competição e a intensidade de descortiçamento já que são as que representam os factores estruturais do povoamento e a pressão de exploração a que as árvores estão sujeitas. Por outro lado, estas variáveis podem ser modificadas por acções de gestão (desbastes e descortiçamento) o que as torna num instrumento muito importante nos estudos de simulação que são o objectivo final dos modelos.

Assim, o índice e competição expressa a disponibilidade de recursos de crescimento e a pressão de descortiçamento, a superfície da árvore que vai ter de regenerar tecido suberoso.

Decidiu-se pela seguinte formulação do modificador:

$$\text{modificador} = e^{-a \cdot IC^b \cdot idf}$$

Esta formulação intensifica o impacto da competição (IC) quando combinada com uma intensidade de descortiçamento (idf) muito elevada.

O ajuste de modelos efectua-se em dias fases: (1) Selecção do índice de competição; (2) Ajuste de todos os modelos correspondentes às combinações de variáveis independentes referidas no ponto 4.5.2.1 e Tabela 36.

Para a selecção dos modificadores decidiu-se utilizar as combinações de variáveis independentes a01 e a11 usando como variável dependente o incremento em área seccional total (icgt, m²). Os dois modificadores (um espacial e não espacial) com melhores performances são seleccionados para a segunda fase.

As estatísticas de ajustamento e as estimativas dos parâmetros para os modelos testados são apresentadas na Tabela 37 para os modelos espaciais e na Tabela 38 para os modelos não espaciais.

Tabela 37 – Parâmetros estimados e estatísticas de validação para os modificadores espaciais testados para as combinações a01 ea11

	n=213 n=165	mod1 a01 mod1 a11	mod2 a01 mod2 a11	mod3 a01 mod3 a11	mod4 a01 mod4 a11	mod5 a01 mod5 a11	mod6 a01 mod6 a11	mod7 a01 mod7 a11
$R^2_{ajust.}$		0.695 0.706	0.652 0.662	0.642 0.665	0.658 0.673	0.678 0.668	0.638 0.634	0.625 0.636
QME		6.24E-5 4.67E-5	9.16E-5 6.96E-5	9.35E-5 6.91E-5	9.03E-5 6.79E-5	6.41E-5 5.1E-5	9.44E-5 7.41E-5	9.51E-5 7.40E-5
PRESS/n		0.000174 0.000063	0.000356 0.000221	0.000483 0.000317	0.000297 0.000201	0.000193 -0.000187	0.000347 -0.000237	0.000386 -0.000351
idf		0.068 0.145	0.069 0.065	0.045 0.057	0.078 0.090	0.057 -0.045 ^{ns}	0.052 -0.036 ^{ns}	0.068 -0.048 ^{ns}
HD2		0.352 0.239	---	---	---	---	---	---
C70D2		---	0.387 0.309	---	---	---	---	---
V70D2		---	---	0.363 0.293	---	---	---	---
M66D2		---	---	---	0.391 0.317	---	---	---
MDRF1D50		---	---	---	---	0.218 0.221	---	---
DDF1D50		---	---	---	---	---	0.166 0.423	---
MaoF1D25		---	---	---	---	---	---	0.169 0.424

Tabela 38 – Parâmetros estimados e estatísticas de validação para os modificadores não espaciais testados para as combinações a01 ea11

	n=213 n=165	mod8 a01 mod8 a11	mod9 a01 mod9 a11	mod10 a01 mod10 a11	mod11 a01 mod11 a11	mod12 a01 mod12 a11
$R^2_{ajust.}$		0.700 0.679	0.697 0.698	0.698 0.688	0.697 0.680	0.696 0.679
QME		5.99E-5 5.09E-5	6.07E-5 4.82E-5	6.03E-5 4.96E-5	6.03E-5 5.09E-5	6.03E-5 5.09E-5
PRESS/n		0.000204 0.000296	0.000226 0.000232	0.000193 0.000166	0.000180 0.000221	0.000215 0.000253
idf		0.010 ^{ns} 0.002 ^{ns}	0.073 0.305	0.050 ^{ns} 0.108	0.009 ^{ns} 0.003 ^{ns}	0.008 ^{ns} 0.002 ^{ns}
nsp1b		0.248 0.168	---	---	---	---
nsp5		---	0.308 0.217	---	---	---
nsp6		---	---	0.306 0.193	---	---
nsp7		---	---	---	0.272 0.168	---
nsp8		---	---	---	---	0.271 0.170

Uma primeira leitura das Tabela 37 e 38 permite confirmar a proximidade, em termos de performance, dos índices de competição não espaciais como já tinha sido referido em estudos anteriores (Biging e Gill, 1997; Diaz *et al.*, 2000; Soares, 1999). Foi observado um enviesamento positivo na média dos resíduos independentes (PRESS/n) indicando que o as estimativas não são centradas à exceção dos modelos mod5a11 mod6a11 e mod7a11. No entanto os modelos

A observação dos resíduos (Figura 42 e 43) mostra uma heterocedasticidade moderada na generalidade dos modelos especialmente na zona central, onde se observa um aumento de variabilidade. O risco de violar o princípio da homocedasticidade, prende-se com a qualidade das estimativas dos parâmetros da regressão não linear que podem não corresponder ao mínimo global da função perda mas a mínimos locais (Sen e Srivastava, 1990). Os riscos de não se atingir o mínimo global para a função perda, foram minimizados combinando os métodos de estimação de parâmetros *Levenberg-Marquard* (mais resistente a mínimos locais) para obter parâmetros iniciais, com o método *Quasi-Newton* (mais sensíveis a mínimos locais mas mais preciso) para confirmar os parâmetros obtidos. Seleccionaram-se os parâmetros com resultados equivalentes obtidos pelos dois métodos. De notar a contribuição relativa da intensidade de descortçamento (idf) que é na generalidade dos modelos, superior para os solos com limitações (Solo=1) indicando que nestas situações a pressão de descortçamento funciona como um factor acrescido de stress para as plantas que se traduz em reduções mais drásticas de crescimento em diâmetro. Esta constatação permitirá, no futuro, utilizar os modelos de crescimento para adequar a exploração de cortiça à qualidade da estação e à pressão competitiva.

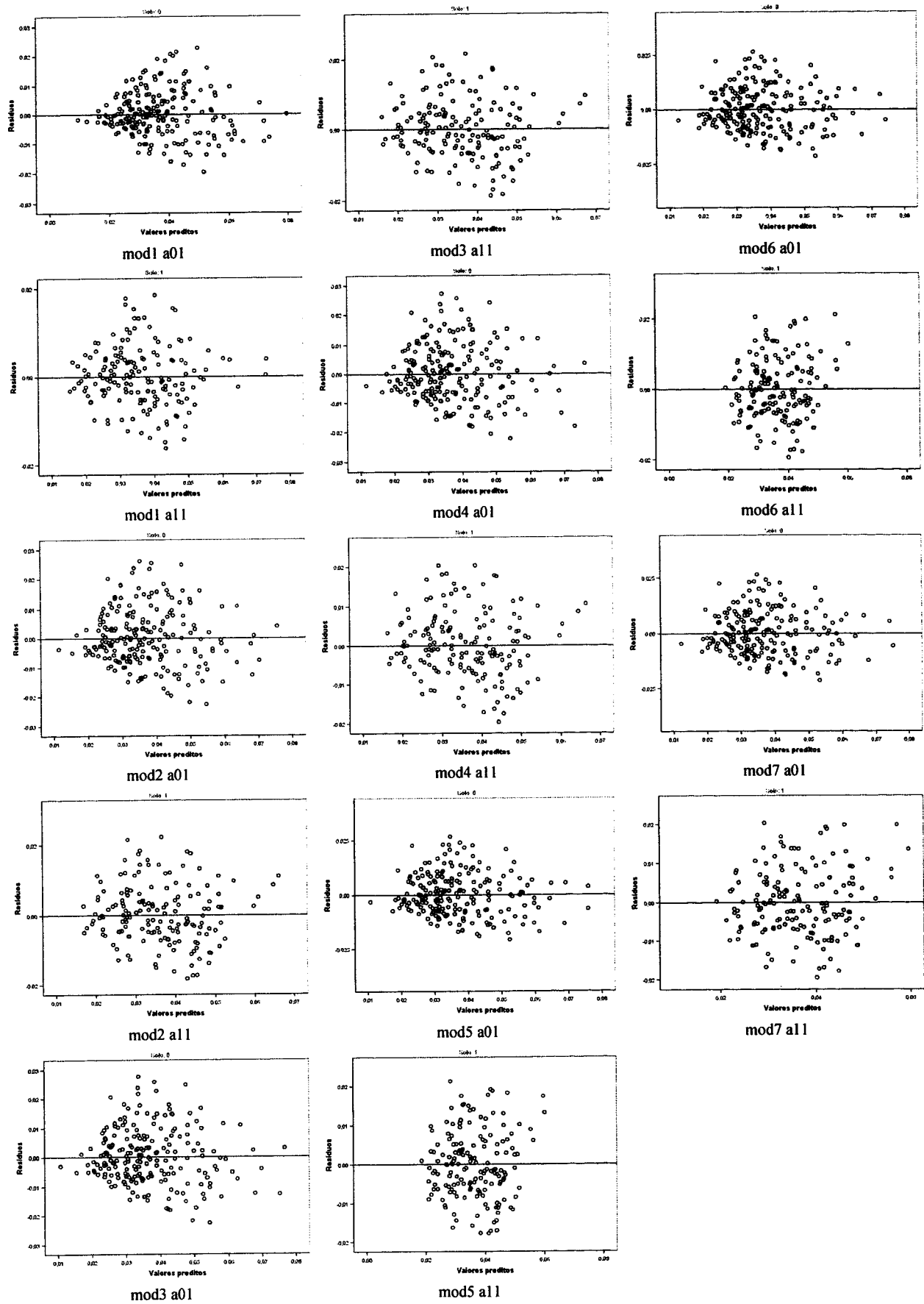


Figura 42 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos espaciais ajustados

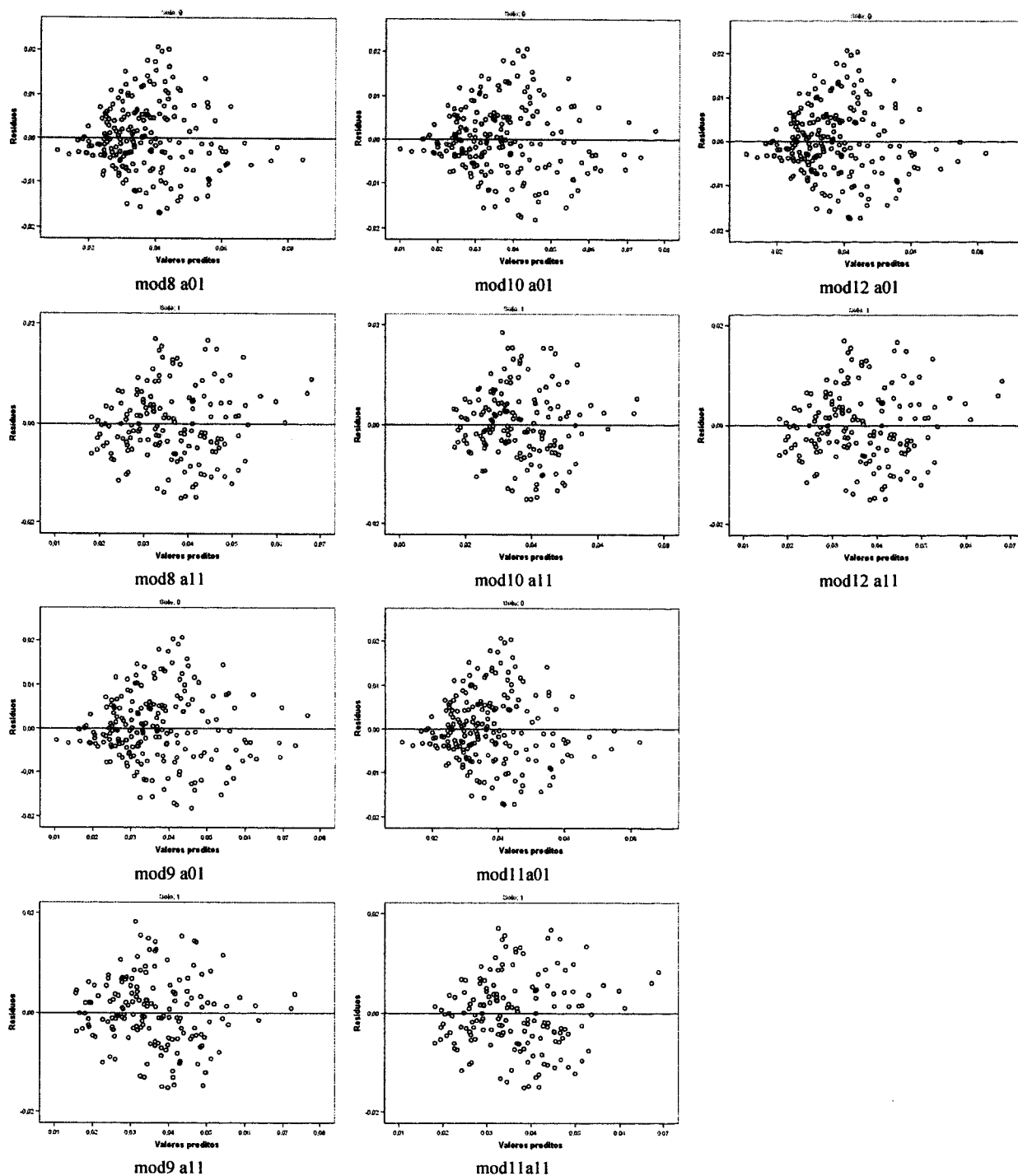


Figura 43 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos não espaciais ajustados

Dos índices de competição tipo 1 seleccionados (HD2, M66D2, C7D2, V7D2, MDRF1D50, e DDF1D50) não se notaram melhorias na qualidade dos ajustamentos com a utilização de variáveis da copa (área M66D2, superfície, C7D2 e volume, V7D2) em comparação com o diâmetro. Este facto deve-se relações alométricas fortes entre o diâmetro e as outras dimensões das árvores o que permite o seu uso sem perda de qualidade dos modelos de competição. O mesmo se verificou com os modificadores não espaciais onde o melhor modelo

(mod10) é também uma razão de diâmetros tendo (nsp6) sido superior em performance aos modificadores que usam o volume e superfície da copa (nsp 7 e nsp8). O índice de tipo 2 utilizado (MaoF1D25) teve uma performance aquém do que era esperado.

Tendo em conta os resultados anteriores foram seleccionados os modificadores mod1 (espacial) e mod10 (não espacial) para a fase 2 dos quais se apresentam os resultados para o mod1 (Tabela 39).

Tabela 39 – Modificadores de crescimento potencial para icgt, icgc e icgl, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores, n (a01, a02, b01, b02, c01, c02)=213, n(a11, a12, b11, b12, c11, c12)=165

Função	grupo	a _{L-M}	b _{L-M}	a _{G-N}	b _{G-N}	R ² _{ajust.}	QME	$\frac{1}{n}$ PRESS	$\frac{1}{n}$ APRESS
modificador= $e^{-a*HD}2^{b*idf}$	a01	0.352	0.068	0.3517	0.0676	0.695	6.24E-5	0.000173	0.006124
	a02	0.445	0.135	0.4449	0.1346	0.574	8.70E-5	0.000185	0.007381
	a11	0.239	0.145	0.2392	0.1448	0.706	4.67E-5	0.000063	0.005348
	a12	0.369	0.157	0.3692	0.1570	0.588	6.55E-5	0.000102	0.006447
	b01	0.362	0.170	0.3621	0.1703	0.708	3.14E-5	0.000121	0.004347
	b02	0.466	0.218	0.4656	0.2176	0.579	4.52E-5	0.000132	0.005306
	b11	0.282	0.233	0.2820	0.2326	0.694	3.36E-5	0.000064	0.004621
	b12	0.369	0.224	0.3686	0.2244	0.565	4.78E-5	0.000287	0.005584
	c01	0.577	-0.004 ^{ns}	0.5774	-0.0036 ^{ns}	0.301	2.51E-5	-0.000147	0.003892
	c02	0.559	0.003 ^{ns}	0.5585	0.0032 ^{ns}	0.280	2.59E-5	-0.000114	0.003920
	c11	0.364	-0.004 ^{ns}	0.3644	-0.0039 ^{ns}	0.319	1.41E-5	-0.000005	0.002804
	c12	0.486	-0.002 ^{ns}	0.4865	-0.0018 ^{ns}	0.309	1.43E-5	0.000076	0.002859

L-M: Parâmetros estimados pelo método de *Levenberg-Marquard*, Q-N: Parâmetros estimados pelo método *Quasi-Newton*
ns: Parâmetro não significativo

Da análise dos resultados, pode-se destacar a contribuição relativa do parâmetro referente à intensidade de descortiçamento para o modificador, que é sempre inferior nos solos sem limitações, o que indica que as árvores neste grupo de solos conseguem reagir melhor à pressão de descortiçamento estando o crescimento mais regulado pela competição intraespecífica. Também é de referir que é nos modificadores referentes ao crescimento de cortiça (b01, b02, b02 e b12) que a importância relativa da intensidade de descortiçamento (idf) é maior em oposição com o que acontece para os modificadores referentes ao crescimento do lenho (c01, c02, c02 e c12) onde é muito baixa. Estes resultados sugerem que o crescimento de cortiça é influenciado pela pressão de descortiçamento que condiciona a extensão da área de felogénio exposto e a consequente distribuição da energia de crescimento. Dada a baixa prioridade de alocação de fotoassimilados para o crescimento secundário, de esperar que quanto maior for a superfície de descortiçamento menor é o crescimento em diâmetro de cortiça (Costa e Oliveira, 2001; Oliver e Larson, 1996). Já em relação ao crescimento do lenho, observou-se que este representa em média cerca de 23% do crescimento radial e que deve de ocorrer nos últimos anos de intervalo entre descortiçamentos, momento em que se observa uma redução do crescimento de cortiça Costa e

Oliveira (2001), por isso é de esperar que a área descortçada não tenha uma grande influência sendo grupo de solo e a competição os factores que o condicionam.

Em relação à qualidade do ajustamento dos modelos a estatística PRESS/n mostra um ligeiro envezamento positivo para a generalidade dos modelos e a estatística APRESS/n mostra que os erros de estimação para valores independentes, varia entre 18% e 20% da média para os modelos a01, a02, a02, a12, b01, b02, b02 e b12 e 25% a 30% para os modelos c01, c02, c02 e c12. Estes valores devem-se à variabilidade dos crescimentos total (icgt) de cortiça (icgt) e do lenho (icgl) bem expressos na Figura37.

De notar, na visualização da dispersão dos erros em relação aos valores preditos, que existe uma heterocedascidade moderada não por um aumento da variabilidade em leque mas em losango (Figura 44). Esta heterocedascidade central pode ser observada no papel de probabilidades onde se observam os desvios referidos (Figura 45). Estes desvios à normalidade combinados com a heterocedascidade levantam algumas reservas quanto à qualidade das estimativas dos parâmetros da Tabela 39, no entanto dada a coincidência entre os resultados dos dois métodos de estimação utilizados (*Levenberg-Marquard*, *Quasi-Newton*) pensa-se que estão minimizados os riscos de convergência para mínimos locais. Os desvios observados com as estatísticas PRESS/n e APRESS/n decorrem da estrutura dos dados e da grande amplitude de respostas possíveis para os mesmos níveis de competição e intensidade de descortçamento. Assim, a estrutura dos erros observada decorre da variabilidade natural dos sobreiros combinada com as interferências fisiológicas (de intensidade não mensurável) causadas pelo descortçamento, e podas radiculares (já que as árvores em estudo não foram sujeitas a podas na copa) e tem de se considerar uma característica populacional.

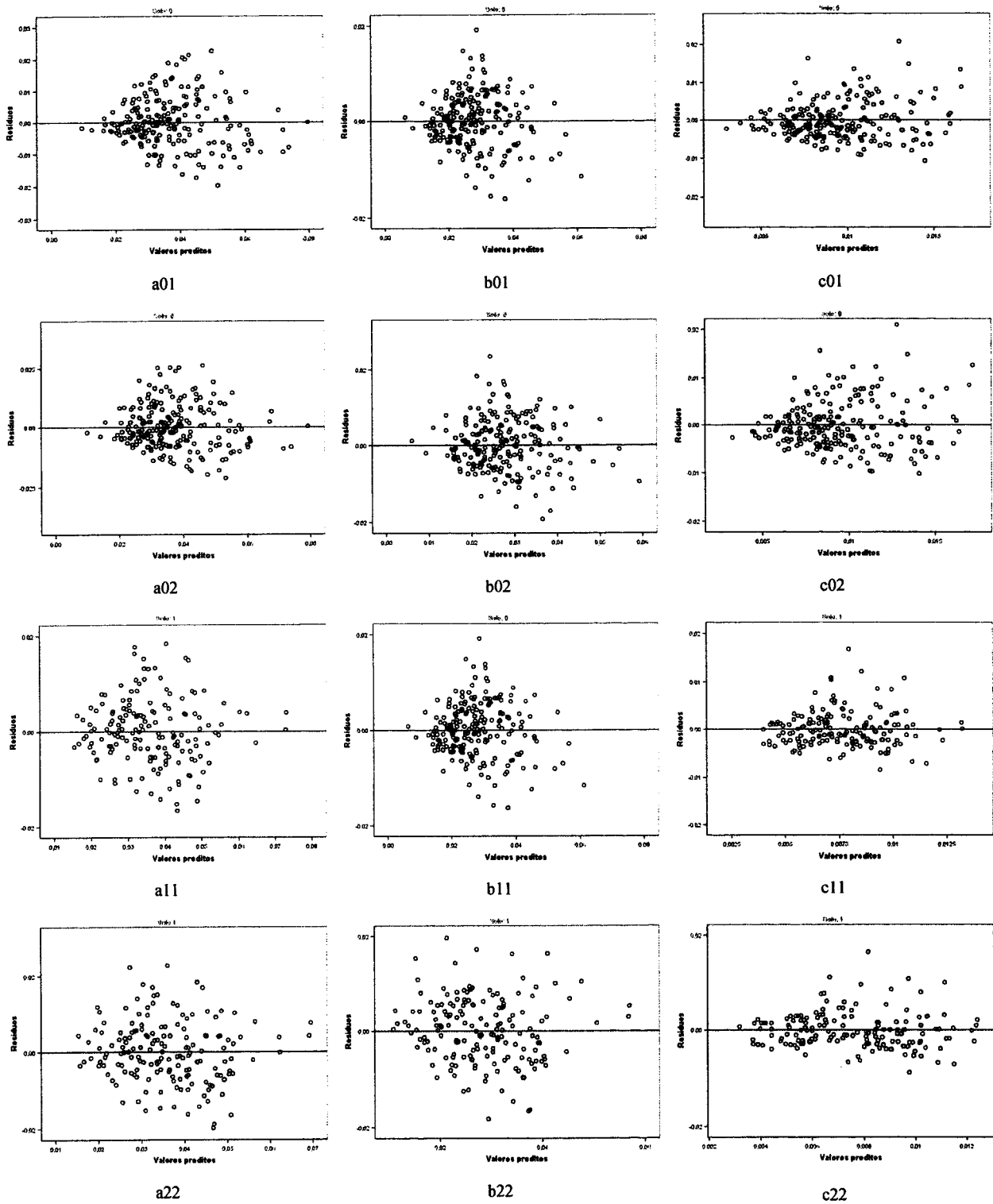


Figura 44 – Relação gráfica entre os resíduos e os acréscimos potenciais estimados para todas as combinações de modelos ajustados.

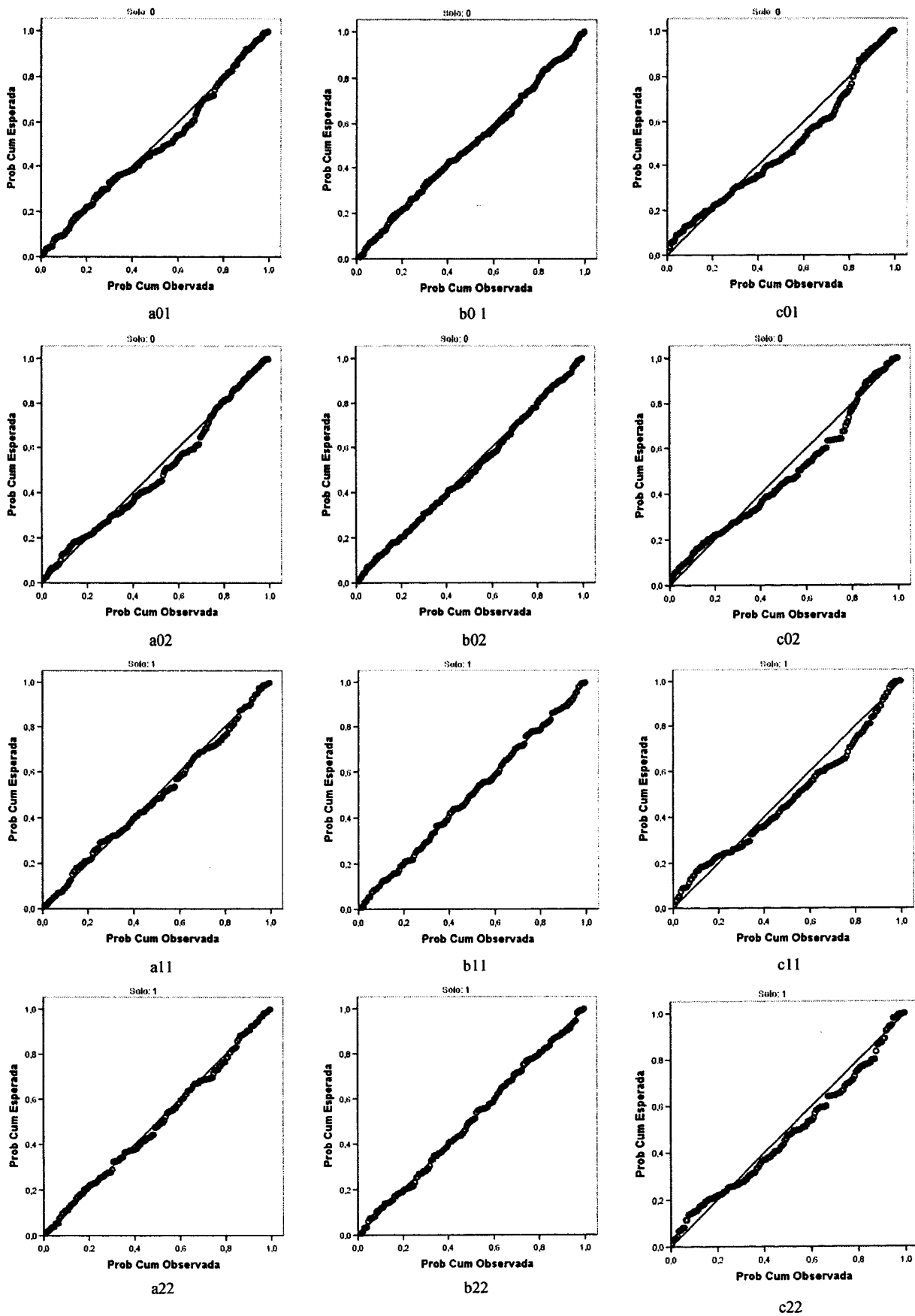


Figura 45 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modificadores ensaiados.

Os modificadores para o crescimento de cortiça (a01, a02, a02 e a12) são os que mostram resíduos mais próximos da distribuição normal e dispersão de resíduos mais equilibrada sendo por isso o conjunto de modelos com mais garantias de fiabilidade (Figuras 44 e 45). Para isso muito contribui a influência do crescimento do lenho (c01, c02, c02 e c12) cuja interferência é notada na distribuição de resíduos dos modificadores de crescimento total (b01, b02, b02 e b12) nos gráficos de papéis de probabilidades da Figura 45.

Os modelos de crescimento de cortiça ($icgc = icgc_{pot} \cdot \text{modificador}$) com os parâmetros das Tabelas 36 e 39, foram validados com uma amostra independente de 1048 (árvores da parcela interior) árvores descortçadas entre 1996 e 2001 que não foram utilizadas na construção do modelo. Os testes utilizados foram:

Média dos resíduos obtidos entre os valores estimados em os valores medidos:

$$MRES = \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| / n$$

Somatório dos valores absolutos dos resíduos obtidos entre os valores estimados em os valores medidos (SARES):

$$SARES = \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|$$

BIAS e BIAS%:

$$BIAS = SARES/n, \quad BIAS\% = 100 \cdot (BIAS / \bar{y})$$

Os resultados da validação mostram a boa qualidade geral dos modelos de crescimento de cortiça para a generalidade das classes de capi e capf apresentando diferenças não significativas entre os valores de incremento de cortiça medido (icgc) e estimado (icgce) (Figura 46). As diferenças significativas observaram-se nas classes 3 e 4 do modelo b01e 2 e 3 do modelo b02 (classes equivalentes porque se referem a abi e abf respectivamente) onde o modelo subestima o crescimento de cortiça. Esta situação fica a dever-se à maior variabilidade do crescimento observada para estas classes em solos sem limitações o que levou a um ajuste menos preciso para árvores mais pequenas. Os modelos ajustados para os solos com limitações (solo 1) apresentam valores muito bons corroborando a importância da combinação das variáveis competição com a intensidade de descortçamento para a explicação do processo de crescimento de cortiça.

Para uma maior facilidade de interpretação construiu-se as Tabela 40 e 41 com os resultados da validação expressos em espessura de cortiça. Optou-se por apresentar a espessura medida efl.3 e as estatísticas de validação MRES e BIAS por classes de capi,f e resultado global (Tabelas 40 e 41).

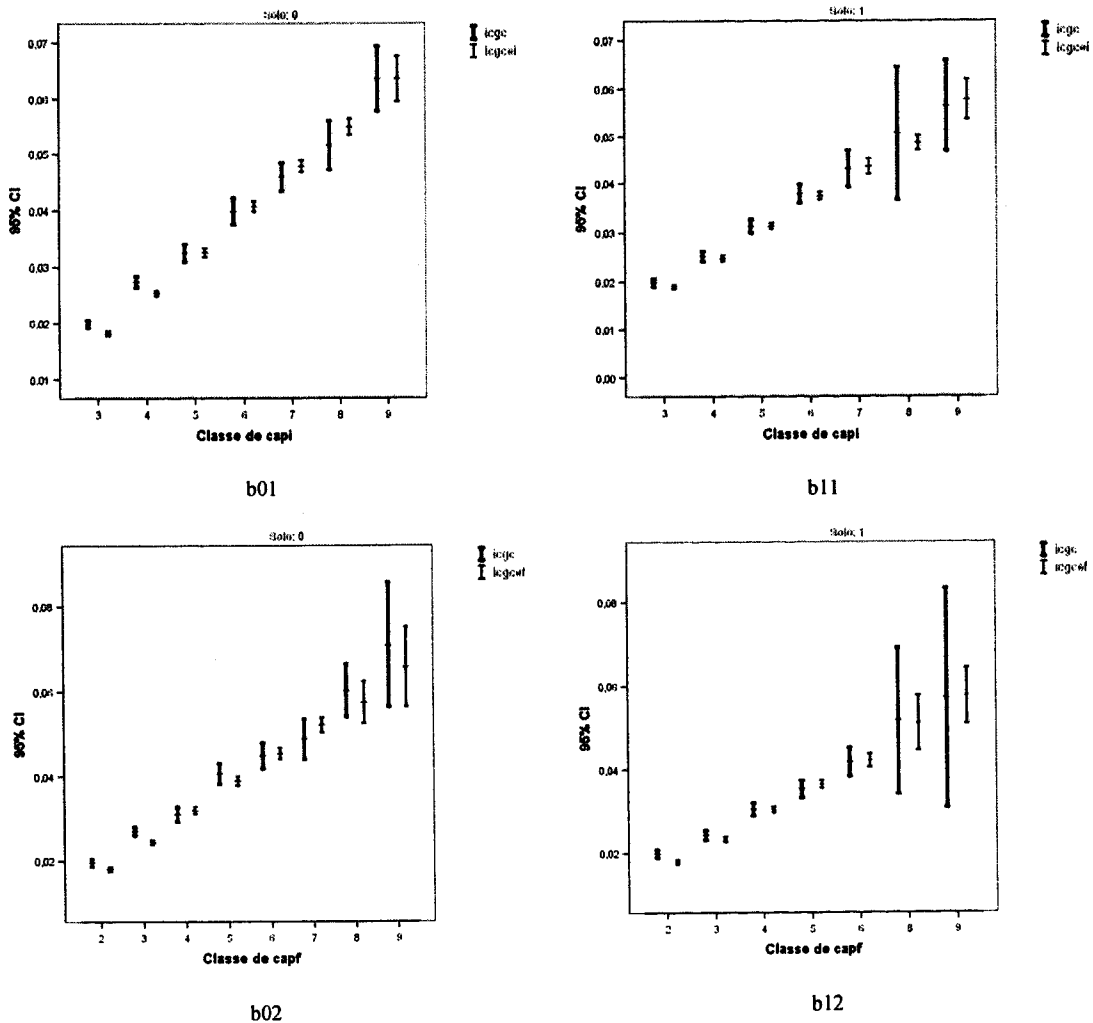


Figura 46 – Média e intervalos de confiança 95% para os valores medidos e estimados (modelos b01, b11, b02 e b12) do crescimento de cortiça em área seccional (icgc, icgce, m²) para as classes de perímetro antes e após o descortiçamento (capi e capf, cm).

Em relação aos resultados globais da Tabela 40 confirma-se o maior desvio dos modelos b01 e b02 sem que no entanto as diferenças excedam uma linha (0.2256 cm), valor usado na classificação da cortiça na indústria.

Tabela 40 – Resultados de validação por classes de capi (modelos b01 e b11) e capf (modelos b02 e b12) para a espessura medida e estatísticas de validação.

Grupo	n	ef1.3 (cm)	MRES (cm)	BIAS (cm)	BIAS%
b01	568	2.940	-0.094	0.445	15.136%
b11	480	2.765	-0.044	0.424	15.323%
b02	568	2.940	-0.120	0.531	18.054%
b12	480	2.765	-0.078	0.518	18.752%

Em relação aos modelos b11 e b12 os valores de desvio médios são muito inferiores a uma linha indicando uma precisão média muito boa. No entanto, se se tomar em linha de conta

os valores absolutos das diferenças entre os valores estimados e medidos em percentagem da média (BIAS%), nota-se que o modelo não estima o crescimento em toda a amplitude de variação dos crescimentos observados com desvios entre os 1%4 e os 16%, pelo que a adição de uma componente aleatória de erro se torna fundamental para a qualidade da estimação.

Tabela 41 – Resultados de validação por classes de capi (modelos b01 e b11) e capf (modelos b02 e b12) para a espessura medida e estatísticas de validação.

Grupo	Classe de capi,f	n	efl.3 (cm)	MRES (cm)	BIAS (cm)	BIAS%
b01	3	137	2.771	-0.218	0.380	13.707%
	4	160	3.043	-0.217	0.476	15.631%
	5	85	2.981	0.000	0.445	14.932%
	6	66	3.069	0.059	0.497	16.182%
	7	51	3.100	0.116	0.482	15.553%
	8	24	3.105	0.181	0.496	15.978%
	9	13	3.250	0.005	0.363	11.156%
b11	3	132	2.706	-0.101	0.398	14.712%
	4	119	2.796	-0.056	0.483	17.287%
	5	66	2.834	-0.003	0.446	15.745%
	6	51	2.922	-0.034	0.434	14.838%
	7	24	2.884	0.028	0.376	13.026%
	8	13	3.048	-0.128	0.381	12.501%
	9	6	2.785	0.070	0.274	9.848%
b02	2	136	2.800	-0.195	0.497	17.739%
	3	166	3.036	-0.264	0.520	17.119%
	4	96	2.853	0.087	0.565	19.818%
	5	62	3.129	-0.121	0.563	17.995%
	6	55	3.011	0.042	0.550	18.257%
	7	23	2.918	0.186	0.528	18.077%
	8	9	3.236	-0.150	0.489	15.116%
	9	4	3.283	-0.224	0.224	6.812%
	b12	2	24	2.435	-0.146	0.450
3		119	2.778	-0.247	0.543	19.564%
4		122	2.770	-0.096	0.539	19.440%
5		113	2.800	0.006	0.531	18.971%
6		67	2.761	0.095	0.507	18.359%
7		26	2.820	0.028	0.408	14.460%
8		2	3.223	-0.395	0.395	12.247%
9		4	2.690	-0.018	0.376	13.979%

Se se observar os resultados por classes de capi,f, corrobora-se que é nas classes 3 e 4 do modelo b01e 2 e 3 do modelo b02 que se concentram as maiores diferenças sem que no entanto se exceda o valor de uma linha. Em relação aos valores de BIAS% verifica-se que os modelos não conseguem estimar os crescimentos em toda a amplitude de variação de forma mais ou menos constante nas diferentes classes de capi,f.

Esta variabilidade estrutural pode ser adicionada às estimativas dos modelos bastando para isso ajustar um modelo de desvio padrão dos resíduos em função dos valores preditos

($Sdtres=0.3952 \times Pred^{1.2903}$, para o modelo 1 mod 1). Na Figura 47 estão representados a nuvem de pontos original (\diamond), os valores estimados pelo modelo (\blacksquare):

$$\widehat{icgt} = \frac{0.127 \times 0.595 \times 1.830 \times abi^{1.830}}{abi(0.595 + abi^{1.830})^2} \times e^{-0.352 \times HD2^{0.068 \times (id/10)}}$$

Nuvem de pontos com adição de componente de erro aleatória (\blacktriangle) gerada através de números aleatórios obtidos para uma distribuição normal $N(0, Stdres)$.

O ajustamento obtido entre a simulação e os valores reais mostra a importância de se adicionar a componente aleatória às estimativas dos modelos como forma de obviar a distribuição dos erros.

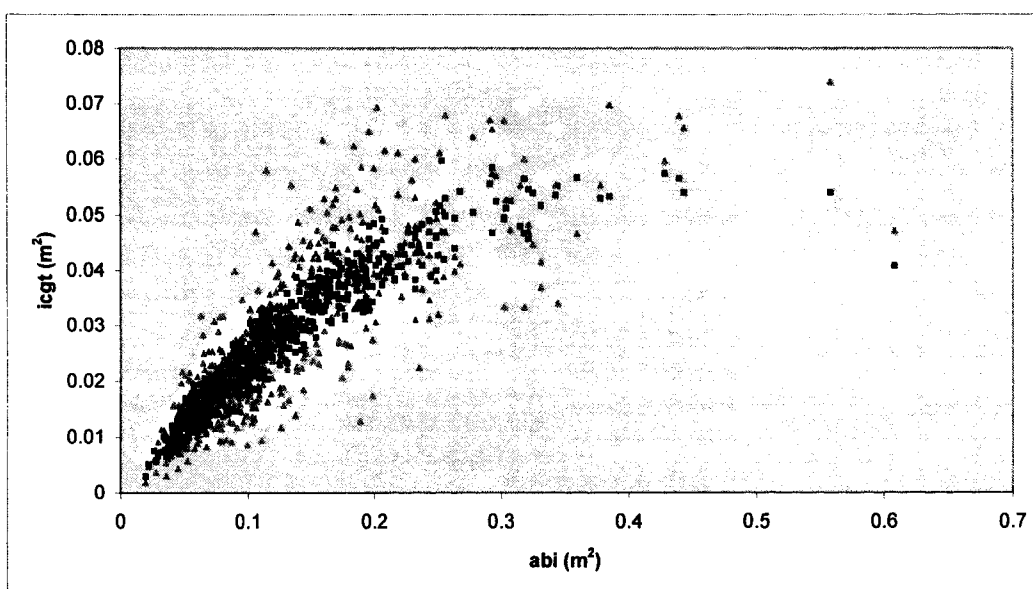


Figura 47 – Estimação do crescimento em área seccional (icgt,) com o modelo a01 com e sem adição de uma componente de erro aleatória. Valores de icgt observados (\diamond), Valores de icgt estimados (\blacksquare), Valores de icgt com adição de componente aleatória de erro (\blacktriangle).

A adição da componente erro aleatória permite ao modelo mimetizar a variabilidade natural dos sobreiros sendo particularmente útil em estudos de simulação para a construção de intervalos de confiança.

Os modelos ajustados permitem estimar os crescimentos em área seccional para o lenho, cortiça e crescimento total dependentes da qualidade da estação com base em dados recolhidos antes e depois do descortiçamento para períodos de 9 anos.

4.5.3. Crescimento em altura e da copa

Para os incrementos altura total da árvore (ich, m), e da área de projecção horizontal das copas (icac, m²) utilizaram-se os dados de medições repetidas efectuadas em 1995 e 2005 cujas estatísticas se apresentam na Tabela 42.

Tabela 42 – Estatísticas descritivas dos dados de crescimento da copa e altura

	Solo 0			Solo 1		
	capi (cm)	ich (m)	icac (m ²)	capi (cm)	ich (m)	icac (m ²)
n		491		420		
Média	99.79	1.0948	9.0716	96.27	0.9052	8.6342
Erro padrão da média	1.545	0.03065	0.44982	1.553	0.02865	0.42253
Desvio padrão	34.229	0.67914	9.96742	31.833	0.58717	8.65937
Mínimo	35	0.03	0.01	38	0.02	0.01
Máximo	264	4.30	134.90	247	3.60	69.59

O crescimento apresenta diferenças significativas entre as unidades do solo com e sem limitações indicando que o padrão de crescimento em diâmetro também se verifica em relação à altura e à área de projecção horizontal da copa.

Tabela 43 – Matriz de correlação rho de Spearman e teste de significância bilateral (correlação significativa a $\alpha=0.01$, * correlação significativa a $\alpha=0.05$)**

	Solo 0		Solo 1	
	ich	icac	ich	icac
ich	1.000	0.143(**)	1.000	0.005
icac	0.143(**)	1.000	0.005	1.000
capi	0.028	0.419(**)	-0.107(*)	0.436(**)
abi	0.028	0.419(**)	-0.107(*)	0.436(**)
HD2	-0.019	-0.344(**)	-0.069	-0.254(**)
C6D2	-0.017	-0.310(**)	0.023	-0.245(**)
C7D2	-0.017	-0.305(**)	0.033	-0.252(**)
V7D2	0.018	-0.275(**)	0.085	-0.272(**)
CM66D2	-0.002	-0.289(**)	0.046	-0.254(**)
MDRF1050	-0.013	-0.319(**)	0.013	-0.345(**)
DDF1050	-0.008	-0.319(**)	0.041	-0.357(**)
Mao025	-0.067	-0.274(**)	0.022	-0.296(**)

Analisando os coeficientes de correlação da Tabela 43 pode-se depreender que os acréscimos em altura (ich) não parecem influenciados pela competição. Este facto pode-se é observado noutras espécies onde se observa uma independência do crescimento primário dentro de uma gama elevada de densidades e é devido à alocação de fotoassimilados que tem para o

alongamento uma prioridade elevada (Oliver e Larson, 1996). Um facto curioso, surge do sinal da correlação entre os índices de competição e o incremento em altura que tem sinal positivo nas unidades de solo com limitações (Solo 1) que, embora não significativo, mostra uma contribuição do espaçamento para o crescimento em altura. Este facto está associado com o sinal negativo entre a dimensão das árvores (capi e abi) e o incremento em altura que indica que as árvores de maiores dimensões têm acréscimos correntes em altura inferiores às de menores dimensões. Esta situação não se observa nas unidades de solo sem limitações, o que permite supor que nas unidades de solo com limitações existe um abrandamento do crescimento em altura mais pronunciado nos sobreiros maiores. De facto, esta estratégia de crescimento diferencial com a unidade de solo está de acordo com o crescimento em diâmetro e está na base nas diferenças observadas entre as árvores das duas unidades de solo especialmente nas classes de maiores dimensões.

Em relação aos acréscimos correntes em área de projecção da copa (icca), já não se observam diferenças entre as unidades de solo. O crescimento parece ser mais pronunciado nas árvores de maiores dimensões especialmente na unidade de solo com limitações o que, combinado com o abrandamento dos acréscimos em altura, permite supor que as árvores têm uma estratégia de ocupação de coberto em detrimento do crescimento em altura. Em relação à competição, observa-se um comportamento idêntico entre as unidades de solo e os coeficientes de correlação, embora significativos, não são tão altos como os observados para os acréscimos em área seccional do fuste (Ponto 4.5.1.1).

A variabilidade observada nos acréscimos em altura e em área de projecção da copa prende-se com as alterações sofridas pelas copas que afectam uma grande percentagem de árvores e têm uma interferência na precisão da medição. Em relação à altura, mesmo medindo todas as árvores com vara telescópica, observa-se em muitas árvores um aumento nulo ou ligeiramente negativo decorrente de morte de ramos no topo da árvore (“Die Back”). Como as copas apresentam sinais de vitalidade suficientes para não serem consideradas em declínio o crescimento igual a zero tem de ser aceite. Por outro lado, as árvores também sofrem morte de ramos laterais que nem sempre são fáceis de identificar após 10 anos de intervalo pelo que se observam em árvores saudáveis, reduções ou manutenção da área de projecção das copas sem que essas árvores possam ser censuradas. Por estes motivos decidiu-se não construir modelos de acréscimos correntes para estas variáveis optando-se por equações de estado apresentadas no Ponto 4.5.3.

4.5.4. Equações de estado

São necessárias equações de estado para completar a informação morfológica (altura total h e diâmetro médio da copa dc) e de produção dos sobreiros (peso seco total pcs).

Os modelos foram ajustados em função do capi,f seguindo o seguinte esquema:

$$\text{variável dependente} \begin{cases} \text{Solo 0} \begin{cases} 1\text{- variável independente: capi (para aplicação antes do descortiçamento)} \\ 2\text{- variável independente: capf (para aplicação após descortiçamento)} \end{cases} \\ \text{Solo 1} \begin{cases} 1\text{- variável independente: capi (para aplicação antes do descortiçamento)} \\ 2\text{- variável independente: capf (para aplicação após descortiçamento)} \end{cases} \end{cases}$$

Para as equações de estado para a altura testaram-se os seguintes modelos (Kramer e Akca, 1987):

Parabolic: $ht = a + b * cap_{i,f} + c * cbh^2$

Prodan: $ht = 1.3 + \frac{cap_{i,f}^2}{a + b * cap_{i,f} + b * cap_{i,f}^2}$

Petterson: $ht = 1.3 + \left(\frac{cap_{i,f}}{a + b * cap_{i,f}} \right)^3$

Korsun: $ht = e^{\left[a + b * \ln(cap_{i,f}) + c * (\ln(cap_{i,f}))^2 \right]}$

Logaritmico: $ht = a + b * \ln(cap_{i,f})$

Freese: $ht = e^{\left[a + b * \ln(cap_{i,f}) + c * cap_{i,f} \right]}$

Na Tabela 44 apresentam-se os modelos seleccionados para equações de estado para actualização da altura total e diâmetro da copa.

Tabela 44 – Modelos para as equações de estado para h, cw e dc, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores (h01, h02, dc01, dc02)=799, n(h11, h12, dc11, dc12)=816

Função	Tipo	a _{L-M}	b _{L-M}	c _{L-M}	a _{G-N}	b _{G-N}	c _{G-N}	R ² _{ajust.}	QME	$\frac{1}{n}$ -PRESS	$\frac{1}{n}$ -APRESS
$h = e^{\left[a + b * \ln(cap_{i,f}) + c * (\ln(cap_{i,f}))^2 \right]}$	h01	-2.798	1.792	-0.156	-2.789	1.792	-0.156	0.515	1.612	-0.001	1.016
	h02	-3.463	2.157	-0.201	-3.463	2.157	-0.201	0.480	1.803	-0.002	1.060
	h11	-4.004	2.282	-0.206	-4.004	2.282	-0.206	0.472	1.825	0.001	1.071
	h12	-5.188	2.888	-0.279	-5.188	2.888	-0.279	0.479	1.803	-0.0001	1.065
$dc = a * (cap_{i,f} / 100)^b$	dc01	5.841	1.107	----	5.841	1.107	----	0.801	1.664	-0.010	0.134
	dc02	6.945	1.039	----	6.945	1.039	----	0.799	1.680	0.001	0.140
	dc11	5.668	1.090	----	5.668	1.090	----	0.795	1.226	-0.004	0.123
	dc12	6.685	1.024	----	6.685	1.024	----	0.770	1.063	0.003	0.132

L-M: Parâmetros estimados pelo método de *Levenberg-Marquard*, Q-N: Parâmetros estimados pelo método *Quasi-Newton*
 ns: Parâmetro não significativo

Os modelos permitem utilizar variáveis sobre cortiça e sobre lenho para as duas unidades de solo consideradas.

Na Figura 48 e 49 pode-se observar que uma heterocedasticidade moderada em todos os modelos. Em relação à normalidade dos resíduos, esta verifica-se para os modelos de altura total mas apresenta alguns desvios para os modelos de diâmetro da copa. A qualidade da estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados pode ser considerada aceitável mesmo tendo em conta variabilidade observada para estas duas variáveis.

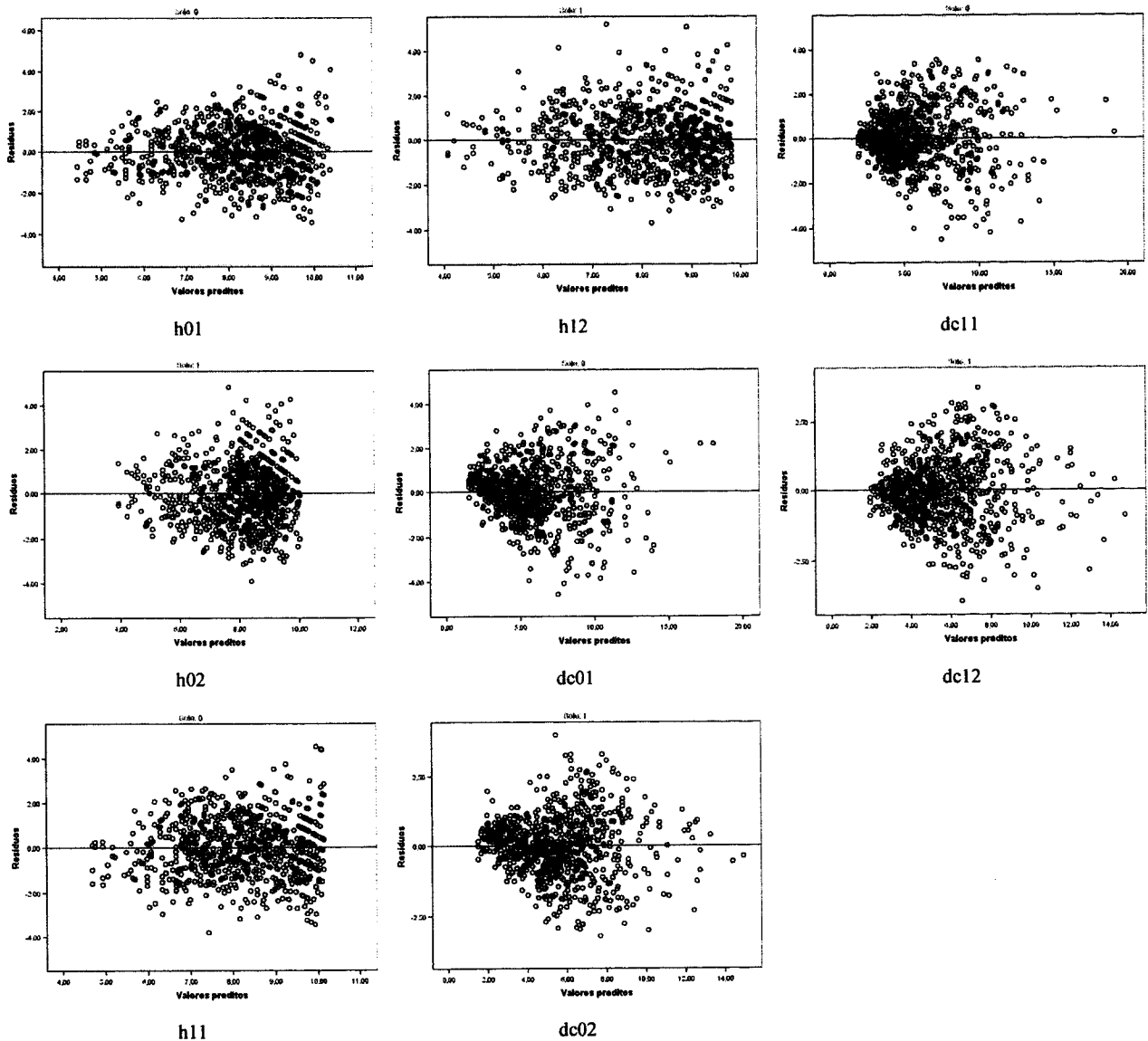


Figura 48 – Relação gráfica entre os resíduos e os valores preditos para todas as combinações de modelos ajustados.

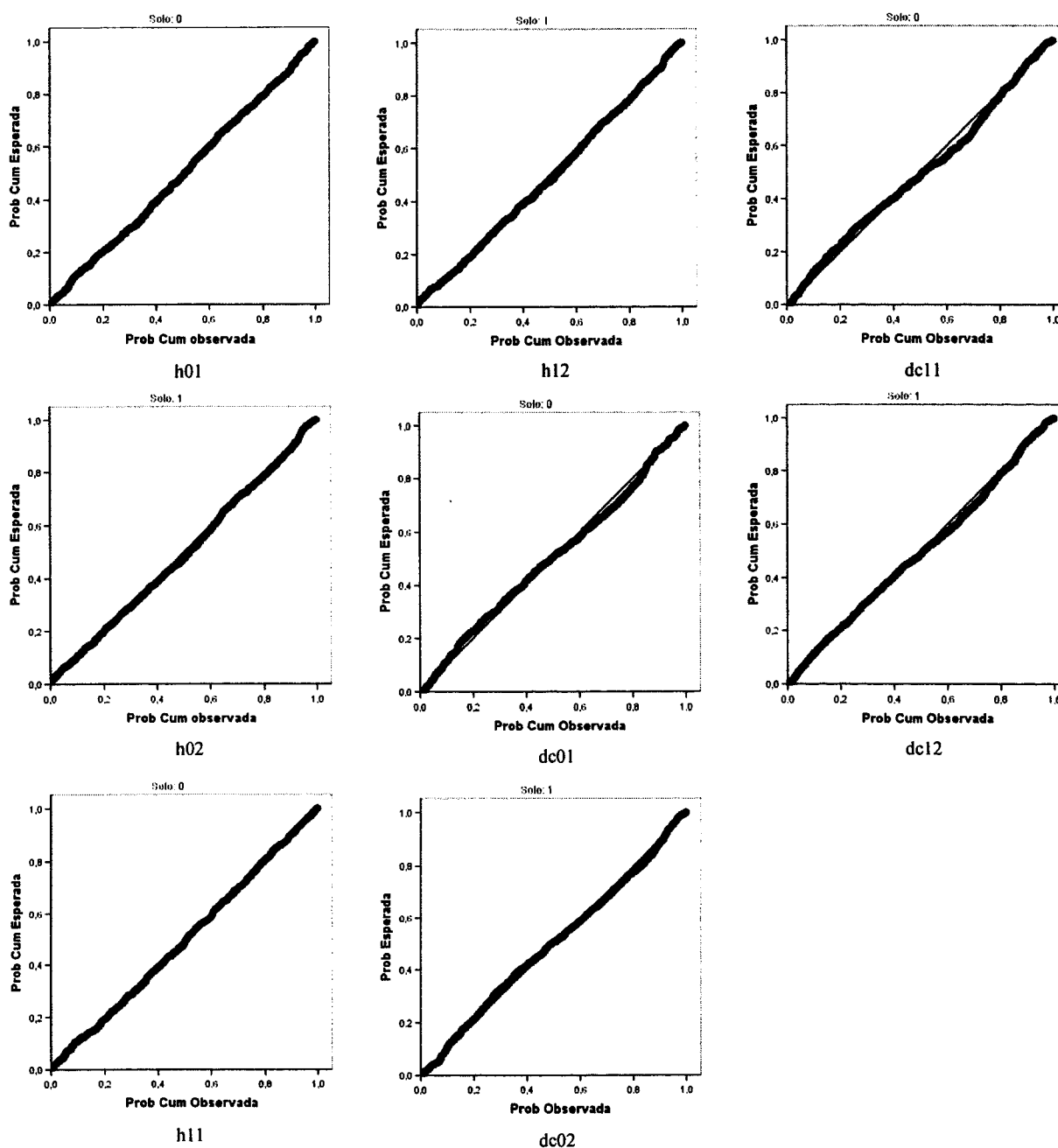


Figura 49 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modelos ajustados.

Para a construção dos modelos de produção de cortiça utilizou-se modelo de regressão multiplicativa múltiplo, assim:

$$z = \beta_{00}(w_1)^{\beta_1}(w_2)^{\beta_2} \dots (w_k)^{\beta_k} v,$$

onde z é a variável dependente; (w_i) , $i=1, \dots, k$ são as k variáveis independentes (ou regressores); v é um erro com distribuição log-normal $LN(0, \sigma^2)$; β_{00} é um coeficiente desconhecido de nível e (β_i) , $i=1, \dots, k$ são coeficientes desconhecidos de forma.

Os coeficientes de regressão podem ser estimados através do método dos mínimos quadrados para o seguinte modelo de regressão multiplicativo log-transformado:

$$y = \sum_{i=0}^k \beta_i x_i + \epsilon$$

com $y=\ln(z_i)$ como variável dependente; $x_i= \ln(w_i)$ como variáveis independentes; ϵ é um erro aleatório com distribuição normal $N(0, \sigma^2)$, $\beta_i, i=1,\dots,k$, são os coeficientes de regressão desconhecidos $\beta_0 =\ln(\beta_{00})$ é coeficiente da intersecção com a igualdade a verificar-se se os pressupostos considerados entre os erros v e ϵ forem cumpridos (Ribeiro, 1995).

Para a produção de cortiça em peso seco seleccionaram-se os modelos apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 – Modelos para as equações de estado para h, cw e dc, parâmetros e estatísticas de validação para todos os grupos de regressores n(01, 02)=599, n(11,12)=624

Regressores	Tipo	a0	a1	a2	a3	R ² _{ajust.}	QME	$\frac{1}{n}$ -PRESS	$\frac{1}{n}$ -APRESS
ln(capi,f) ln(hdt) ln(ef1.3)	101	-3.845	1.218	0.751	0.278	0.938	0.033	-0.000025	0.136
	102	-2.868	1.004	0.752	0.173	0.939	0.032	0.000016	0.135
	111	-4.104	1.285	0.679	0.278	0.926	0.035	-0.000142	0.142
	112	-3.130	1.078	0.671	0.170	0.926	0.036	-0.000091	0.141
ln(capi,f) ln(hdt)	201	-4.145	1.354	0.700	----	0.929	0.037	-0.000126	0.147
	202	-2.597	1.062	0.747	----	0.908	0.048	-0.000095	0.169
	211	-4.551	1.451	0.623	----	0.916	0.040	-0.000146	0.152
	212	-3.041	1.170	0.654	----	0.890	0.053	-0.000145	0.177
ln(sgei,f)	301	1.954	0.935	----	----	0.918	0.043	-0.000731	0.317
	302	2.178	0.873	----	----	0.905	0.050	-0.000750	0.326
	311	1.941	0.904	----	----	0.895	0.050	-0.001526	0.345
	312	2.151	0.849	----	----	0.881	0.057	-0.001621	0.353

L-M: Parâmetros estimados pelo método de *Levenberg-Marquard*, Q-N: Parâmetros estimados pelo método *Quasi-Newton*
 ns: Parâmetro não significativo

Os modelos com base no perímetro final (capf) apresentam menores desvios à normalidade e dispersão de erros mais homogénea indicando que esta variável e combinações são melhores estimadores para o peso de cortiça (Figuras 50 e 51). No entanto, uma vez que se trata de métodos de ajustamento de parâmetros por regressão linear é de esperar que a qualidade dos estimadores seja aceitável dada a relativa robustez do método dos mínimos quadrados da regressão linear a pequenos desvios da normalidade dos erros bem como à heterocedasticidade moderada (Draper e Smith, 1981).

Dada a variabilidade observada ara todas as variáveis dependentes modeladas, pensa-se que para estudos de simulação é fundamental adicionar uma componente aleatória às estimativas dos modelos com base na distribuição $N(0, Stdres)$ em que $Stdres=f(\text{valores preditos})$. Esta componente aleatória permite estimar as variáveis modeladas com a mesma variabilidade da população o que se torna muito importante em estudos de simulação para a construção de intervalos de confiança para as estimativas da árvore individual.

Os modelos ajustados permitem fazer estimativas com base em dados recolhidos sobre cortiça (no fim da criação) e sobre lenho. No modelo de crescimento as estimativas das variáveis modeladas é feita com base nos modelos sobre lenho.

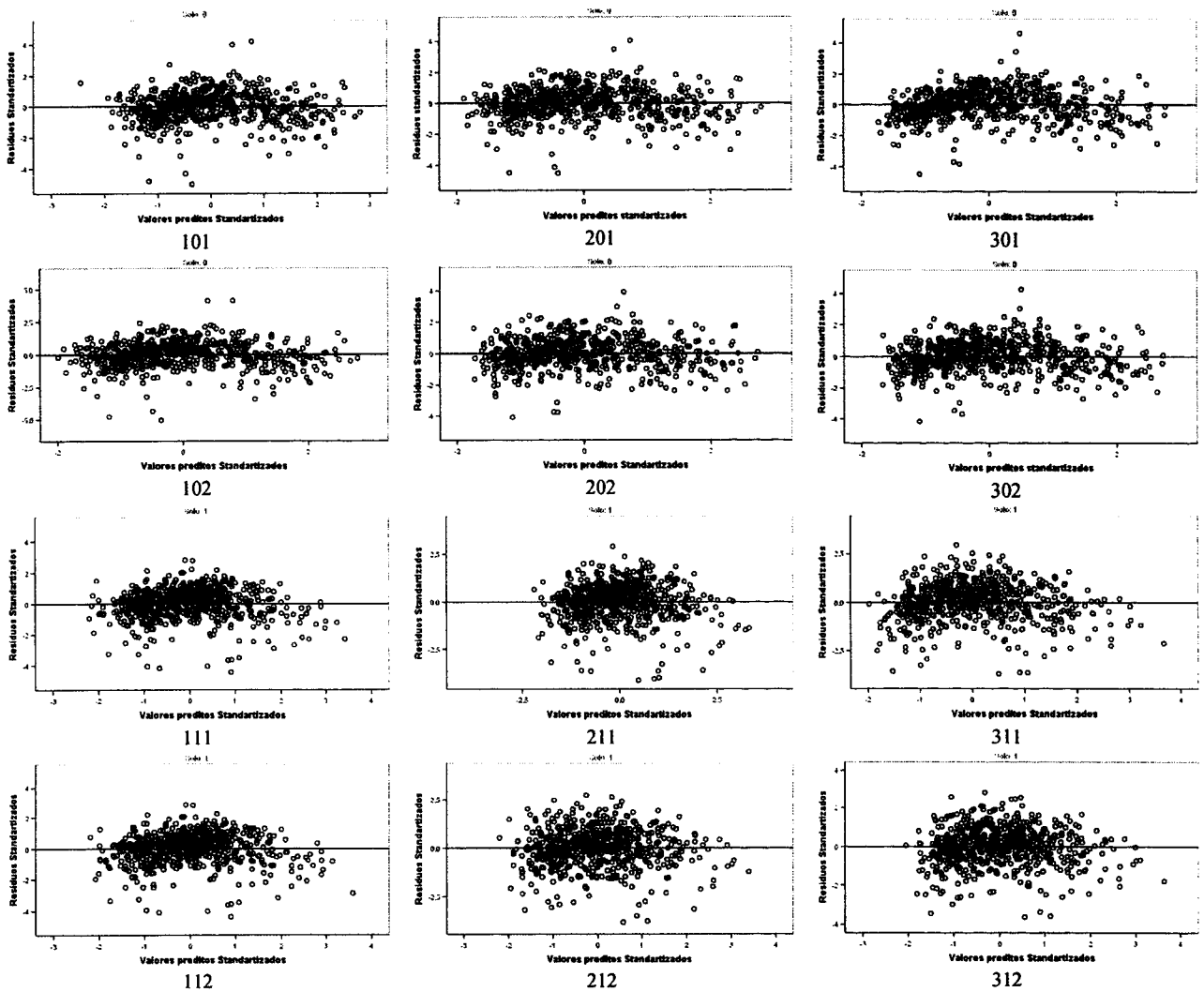


Figura 50 – Relação gráfica entre os resíduos e os valores preditos para todas as combinações de modelos ajustados.

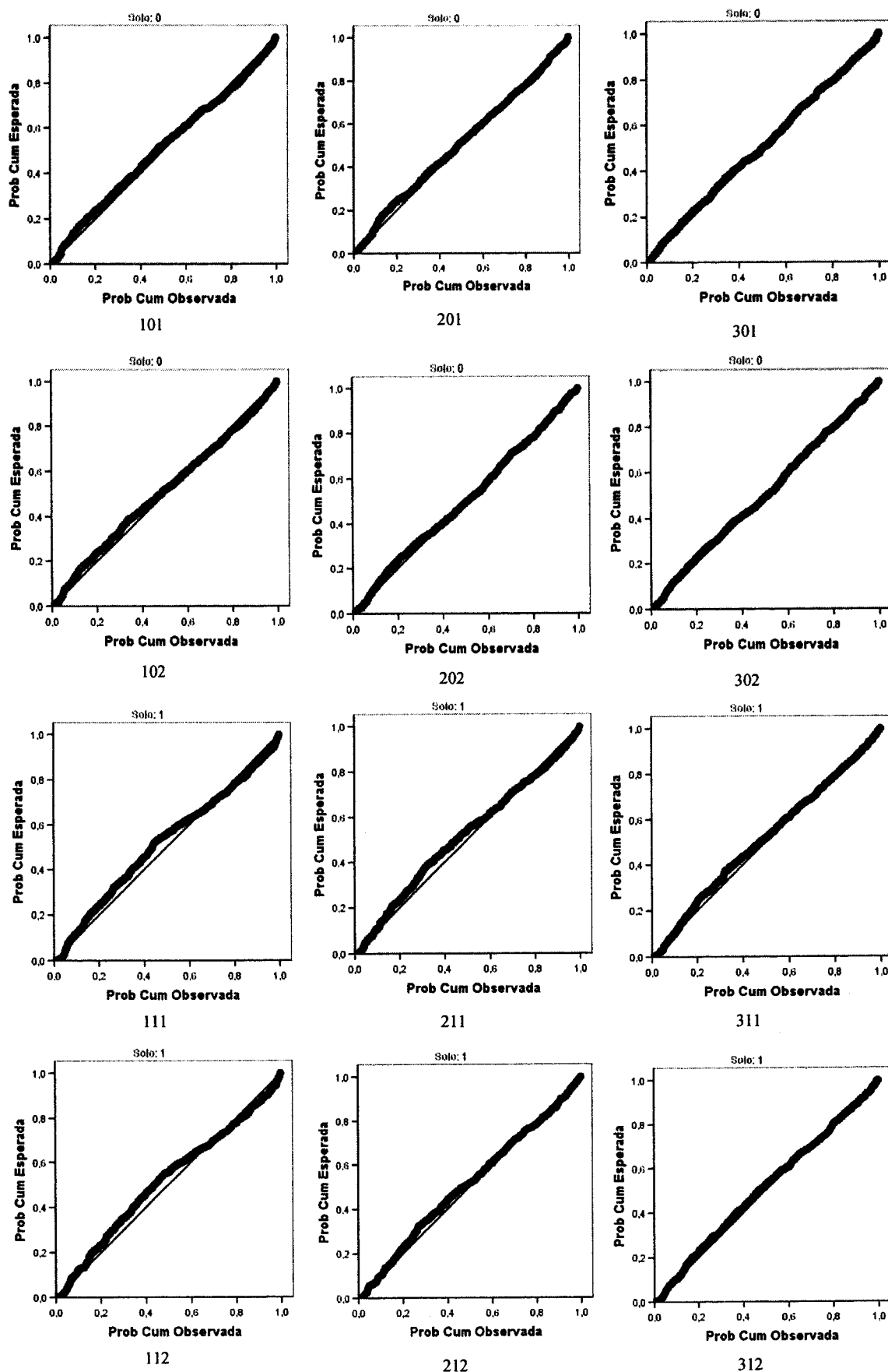


Figura 51 – Papel de probabilidades dos erros para todos os modelos ajustados.

4.6. Mortalidade

4.6.1. Impacto da mortalidade nos povoamentos de sobreiro estudados

A mortalidade de árvores em povoamentos de sobreiro constitui uma fonte de preocupação uma vez que está associada uma baixa taxa de ingresso, por regeneração natural ou artificial, o que redonda numa menor ocupação da estação com consequentes perdas ao nível do rendimento por unidade de área.

No presente estudo os resultados das medições repetidas (1995 e 2005) mostram o impacto negativo da combinação entre a mortalidade e as baixas taxas de recrutamento (Figura 52).

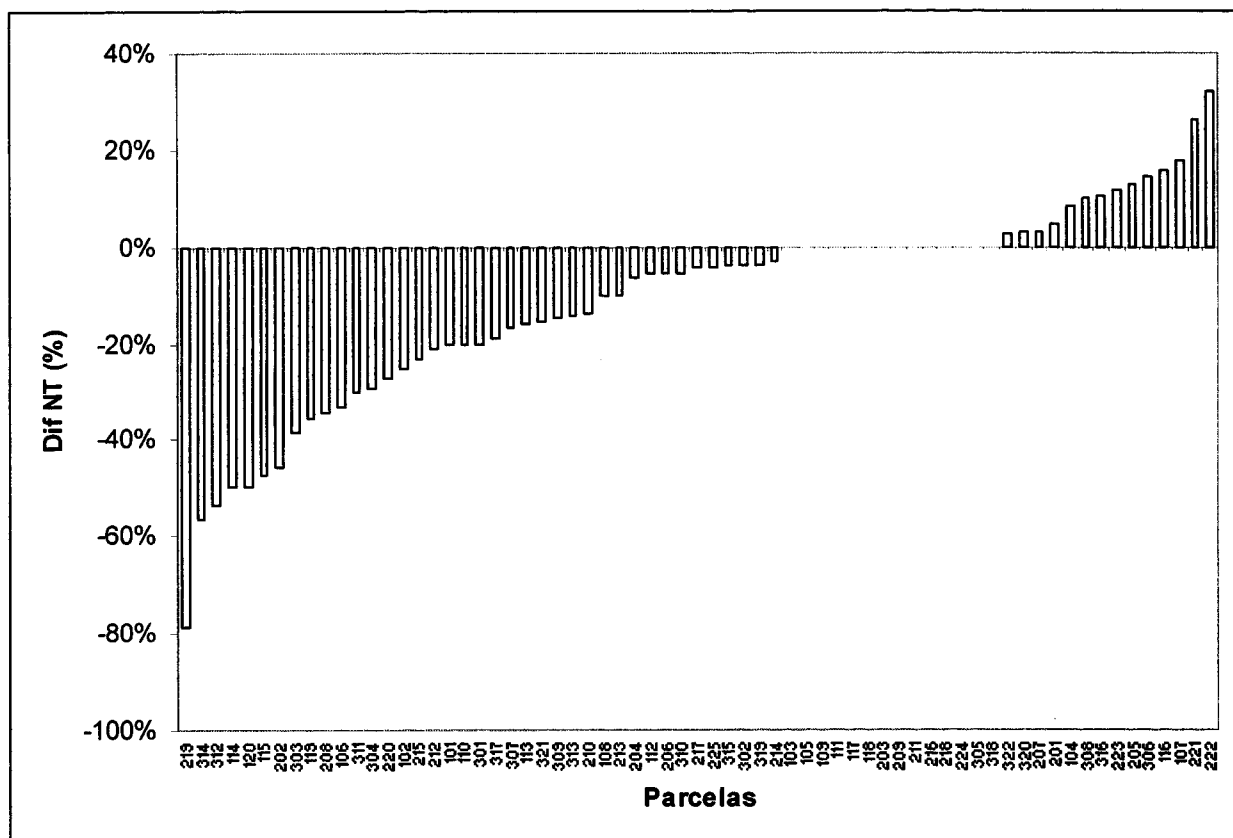


Figura 52 – Diferença percentual de densidade (NT) entre as medições de 1995 e 2005

Como se pode ver na Figura 52 existe um claro decréscimo de densidade na maioria das parcelas. Estas alterações de densidade foram positivas em 21 %, nulas em 21 % e negativas em 58 % das parcelas estudadas. O impacto destas modificações de densidades na área basal e na área de projecção horizontal das copas está expresso nas Figuras 53 e 54.

De notar que, nas parcelas sem variações ou aumento de densidade (NT), existe um aumento das variáveis de ocupação (ABT1 e ACT) decorrentes do crescimento individual das árvores e dos ingressos (Figuras 53 e 54).

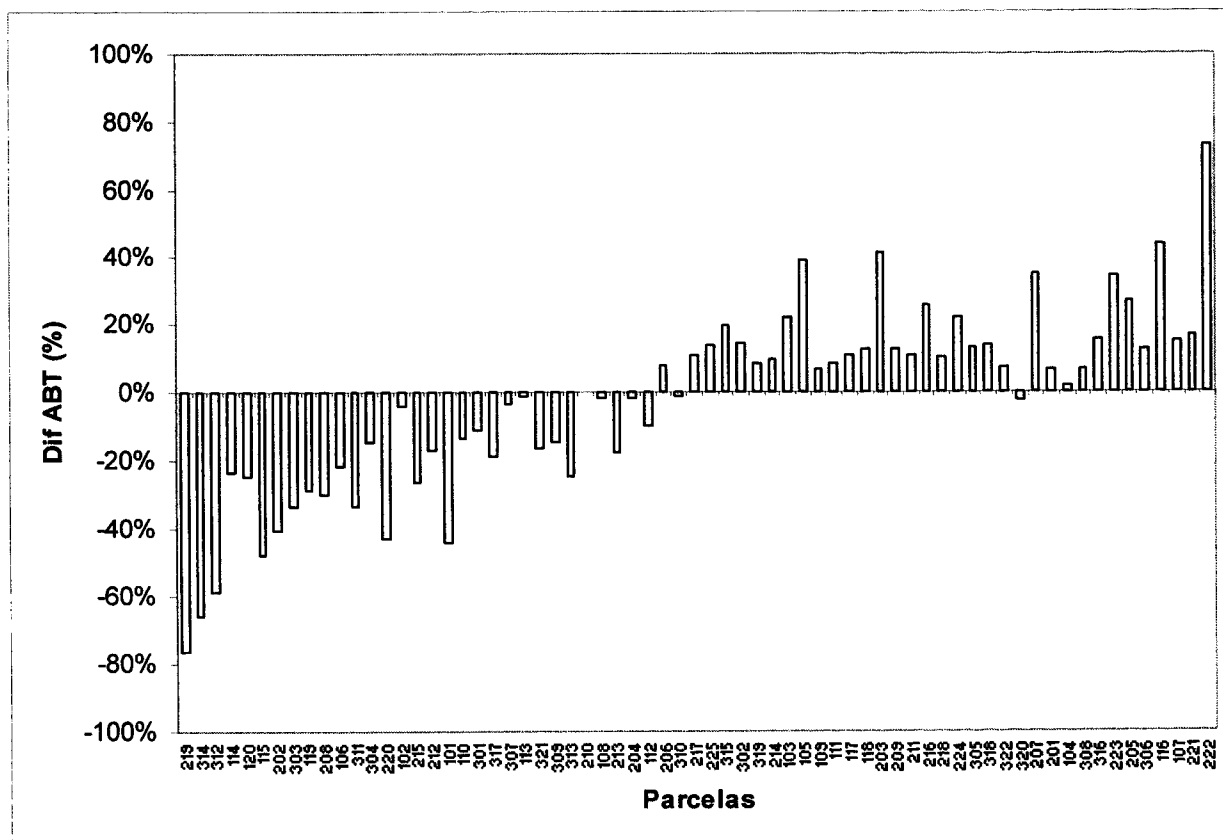


Figura 53 – Diferença percentual em área basal (ABT1) entre as medições de 1995 e 2005

As parcelas onde se observou aumento de densidade são parcelas jovens (regeneradas por sementeira em 1968) onde o recrutamento se continua a efectuar por ingresso de árvores de regeneração (não contabilizadas nos cálculos da amostragem de 1995) que ultrapassaram o capi de 20cm, contribuindo assim para os aumentos de ocupação observados nas Figuras 53 e 54.

As parcelas 309, 310, 311 e 312 correspondem a uma área de montado antigo já em exploração desde o princípio do Século XX que entrou claramente em decrepitude sem que tenham sido antecipadas as acções promoção/protecção da regeneração. As perdas de coberto (ACT) nestas parcelas são particularmente preocupantes uma vez que acentuam os processos de degradação da estação (especialmente por erosão) tornando a sua recuperação posterior mais difícil.

As restantes parcelas com perdas de coberto estão situadas apresentam sinais de decrepitude sem que se possam identificar claramente as causas. Vários autores têm identificado um conjunto causas para estes fenómenos de declínio (que têm uma dispersão nacional) que vão

desde as alterações pedológicas (Diniz, 1994; Macara, 1988) às acções de gestão desadequadas que conduzem à degradação da estação (Cabral *et al.*, 1993). Estudos mais recentes identificam os défices hídricos da planta como causa de stress cuja acção continuada conduz à decrepitude e morte dos sobreiros devido a processos de cavitação no xilema funcional (Kurz-Besson *et al.*, 2006; Otieno *et al.*, 2006). Estes processos de cavitação podem intensificados pela acção da *Phytophthora cinnamomi* sobre o xilema (Moreira e Martins, 2005).

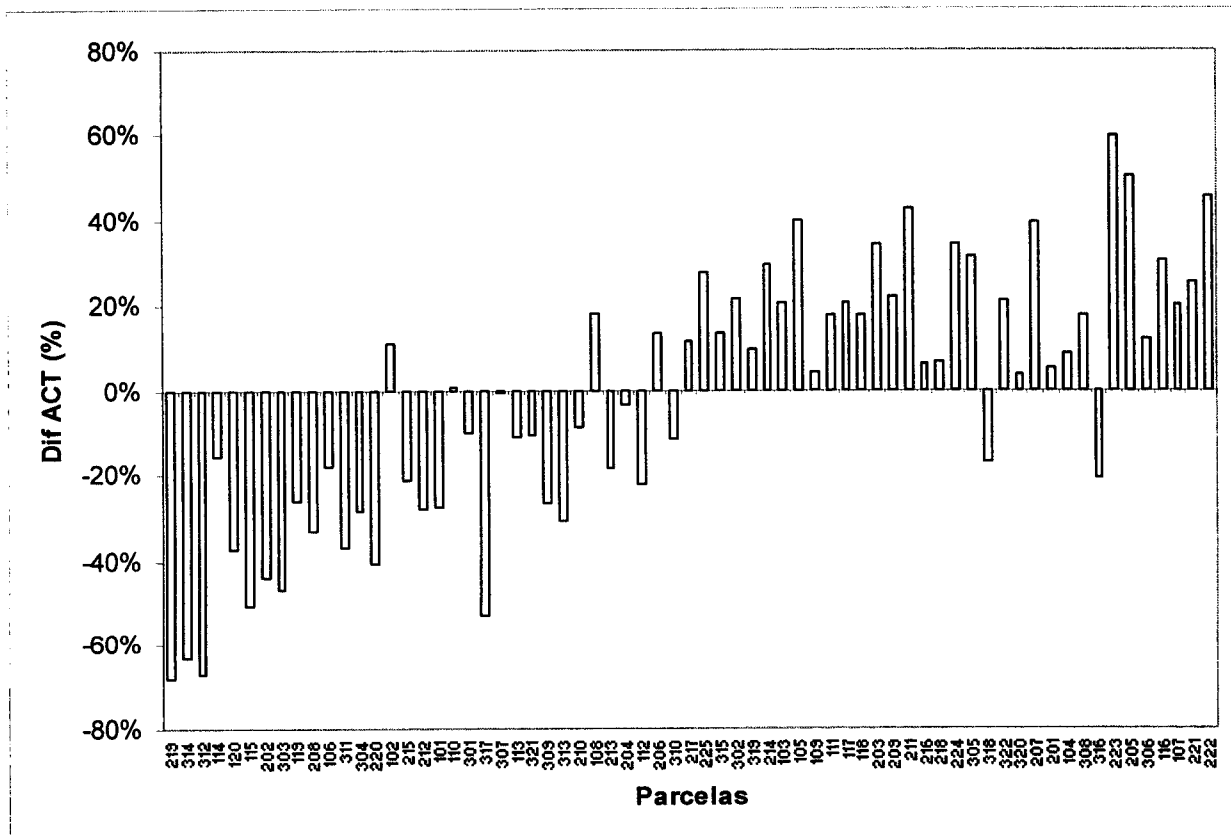


Figura 54 – Diferença percentual em área de projecção horizontal da copa (ACT) entre as medições de 1995 e 2005

Os impactos das alterações de densidade sobre a produção de cortiça estão expressos nos resultados obtidos para as parcelas descortiçadas pela segunda vez (Figura 55). De notar que nas parcelas jovens a entrada em produção das árvores leva a aumentos muito elevados de produções acompanhando os resultados já apresentados para a ocupação. De forma oposta, observam-se perdas de produção que podem ultrapassar os 50 % em parcelas com um decréscimo de densidade, que correspondem graves prejuízos económicos. Estes processos de degradação da ocupação podem, se não forem interrompidos, levar ao desaparecimento das manchas de sobreiro devido ao aumento progressivo do peso relativo dos custos de recuperação em relação à receita total.

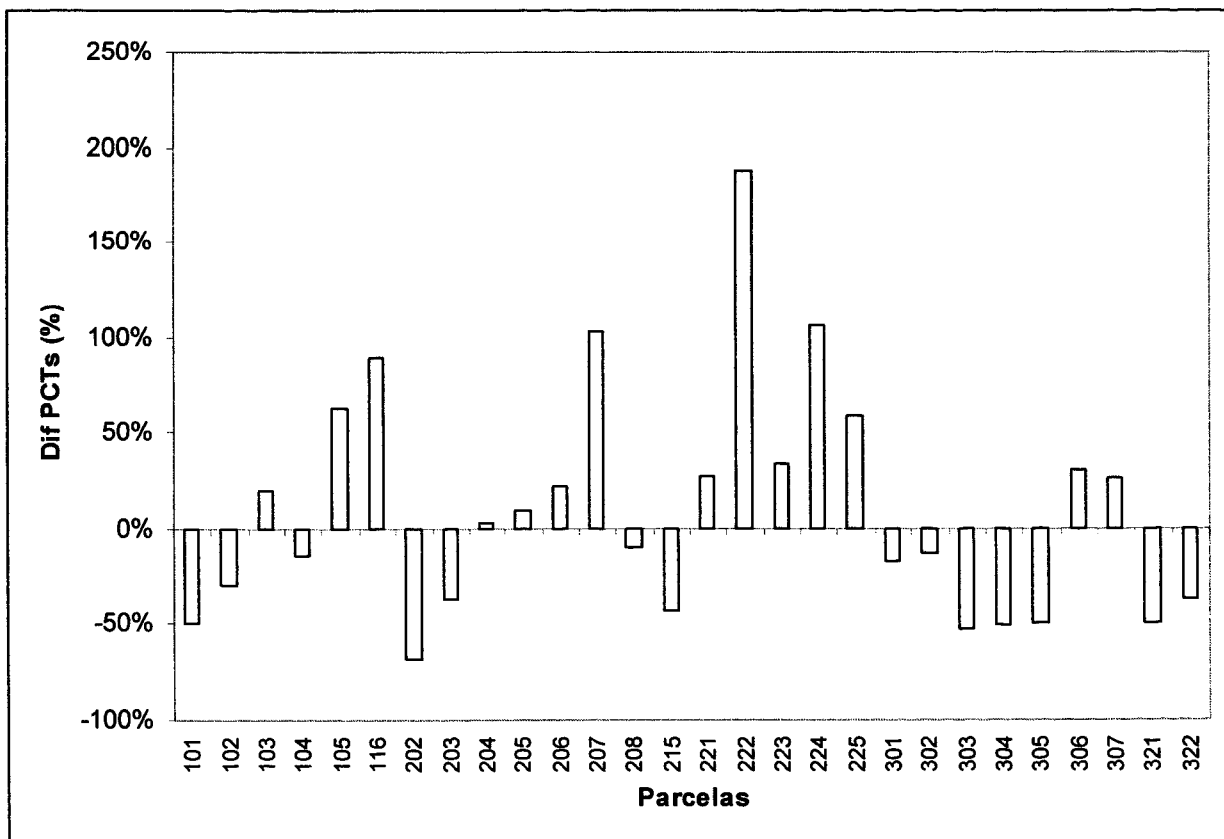


Figura 55 – Diferença percentual em peso anidro de cortiça (PCTs) entre dois descortiçamentos

Os resultados anteriores sugerem que a gestão têm de incluir a conservação/recuperação da estação com a identificação atempada dos processos de declínio e início precoce de acções correctivas que promovam a regeneração natural ou artificial (que só ocorrem em boas condições de solo). Estas medidas correctivas têm de ser definidas de acordo com a estação e seu grau de uso múltiplo de forma a criar um conjunto de acções de gestão integradas que conduzam a um equilíbrio entre as árvores que morrem e as que ingressam no povoamento.

4.6.2. Modelo de sobrevivência

Nas Figuras 52 a 55 fica patente a variabilidade de respostas entre parcelas em relação ao número e dimensões de árvores que morrem. Esta variabilidade dificulta a construção do modelo de mortalidade devido à falta de clareza nas relações causa/efeito entre os valores das variáveis explicativas e o evento, morte da árvore.

Para a construção do modelo considera-se a variável dicotómica:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{árvore viva} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

No processo de modelação com regressão logística foram incluídas na pesquisa de melhores regressores variáveis de árvore individual e variáveis de povoamento (incluindo as variáveis do solo). Utilizou-se o método de selecção de variáveis passo a passo com base na estatística de Wald (SPSS 13.0) para a selecção das variáveis a entrar no modelo. Os resultados do ajustamento são apresentados nas Tabela 46 e 47.

Tabela 46 – Resultados do teste Score graus de liberdade (gl) e teste de χ^2 para as variáveis seleccionadas

Variáveis	Score	gl	P(> χ^2)
capf	8.272	1	0.004
cd	25.033	1	0.000
h	19.162	1	0.000
ac	5.786	1	0.016
HD2	0.766	1	0.381
Solo(1)	6.006	1	0.014
Declive	3.567	1	0.059
Orientação	1.691	1	0.193
Praiz	3.150	1	0.076
Pperf	16.200	1	0.000
CEC	40.923	1	0.000
ABT1	1.223	1	0.269
ACT	3.168	1	0.075
Total	97.805	13	0.000

Os resultados dos testes Score (Tabela 46) mostram que as variáveis relacionadas com a ocupação ao nível da parcela (ABT, ACT) e ao nível da árvore (HD2) não são significativos ($\alpha=0.05$) indicando que a sobrevivência não parece ser condicionada pela ocupação e consequentemente pela competição. O declive e a orientação também não são significativos embora o primeiro esteja próximo do limite. A dimensão das árvores (capf, h e ac) são todas significativas muito porque a mortalidade afecta preferencialmente árvores de maiores dimensões. O coeficiente de descortiçamento (cd) também é significativo mostrando a importância da pressão de descortiçamento para a ocorrência de mortalidade. A classificação do solo por limitações (0 sem limitações, 1 com limitações) significativa mostra que os factores que afectam o crescimento também afectam a sobrevivência. De facto, as variáveis da análise do solo mostram a importância da profundidade do perfil (Pperf) e da capacidade de troca catiónica (CEC) na sobrevivência visto que estão muito ligadas ao abastecimento de água e nutrição das árvores.

O modelo seleccionado pelo método da Wald não incluiu a variável de classificação dos solos, porque esta é redundante com os dados da profundidade do perfil (Pperfil) e depende de análises químicas do solo.

Tabela 47 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2

Variáveis	B	S.E.	Wald	P(> χ^2)	G	P(> χ^2)
b0	4.544	0.503	81.490	0.000		
cd	-0.132	0.068	3.799	0.051		
h	-0.123	0.044	8.003	0.005	1283.748	0.000
Pperf	-0.011	0.004	8.987	0.003		
CEC	-0.083	0.015	29.060	0.000		

Assim, decidiu-se ajustar outro modelo para ser usado com dados dendrométricos e com os dados de classificação do solo (com e sem limitações).

Tabela 48 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2

Variáveis	B	S.E.	Wald	P(> χ^2)	G	P(> χ^2)
b0	3.669	0.405	82.061	0.000		
cd	-0.241	0.063	14.413	0.000	1308.221	0.000
h	-0.137	0.044	9.660	0.002		
HD2	-0.373	0.141	7.031	0.008		

O modelo incluiu o índice de competição HD2 apesar deste não ser significativo no teste Score da Tabela 46. Em contrapartida também não foi incluída a variável de classificação do solo pelo que se decidiu forçar a sua entrada por se achar que esta têm importância ao nível do crescimento e mortalidade (Tabela 49).

Tabela 49 – Resultados do ajustamento do modelo logístico, estatísticas de Wald, graus de liberdade e teste χ^2

Variáveis	B	S.E.	Wald	P(> χ^2)	G	P(> χ^2)
b0	3.547	0.412	73.981	0.000		
cd	-0.216	0.066	10.664	0.001		
h	-0.143	0.044	10.394	0.001	1306.304	0.000
HD2	-0.342	0.143	5.756	0.016		
Solo(1)	0.208	0.151	1.909	0.167		

Para definir o valor limite (cut-off) foram testados os valores 0.75, 0.80 e 0.85 e os resultados em termos de concordância do modelo com os valores observados estão expressos na Tabela 50.

Tabela 50 – Valores preditos *versus* observados e percentagem de pares concordantes para os valores limite 0.75, 0.80 e 0.85

Valores observados		Valores preditos		
		Viva	1	Percentagem correcta
Viva	0	0	1	11.9
	1	28	208	96.8
Percentagem total (cut-off=0.75)				84.4

Valores observados		Valores preditos		
		Viva	1	Percentagem correcta
Viva	0	0	1	29.2
	1	69	167	86.7
Percentagem total (cut-off=0.80)				78.4

Valores observados		Valores preditos		
		Viva	1	Percentagem correcta
Viva	0	0	1	61.2
	1	125	111	61.2
Percentagem total (cut-off=0.85)				60.0

Dada a grande desproporção entre o número de árvores vivas e as que morreram no período de 10 anos o modelo apresenta uma baixa taxa de sucesso na identificação das árvores mortas especialmente para valores limite mais baixos. Decidiu-se assim por seleccionar o valor limite 0.80 para a determinação da sobrevivência da árvore, isto é, árvores com probabilidades de sobrevivência inferiores a 0.80 são consideradas mortas.

Dada a baixa percentagem de correcção na identificação das árvores mortas pode-se combinar a probabilidade P do modelo com a probabilidade (PU) de com a de uma distribuição uniforme no intervalo [0,1] em que a decisão de sobre a sobrevivência da árvore é feita de acordo as diferenças de probabilidades (PU-P ≤ 0, árvore viva; PU-P > 0, árvore morta) (Dursky, 1997; Soares, 1999).

O modelo seleccionado para a sobrevivência é dado pela expressão seguinte:

$$\pi(x) = \frac{e^{3.547-0.216cd-0.143h-0.342HD2+0.208Solo}}{1+e^{3.547-0.216cd-0.143h-0.342HD2+0.208Solo}}$$

4.7 Modelo global

O fluxograma da Figura 17 representa a organização e unidades dos modelos de crescimento ajustados numa aplicação informática que visa a simulação de crescimento.

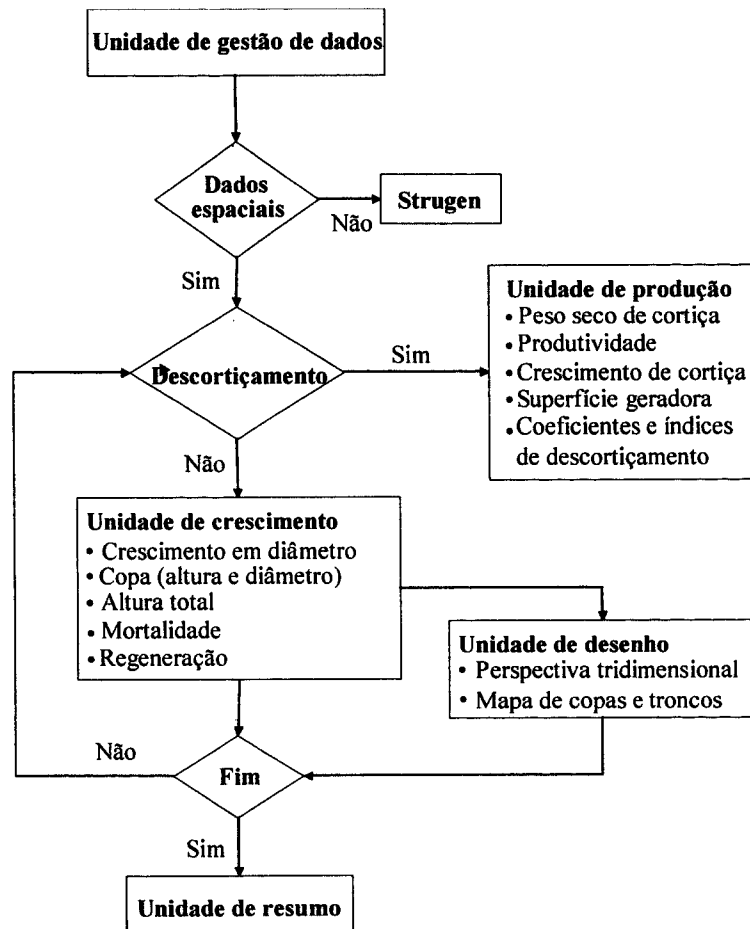


Figura 56 – Fluxograma do modelo de simulação

Unidade de Gestão de dados permite criar o ficheiro de inicialização de dados sendo possível utilizar 3 níveis de informação:

- 1- Dados provenientes de parcelas permanentes (podendo ser inicializada a simulação)
- 2- Dados provenientes de inventário florestal sem coordenadas que são geradas pelo gerador de estrutura espacial STRUGEN
- 3- Informações sobre características do povoamento (ABT1, NT) com ou sem estrutura etária, neste caso é criada uma lista de árvores que preencham as características (ABT1, NT) e as coordenadas são geradas pela unidade STRUGEN

A unidade STRUGEN utiliza um processo homogéneo de Poisson em que as posições aleatórias geradas são filtradas de acordo com uma função que controla a distância da árvore

gerada em relação aos vizinhos. Também é possível gerar clareiras, faixas e plantações com qualquer compasso.

A unidade de crescimento é composta por modelos de árvore individual para área seccional para as duas competentes (lenho e cortiça), equações de estado para as características da copa e altura, modelo de mortalidade e uma adaptação do modelo STRUGEN para a regeneração (acto de gestão) (Ribeiro *et al.*, 2003).

A unidade de produção é activada nos anos de descortiçamento que podem ser em intervalos de 8, 9 ou 10 anos.

A unidade de desenho permite para cada ano de simulação criar um mapa de copas e uma perspectiva tridimensional do povoamento.

A unidade de resumo permite editar a base de dados que inclui os resultados para todas as variáveis por árvore, por unidade de superfície, por ano e por simulação.

Dadas as características do sistema de produção do montado de sobre a regeneração só é possível com o recurso a técnicas de gestão específicas para a sua promoção. Assim, no presente modelo de simulação é possível simular a regeneração (aleatória) com o STRUGEN calibrado para a regeneração. A regeneração também pode ser gerada em faixas, círculos e a compasso.

O modelo pode ser usado para estudos de simulação onde se podem testar soluções para atingir determinados objectivos como por exemplo a Simulação de densidades para selecção da solução mais adequada, quer em termos de estrutura quer em densidade, em termos económicos (melhor índice de produção de cortiça, cpi) e ecológicos (manutenção de um grau de coberto contínuo) (Ribeiro *et al.*, 2004; Ribeiro *et al.*, 2003; Ribeiro *et al.*, 2002)

5. CONCLUSÕES

Para além das conclusões que se foram apresentando ao longo do trabalho, especialmente na análise do ponto 4, importa agora acentuar os seguintes elementos:

Conclui-se que a amostragem estratificada com base em fotografia aérea permite obter uma redução do erro de amostragem e é muito útil quando se pretende amostrar, de forma não proporcional, determinados tipos de povoamento, sendo apenas aleatória, a escolha dos pontos de amostragem.

A análise combinada entre as variáveis da árvore e do povoamento recorrendo a estatísticas descritivas, constitui uma boa ferramenta de interpretação integrada do sistema produtivo e permite elaborar planos de resolução dos problemas diagnosticados.

Da análise dos dados ao nível da árvore individual, pôde-se identificar as relações alométricas (lineares e não lineares) existentes entre as diversas variáveis estudadas com o perímetro a 1.3 m (capi) informação esta que foi muito útil na fase de modelação. A análise comparativa entre indicadores de produção, produtividade e de pressão de descortiçamento permitiu concluir que não existiam sinais de sobreexploração das árvores sendo apenas de referenciar 7% de árvores descortiçadas com menos de 70 cm de capi. Também se pôde concluir que a condução do crescimento do fuste (por poda de formação) mudou das árvores mais velhas para as mais novas, privilegiando-se agora fustes mais altos, evitando assim a exploração de cortiça nos ramos.

O povoamento estudado apresenta alguns sinais de sub lotação que podem no futuro, ter custos elevados ao nível da produção de cortiça. Assim, do povoamento estudado pode-se concluir:

- Em relação à ocupação, os valores de grau de coberto estão muito aquém dos valores propostos por vários autores (à excepção do estrato 3) o que pode conduzir, se combinado com uma intensa actividade sob coberto, a perdas de solo por erosão (Montero *et al.*, 1998; Ribeiro *et al.*, 2004)
- Os sinais de sublotação são acompanhados por coeficientes e intensidade de descortiçamento com valores abaixo do limite máximo indicado para cada um destes índices. Isto indica que a exploração de cortiça se está a processar de forma equilibrada.
- Os resultados permitiram observar a nível das variáveis do povoamento uma relação negativa entre a ocupação e a espessura da cortiça. Este facto veio a ser comprovado ao nível da árvore individual onde se pode observar o impacto negativo da competição nesta variável,

- A produtividade por unidade de superfície descortçada, quando expressa em peso anidro, não expressa todas as características que levaram outros autores a utilizar esta variável para qualificação da estação. De facto, esta variável mostrou uma grande interdependência com a espessura média de cortiça e é muito influenciada pela ocupação (expressa em área basal).
- A interpretação das características dos solos e suas interligações com o processo de crescimento permitiu elaborar uma classificação do solo, com base na lei dos mínimos, que possibilitou explicar (embora não de forma significativa) a variabilidade espacial encontrada. Esta abordagem combina uma abordagem geocêntrica com uma fitocêntrica na busca de uma classificação da estação.

A análise da estrutura espacial do povoamento com utilização de funções de correlações de pares e marcas, permitiu identificar a organização tridimensional das árvores e poderá ser muito útil em estudos de simulação para encontrar as melhores combinações de distribuição de árvores de diferentes dimensões, visando a sustentabilidade da cobertura de copas em combinação com produção de cortiça em quantidade e qualidade. Também se concluiu da existência de picos de probabilidade para a função de correlação de pares comuns aos povoamentos regenerados por regeneração natural, o que permitiu a parametrização do gerador de estrutura STRUGEN para estas situações. O gerador de estrutura STRUGEN tem uma grande utilidade para estudos de simulação com modelos de crescimento espaciais, por permitir estimar as coordenadas das árvores possibilitando assim, criar povoamentos virtuais ou utilizar listas de árvores de inventário sem informação espacial.

Os modelos de perfil da copa, ajustados para a copa de luz e de sombra, mostraram-se muito adequados ao perfil de iluminação correspondente à latitude de Portugal, com um ligeiro achatamento do topo da copa e um afunilamento na base. Também se observou que a relação superfície/volume da copa decrescia muito rapidamente com a dimensão, provavelmente como resposta às baixas densidades. A criação destes modelos de perfil da copa servirá de ponte para a hibridação entre os modelos de crescimento empíricos e os modelos processuais tendo como ponto de ligação a superfície e volume da copa e sua relação com a área foliar permitindo assim, estudos de simulação em diferentes cenários de evolução climática.

Conclui-se que a competição tem influência no crescimento secundário dos sobreiros (à semelhança com as outras espécies) especialmente da cortiça que representa em média 83 % dos acréscimos em diâmetro entre descortiçamentos. Conclui-se que os índices de competição espaciais apresentam uma superioridade ligeira em relação aos não espaciais na quantificação da influência da pressão competitiva no crescimento sobreiros.

Os modelos potenciais ajustados possibilitaram observar a dependência dos padrões de acréscimos correntes em área seccional (total, cortiça e lenho) da classificação do solo adoptada como qualificador da estação, podendo-se concluir que nos solos sem limitações a percentagem de crescimento de lenho em relação ao crescimento total é superior à observada em solos com limitações. A análise do modelo de crescimento completo (potencial x modificador) permite concluir que a competição em combinação com o índice de intensidade de descortiçamento tem um papel muito importante na redução do crescimento potencial, especialmente nos solos com limitações. Também se conclui que, a combinação entre competição intensa e pressão de descortiçamento elevada tem um impacto muito maior no crescimento das árvores das unidades de solo com limitações, indicando que, nestas unidades devem de ser criadas regras de descortiçamento específicas, com vista a manter um crescimento sustentado do lenho. Os modelos de crescimento espaciais ajustados permitem pesquisar, por simulação, qual a estrutura espacial adequada para atingir determinados objectivos, quer ao nível da árvore, quer ao nível do povoamento por permitirem testar um grande número de combinações de densidade pontual (centradas nas árvores) dependentes da qualidade da estação.

A análise do impacto da mortalidade mostra os riscos dos esquemas de gestão que não incluem a regeneração para a sustentabilidade dos povoamentos de sobreiro. Nas áreas de povoamentos adultos e velhos, onde não ocorre regeneração, observaram-se reduções de densidade, grau de coberto das copas e de produções acentuadas, devido à ocorrência de morte de árvores num período de 10 anos. Estas reduções de ocupação da estação, são acompanhadas por processos de degradação da estação e a sua continuação pode comprometer a manutenção dos povoamentos, devido aos custos relativos crescentes da energia de recuperação em relação aos rendimentos. É necessária a identificação atempada dos sinais de degradação do povoamento, para a antecipação das medidas de gestão correctivas que evitem a entrada em declínio. Na construção do modelo de sobrevivência, ficou mais uma vez patente, a importância do suporte solo, especialmente a profundidade do perfil e capacidade de troca catiónica (fertilidade) pelo que, as acções de gestão devem privilegiar a conservação/melhoramento das condições do solo para aumentar a vitalidade dos sobreiros.

Por fim, convém destacar a grande variabilidade estrutural observada para todas as variáveis estudadas, que dificultam muito o processo de modelação, mas que está na base do sucesso dos sobreiros na resistência a todas as fontes de perturbação a que estão sujeitos. A sua grande resiliência tem permitido suportar esquemas de gestão não sustentável mas, como se pôde observar, existem limites que, quando ultrapassados, podem levar ao seu declínio. É pois nossa função, com a criação destas ferramentas de apoio à decisão (baseadas no método experimental)

propor formas de gestão que, sem comprometer os objectivos económicos, permitam a manutenção/melhoramento dos povoamentos de sobreiro neste esquema único de uso múltiplo do espaço que é o montado.

O trabalho deixa muitas questões em aberto, especialmente ao nível do desenvolvimento das raízes e da estratégia de alocação de fotoassimilados parte aérea/parte radicular em diferentes tipos de solo combinados com vários níveis de competição. Espera-se que se criem as oportunidades de transformar estas questões em linhas de investigação, a submeter a programas de financiamento da investigação, para que se possa continuar a contribuir para um cada vez maior conhecimento dos aspectos do crescimento e gestão dos montados de sobreiro que, para além de constituírem uma riqueza para o nosso país, formam um sistema de produção verdadeiramente apaixonante.

Referências bibliográficas

- Afifi, A. A. e Clark, V. (1984). "Computer-aided multivariate analysis," Lifetime Learning Publications Belmont, California, 485 pp.
- Alemdag, I. S. (1978). "Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in planted white spruce," Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in planted white spruce Rep. N°. FMR-X-108.
- Alvarez, M. V. e Bentes, J. I. F. (1956). Subsídios para determinação da composição normal dos povoamentos inequiénios de sobreiro. *Estudos de informação da Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas* **68-D3**, 2-10.
- Alves, A. A. M. (1958). Tabelas de previsão de peso de cortiça para o sobreiro nos xistos do carbónico. *Boletim da Junta Nacional da Cortiça* **237**, 16-26.
- Alves, A. A. M. (1988). "Técnicas de produção florestal," Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 326 pp.
- Alves, A. A. M. e Morais, M. (1958). Sobre tabelas de previsão de peso da cortiça. *Boletim da Junta Nacional da Cortiça* **275**, 8-16.
- Amaro, A. P. N. (1997). Modelação do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill de 1ª rotação. Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 235 pp.
- Arney, J. D. (1972). Computer simulation of Douglas-Fir tree and stand growth. *Dissertation Abstracts International, B* **33**, 8.
- Arney, J. D. (1973). "Tables for quantifying competitive stress on individual trees," Tables for quantifying competitive stress on individual trees Rep. N°. BC-X-78.
- Assmann, E. (1970). The principles of forest yield study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands.
- Bachmann, M. (1997). On the effects of competition on individual tree growth in spruce/fir/beechn mountain forests. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **168**, 127-130.
- Begon, M., Harper, J. L. e Townsend, C. R. (1996). "Ecology: Individuals, populations and communities," 3rd/Ed. Blackwell Science, Oxford, England, 1068 pp.
- Bella, I. E. (1971). A new competition model for individual trees.
- Berguson, W. E., Grigal, D. F. e Bates, P. C. (1994). Relative stocking index: a proposed index of site quality. *Canadian Journal of Forest Research* **24**, 1330-1336.
- Biging, G. S. e Dobbertin, M. (1992). A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science* **38**, 695-720.
- Biging, G. S. e Dobbertin, M. (1995). Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science* **41**, 360-377.
- Biging, G. S. e Gill, S. J. (1997). Stochastic models for conifer tree crown profiles. *Forest Science* **43**, 25-34.
- Blennow, K. e Lindkvist, L. (2000). Models of low temperature and high irradiance and their application to explaining the risk of seedling mortality. *Forest Ecology and Management* **135**, 289-301.
- Bossel, H. (1991). Modelling forest dynamics: moving from description to explanation. *Forest Ecology and Management* **42**, 129-142.
- Brand, D. G. (1986). A competition index for predicting the vigour of planted Douglas-fir in southwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* **16**, 23-29.
- Brand, D. G. e Magnussen, S. (1988). Asymmetric, two-sided competition in even-aged monocultures of red pine. *Canadian Journal of Forest Research* **18**, 901-910.
- Brown, G. S. (1965). Point density in stems per acre. *New Zealand Forestry Research*, Note 38.

- Bruce, D. (1990). Development of empirical forest growth models. In "Process modeling of forest growth responses to environmental stress" (R. K. Dixon, R. S. Meldahl, G. A. Ruark and W. G. Warren, eds.), pp. 191-199. Timber Press, Inc., Portland, Oregon; USA.
- Bruce, D. e Wensel, C. (1987). Modelling forest growth: Approaches, definitions and problems. In "Forest growth modelling and prediction. Proceedings of the IUFRO conference" (A. R. Ek, S. R. Shifley and T. E. Burk, eds.). General Technical Report North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, Minneapolis, Minnesota.
- Burton, P. J., Gjerstad, D. H., Glover, G. R., Mitchell, R. J., Horsley, S. B., Campbell, R. A., Zedaker, S. M. e Dougherty, P. M. (1993). Some limitations inherent to static indices of plant competition. In "Proceedings of the international conference on forest vegetation management held at the School of Forestry, Auburn University, Auburn, Alabama, USA, 27 April 1 May 1992. Canadian Journal of Forest Research. 1993, 23: 10, 2141-2152; 100 ref."
- Cabral, M. T., Lopes, F., Sardinha, R. d. A. e Sardinha, R. A. (1993). Determinação das causas de morte do sobreiro nos concelhos de Santiago do Cacem, Grandola e Sines. Relatório síntese. *Silva Lusitana* 1, 7-24.
- Calama, R. e Montero, G. (2005). Multilevel linear mixed model for tree diameter increment in stone pine (*Pinus pinea*): a calibrating approach. *Silva Fennica* 39, 37-54.
- Cannell, M. G. R. e Rothery, P. (1984). Competition within stands of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. *Annals of Botany* 53, 349-362.
- Cochran, W. G. (1977). "Sampling Techniques," 3rd/Ed. John Wiley & Sons, New York, 428 pp.
- Colin, F. e Houllier, F. (1992). Branchiness of Norway spruce in northeastern France: predicting the main crown characteristics from usual tree measurements. *Annales des Sciences Forestières* 49, 511-538.
- Connell, J. H. (1990). Apparent versus "real" competition in plants. In "Perspectives on plant competition" (B. G. Grace and D. Tilman, eds.), Vol. 1, pp. 9-26. Academic Press, Inc., San Diego, California.
- Costa, A. e Oliveira, A. C. (2001). Variation in cork production of the cork oak between two consecutive cork harvest. *Forestry* 74, 337-346.
- Costa, A., Pereira, H. e Oliveira, A. C. (2001). A dendroclimatological approach to diameter growth in adult cork-oak trees under production. *Trees* 15, 438-443.
- Costa, M. A. (1997). Sobreiro- Caracterização do crescimento e avaliação da produção de cortiça. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 180 pp.
- Daniels, R. F. (1976). Simple competition indices and their correlation with annual Loblolly Pine tree growth. *Forest Science* 22, 454-456.
- Daniels, R. F., Burkhart, H. E. e Clason, T. R. (1986). A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16, 1230-1237.
- David, T. S. (2000). Intercepção da precipitação e transpiração em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam. Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 155 pp.
- David, T. S., Ferreira, I., Pereira, J. S., Cohen, S. e David J.S. (2002). Transpiração em Árvores Isoladas de um Montado de Azinho. Evolução Sazonal e Condicionantes Hidráulicas. *Silva Lusitana* 10, Nº 2, 133-149.
- DGF (1989). Inventário Nacional do sobreiro. In "Em estudos de informação", Vol. 300, pp. 16. Oficinas gráficas, Lisboa.
- Díaz, M. N. C. (2000). *Pinus pinea* L. en el Sistema Central (Vales del Tiétar y del Alberche): Desarrollo de um modelo de crecimiento y producción de piña. Dissertação para obtenção de grau de doutor, Escola Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. 334 pp.
- Díaz, S., Mercado, C. e Alvarez-Cardenas, S. (2000). Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* M.-F. Passini. *Forest Ecology and Management* 134, 249-256.

- Diniz, A. C. (1994). Os solos do montado e Aptidão Suberícola nos Concelhos de Granadola, Santiago do Cacém e Sines. Correlações com a morte prematura do sobreiro. *Silva Lusitana* **2**, 247-267.
- Doyle, T. W. (1990). An evaluation of competition models for investigating tree and stand growth processes. In "Process modelling of forest growth responses to environmental stress", Vol. 1, pp. 271-277, Portland, Oregon.
- Draper, N. R. e Smith, H. (1981). "Applied Regression Analysis," 2ª/Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 709 pp.
- Dursky, J. (1997). Modelling mortality in mixed Norway spruce/beech stands. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **168**, 131-134.
- Eerikainen, K. (2003). Predicting the height-diameter pattern of planted *Pinus kesiya* stands in Zambia and Zimbabwe. *Forest Ecology and Management* **175**, 355-366.
- Eid, T. e Yen, B. H. (2003). Models for prediction of mortality in even-aged forest. *Scandinavian Journal of Forest Research* **18**, 64-77.
- Eissenstat, D. M. e Mitchell, J. E. (1983). Effects of seeding grass and clover on growth and water potential of Douglas-fir seedlings. *Forest Science* **29**, 166-179.
- Ek, A. R. e Monserud, R. A. (1974). FOREST: a computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species forest stands. *Research Report, School of Natural Resources, University of Wisconsin* **16**, 72.
- Ferreira, M. C. e Oliveira, A. M. C. (1991). Modelling cork oak production in Portugal. *Agroforestry Systems* **16**, 41-54.
- Ferreira, M. C., Oliveira, A. M. C. e Carvalho Oliveira, A. M. (1991). Modelling cork oak production in Portugal. *Agroforestry Systems* **16**, 41-54.
- Ferreira, M. C., Tomé, M. e Oliveira, A. M. C. (1986). Selecção de modelos de previsão de peso de cortiça. In "1º Encontro sobre Montados de Sobre e Azinho", pp. 65-83, Évora.
- Fonseca, T. J. F. e Parresol, B. R. (2001). A new model for cork weight estimation in Northern Portugal with methodology for construction of confidence intervals. *Forest Ecology and Management* **152**, 131-139.
- Ford, E. D. (1975). Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. *Journal of Ecology* **63**, 311-333.
- Ford, E. D. (1976). Competition, genetic systems and improvement of forest yield. In "Tree physiology and yield improvement - problems concerning the use of physiological selection criteria" (M. G. R. Cannell and F. T. Last, eds.), pp. 463-472. Academic Press., London.
- Ford, E. D., Avery, A. e Ford, R. (1990). Simulation of branch growth in the Pinaceae: interactions of morphology, phenology, foliage productivity, and the requirement for structural support, on the export of carbon. *Journal of Theoretical Biology* **146**, 15-36.
- Ford, E. D., Sorrensen, K. A., DeAngelis, D. L. e Gross, L. J. (1992). "Theory and models of inter-plant competition as a spatial process," Theory and models of inter-plant competition as a spatial process. Chapman & Hall, New York.
- Ford, R. e Ford, E. D. (1990). Structure and basic equations of a simulator for branch growth in the Pinaceae. *Journal of Theoretical Biology* **146**, 1-13.
- Goldberg, D. E. (1990). Components of resource competition in plant communities. In "Perspectives on plant competition" (B. G. Grace and D. Tilman, eds.), Vol. 1, pp. 117-141. Academic Press, Inc., San Diego, California.
- Goreaud, F., Courbaud, B. e Collinet, F. (1997). Spatial structure analysis applied to modelling of forest dynamics: A few examples. In "Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation" (M. Tome, ed.), Vol. 1, pp. 1-9. IUFRO, Lisbon.
- Gourlet-Fleury, S. (1998). Competition indices in a dense tropical moist forest: trials in Paracou silvicultural experiment plots, French Guiana. *Annales des Sciences Forestières* **55**, 623-654.

- Gourlet-Fleury, S. e Houllier, F. (2000). Modelling diameter increment in a lowland evergreen rain forest in French Guiana. *Forest Ecology and Management* **131**, 269-289.
- Granus, A. e Fjeld, D. (2001). Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* **31**, 1903-1913.
- Guan, B. T. e Gertner, G. (1991). Using a parallel distributed processing system to model individual tree mortality. *Forest Science* **37**, 871-885.
- Guerreiro, M. G. (1951). Previsão do peso de cortiça explorável de um montado. *Publicações da Direcção Geral dos Serviços Florestais XVIII*, **1**, 24.
- Guilley, E., Herve, J. C. e Nepveu, G. (2004). The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. *Forest Ecology and Management* **189**, 111-121.
- Hamilton, D. A., Jr. e Edwards, B. M. (1976). "Modeling the probability of individual tree mortality," Modeling the probability of individual tree mortality Rep. N°. INT-185.
- Hara, T. (1992). Effects of the mode of competition on stationary size distribution in plant populations. *Annals of Botany* **69**, 509-513.
- Harper, J. L. (1977). "Population biology of plants," Population biology of plants. Academic Press Inc. (London) Ltd., London.
- Hasenauer, H. e Kindermann, G. (2002). Methods for assessing regeneration establishment and height growth in uneven-aged mixed species stands. *Forestry Oxford* **75**, 385-394.
- Hegyi, F. (1974). A simulation model for managing Jack-Pine stands. In "Growth models for tree and stand simulation." (J. Fries, ed.), pp. 74-90. IUFRO, Estocolmo, Suécia.
- Hix, D. M. e Lorimer, C. G. (1990). Growth-competition relationships in young hardwood stands on two contrasting sites in southwestern Wisconsin. *Forest Science* **36**, 1032-1049.
- Hoaglin, D. C., Mosteller, F. e Tukey, J. W. (1992). "Análise Exploratória de Dados. Técnicas robustas, um guia," Edições Salamandra, Lisboa, 446 pp.
- Holmes, M. J. e Reed, D. D. (1991). Competition indices for mixed species northern hardwoods. *Forest Science* **37**, 1338-1349.
- Jayaraman, K. e Zakrzewski, W. T. (2001). Practical approaches to calibrating height-diameter relationships for natural sugar maple stands in Ontario. *Forest Ecology and Management* **148**, 169-177.
- Jobling, J. e Pearce, M. L. (1977). "Free growth of oak," Free growth of oak Rep. N°. 113.
- Keyes, M. R. e Grier, C. C. (1981). Above- and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Canadian Journal of Forest Research* **11**, 599-605.
- Kimmins, J. P. (1993). "Scientific foundations for the simulation of ecosystem function and management in FORCYTE-11," Scientific foundations for the simulation of ecosystem function and management in FORCYTE-11 Rep. N°. NOR-X-328, Edmonton, Alberta; Canada.
- Kimmins, J. P. (1997). "Forest ecology: a foundation for sustainable management," Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, xii + 596 pp.
- Koop, H. (1989). "Forest dynamics. SILVI-STAR: a comprehensive monitoring system," Springer-Verlag, Berlin, xii + 229 pp.
- Korzukhin, M. D., Ter Mikaelian, M. T. e Wagner, R. G. (1996). Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? *Canadian Journal of Forest Research* **26**, 879-887.
- Krajicek, J. E. e Brinkman, K. A. (1957). Crown development: an index of stand density.
- Krajicek, J. E., Brinkman, K. A. e Gingrich, S. F. (1961). Crown competition-a measure of density.
- Kramer, H. e Akca, A. (1987). "Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur," Sauerlander, Frankfurt, 251 pp.

- Kurz-Besson, C., Otieno, D., Lobo do Vale, R., Siegwolf, R., Schmidt, M., Herd, A., Nogueira, C., David, T. S., David, J. S., Tenhunen, J., Pereira, J. S. e Chaves, M. M. (2006). Hydraulic Lift in Cork Oak Trees in a Savannah-Type Mediterranean Ecosystem and its Contribution to the Local Water Balance. *Plant and Soil* **283**, 361–378.
- Landsberg, J. J. e Gower, S. T. (1997). "Applications of physiological ecology to forest management," Academic Press, Inc., San Diego, California, xi + 354 pp.
- Larcher, W. (1995). "Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups," Springer-Verlag, Berlin, xvi + 506 pp.
- Larocque, G. R. e Marshall, P. L. (1993). Evaluating the impact of competition using relative growth rate in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) stands. *Forest Ecology and Management* **58**, 65-83.
- Larocque, G. R. e Marshall, P. L. (1994a). Crown development in red pine stands. I. Absolute and relative growth measures. *Canadian Journal of Forest Research* **24**, 762-774.
- Larocque, G. R. e Marshall, P. L. (1994b). Crown development in red pine stands. II. Relationships with stem growth. *Canadian Journal of Forest Research* **24**, 775-784.
- Le Houe' rou, H. N. (1997). Biogeography of the arid steppeland North of the Sahara. In "Reviews in Ecology: Desert Conservation and Development" (H. N. Barakat and A. K. Hegazy, eds.), pp. 207-228. Metropole, Cairo.
- Lorimer, C. G. (1983). Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management* **6**, 343-360.
- Lundqvist, L. (1994). Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in northern Sweden. *Forest Ecology and Management* **65**, 115-122.
- Lynch, T. B., Gering, L. R., Huebschmann, M. M. e Murphy, P. A. (1999). A survival model for shortleaf pine trees growing in uneven-aged stands. *General Technical Report Southern Research Station, USDA Forest Service* **30**, 531-535.
- Macara, A. M. (1988). Montados de sobreiro, seu declínio e controlo. *Em Floresta e Ambiente* **1**, 19-21.
- Magnoler, A. e Cambini, A. (1970). Effects of artificial defoliation on the growth of Cork Oak.
- Magnussen, S. (1983). Influence of shading grand fir (*Abies grandis* Lindley) seedlings under different moisture and nutrient regimes. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **154**, 10-20.
- Maguire, D. A., Moeur, M. e Bennett, W. S. (1994). Models for describing basal diameter and vertical distribution of primary branches in young Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* **63**, 23-55.
- Makela, A. e Hari, P. (1986). Stand growth model based on carbon uptake and allocation in individual trees. *Ecological Modelling* **33**, 205-229.
- Martin, G. L. e Ek, A. R. (1984). A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *Forest Science* **30**, 731-743.
- McDill, M. E. e Amateis, R. L. (1992). Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. *Forest Science* **38**, 409-429.
- Meng, F., Meng, C., Tang, S., Arp, P. A., Meng, F. R., Meng, C. H. e Tang, S. Z. (1997). A new height growth model for dominant and codominant trees. *Forest Science* **43**, 348-354.
- Mexia, J. G. N. (1934). Subsídios para o ordenamento dos sobreirais. *Revista agronómica* **XXII-1**, 84.
- Mitchell, K. J. (1968). Simulation of the growth of even-aged stands of White Spruce.
- Monserud, R. A. e Ek, A. R. (1977). Prediction of understory tree height growth in northern hardwood stands. *Forest Science* **23**, 391-400.
- Monserud, R. A. e Sterba, H. (1996). A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management* **80**, 57-80.

- Montero, G. (1988). Modelos para cuantificar la producción de corcho en alcornoques (*Quercus suber* L.) en función de la calidad de estación y los tratamientos selvícolas. Tesis Doctorales, Madrid, Madrid.
- Montero, G., Miguel, S. e Cañellas, I. (1998). Sistemas de silvicultura mediterránea. La dehesa. In "Agricultura Sostenible" (R. Jimenez Diaz and J. Lamo de Espinosa, eds.), pp. 519-554. Mundi-Prensa.
- Montero, G., San Miguel, A. e Alia, R. (1991). Estructura y producción de los alcornoques (*Quercus suber* L.) del sur de España. *Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 69-74.
- Montero, G., Torres, E., Cañellas, I. e Ortega, C. (1994). Aspectos selvícolas, económicos y sociales del alcornoque. *Agricultura y Sociedad*, 137-193.
- Montoya, J. M., Montero, G. e Montoya Oliver, J. M. (1984). Efectos de la roza, el laboreo y el abonado en la producción de corcho de *Quercus suber* L. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Forestal, Spain*, 93-111.
- Montoya, J. M. O. (1985). Aproximación al conocimiento del crecimiento y producción de *Quercus suber* L. según distintas calidades estacionales (densidad de repoblación, coeficiente de descorche, inventario de ordenación y puesta en fábrica de maderos). *Cortiça* 557, 479-484.
- Montoya, J. M. O. (1986). A model for a new silvo-pastoral system in the Mamora cork-oak forest. *Landscape and Urban Planning* 13, 55-63.
- Moore, J. A., Budelsky, C. A. e Schlesinger, R. C. (1973). A new index representing individual tree competitive status. *Canadian Journal of Forest Research* 3, 495-500.
- Moreira, A. C. e Martins, J. M. S. (2005). Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathology* 35, 145-162.
- Mugasha, A. G. (1989). Evaluation of simple competition indices for the prediction of volume increment of young jack pine and trembling aspen trees. *Forest Ecology and Management* 26, 227-235.
- Munro, D. D. (1983). Teaching growth model construction. A case study. In "Forest growth modelling and simulation" (J. Pollanschutz, ed.), pp. 173-188. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien; Austria.
- Myers, R. H. (1986). "Classical and Modern Regression with Applications," Duxbury Press, Boston, 245 pp.
- Natividade (1950). "Subericultura," Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 382 pp.
- Newton, M. e Cole, E. C. (1991). Root development in planted Douglas-fir under varying competitive stress. *Canadian Journal of Forest Research* 21, 25-31.
- Newton, P. F. e Jolliffe, P. A. (1998). Assessing processes of intraspecific competition within spatially heterogeneous black spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 28, 259-275.
- Oliveira, G., Martins Loucao, M. A., Correia, O. e Catarino, F. (1996a). Nutrient dynamics in crown tissues of cork-oak (*Quercus suber* L.). *Trees: Structure and Function* 10, 247-254.
- Oliveira, G., Werner, C., Correia, O., Dreyer, E. e Aussenac, G. (1996b). Are ecophysiological responses influenced by crown position in cork-oak? In "Ecology and physiology of oaks in a changing environment. Selected papers from an International Symposium, held September 1994 at Nancy, France. Annales des Sciences Forestieres. 1996, 53: 2 3, 235 241; 12 ref."
- Oliver, C. D. e Larson, B. C. (1996). "Forest stand dynamics: updated edition," John Wiley and Sons, New York, xviii + 520 pp.
- Opie, J. E. (1968). Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area.

- Otieno, D., Kurz-Besson, C., Liu, J., Schmidt, M., Lobo do Vale, R., David, T. S., Siegwolf, R., Pereira, J. S. e Tenhunen, J. (2006). Seasonal Variations in Soil and Plant Water Status in a *Quercus suber* L. Stand: Roots as Determinants of Tree Productivity and Survival in the Mediterranean-type Ecosystem. *Plant and Soil* **283**, 119–135.
- Paulsen, J. C. (1795). "Kurze praktische Anleitung zum Forstwesen. Verfaßt von einem Forstmanne.," Detmold, hrsg. von Kammerrat G.F. Führer, 152 pp.
- Pelz, D. R., Fries, J., Burkhart, H. E. e Max, T. X. (1978). "Estimating individual tree growth [of *Liriodendron tulipifera*] with tree polygons," Estimating individual tree growth [of *Liriodendron tulipifera*] with tree polygons. School of Forestry and Wildlife Resources., Blacksburg, Virginia.
- Penridge, L. K. e Walker, J. (1986). Effect of neighbouring trees on eucalypt growth in a semi-arid woodland in Australia. *Journal of Ecology*, UK **74**, 925-936.
- Penttinen, A., Stogan, D. e Henttonen, H. M. (1992). Marked point processes in forest statistics. *Forest Science* **38**, 806-824.
- Pereira, J. M. C., Tome, M., Carreiras, J. M. B., Tomé, J. A., Pereira, J. S., David, J. S. e Fabiao, A. M. D. (1997). Leaf area estimation from tree allometrics in *Eucalyptus globulus* plantations. *Canadian Journal of Forest Research* **27**, 166-173.
- Perkins, D. L. e Roberts, D. W. (2003). Predictive models of whitebark pine mortality from mountain pine beetle. *Forest Ecology and Management* **174**, 495-510.
- Perry, D. A. (1985). "The competition process in forest stands," Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik; UK, 592 pp.
- Philip, M. S. (1994). "Measuring trees and forests," CAB International, Wallingford, xiv + 310 pp.
- Piqué, F. J. V. (2002). Modelos preditivos de produção de cortiça e detecção precoce da qualidade. Dissertação para obtenção de grau de doutor, ISA, Lisboa. 336 pp.
- Pretzsch, H. (1992a). Growth models for mixed stands as a challenge for forest growth research. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **111**, 87-105.
- Pretzsch, H. (1992b). "Konzeption und konstruktion von wuchsmodellen für rein und mishbestände.," Ludwig-Maximilians-Universität München, Munique, 332 pp.
- Pretzsch, H. (1993). "Analysis and reproduction of spatial stand structures: trials with the STRUGEN structure-generator," Analysis and reproduction of spatial stand structures: trials with the STRUGEN structure-generator Rep. N^o. 114. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt am Main.
- Pretzsch, H. (1995). On the effect of the spatial distribution of trees on stand growth. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **166**, 190-201.
- Pretzsch, H. (1998). Models for pure and mixed forests. In "Natural and socioeconomic analysis and modelling of forest agroforestry systems in Southeast Asia." (E. Mies, ed.), pp. 183. German Foundation for International Development, Zschortau, Germany.
- Pretzsch, H., Biber, P. e Dursky, J. (2002). The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* **162**, 3-21.
- Pretzsch, H. e Kahn, M. (1996). Modelling growth of Bavarian mixed stands in a changing environment. In "Caring for the forest: research in a changing world" (E. Korpilahti, H. Mikkela and T. Salonen, eds.), Vol. 2, pp. 234-248. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat; Wien; Austria, Tampere, Finland.
- Pukkala, T. (1989). Methods to describe the competition process in a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* **4**, 187-202.
- Pukkala, T. e Kolstrom, T. (1987). Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* **21**, 55-67.
- Pukkala, T. e Miina, J. (1997). A method for stochastic multiobjective optimization of stand management. *Forest Ecology and Management* **98**, 189-203.

- Ratkowsky, D. A. (1990). "Handbook of nonlinear regression models," Marcel Dekker, Inc., New York, 241 pp.
- Rauscher, H. M. (1999). Ecosystem management decision support for federal forests in United States: A review^{1,2}. *Forest Ecology and Management* **114**, 173-197.
- Reed, K. L. (1980). An ecological approach to modeling growth of forest trees. *Forest Science* **26**, 33-50.
- Ribeiro, F. e Tomé, M. (2002). Cork weight prediction at tree level. *Forest Ecology and Management* **171**, 231-241.
- Ribeiro, N. A. (1995). Dendrometria e inventário do sobreiro: Modelação e análise do potencial produtivo de um povoamento na região de Coruche. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa. 122 pp.
- Ribeiro, N. A., Dias, S., Surový, P., Gonçalves, A. C., G., F. A. e C., O. A. (2004). The Importance Of Crown Cover On The Sustainability Of Cork Oak Stands. A Simulation Approach. *Advances In Geoecology* **37**, 275-286.
- Ribeiro, N. A., Gonçalves, A. C., Dias, S., Afonso, T. e Ferreira, A. G. (2003). Multilevel monitoring system for cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. Corona, P., Köhl, M., Marchetti. In "Advances in Forest Inventory for Sustainable Forest Management and Biodiversity Monitoring" (P. Corona, M. Köhl and M. Marchetti, eds.), pp. 395-404. Kluwer Academic Publishers, Dordrech.
- Ribeiro, N. A., Oliveira, A. C., Surovy, P. e Pretzsch, H. (2002). Simulation and sustainability of cork oak stands. In "Modelling forest systems Workshop on the interface between reality, modelling and the parameter estimation processes, Sesimbra, Portugal" (A. Amaro, D. Reed and P. Soares, eds.), pp. 259-266. CABI Publishing, Cambridge.
- Ribeiro, N. A., Surovy, P. e Oliveira, A. C. (2006). Modeling Cork Oak. In "Sustainable Forest Management. Growth Models for Europe" (H. Hasenauer, ed.), pp. 285-313. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Rouvinen, S. e Kuuluvainen, T. (1997). Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* **27**, 890-902.
- Sen, A. e Srivastava, M. (1990). "Regression Analysis. Theory, Methods, and Applications," Spinger-Verlag, New York, 347 pp.
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J. e Ashton, P. M. S. (1997). "The practice of silviculture: applied forest ecology," John Wiley and Sons, Inc., New York, xvii + 537 pp.
- Soares, P. (1995). Competição intraespecífica em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill.. Uma aplicação de índices de competição dependentes da distância. Dissertação para obtenção de grau de Mestre, ISA, Lisboa. 205 pp.
- Soares, P. (1999). Modelação do crescimento da árvore em eucaliptais em 1ª rotação localizados nas regiões Norte e Centro Litotral. Dissertação para obtenção de grau de doutor, ISA, Lisboa. 369 pp.
- Soares, P. e Tomé, M. (2002). GLOBTREE: an individual tree growth model for *Eucalyptus globulus* in Portugal. *Modelling forest systems Workshop on the interface between reality, modelling and the parameter estimation processes, Sesimbra, Portugal*, 97-110.
- Soares, P., Tomé, M., Skovsgaard, J. P. e Vanclay, J. K. (1995). Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. *Forest Ecology and Management* **71: 3**, 251-265.
- Spurr, S. H. (1962). A measure of point density. *Forest Science* **8**, 85-96.
- Stern, K. (1969). Genetics research on competition in stands.
- Stiell, W. M. (1970). Some competitive relations in a Red Pine plantation.
- Tomé, M. e Burkhart, H. E. (1989). Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science* **35**, 816-831.

- Tomé, M., Coelho, M. B., Almeida, A. e Lopes, F. (2001). "O modelo SUBER. Estrutura e equações utilizadas," Relatórios técnico-científicos do GIMREF Rep. N^o. 2. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Tomé, M. e Paulo, J. A. (2005). Gestão de Montados de Sobro Apoiada em Inventário Florestal e no Modelo SUBER. In "5^o Congresso Florestal Nacional - A Floresta e as Gentes". (Formato digital), Instituto Politécnico de Viseu.
- Tomppo, E. (1986). Models and methods for analysing spatial patterns of trees. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* **138**, 65pp.
- Torres, E. (1995). Estudio de los principales problemas selvícolas de los alcornocales de macizo del Aljibe (Cádiz y Málaga). Tesis Doutoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 401 pp.
- Valsta, L. T. (1992). A scenario approach to stochastic anticipatory optimization in stand management. *Forest Science* **38**, 430-447.
- Vanclay, J. K. (1994). "Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests," CAB INTERNATIONAL, Wallingford, xvii + 312 pp.
- Vanclay, J. K. (1995). Growth models for tropical forests: a synthesis of models and methods. *Forest Science* **41**, 7-42.
- Vanclay, J. K. e Skovsgaard, J. P. (1997). Evaluating forest growth models. *Ecological Modelling* **98**, 1-12.
- Vanclay, J. K., Skovsgaard, J. P., Hansen, C. P. e et al. (1995). Assessing the quality of permanent sample plot databases for growth modelling in forest plantations. In "Growth and yield estimation from successive forest inventories. Selected papers from the IUFRO Conference, held in Copenhagen, 14 17 June 1993. Forest Ecology and Management. 1995, 71: 3, 177 186; 22 ref."
- Vries, P. G. (1986). "Sampling theory for forest inventory. A teach-yourself course," Springer-Verlag, Berlin, 399 pp.
- Weiner, J. (1990). Asymmetric competition in plant populations. *Trends Ecol. Evol.* **5**, 360-364.
- West, P. W. (1981). Simulation of diameter growth and mortality in regrowth eucalypt forest of southern Tasmania. *Forest Science* **27**, 603-616.
- Wilkinson, L. (1989). Nonlinear Estimation in SYSTAT. Computing Science and Statistics. In "21st Symposium on the Interface", pp. 402-404.
- Wu, H.-I., Sharpe, P. J. H., Walker, J. e Pendridge, L. K. (1985). Ecological field theory: A spatial analysis of resource interference among plants. *Ecological Modelling* **29**, 215-243.
- Wykoff, W. R., Crookston, N. L. e Stage, A. R. (1982). User's guide to the stand prognosis model. *General Technical Report, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service*, iii + 112 pp.
- York, R. A., Battles, J. J. e Heald, R. C. (2003). Edge effects in mixed conifer group selection openings: tree height response to resource gradients. *Forest Ecology and Management* **179**, 107-121.
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest Science* **39**, 594-616.
- Zeide, B. e Vanderschaaf, C. (2002). The effect of density on the height-diameter relationship. *General Technical Report Southern Research Station, USDA Forest Service* **48**, 463-466.
- Zwolinski, J. B., Donald, D. G. M., Laar, A. v. e Groenewald, W. H. (1994). Regeneration procedures of *Pinus radiata* in the southern Cape Province. Part V: post planting mortality and growth of trees in response to the experimental treatments and planting site environment. *South African Forestry Journal* **168**, 7-21.

Anexo 1

Lista de limitações do solo e classificação binária (Solo:0,1) criada com base na lei dos mínimos

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
A	Drenagem externa	1	Pmg(p)	B argilico	1
A(a)	Drenagem externa	1	Pmg(p)	B argilico	1
A(a,h,p)	Drenagem interna	1	Pmh	Drenagem interna	1
A(fh)	Drenagem interna	1	Pmh(a)	Drenagem interna	1
A(fi)	Drenagem externa	1	Pmh(i)	Drenagem interna	1
A(h)	Drenagem interna	1	Pmh(p)	Drenagem interna	1
A(h,i)	Drenagem interna	1	Pmm	Solo desconhecido	1
A(h,p)	Drenagem interna	1	Pmn	B argilico	1
A(i)	Drenagem externa	1	Pmn(a)	B argilico	1
A(i,h)	Drenagem interna	1	Pmn(d)	B argilico	1
A(i,p)	Drenagem externa	1	Pmn(d,p)	B argilico	1
A(p)	Drenagem externa	1	Pmn(e)	B argilico	1
A(p,h)	Drenagem interna	1	Pmn(fd)	B argilico	1
A(p,i)	Drenagem externa	1	Pmn(fp)	B argilico	1
Aa	Drenagem externa	1	Pmn(h)	Drenagem interna	1
Aa(a)	Drenagem externa	1	Pmn(h,p)	Drenagem interna	1
Aa(h)	Drenagem interna	1	Pmn(p)	B argilico	1
Aa(h,i)	Drenagem interna	1	Pn(d)	Solo desconhecido	1
Aa(h,p)	Drenagem interna	1	Png(d)	Solo desconhecido	1
Aa(i)	Drenagem externa	1	Pnn(d)	Solo desconhecido	1
Aa(i,p)	Drenagem externa	1	Ppa	Solo desconhecido	1
Aac	Drenagem externa	1	Ppd(d)	Solo desconhecido	1
Aac(h)	Drenagem interna	1	Ppg	Sem limitacao	0
Aac(i)	Drenagem externa	1	Ppg(a)	Sem limitacao	0
Aac(p)	Drenagem externa	1	Ppg(d)	Sem limitacao	0
Ac	Drenagem externa	1	Ppg(d,h)	Drenagem interna	1
Ac(h)	Drenagem interna	1	Ppg(d,p)	Sem limitacao	0
Ac(h,i)	Drenagem interna	1	Ppg(g)	Sem limitacao	0
Ac(i)	Drenagem externa	1	Ppg(h)	Drenagem interna	1
Ag	Solo desconhecido	1	Ppg(h,p)	Drenagem interna	1
Ah	Solo desconhecido	1	Ppg(p)	Sem limitacao	0
Al	Drenagem externa	1	Ppgn(d)	Solo desconhecido	1
Al(a)	Drenagem externa	1	Ppm	Sem limitacao	0
Al(a,h)	Drenagem interna	1	Ppm(a)	Sem limitacao	0
Al(fh)	Drenagem interna	1	Ppm(d)	Sem limitacao	0
Al(h)	Drenagem interna	1	Ppm(p)	Sem limitacao	0
Al(h,a)	Drenagem interna	1	ppm(p)	Sem limitacao	0
Al(h,i)	Drenagem interna	1	Ppn	Sem limitacao	0
Al(h,p)	Drenagem interna	1	Ppn	Sem limitacao	0
Al(h,p,i)	Drenagem interna	1	Ppn(a)	Sem limitacao	0
Al(i)	Drenagem externa	1	Ppn(d)	Sem limitacao	0
Al(i,p)	Drenagem externa	1	Ppn(d,p)	Sem limitacao	0
Al(p)	Drenagem externa	1	Ppn(d,p)	Sem limitacao	0
Al(p,i)	Drenagem externa	1	Ppn(p)	Sem limitacao	0
Alc	Drenagem externa	1	Ppn(p)	Sem limitacao	0
Alc(i)	Drenagem externa	1	Ppn(p,a)	Sem limitacao	0

Anexo 1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Alt	Solo desconhecido	1	Ppq	Sem limitacao	0
Ap	Sem limitacao	0	Ppq(a)	Sem limitacao	0
Ap(a)	Sem limitacao	0	Ppq(d)	Sem limitacao	0
Ap(h)	Drenagem interna	1	Ppq(d,p)	Sem limitacao	0
Ap(p)	Sem limitacao	0	Ppq(p)	Sem limitacao	0
Apg	Solo desconhecido	1	Ppr	Sem limitacao	0
Aph	Drenagem interna	1	Ppr	Sem limitacao	0
Aph(a)	Drenagem interna	1	Ppr(a)	Sem limitacao	0
Apr	Sem limitacao	0	Ppr(h)	Drenagem interna	1
Apr(a)	Sem limitacao	0	Ppr(h,a)	Drenagem interna	1
Apr(h)	Drenagem interna	1	Ppr(h,p)	Drenagem interna	1
Apr(h,p)	Drenagem interna	1	Ppr(p)	Sem limitacao	0
Apr(p)	Sem limitacao	0	Ppr(p)	Sem limitacao	0
Apr(p,a)	Sem limitacao	0	Ppr(p,a)	Sem limitacao	0
Arb	Afloramento rochoso	1	Ppt	Sem limitacao	0
Arc	Afloramento rochoso	1	Ppt	Sem limitacao	0
Arct	Afloramento rochoso	1	Ppt(a)	Sem limitacao	0
Arcx	Afloramento rochoso	1	Ppt(d,p)	Sem limitacao	0
Ard	Afloramento rochoso	1	Ppt(e)	Sem limitacao	0
Arg	Afloramento rochoso	1	Ppt(e)	Sem limitacao	0
Argg	Solo desconhecido	1	Ppt(e,a)	Sem limitacao	0
Argn	Afloramento rochoso	1	Ppt(e,p)	Sem limitacao	0
Arm	Afloramento rochoso	1	Ppt(h)	Drenagem interna	1
Arp	Afloramento rochoso	1	Ppt(h,p)	Drenagem interna	1
Arq	Afloramento rochoso	1	Ppt(p)	Sem limitacao	0
Arq	Afloramento rochoso	1	Ppt(p)	Sem limitacao	0
Art	Afloramento rochoso	1	Ppt(p,a)	Sem limitacao	0
Arx	Afloramento rochoso	1	Pptp)	Solo desconhecido	1
Arx(d,p)	Afloramento rochoso	1	Ppx	B argilico	1
As	Salinidade	1	Ppx(d)	B argilico	1
As(fh)	Drenagem interna	1	Ppx(p)	B argilico	1
As(h)	Drenagem interna	1	Pq(p)	Sem limitacao	0
As(i)	Drenagem externa	1	Pqx	B argilico	1
As(p)	Salinidade	1	Pqx(a)	B argilico	1
Asa	Salinidade	1	Pqx(p)	B argilico	1
Asa(a)	Salinidade	1	Pr	Solo desconhecido	1
Asa(h)	Drenagem interna	1	Ps	Drenagem interna	1
Asa(h,i)	Drenagem interna	1	Ps(i,p)	Drenagem interna	1
Asa(i)	Drenagem externa	1	Ps(p)	Drenagem interna	1
Asl	Salinidade	1	Pt	Sem limitacao	0
Asl(h)	Drenagem interna	1	Ptc	Sem limitacao	0
Asl(h,i)	Drenagem interna	1	Pux(p)	Sem limitacao	0
ASoc	Area Social	1	Pv	Profundidade expansiv	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Ass	Drenagem interna	1	Pv(a)	Profundidade expansiv	1
Ass(h)	Drenagem interna	1	Pv(a,d)	Profundidade expansiv	1
Assa(h)	Drenagem interna	1	Pv(d)	Profundidade expansiv	1
Assa(h,i)	Drenagem interna	1	Pv(d,a)	Profundidade expansiv	1
At	Drenagem externa	1	Pv(d,h)	Drenagem interna	1
At(a)	Drenagem externa	1	Pv(d,p)	Profundidade expansiv	1
At(h)	Drenagem interna	1	Pv(e)	Profundidade expansiv	1
At(h,p)	Drenagem interna	1	Pv(e,h)	Drenagem interna	1
At(i)	Drenagem externa	1	Pv(h)	Drenagem interna	1
At(p)	Drenagem externa	1	Pv(h,p)	Drenagem interna	1
Ata	Drenagem externa	1	Pv(p)	Profundidade expansiv	1
Ata(h)	Drenagem interna	1	Pvc	Profundidade expansiv	1
Atac	Drenagem externa	1	Pvc(p)	Profundidade expansiv	1
Atac(a)	Drenagem externa	1	Pvd	Sem limitacao	0
Atac(h)	Drenagem interna	1	Pvg	Solo desconhecido	1
Atc	Drenagem externa	1	Pvl	Profundidade expansiv	1
Atl	Drenagem externa	1	Pvl(a)	Profundidade expansiv	1
Atl(a)	Drenagem externa	1	Pvl(d)	Profundidade expansiv	1
Atl(h)	Drenagem interna	1	Pvl(d,p)	Profundidade expansiv	1
Atl(h,p)	Drenagem interna	1	pvl(p)	Profundidade expansiv	1
Atl(p)	Drenagem externa	1	Pvl(p)	Profundidade expansiv	1
Atx	Solo desconhecido	1	Pvx	Profundidade expansiv	1
Au	Drenagem externa	1	Pvx(h)	Drenagem interna	1
Axr	Solo desconhecido	1	Pvx(p)	Profundidade expansiv	1
Bp	Caracteristicas verti	1	Px	B argilico	1
Bp(a)	Caracteristicas verti	1	Px(a)	B argilico	1
Bp(d)	Espessura efectiva	1	Px(a,d)	B argilico	1
Bp(h)	Drenagem interna	1	Px(a,p)	B argilico	1
Bp(p)	Caracteristicas verti	1	Px(d)	B argilico	1
Bpc	Caracteristicas verti	1	Px(d,a)	B argilico	1
Bpc(d)	Espessura efectiva	1	Px(d,h)	Drenagem interna	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Bpc(h)	Drenagem interna	1	Px(d,p)	B argilico	1
Bpc(p)	Caracteristicas verti	1	Px(e)	B argilico	1
Br	Solo desconhecido	1	Px(e,h)	Drenagem interna	1
Bs	Solo desconhecido	1	Px(fd)	B argilico	1
Bvc	Caracteristicas verti	1	Px(fd,fp)	B argilico	1
Bvc(a)	Caracteristicas verti	1	Px(fh)	Drenagem interna	1
Bvc(e)	Caracteristicas verti	1	Px(fp)	B argilico	1
Bvc(h)	Drenagem interna	1	Px(h)	Drenagem interna	1
Bvc(p)	Caracteristicas verti	1	Px(h,p)	Drenagem interna	1
Bvg	Solo desconhecido	1	Px(p)	B argilico	1
Ca	Drenagem interna	1	Pxc	Solo desconhecido	1
Ca(a)	Sem limitacao	0	Pxr	B argilico	1
Ca(a,i)	Drenagem externa	1	Pxr(h,p)	Drenagem interna	1
Ca(fa)	Sem limitacao	0	Pxr(p)	B argilico	1
Ca(i)	Drenagem externa	1	Pxz(d)	Solo desconhecido	1
Ca(p)	Sem limitacao	0	Pz	Sem limitacao	0
Ca(p,a)	Sem limitacao	0	Pz	Sem limitacao	0
Caa	Sem limitacao	0	Pz(a)	Sem limitacao	0
Caa(a)	Sem limitacao	0	Pz(h)	Drenagem interna	1
Caa(i)	Drenagem externa	1	Pz(p)	Sem limitacao	0
Caac	Sem limitacao	0	Pzh	Drenagem interna	1
Caac(i)	Drenagem externa	1	Pzh(p)	Drenagem interna	1
Caal	Solo desconhecido	1	Rag	Solo desconhecido	1
Cac	Drenagem interna	1	Rg	Armazenamento de agua	1
Cac(a)	Sem limitacao	0	Rg(p)	Armazenamento de agua	1
Cac(i)	Drenagem externa	1	Rgc	Drenagem interna	1
Cal	Drenagem interna	1	Rgc(a)	Sem limitacao	0
Cal(a)	Drenagem interna	1	Rgc(fa)	Sem limitacao	0
Cal(i)	Drenagem interna	1	Rmg	Sem limitacao	0
Cal(p)	Drenagem interna	1	Sag	Drenagem interna	1
Cal(p,a)	Drenagem interna	1	Sag(p)	Drenagem interna	1
Calc	Sem limitacao	0	Sah	Drenagem interna	1
Cat	Solo desconhecido	1	Sah(p)	Drenagem interna	1
Cb	Caracteristicas verti	1	Sb	Drenagem externa	1
Cb(a)	Caracteristicas verti	1	Sb(a)	Drenagem externa	1
Cb(d)	Caracteristicas verti	1	Sb(a,h)	Drenagem interna	1
Cb(d,p)	Caracteristicas verti	1	Sb(a,p)	Drenagem externa	1
Cb(p)	Caracteristicas verti	1	Sb(b)	Solo desconhecido	1
Cbc	Caracteristicas verti	1	Sb(d)	Drenagem externa	1
Cbc(d)	Espessura efectiva	1	Sb(fh)	Drenagem interna	1
Cbc(d,p)	Espessura efectiva	1	Sb(fp)	Drenagem externa	1
Cd	Drenagem interna	1	Sb(h)	Drenagem interna	1
Cd(a)	Drenagem interna	1	Sb(h,a)	Drenagem interna	1
Cd(d)	Espessura efectiva	1	Sb(h,p)	Drenagem interna	1
Cp	Caracteristicas verti	1	Sb(i)	Drenagem externa	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Cp(d)	Espessura efectiva	1	Sb(p)	Drenagem externa	1
Cp(h)	Drenagem interna	1	Sba	Drenagem externa	1
Cp(p)	Caracteristicas verti	1	Sba(a,h)	Drenagem interna	1
Cpc	Caracteristicas verti	1	Sba(h)	Drenagem interna	1
Cpc(h)	Drenagem interna	1	Sba(i,h)	Drenagem interna	1
Cpv	Caracteristicas verti	1	Sbac	Drenagem externa	1
Cpv(h)	Drenagem interna	1	Sbac(a)	Drenagem externa	1
Eb	Espessura efectiva	1	Sbac(h)	Drenagem interna	1
Ec	Espessura efectiva	1	Sbac(i)	Drenagem externa	1
Ect	Solo desconhecido	1	Sbc	Drenagem externa	1
Ed	Espessura efectiva	1	Sbc(a)	Drenagem externa	1
Eg	Espessura efectiva	1	Sbc(h)	Drenagem interna	1
Egn	Espessura efectiva	1	Sbc(p)	Drenagem externa	1
Egn(fp)	Espessura efectiva	1	Sbl	Drenagem externa	1
Egn(p)	Espessura efectiva	1	Sbl(a)	Drenagem externa	1
Ep	Espessura efectiva	1	Sbl(a,h)	Drenagem interna	1
Epx	Solo desconhecido	1	Sbl(a,p)	Drenagem externa	1
Eq	Espessura efectiva	1	Sbl(fh)	Drenagem interna	1
Et	Profundidade expansiv	1	Sbl(h)	Drenagem interna	1
Et(p)	Profundidade expansiv	1	Sbl(h,p)	Drenagem interna	1
Ex	Profundidade expansiv	1	Sbl(p)	Drenagem externa	1
Ex(d)	Profundidade expansiv	1	Sblc(h)	Drenagem interna	1
Ex(p)	Profundidade expansiv	1	Sblu	Drenagem externa	1
Ex(p,a)	Profundidade expansiv	1	Sblu(a)	Drenagem externa	1
Exp(p)	Solo desconhecido	1	Sblu(h)	Drenagem interna	1
F	Solo desconhecido	1	Sblu(h,a)	Drenagem interna	1
Ga	Solo desconhecido	1	Sblu(h,p)	Drenagem interna	1
Mng	Sem limitacao	0	Sblu(p)	Drenagem externa	1
Mnga	Sem limitacao	0	Sblu(p,a)	Drenagem externa	1
Mnq(p)	Sem limitacao	0	Scv	Sem limitacao	0
Mnqx(p)	Sem limitacao	0	Scv(a)	Sem limitacao	0
Mnr	Sem limitacao	0	Scv(h)	Drenagem interna	1
Mnr(h,p)	Drenagem interna	1	Scv(p)	Sem limitacao	0
Mnr(p)	Sem limitacao	0	Sg	Drenagem interna	1
Mnt	Sem limitacao	0	Sg(a)	Drenagem interna	1
Mnt(a)	Sem limitacao	0	Sg(p)	Drenagem interna	1
Mnt(p)	Sem limitacao	0	Sp	Sem limitacao	0
Mnt(p,a)	Sem limitacao	0	Sp(a)	Sem limitacao	0
Mnx(p)	Sem limitacao	0	Sp(fa)	Sem limitacao	0
NULL	Solo desconhecido	1	Sp(h)	Drenagem interna	1
null	Solo desconhecido	1	Sp(p)	Sem limitacao	0

Anexo 1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
P(p)	Solo desconhecido	1	Spq	Sem limitacao	0
Pa	B argilico	1	Spq(a)	Sem limitacao	0
Pa(e)	B argilico	1	Spqx	B argilico	1
Pac	B argilico	1	Spqx(p)	B argilico	1
Pac(a)	B argilico	1	Sq(p)	Sem limitacao	0
Pac(a,h)	Drenagem interna	1	Sq(p,a)	Sem limitacao	0
Pac(d)	B argilico	1	Sr	Profundidade expansiv	1
Pac(d,p)	B argilico	1	Sr(a)	Profundidade expansiv	1
Pac(e)	B argilico	1	Sr(d)	Profundidade expansiv	1
Pac(h)	Drenagem interna	1	Sr(e,p)	Profundidade expansiv	1
Pac(h,p)	Drenagem interna	1	Sr(fp)	Profundidade expansiv	1
Pac(p)	B argilico	1	Sr(h)	Drenagem interna	1
Pad	Solo desconhecido	1	Sr(h,p)	Drenagem interna	1
Pag	Drenagem interna	1	Sr(p)	Profundidade expansiv	1
Pag(a)	Drenagem interna	1	Sr(p,h)	Drenagem interna	1
Pag(a,h)	Drenagem interna	1	Sr*	Profundidade expansiv	1
Pag(d)	Drenagem interna	1	Sr*(d)	Profundidade expansiv	1
Pag(d,p)	Drenagem interna	1	Sr*(h)	Drenagem interna	1
Pag(e)	Drenagem interna	1	Sr*(p)	Profundidade expansiv	1
Pag(e,h)	Drenagem interna	1	Srt	Profundidade expansiv	1
Pag(fp)	Drenagem interna	1	Srt(a)	Profundidade expansiv	1
Pag(h)	Drenagem interna	1	Srt(a,p)	Profundidade expansiv	1
Pag(p)	Drenagem interna	1	Srt(d)	Profundidade expansiv	1
Pag(p,d)	Drenagem interna	1	Srt(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pagn	Drenagem interna	1	Srt(h)	Drenagem interna	1
Pagn(d)	Espessura efectiva	1	Srt(h,p)	Drenagem interna	1
Pagn(p)	Drenagem interna	1	Srt(p)	Profundidade expansiv	1
Pagn(p)	Drenagem interna	1	Srth	Drenagem interna	1
Pagp	Sem limitacao	0	Srth(a,p)	Drenagem interna	1
Pagp(a)	Sem limitacao	0	Srth(p)	Drenagem interna	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Pagp(p)	Sem limitacao	0	Surt	Profundidade expansiv	1
Pagx	Drenagem interna	1	Surt(a)	Profundidade expansiv	1
Pagx(e)	Drenagem interna	1	Surt(h)	Drenagem interna	1
Pagx(p)	Drenagem interna	1	Surt(p)	Profundidade expansiv	1
Par	Sem limitacao	0	Surt(p,a)	Profundidade expansiv	1
Par(a)	Sem limitacao	0	Sv	Solo desconhecido	1
Par(d)	Sem limitacao	0	Svc	Profundidade expansiv	1
Par(d,p)	Sem limitacao	0	Svc(h)	Drenagem interna	1
Par(h)	Drenagem interna	1	Svqx	Profundidade expansiv	1
Par(h,a)	Drenagem interna	1	Svqx(p)	Profundidade expansiv	1
Par(h,p)	Drenagem interna	1	Sx(d)	Solo desconhecido	1
Par(p)	Sem limitacao	0	Va	Profundidade expansiv	1
Par(p,a)	Sem limitacao	0	Vac	Calcario	1
Par*	Sem limitacao	0	Vac(a)	Calcario	1
Par*(h,p)	Drenagem interna	1	Vag	Drenagem interna	1
Par*(p)	Sem limitacao	0	Vag(p)	Drenagem interna	1
Pat	B argilico	1	Vagn	Profundidade expansiv	1
Pat(d)	B argilico	1	Vagn(a)	Profundidade expansiv	1
Pat(d,p)	B argilico	1	Vagn(p)	Profundidade expansiv	1
Pat(p)	B argilico	1	Vat	Sem limitacao	0
Pax(p)	Solo desconhecido	1	Vc	Calcario	1
Pb	Drenagem interna	1	Vc'	Sem limitacao	0
Pb(d)	Drenagem interna	1	Vc'	Sem limitacao	0
Pb(d,p)	Drenagem interna	1	Vc(d)	Calcario	1
Pbc	B argilico	1	Vc'(d)	Sem limitacao	0
Pbc(h)	Drenagem interna	1	Vc(d,p)	Calcario	1
Pbc(p)	B argilico	1	Vc'(d,p)	Sem limitacao	0
Pbx	Solo desconhecido	1	Vc'(h)	Drenagem interna	1
Pc	Calcario	1	Vc(p)	Calcario	1
Pc'	Calcario	1	Vc'(p)	Sem limitacao	0
Pc(a)	Calcario	1	Vca	Solo desconhecido	1
Pc'(a)	Calcario	1	Vcc	Profundidade expansiv	1
Pc(d)	Calcario	1	Vcc(a)	Profundidade expansiv	1
Pc'(d)	Calcario	1	Vcc(d)	Profundidade expansiv	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Pc(d,p)	Calcario	1	Vcc(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pc'(d,p)	Calcario	1	Vcc(fh)	Profundidade expansiv	1
Pc(h)	Drenagem interna	1	Vcc(fp)	Profundidade expansiv	1
Pc(p)	Calcario	1	Vcc(p)	Profundidade expansiv	1
Pc'(p)	Calcario	1	Vcd	Profundidade expansiv	1
Pca	Calcario	1	Vcd(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pcd	Profundidade expansiv	1	Vcd(p)	Profundidade expansiv	1
Pcd(h)	Drenagem interna	1	Vcm	Profundidade expansiv	1
Pcg	Calcario	1	Vcm(a)	Profundidade expansiv	1
Pcg(a)	Calcario	1	Vcm(d)	Espessura efectiva	1
Pcg(d)	Calcario	1	Vcm(h)	Drenagem interna	1
Pcg(d,p)	Calcario	1	Vcm(p)	Profundidade expansiv	1
Pcg(h)	Drenagem interna	1	Vcp	Solo desconhecido	1
Pcg(p)	Calcario	1	Vcr	Calcario	1
Pcr	Sem limitacao	0	Vcr(p)	Calcario	1
Pcr(p)	Sem limitacao	0	Vcs	Sem limitacao	0
Pcs	Calcario	1	Vct	Calcario	1
Pcs(d)	Calcario	1	Vct(a)	Calcario	1
Pct	Calcario	1	Vct(a,h)	Drenagem interna	1
Pct(a)	Calcario	1	Vct(d)	Calcario	1
Pct(d)	Calcario	1	Vct(p)	Calcario	1
Pct(p)	Calcario	1	Vcv	Profundidade expansiv	1
Pcx	Calcario	1	Vcv(a)	Profundidade expansiv	1
Pcx(a)	Calcario	1	Vcv(d)	Profundidade expansiv	1
Pcx(d)	Calcario	1	Vcv(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pcx(d,p)	Calcario	1	Vcv(p)	Profundidade expansiv	1
Pcx(fd)	Calcario	1	Vcx	Calcario	1
Pcx(p)	Calcario	1	Vcx(a)	Calcario	1
Pcz	Drenagem interna	1	Vcx(d)	Calcario	1
Pd	Solo desconhecido	1	Vcx(fd)	Calcario	1
Pdc	Drenagem interna	1	Vcx(p)	Calcario	1
Pdc(a)	Drenagem interna	1	Vdc	Drenagem interna	1
Pdc(d)	Drenagem interna	1	Vdc(p)	Drenagem interna	1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Pdc(p)	Drenagem interna	1	Vdg	Drenagem interna	1
Pdg	Drenagem interna	1	Vdg(a)	Sem limitacao	0
Pdg(a)	Drenagem interna	1	Vdg(p)	Drenagem interna	1
Pdg(d)	Drenagem interna	1	Vf	Sem limitacao	0
Pdg(d,p)	Espessura efectiva	1	Vf(d)	Sem limitacao	0
Pdg(p)	Drenagem interna	1	Vf(d,p)	Sem limitacao	0
Pdg(p,a)	Drenagem interna	1	Vf(e,p)	Sem limitacao	0
Pdg(p,h)	Drenagem interna	1	Vf(p)	Sem limitacao	0
Pe	Solo desconhecido	1	Vgd	Solo desconhecido	1
Pg	Drenagem interna	1	Vgd(a)	Solo desconhecido	1
Pg'	Solo desconhecido	1	Vgm	Sem limitacao	0
Pg(a)	Sem limitacao	0	Vgn	Profundidade expansiv	1
Pg(a)	Sem limitacao	0	Vgn(a)	Profundidade expansiv	1
Pg(a,h)	Drenagem interna	1	Vgn(d)	Profundidade expansiv	1
Pg(d)	Drenagem interna	1	Vgn(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pg(d,h)	Drenagem interna	1	Vgn(dp)	Profundidade expansiv	1
Pg(d,p)	Drenagem interna	1	Vgn(e)	Profundidade expansiv	1
Pg(e)	Drenagem interna	1	Vgn(fd)	Profundidade expansiv	1
Pg(e,h)	Drenagem interna	1	Vgn(fd,fp)	Profundidade expansiv	1
Pg(e,p)	Drenagem interna	1	Vgn(fp)	Profundidade expansiv	1
Pg(fd)	Drenagem interna	1	Vgn(p)	Profundidade expansiv	1
Pg(fd,fp)	Drenagem interna	1	VI	Sem limitacao	0
Pg(fp)	Drenagem interna	1	VI(h)	Drenagem interna	1
Pg(h)	Drenagem interna	1	VI(p)	Sem limitacao	0
Pg(h,p)	Drenagem interna	1	Vm	Profundidade expansiv	1
Pg(p)	Drenagem interna	1	Vm(a)	Profundidade expansiv	1
Pg(p,a)	Drenagem interna	1	Vm(d)	Profundidade expansiv	1
Pga	Sem limitacao	0	Vm(d)(p)	Profundidade expansiv	1
Pga(d)	Sem limitacao	0	Vm(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pga(d,p)	Sem limitacao	0	Vm(fd)	Profundidade expansiv	1
Pga(p)	Sem limitacao	0	Vm(h)	Drenagem interna	1
Pgd	Solo desconhecido	1	Vm(h,p)	Drenagem interna	1

Anexo 1

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Pgm	Sem limitacao	0	Vm(p)	Profundidade expansiv	1
Pgm(a)	Sem limitacao	0	Vmc	Profundidade expansiv	1
Pgm(d)	Drenagem interna	1	Vmc(d,p)	Profundidade expansiv	1
Pgm(d,p)	Drenagem interna	1	Vmc(p)	Profundidade expansiv	1
Pgm(e,h)	Drenagem interna	1	Vmg	Sem limitacao	0
Pgm(e,p)	Sem limitacao	0	Vmg(d)	Sem limitacao	0
Pgm(fd)	Sem limitacao	0	Vmg(d,p)	Sem limitacao	0
Pgm(fp)	Sem limitacao	0	Vmg(p)	Sem limitacao	0
Pgm(h)	Drenagem interna	1	Vq	Profundidade expansiv	1
Pgm(h,p)	Drenagem interna	1	Vq(d)	Profundidade expansiv	1
Pgm(p)	Sem limitacao	0	Vq(p)	Profundidade expansiv	1
Pgn	B argilico	1	Vqx	Profundidade expansiv	1
Pgn(a)	B argilico	1	Vqx(a)	Profundidade expansiv	1
Pgn(d)	B argilico	1	Vqx(a,p)	Profundidade expansiv	1
Pgn(d)Ex	Solo desconhecido	1	Vqx(p)	Profundidade expansiv	1
Pgn(d,h)	Drenagem interna	1	Vt	Sem limitacao	0
Pgn(d,p)	B argilico	1	VT	Sem limitacao	0
Pgn(e)	B argilico	1	Vt	Sem limitacao	0
Pgn(e,p)	B argilico	1	Vt((p)	Sem limitacao	0
Pgn(fd)	B argilico	1	Vt(a)	Sem limitacao	0
Pgn(fd,fp)	B argilico	1	Vt(a,h)	Drenagem interna	1
Pgn(fe)	B argilico	1	Vt(a,p)	Sem limitacao	0
Pgn(fp)	B argilico	1	Vt(d)	Sem limitacao	0
Pgn(h)	Drenagem interna	1	Vt(d)	Sem limitacao	0
Pgn(p)	B argilico	1	Vt(d,h)	Drenagem interna	1
Pgn(p,d)	B argilico	1	Vt(d,h,p)	Drenagem interna	1
Pgp(p)	Solo desconhecido	1	Vt(d,p)	Sem limitacao	0
Pl	Sem limitacao	0	Vt(d,p)	Sem limitacao	0
Pm	B argilico	1	Vt(e)	Sem limitacao	0
Pm(a)	B argilico	1	Vt(e)	Sem limitacao	0
Pm(a,h)	Drenagem interna	1	Vt(e,h)	Drenagem interna	1
Pm(d)	Espessura efectiva	1	Vt(e,h,p)	Drenagem interna	1
Pm(d)(p)	Espessura efectiva	1	Vt(e,p)	Sem limitacao	0
Pm(d,h)	Drenagem interna	1	Vt(e,p)	Sem limitacao	0
Pm(d,p)	Espessura efectiva	1	Vt(fd)	Sem limitacao	0
Pm(e)	B argilico	1	Vt(fe)	Sem limitacao	0
Pm(fa)	B argilico	1	Vt(fp)	Sem limitacao	0

COD	LIMITACAO	Solo	COD	LIMITACAO	Solo
Pm(fd)	Espessura efectiva	1	Vt(h)	Drenagem interna	1
Pm(fd,fp)	Espessura efectiva	1	Vt(h,p)	Drenagem interna	1
Pm(fp)	B argilico	1	Vt(p)	Sem limitacao	0
Pm(h)	Drenagem interna	1	Vt(p,a)	Sem limitacao	0
Pm(h,a)	Drenagem interna	1	Vt(p,d)	Sem limitacao	0
Pm(h,p)	Drenagem interna	1	Vtc	Sem limitacao	0
Pm(p)	B argilico	1	Vtc(p)	Sem limitacao	0
Pm(p,d)	B argilico	1	Vtr	Profundidade expansiv	1
Pmb	Solo desconhecido	1	Vts	Sem limitacao	0
Pmc	B argilico	1	Vts(a)	Sem limitacao	0
Pmc(d)	B argilico	1	Vts(p)	Sem limitacao	0
Pmc(h)	Drenagem interna	1	Vx	Profundidade expansiv	1
Pmc(p)	B argilico	1	Vx(a)	Profundidade expansiv	1
Pmd	Solo desconhecido	1	Vx(a,d)	Profundidade expansiv	1
Pmg	B argilico	1	Vx(a,p)	Profundidade expansiv	1
Pmg(a)	B argilico	1	Vx(d)	Profundidade expansiv	1
Pmg(a,h)	Drenagem interna	1	Vx(d,h)	Drenagem interna	1
Pmg(d)	B argilico	1	Vx(d,p)	Profundidade expansiv	1
pmg(d)	B argilico	1	Vx(d,p,a)	Profundidade expansiv	1
Pmg(d,p)	B argilico	1	Vx(fd)	Profundidade expansiv	1
Pmg(e)	B argilico	1	Vx(fd,fp)	Profundidade expansiv	1
Pmg(e,h)	Drenagem interna	1	Vx(fp)	Profundidade expansiv	1
Pmg(e,p)	B argilico	1	Vx(h)	Drenagem interna	1
Pmg(fd)	B argilico	1	Vx(p)	Profundidade expansiv	1
Pmg(fd,fp)	B argilico	1	Vxd(d)	Solo desconhecido	1
Pmg(fp)	B argilico	1	Vxr	Profundidade expansiv	1
Pmg(h)	Drenagem interna	1	Vxr(a)	Profundidade expansiv	1
Pmg(h,e)	Drenagem interna	1	Vxr(fp)	Profundidade expansiv	1
Pmg(h,p)	Drenagem interna	1	Vxr(p)	Profundidade expansiv	1

Anexo 2

Tabela 1 – Tabela de correlações de Spearman para a totalidade das árvores medidas em 1995

Spearman's rho	capi	gi	ac	h	cw	h/d
Correlation Coefficient	1,000	1,000**	.882**	.663**	.581**	-.792**
Sig. (2-tailed)			.000	.000	.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628
gi	1,000**	1,000	.882**	.663**	.581**	-.792**
Correlation Coefficient						
Sig. (2-tailed)			.000	.000	.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628
ac	.882**	.882**	1,000	.583**	.507**	-.705**
Correlation Coefficient						
Sig. (2-tailed)				.000	.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628
h	.663**	.663**	.583**	1,000	.736**	-.117**
Correlation Coefficient						
Sig. (2-tailed)					.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628
cw	.581**	.581**	.507**	.736**	1,000	-.187**
Correlation Coefficient						
Sig. (2-tailed)				.000	.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628
h/d	-.792**	-.792**	-.705**	-.117**	-.187**	1,000
Correlation Coefficient						
Sig. (2-tailed)				.000	.000	.000
N	1628	1628	1628	1628	1628	1628

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabela 2 – Tabela de correlações de Spearman para a totalidade das árvores vivas medidas em 2005

	capi	g	ac	h	cw	h/d
Spearman's rho	1.000	1.000**	.875**	.646**	.583**	-.742**
Correlation Coefficient			.000	.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)			1391	1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391
g	1.000**	1.000	.875**	.646**	.583**	-.742**
Correlation Coefficient			.000	.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)			1391	1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391
ac	.875**	.875**	1.000	.512**	.474**	-.735**
Correlation Coefficient				.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)				1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391
h	.646**	.646**	.512**	1.000	.824**	-.123**
Correlation Coefficient			.000	.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)				1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391
cw	.583**	.583**	.474**	.824**	1.000	-.164**
Correlation Coefficient			.000	.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)				1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391
h/d	-.742**	-.742**	-.735**	-.123**	-.164**	1.000
Correlation Coefficient			.000	.000	.000	.000
Sig. (2-tailed)				1391	1391	1391
N	1391	1391	1391	1391	1391	1391

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabela 3 – Tabela de correlações de Spearman para a árvores descortçadas

Spearman's rho	cap1	capf	gl	gf	h	cw	hdt	sg	pcs	pcm2s	cd	idf	H%v	H%h	ef1.3	gc
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	1.000 1220	.986** 1220	1.000** 1220	.988** 1220	.479** 1220	.465** 1220	.774** 1220	.901** 1220	.909** 1220	.140** 1220	-.262** 1220	-.098** 1220	.042 1220	.043 1220	.288** 1220	.836** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.986** 1220	1.000** 1220	.988** 1220	1.000** 1220	.484** 1220	.447** 1220	.793** 1220	.919** 1220	.894** 1220	.039 1220	.288** 1220	-.090** 1220	.005 1220	.006 1220	.142** 1220	.742** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	1.000** 1220	.986** 1220	1.000** 1220	.988** 1220	.479** 1220	.465** 1220	.774** 1220	.901** 1220	.909** 1220	.140** 1220	-.262** 1220	-.098** 1220	.042 1220	.043 1220	.288** 1220	.836** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.986** 1220	1.000** 1220	.988** 1220	1.000** 1220	.484** 1220	.447** 1220	.793** 1220	.919** 1220	.894** 1220	.039 1220	.288** 1220	-.090** 1220	.005 1220	.006 1220	.142** 1220	.742** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.479** 1220	.484** 1220	.479** 1220	.484** 1220	1.000 1220	.671** 1220	.454** 1220	.500** 1220	.474** 1220	.016 1220	.221** 1220	.052 1220	-.005 1220	-.008 1220	.094** 1220	.382** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.465** 1220	.447** 1220	.465** 1220	.447** 1220	.671** 1220	1.000 1220	.305** 1220	.378** 1220	.402** 1220	.133** 1220	.039 1220	-.136** 1220	-.042 1220	-.042 1220	.216** 1220	.444** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.774** 1220	.783** 1220	.774** 1220	.783** 1220	.454** 1220	.305** 1220	1.000 1220	.953** 1220	.893** 1220	-.086** 1220	.784** 1220	.467** 1220	.069** 1220	.068** 1220	.088** 1220	.560** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.901** 1220	.919** 1220	.901** 1220	.919** 1220	.500** 1220	.378** 1220	.402** 1220	1.000 1220	.946** 1220	.003 1220	.000 1220	.000 1220	.016 1220	.017 1220	.100** 1220	.666** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.909** 1220	.894** 1220	.909** 1220	.894** 1220	.474** 1220	.402** 1220	.378** 1220	.402** 1220	1.000 1220	.101 1220	.598** 1220	.278** 1220	.047 1220	.048 1220	.100** 1220	.666** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.140** 1220	.039 1220	.140** 1220	.039 1220	.016 1220	.133** 1220	-.086** 1220	-.047 1220	.240** 1220	1.000 1220	-.275** 1220	-.219** 1220	.066** 1220	.069** 1220	.000 1220	.454** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.282** 1220	.298** 1220	.282** 1220	.298** 1220	.221** 1220	.039 1220	.784** 1220	.598** 1220	.508** 1220	.000 1220	1.000 1220	.841** 1220	.072** 1220	.070** 1220	-.152** 1220	.094** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	-.098** 1220	-.090** 1220	-.098** 1220	-.090** 1220	.052 1220	-.136** 1220	.467** 1220	.278** 1220	.213** 1220	.000 1220	1.000 1220	.114** 1220	.114** 1220	.113** 1220	-.089** 1220	-.108** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.042 1220	.005 1220	.042 1220	.005 1220	-.005 1220	-.042 1220	.069** 1220	.047 1220	.074** 1220	.068** 1220	.072** 1220	.114** 1220	1.000 1220	.999** 1220	.236** 1220	.164** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.143 1220	.867 1220	.143 1220	.867 1220	.144 1220	.144 1220	.016 1220	.100 1220	.009 1220	.021 1220	.012 1220	.000 1220	.012 1220	.014 1220	.000 1220	.000 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.043 1220	.005 1220	.043 1220	.005 1220	-.008 1220	-.042 1220	.068** 1220	.048 1220	.076** 1220	.068** 1220	.070** 1220	.113** 1220	1.000 1220	1.000 1220	.238** 1220	.166** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.288** 1220	.142** 1220	.288** 1220	.142** 1220	.094** 1220	.216** 1220	.068** 1220	.100** 1220	.289** 1220	.662** 1220	-.152** 1220	-.069** 1220	.236** 1220	.238** 1220	1.000 1220	.739** 1220
Correlation Coefficient Sig. (2-tailed) N	.836** 1220	.742** 1220	.836** 1220	.742** 1220	.382** 1220	.444** 1220	.560** 1220	.665** 1220	.781** 1220	.454** 1220	.084** 1220	-.108** 1220	.166** 1220	.166** 1220	.739** 1220	1.000 1220

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Anexo 3

Neste anexo apresentam-se os resultados de análise de variância usando como factor o estrato com 3 níveis para as variáveis do povoamento

Tabela 1 – Teste de Levene de homogeneidade de variância

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ABT	1.010	2	64	.370
ACT	8.761	2	64	.000
NT	1.858	2	64	.164
THM	2.179	2	64	.121
THDOM	1.389	2	64	.257
ERN	3.422	2	64	.039
ERP	.136	2	64	.873
PCTs	.741	2	64	.481
PCMms	2.294	2	64	.109
SGT	1.101	2	64	.339
CDm	2.987	2	64	.058
IDFm	.381	2	64	.685
EFm	1.830	2	64	.169
EF13m	3.792	2	64	.028
EPm	8.997	2	64	.000

Tabela 2 – ANOVA para as variáveis do povoamento para o factor estrato**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ABT	Between Groups	630.949	2	315.475	54.975	.000
	Within Groups	367.263	64	5.738		
	Total	998.212	66			
ACT	Between Groups	1.2E+008	2	60047990.89	52.759	.000
	Within Groups	72842602	64	1138165.654		
	Total	1.9E+008	66			
NT	Between Groups	63767.928	2	31883.964	16.412	.000
	Within Groups	124332.8	64	1942.700		
	Total	188100.7	66			
THM	Between Groups	16.974	2	8.487	14.245	.000
	Within Groups	38.132	64	.596		
	Total	55.107	66			
THDOM	Between Groups	51.859	2	25.929	33.905	.000
	Within Groups	48.945	64	.765		
	Total	100.803	66			
ERN	Between Groups	.047	2	.023	1.012	.369
	Within Groups	1.473	64	.023		
	Total	1.519	66			
ERP	Between Groups	.110	2	.055	1.876	.162
	Within Groups	1.875	64	.029		
	Total	1.985	66			
PCTs	Between Groups	25921583	2	12960791.56	22.064	.000
	Within Groups	37595144	64	587424.123		
	Total	63516727	66			
PCMms	Between Groups	8.909	2	4.454	4.158	.020
	Within Groups	68.570	64	1.071		
	Total	77.479	66			
SGT	Between Groups	388878.0	2	194439.024	27.082	.000
	Within Groups	459493.3	64	7179.582		
	Total	848371.3	66			
CDm	Between Groups	1.111	2	.556	4.280	.018
	Within Groups	8.307	64	.130		
	Total	9.419	66			
IDFm	Between Groups	88.925	2	44.462	2.691	.076
	Within Groups	1057.546	64	16.524		
	Total	1146.471	66			
EFm	Between Groups	2.014	2	1.007	5.152	.008
	Within Groups	12.508	64	.195		
	Total	14.522	66			
EF13m	Between Groups	1.500	2	.750	3.766	.028
	Within Groups	12.748	64	.199		
	Total	14.248	66			
EPm	Between Groups	.374	2	.187	.180	.836
	Within Groups	66.364	64	1.037		
	Total	66.737	66			

Tabela 3 – Teste de de Scheffe comparação múltipla de médias

Scheffe							
Dependent Variable	(I) Estrato	(J) Estrato	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ABT	1	2	-4.52669*	.71865	.000	-6.3278	-2.7256
		3	-7.73902*	.74011	.000	-9.5939	-5.8842
	2	1	4.52669*	.71865	.000	2.7256	6.3278
		3	-3.21233*	.70027	.000	-4.9673	-1.4573
	3	1	7.73902*	.74011	.000	5.8842	9.5939
		2	3.21233*	.70027	.000	1.4573	4.9673
ACT	1	2	-1502.2878*	320.05454	.000	-2304.3981	-700.1775
		3	-3370.4718*	329.61051	.000	-4196.5309	-2544.4127
	2	1	1502.28781*	320.05454	.000	700.1775	2304.3981
		3	-1868.1840*	311.86765	.000	-2649.7765	-1086.5914
	3	1	3370.47178*	329.61051	.000	2544.4127	4196.5309
		2	1868.18397*	311.86765	.000	1086.5914	2649.7765
NT	1	2	-63.100*	13.223	.000	-96.24	-29.96
		3	-71.409*	13.618	.000	-105.54	-37.28
	2	1	63.100*	13.223	.000	29.96	96.24
		3	-8.309	12.885	.813	-40.60	23.98
	3	1	71.409*	13.618	.000	37.28	105.54
		2	8.309	12.885	.813	-23.98	40.60
THM	1	2	-.71557*	.23157	.012	-1.2959	-.1352
		3	-1.27146*	.23848	.000	-1.8691	-.6738
	2	1	.71557*	.23157	.012	.1352	1.2959
		3	-.55589	.22564	.055	-1.1214	.0096
	3	1	1.27146*	.23848	.000	.6738	1.8691
		2	.55589	.22564	.055	-.0096	1.1214
THDOM	1	2	-1.45370*	.26235	.000	-2.1112	-.7962
		3	-2.19345*	.27019	.000	-2.8706	-1.5163
	2	1	1.45370*	.26235	.000	.7962	2.1112
		3	-.73975*	.25564	.020	-1.3804	-.0991
	3	1	2.19345*	.27019	.000	1.5163	2.8706
		2	.73975*	.25564	.020	.0991	1.3804
ERN	1	2	-.00019	.04551	1.000	-.1142	.1139
		3	-.05624	.04687	.491	-.1737	.0612
	2	1	.00019	.04551	1.000	-.1139	.1142
		3	-.05605	.04434	.454	-.1672	.0551
	3	1	.05624	.04687	.491	-.0612	.1737
		2	.05605	.04434	.454	-.0551	.1672
ERP	1	2	.01646	.05135	.950	-.1122	.1451
		3	-.07592	.05288	.363	-.2084	.0566
	2	1	-.01646	.05135	.950	-.1451	.1122
		3	-.09238	.05003	.190	-.2178	.0330
	3	1	.07592	.05288	.363	-.0566	.2084
		2	.09238	.05003	.190	-.0330	.2178

Tabela 3 – Continuação

PCTs	1	2	-610.78257*	229.93080	.035	-1187.0276	-34.5375
		3	-1553.3108*	236.79591	.000	-2146.7610	-959.8606
	2	1	610.78257*	229.93080	.035	34.5375	1187.0276
		3	-942.52820*	224.04924	.000	-1504.0331	-381.0233
	3	1	1553.31077*	236.79591	.000	959.8606	2146.7610
		2	942.52820*	224.04924	.000	381.0233	1504.0331
PCMms	1	2	.75259	.31053	.060	-.0256	1.5308
		3	.83884*	.31980	.038	.0374	1.6403
	2	1	-.75259	.31053	.060	-1.5308	.0256
		3	.08625	.30258	.960	-.6721	.8446
	3	1	-.83884*	.31980	.038	-1.6403	-.0374
		2	-.08625	.30258	.960	-.8446	.6721
SGT	1	2	-85.63996*	25.41972	.005	-149.3460	-21.9339
		3	-191.81004*	26.17869	.000	-257.4182	-126.2019
	2	1	85.63996*	25.41972	.005	21.9339	149.3460
		3	-106.17008*	24.76950	.000	-168.2466	-44.0936
	3	1	191.81004*	26.17869	.000	126.2019	257.4182
		2	106.17008*	24.76950	.000	44.0936	168.2466
CDm	1	2	.00331	.10808	1.000	-.2676	.2742
		3	-.27238	.11131	.057	-.5513	.0066
	2	1	-.00331	.10808	1.000	-.2742	.2676
		3	-.27569*	.10532	.039	-.5396	-.0117
	3	1	.27238	.11131	.057	-.0066	.5513
		2	.27569*	.10532	.039	.0117	.5396
IDFm	1	2	-.29306	1.21950	.972	-3.3493	2.7632
		3	-2.60280	1.25591	.125	-5.7503	.5447
	2	1	.29306	1.21950	.972	-2.7632	3.3493
		3	-2.30974	1.18830	.160	-5.2878	.6683
	3	1	2.60280	1.25591	.125	-.5447	5.7503
		2	2.30974	1.18830	.160	-.6683	5.2878
EFm	1	2	.18327	.13262	.390	-.1491	.5156
		3	.43501*	.13658	.009	.0927	.7773
	2	1	-.18327	.13262	.390	-.5156	.1491
		3	.25174	.12923	.158	-.0721	.5756
	3	1	-.43501*	.13658	.009	-.7773	-.0927
		2	-.25174	.12923	.158	-.5756	.0721
EF13m	1	2	.16126	.13389	.488	-.1743	.4968
		3	.37591*	.13789	.030	.0303	.7215
	2	1	-.16126	.13389	.488	-.4968	.1743
		3	.21465	.13046	.266	-.1123	.5416
	3	1	-.37591*	.13789	.030	-.7215	-.0303
		2	-.21465	.13046	.266	-.5416	.1123
EPm	1	2	-.1727	.3055	.853	-.938	.593
		3	-.1494	.3146	.894	-.938	.639
	2	1	.1727	.3055	.853	-.593	.938
		3	.0233	.2977	.997	-.723	.769
	3	1	.1494	.3146	.894	-.639	.938
		2	-.0233	.2977	.997	-.769	.723

* The mean difference is significant at the .05 level.

Tabela 4 – Construção de grupos homogêneos com o teste de comparação de médias de Scheffe

ABT

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	20	5.7464		
2	25		10.2731	
3	22			13.4854
Sig.		1.000	1.000	1.000

ACT

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	20	2218.1185		
2	25		3720.4064	
3	22			5588.5903
Sig.		1.000	1.000	1.000

NT

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	20	74.50	
2	25		137.60
3	22		145.91
Sig.		1.000	.822

THM

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	20	7.3177	
2	25		8.0333
3	22		8.5892
Sig.		1.000	.064

THDOM

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	20	8.0648		
2	25		9.5185	
3	22			10.2583
Sig.		1.000	1.000	1.000

PCTs

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	20	1123.9641		
2	25		1734.7467	
3	22			2677.2749
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 22.148.

ERN

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05
		1
1	20	.7504
2	25	.7506
3	22	.8066
Sig.		.471

ERP

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05
		1
2	25	.2000
1	20	.2165
3	22	.2924
Sig.		.207

PCMms

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
3	22	8.5519	
2	25	8.6381	8.6381
1	20		9.3907
Sig.		.962	.061

CDm

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	25	1.9885	
1	20	1.9919	
3	22		2.2642
Sig.		1.000	1.000

Tabela 4 - Continuação

IDFm

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05
		1
1	20	28.7589
2	25	29.0520
3	22	31.3618
Sig.		.112

EPm

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05
		1
1	20	2.288
3	22	2.437
2	25	2.461
Sig.		.853

SGT

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	20	121.0167		
2	25		206.6567	
3	22			312.8268
Sig.		1.000	1.000	1.000

EFm

Scheffe^{a,b}

Estrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
3	22	2.9355	
2	25	3.1872	3.1872
1	20		3.3705
Sig.		.174	.392

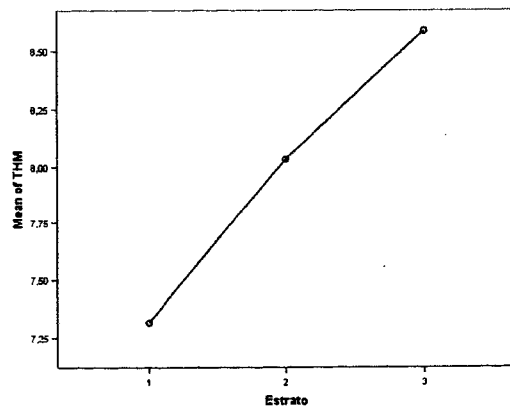
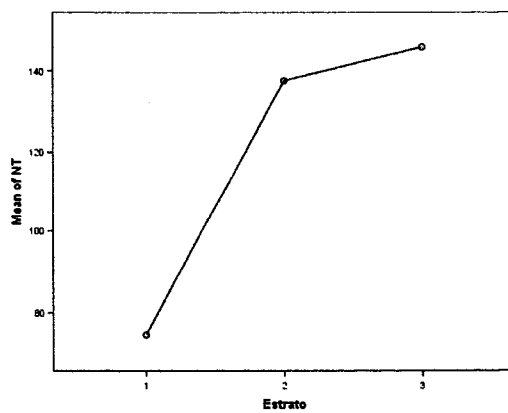
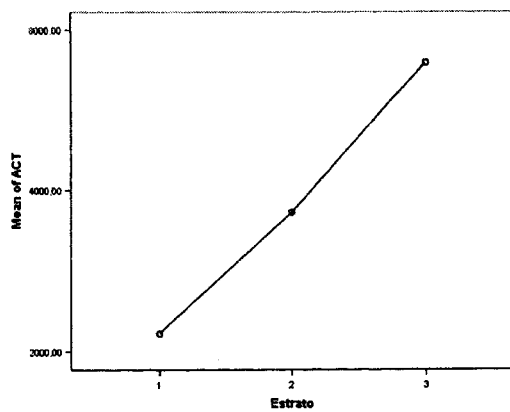
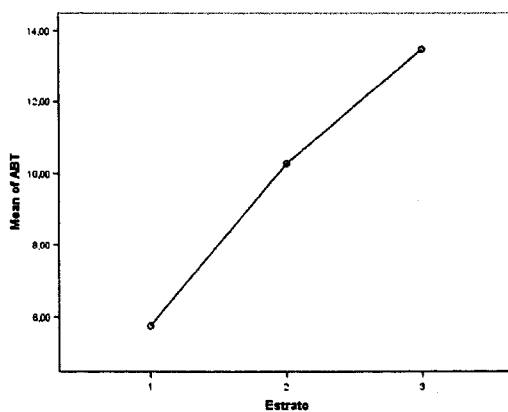


Figura 1 – Gráficos de comparação de médias entre estratos

Figura 1 – Continuação

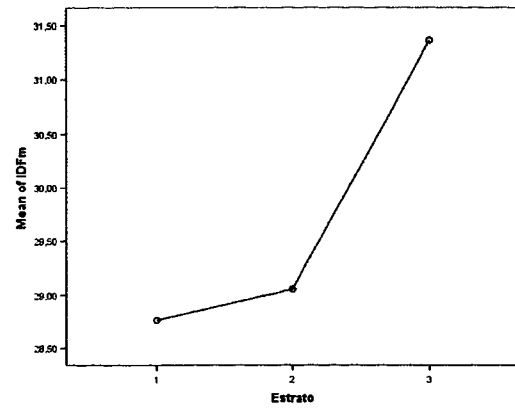
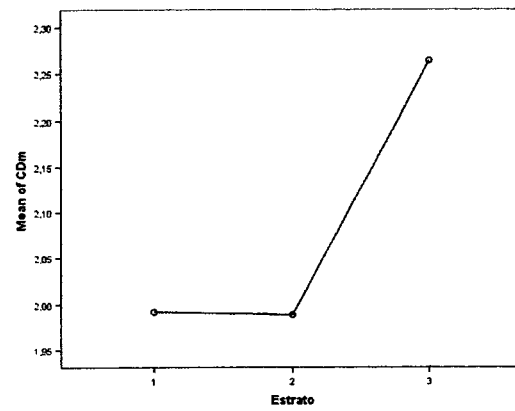
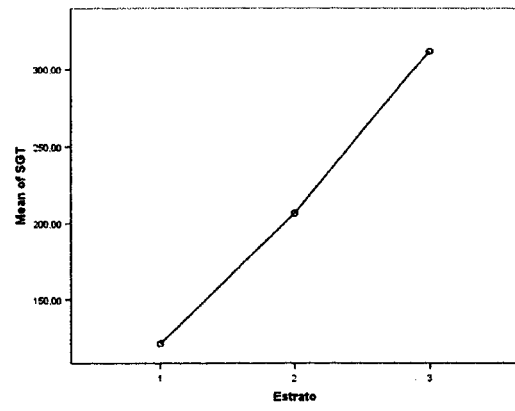
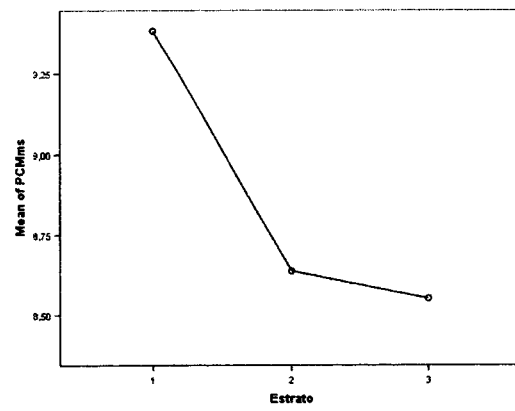
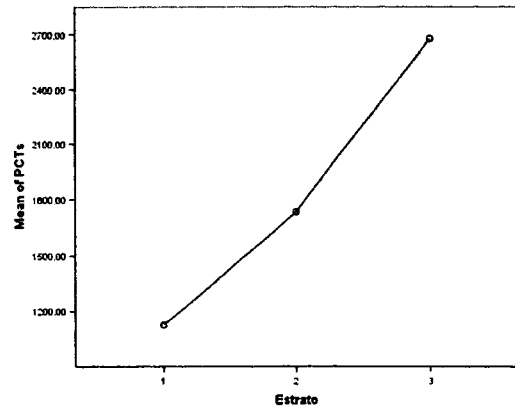
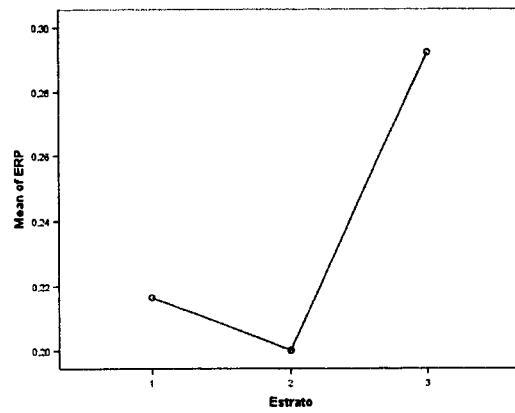
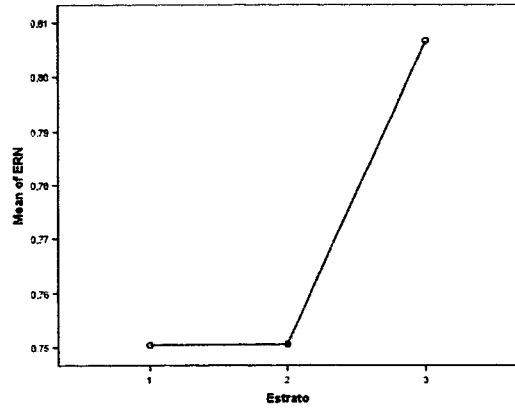
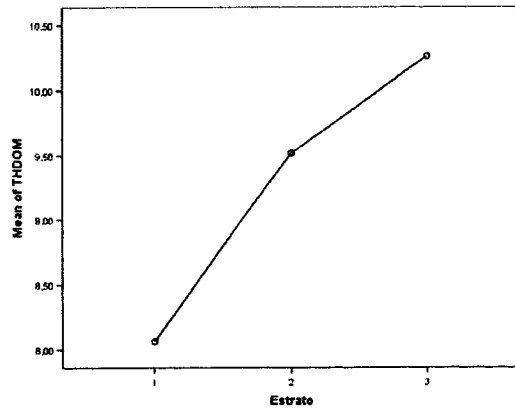
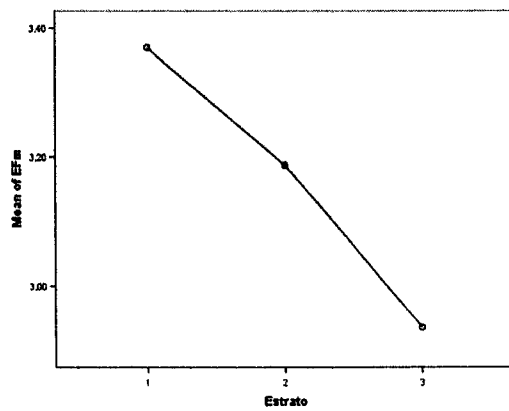
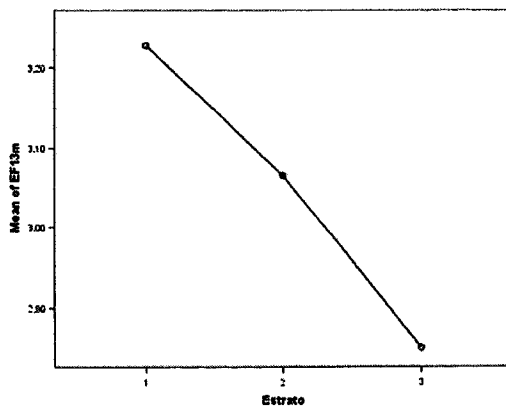
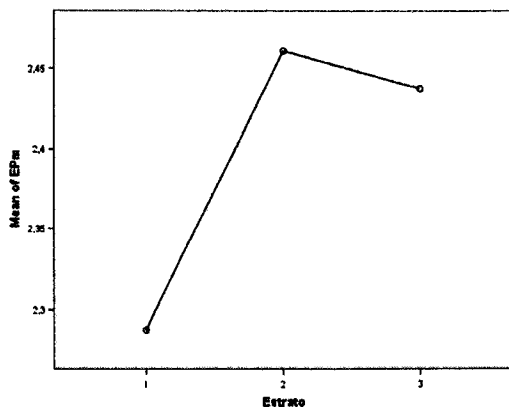


Figura 1 – Continuação



Anexo 4

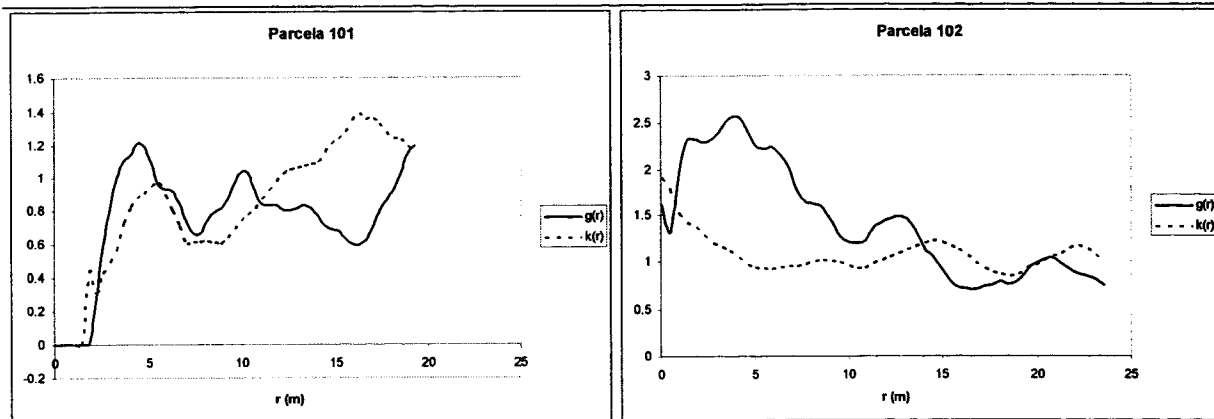


Figura 1 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

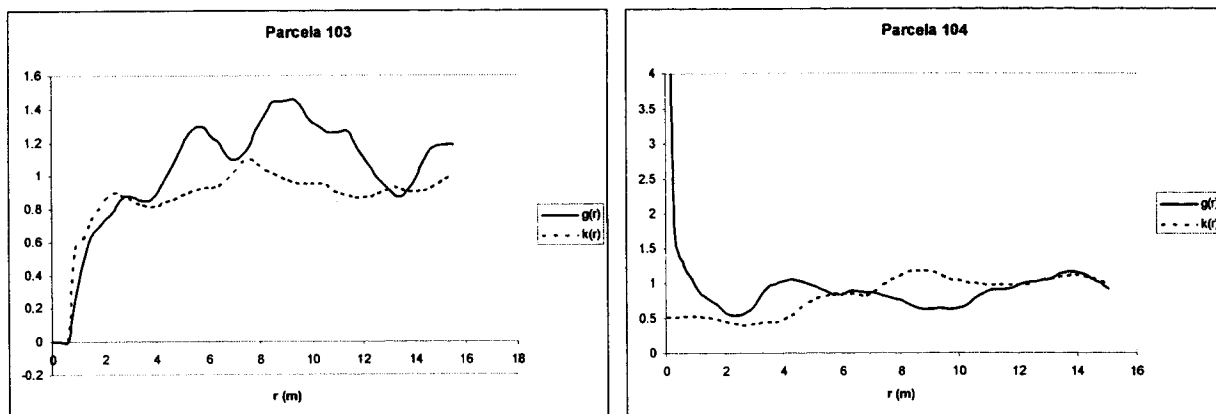


Figura 2 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

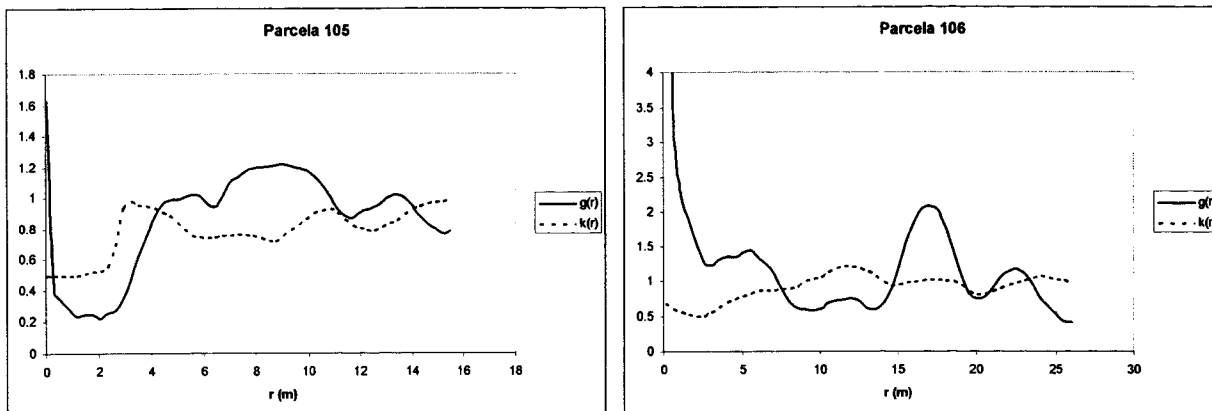


Figura 3 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

Anexo 4

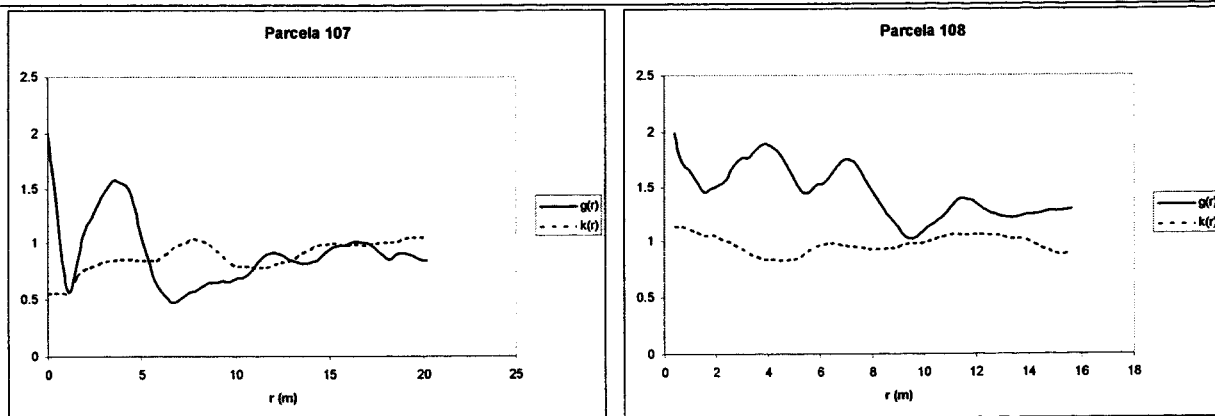


Figura 4 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

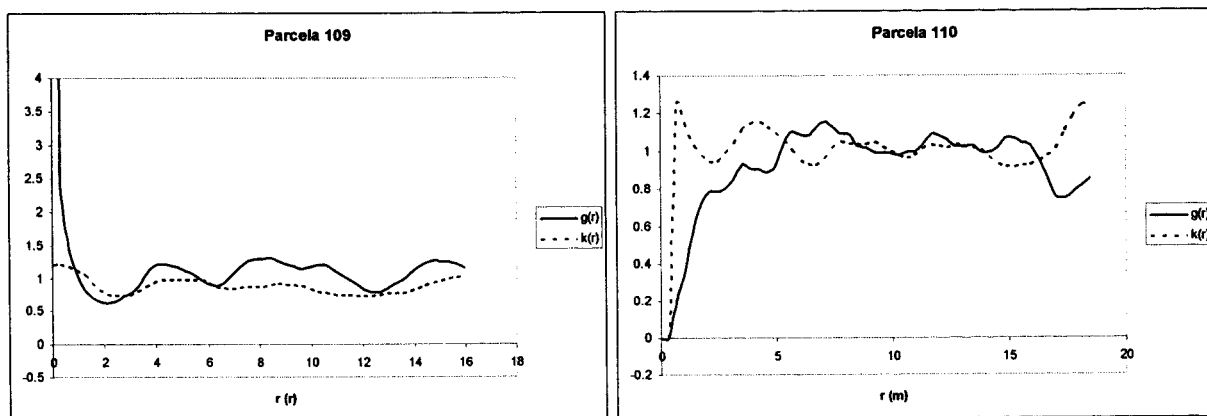


Figura 5 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

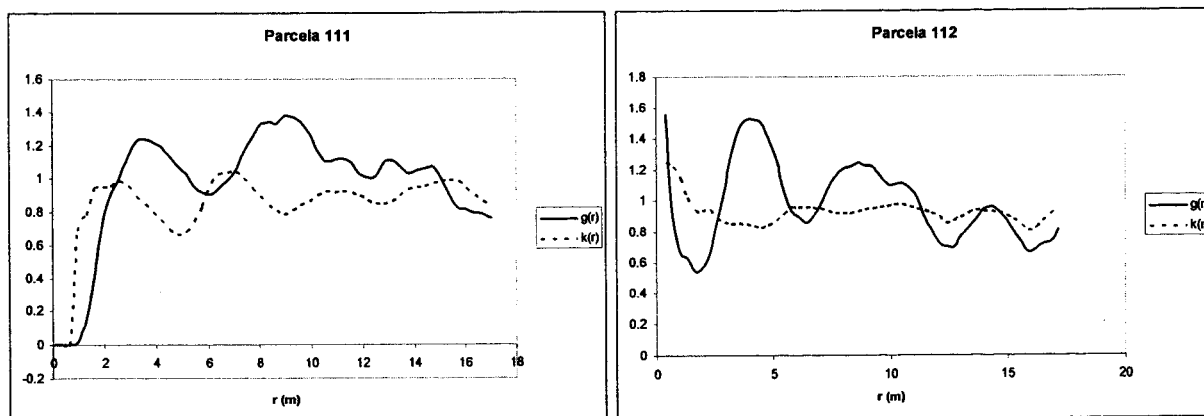


Figura 6 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

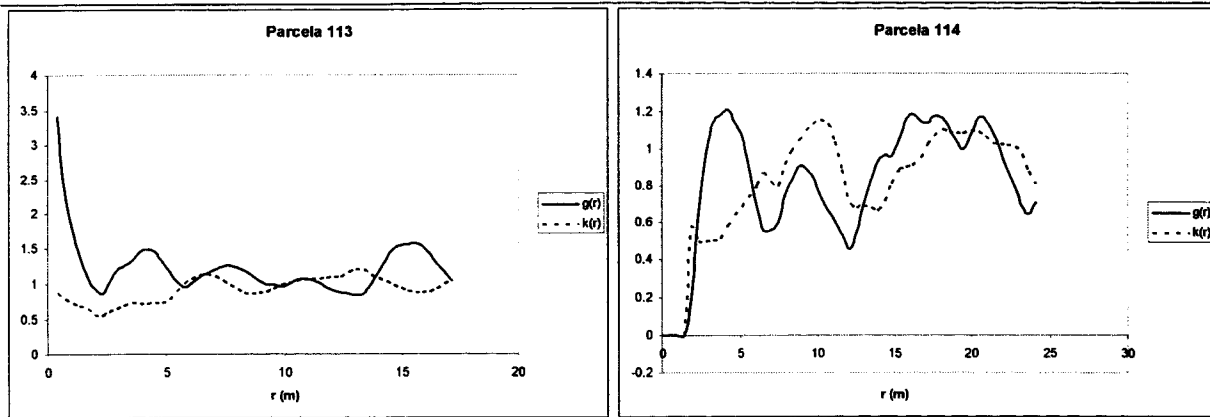


Figura 7 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

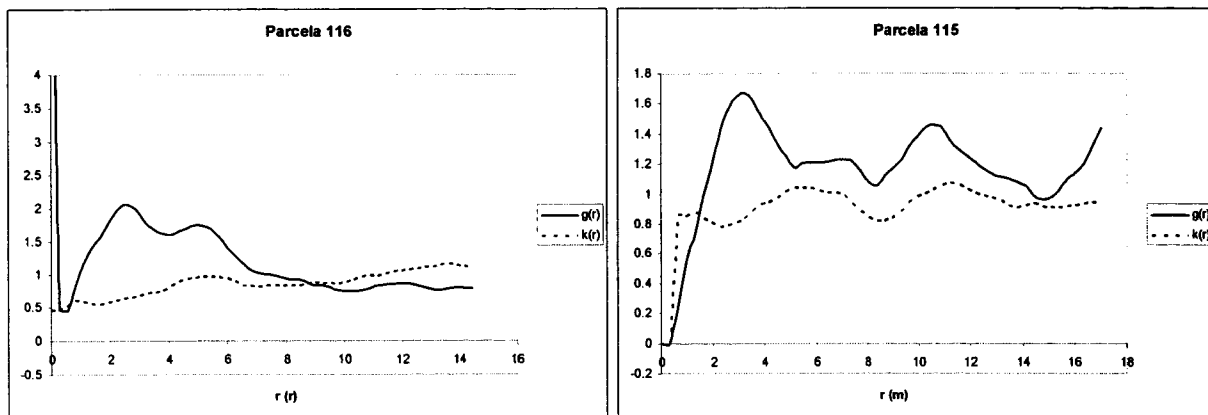


Figura 8 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

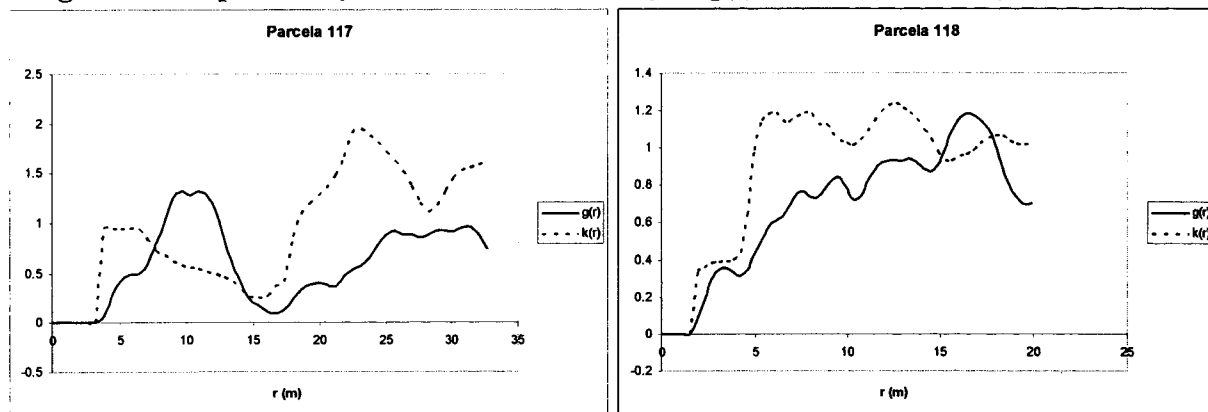


Figura 9 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

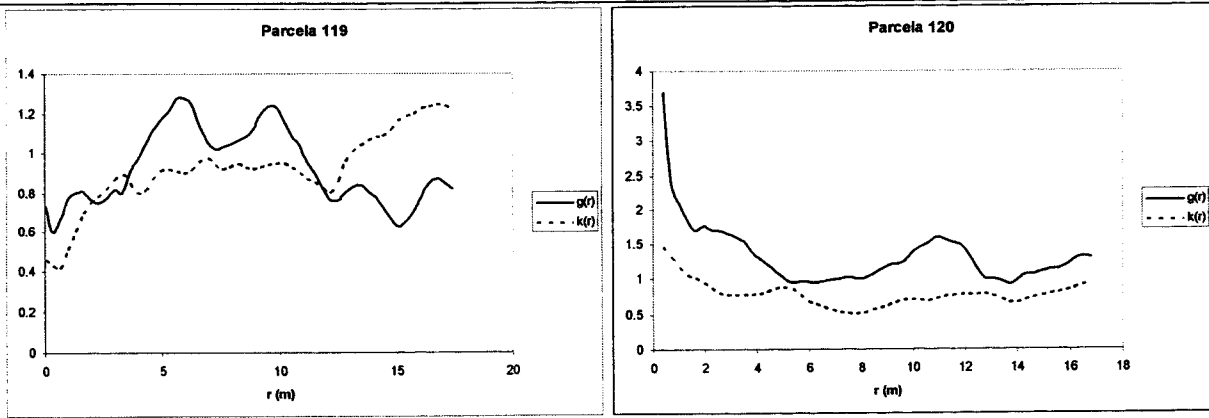


Figura 10 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

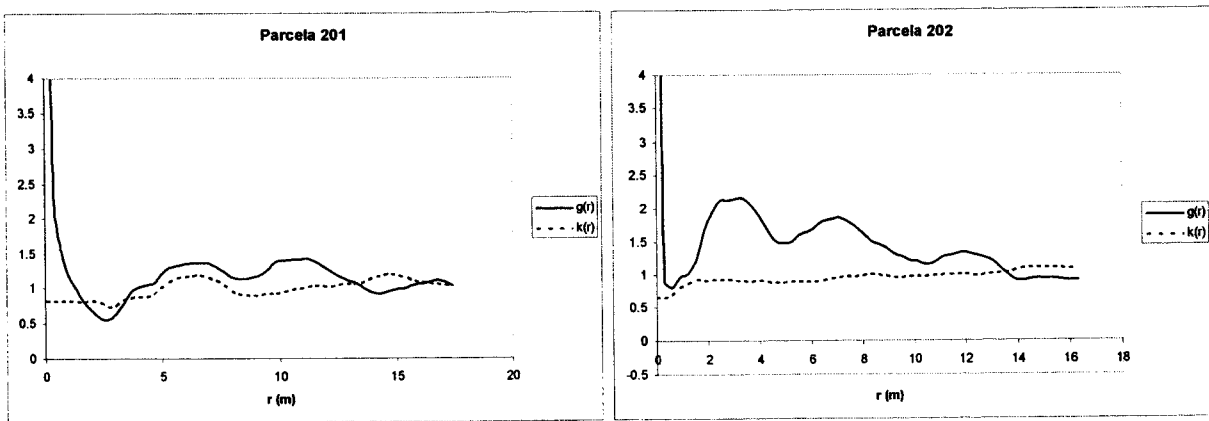


Figura 11 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

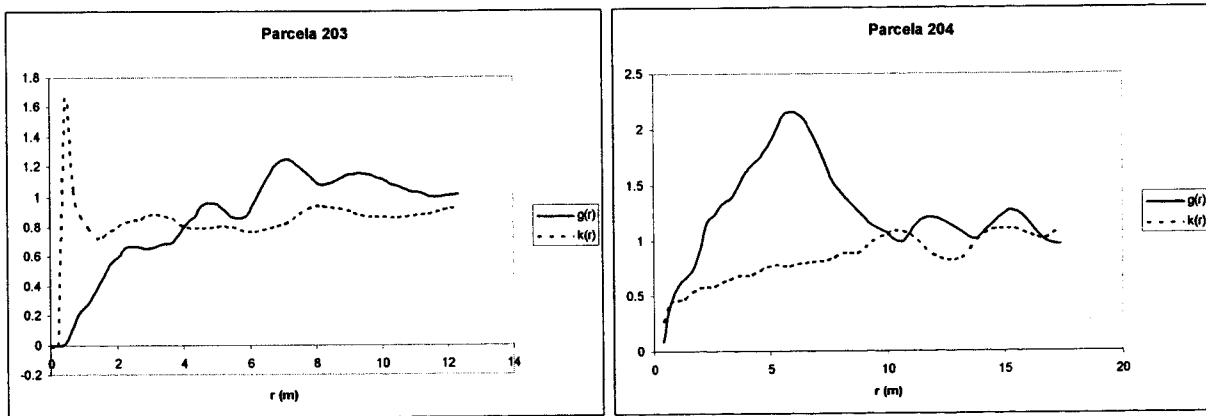


Figura 12 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

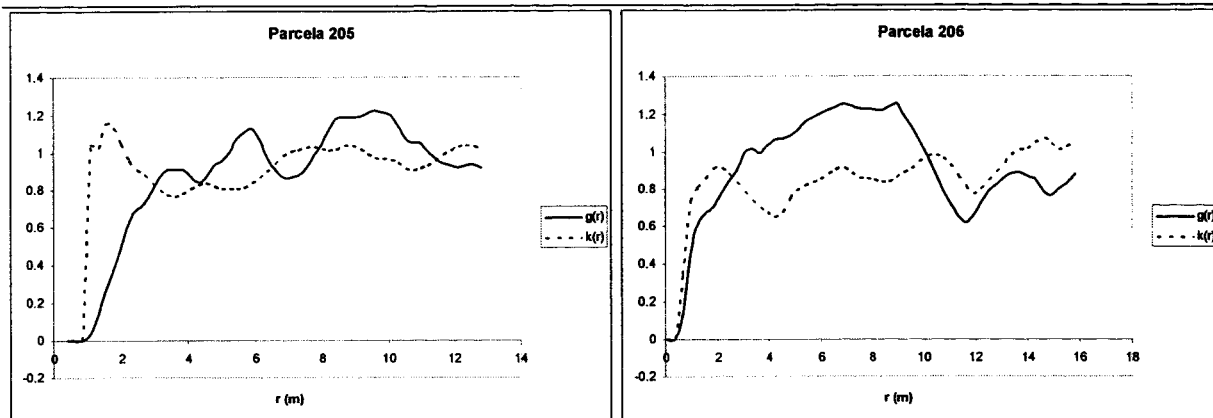


Figura 13 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

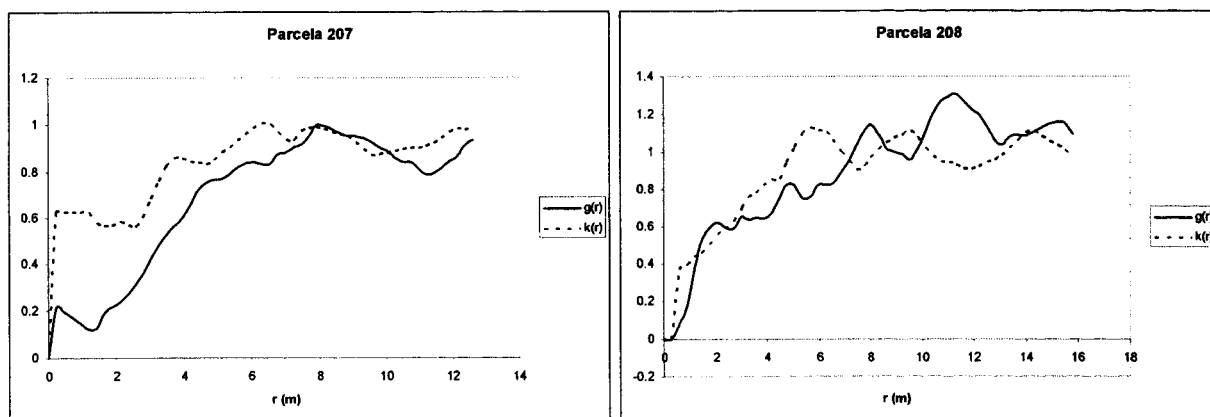


Figura 14 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

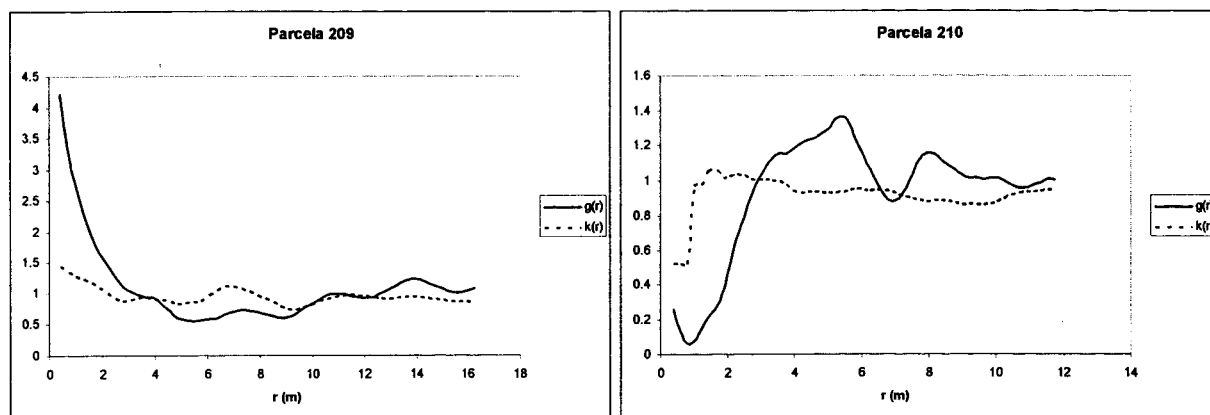


Figura 15 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

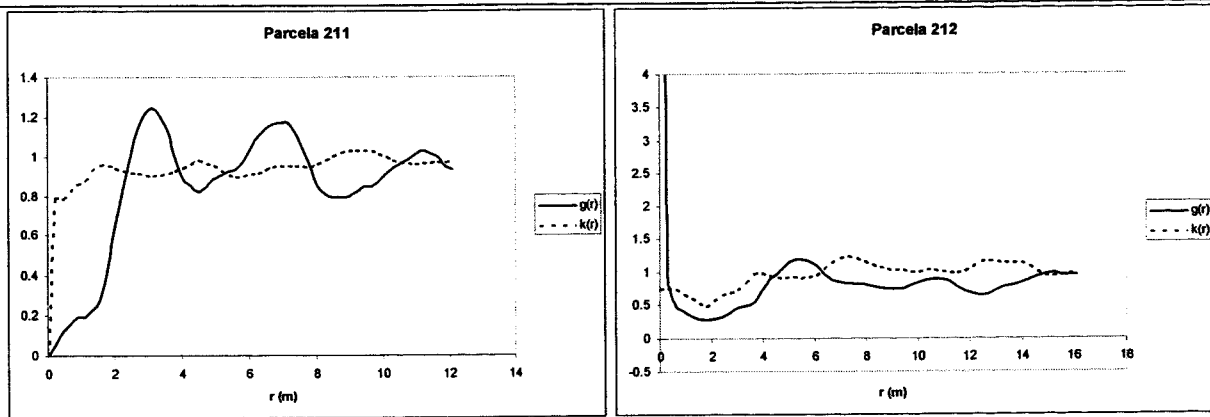


Figura 16 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

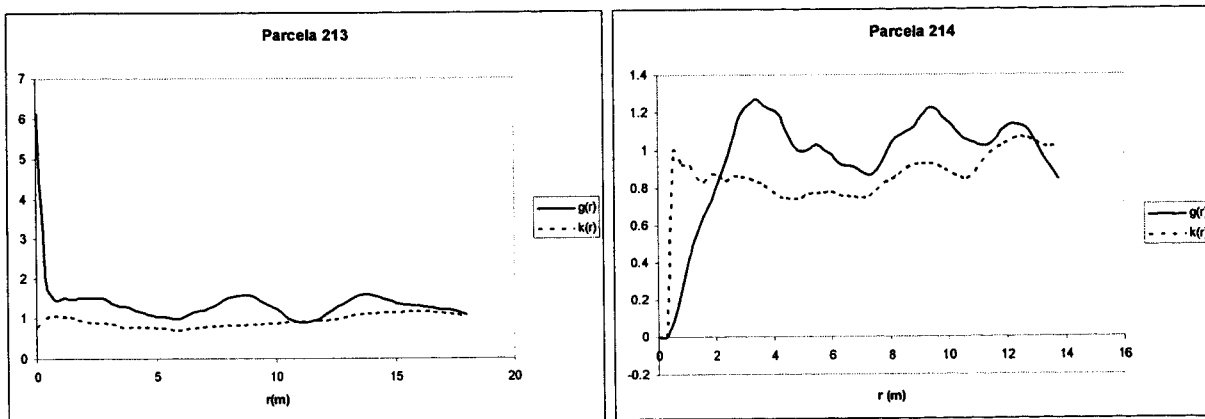


Figura 17 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

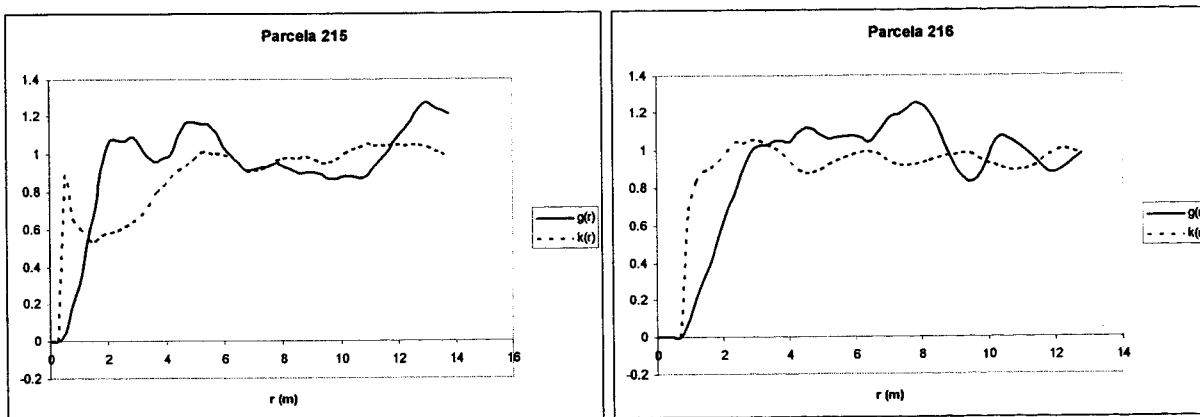


Figura 18 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

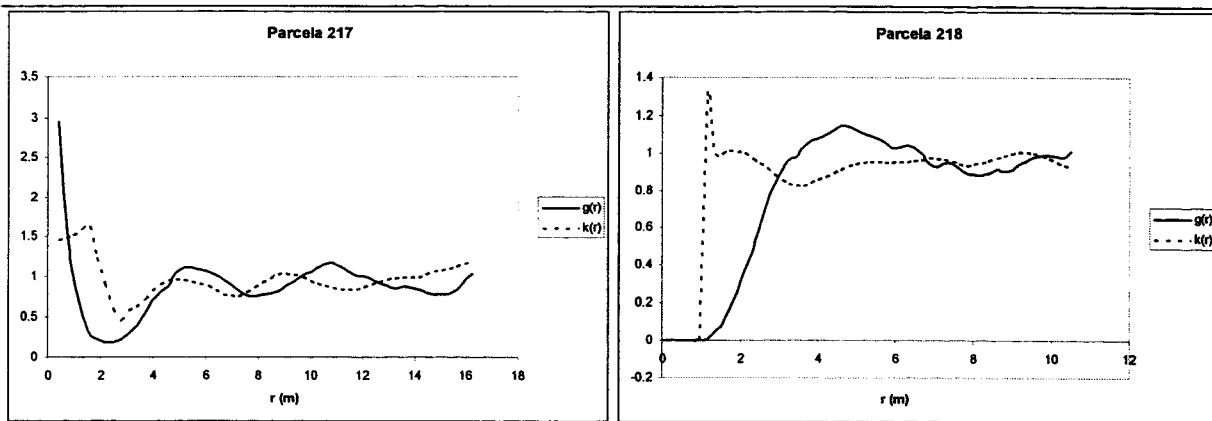


Figura 19 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

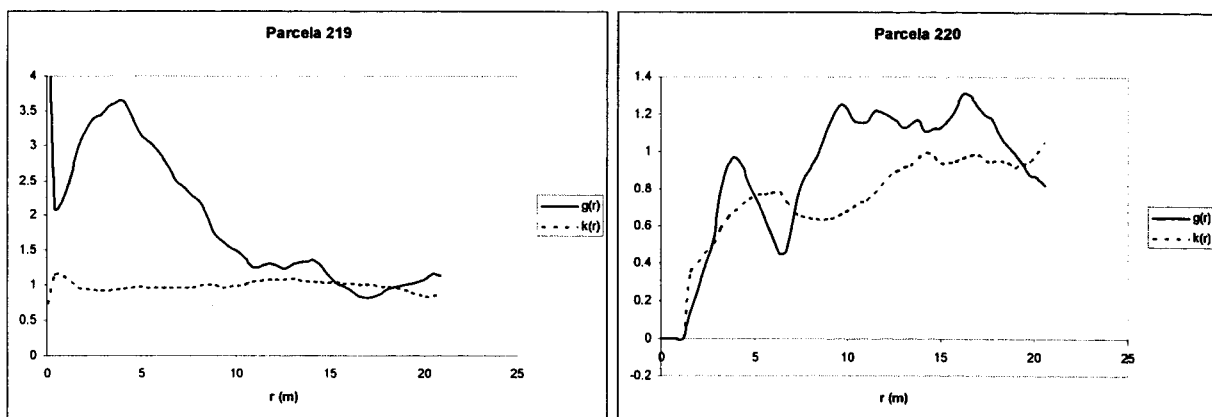


Figura 20 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

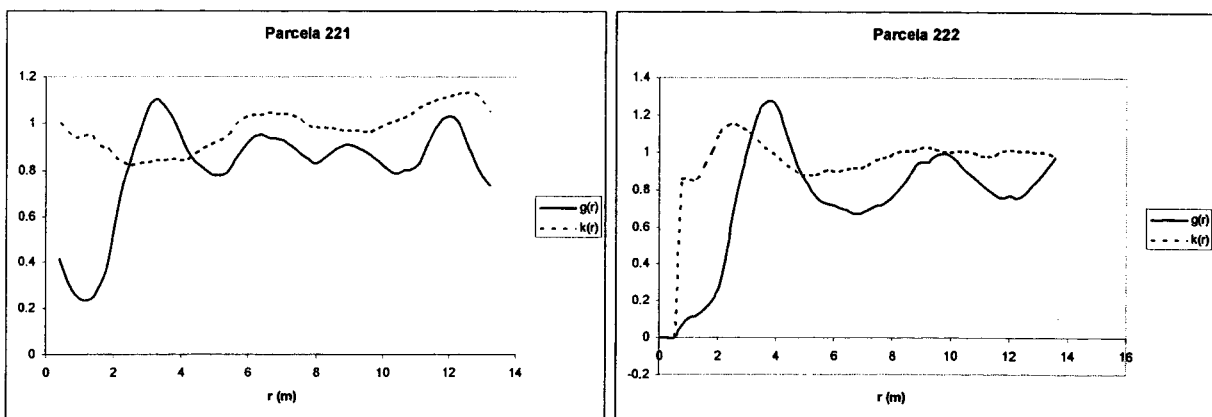


Figura 21 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

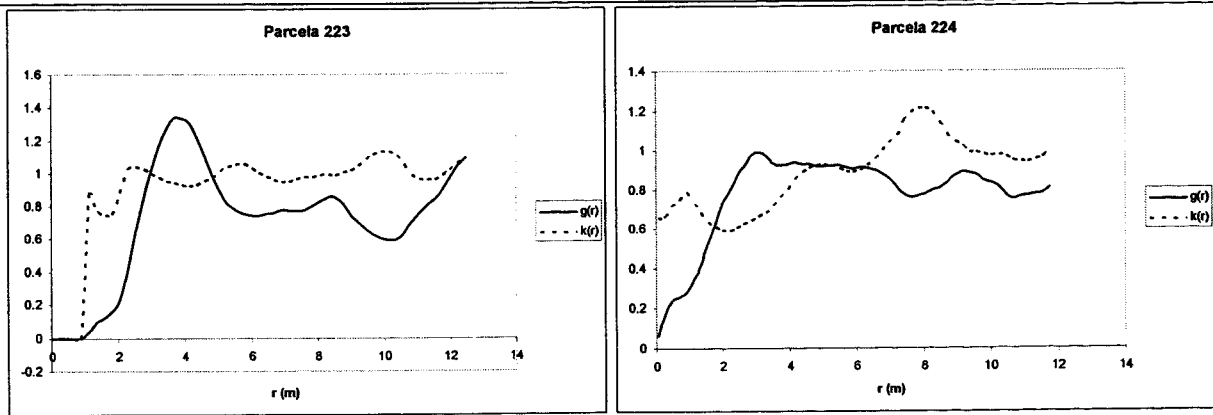


Figura 22 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

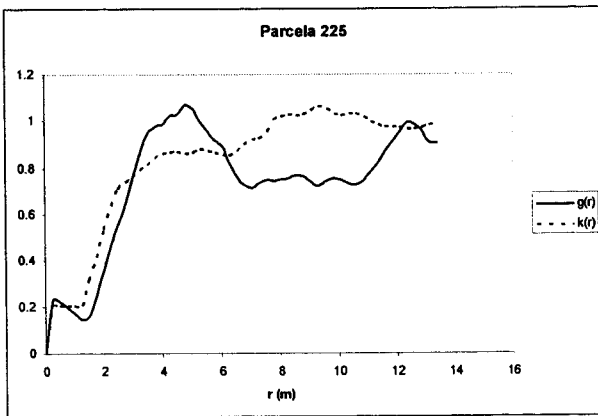


Figura 23 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

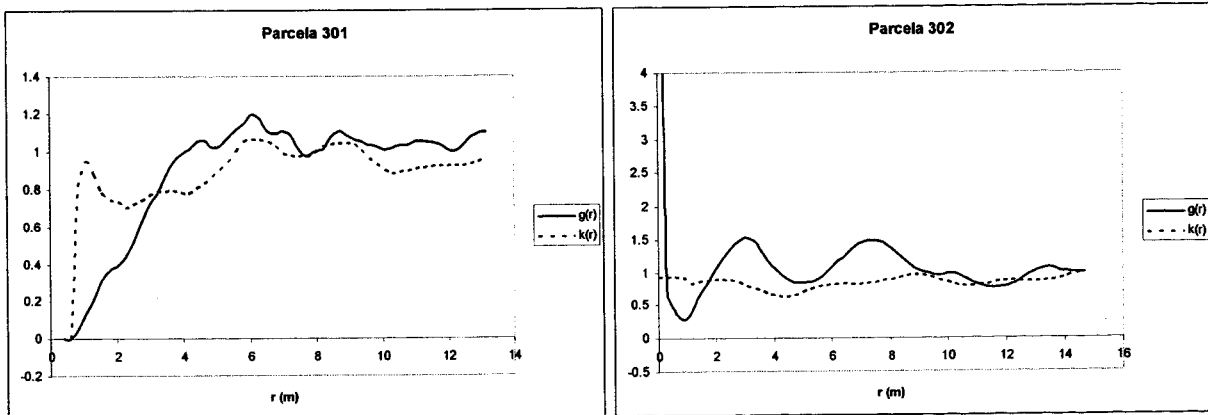


Figura 24 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

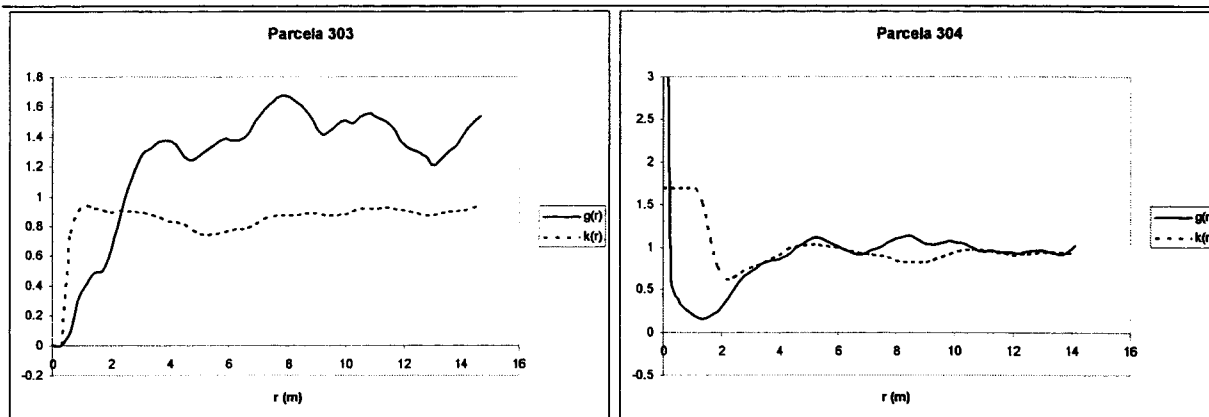


Figura 25 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

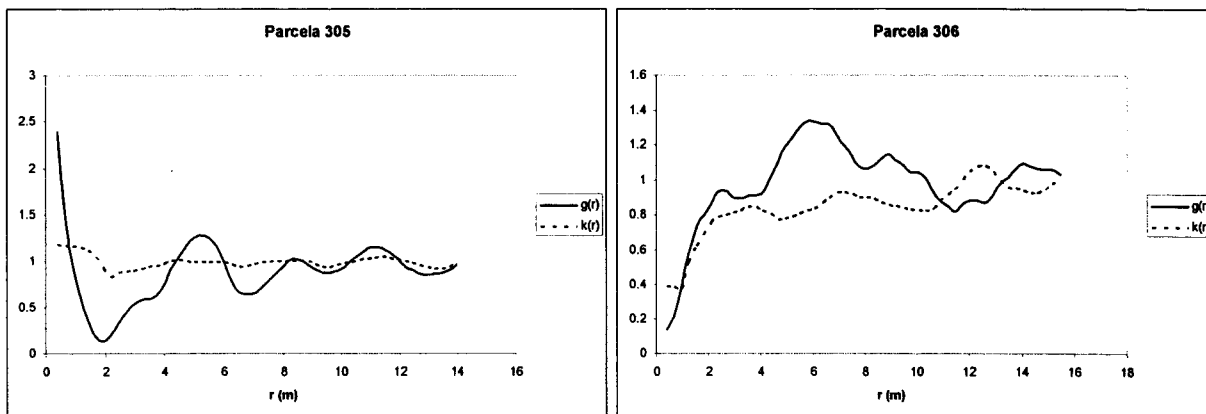


Figura 26 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

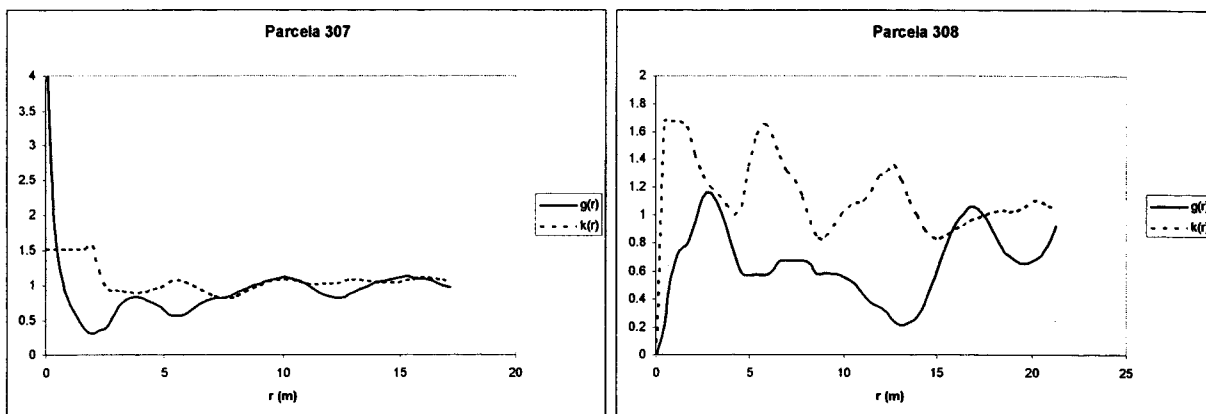


Figura 27 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

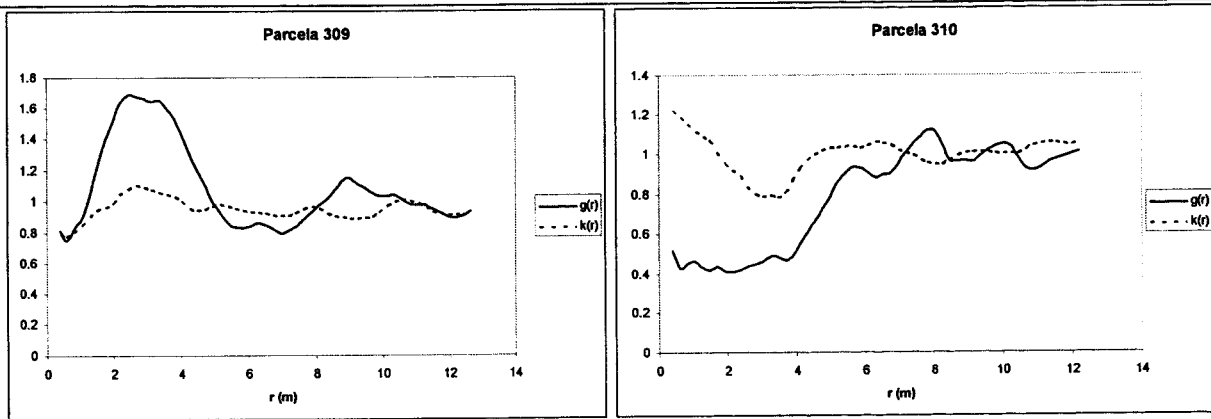


Figura 28 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

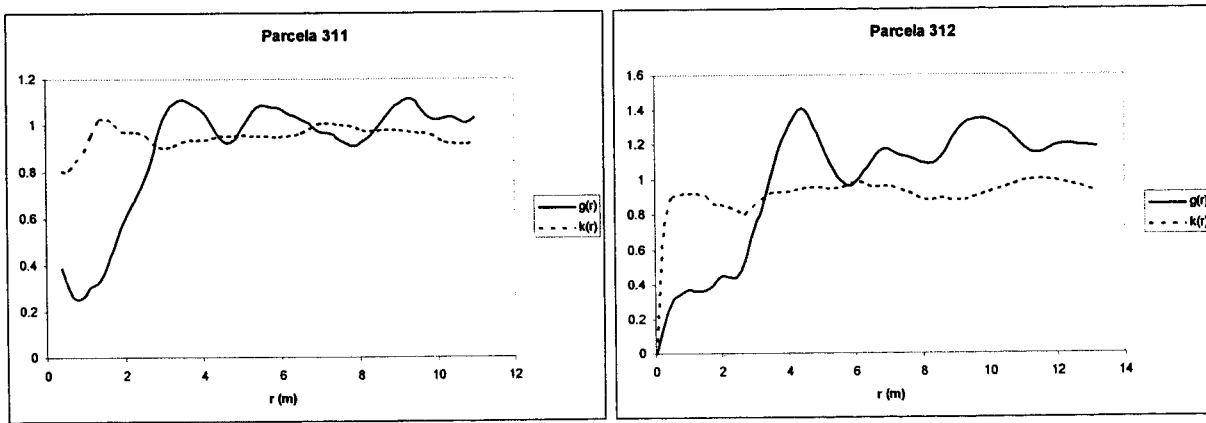


Figura 29 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

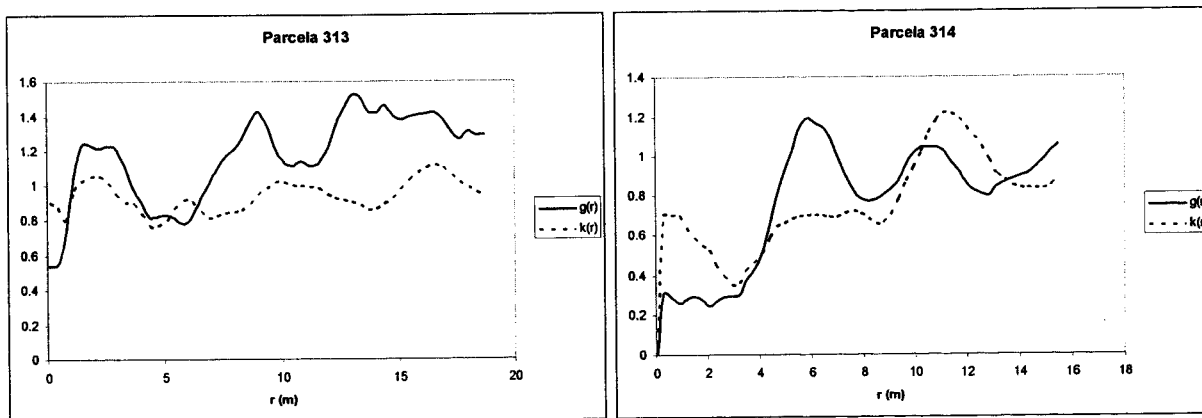


Figura 30 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

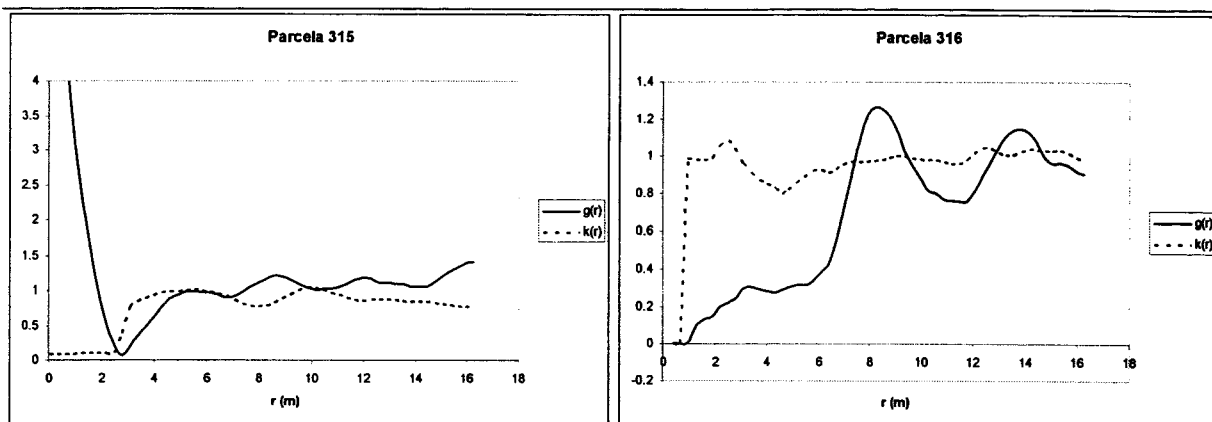


Figura 31 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

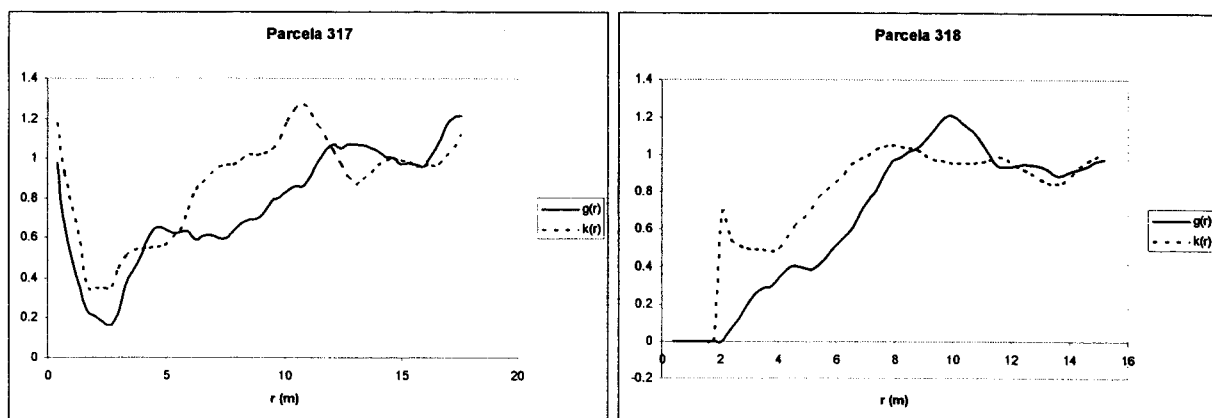


Figura 32 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

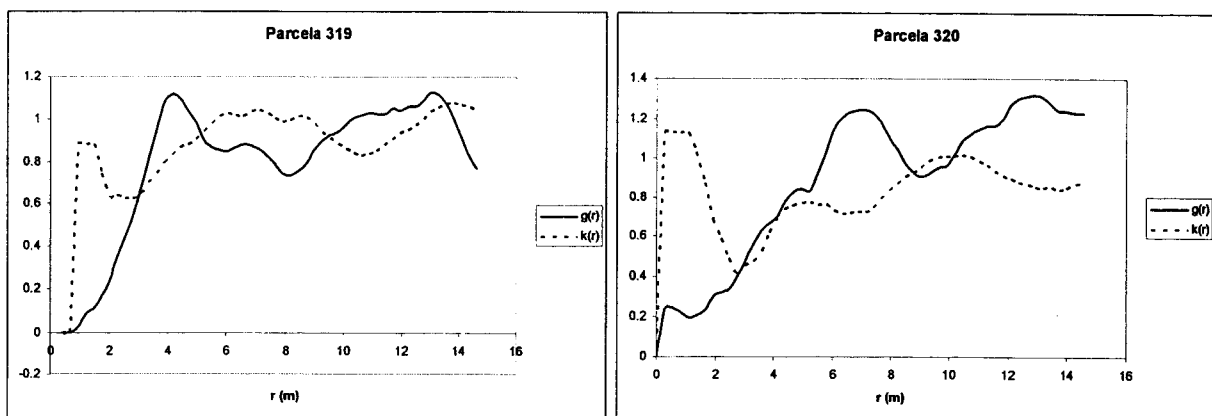


Figura 33 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

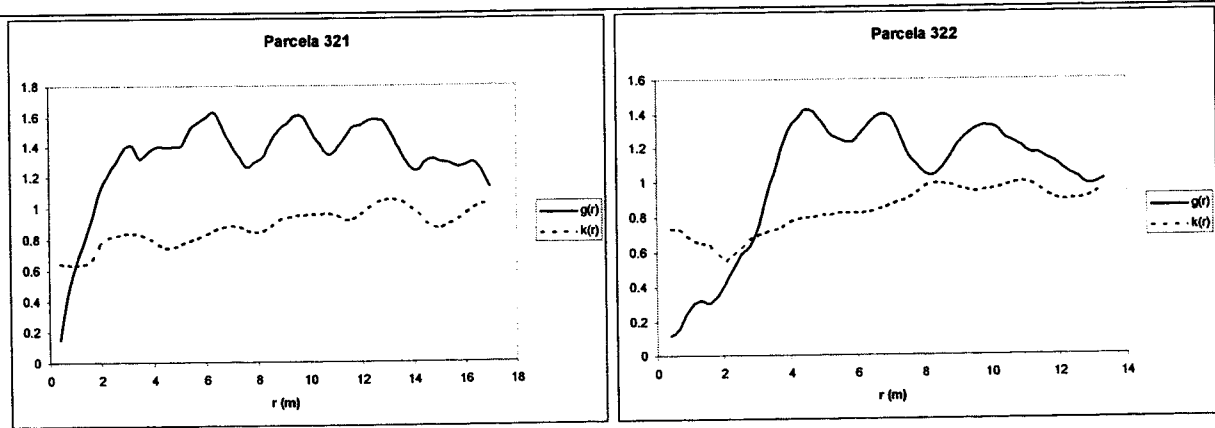


Figura 34 – Representação das curvas das funções $g(r)$ e $k(r)$ em função da distância r

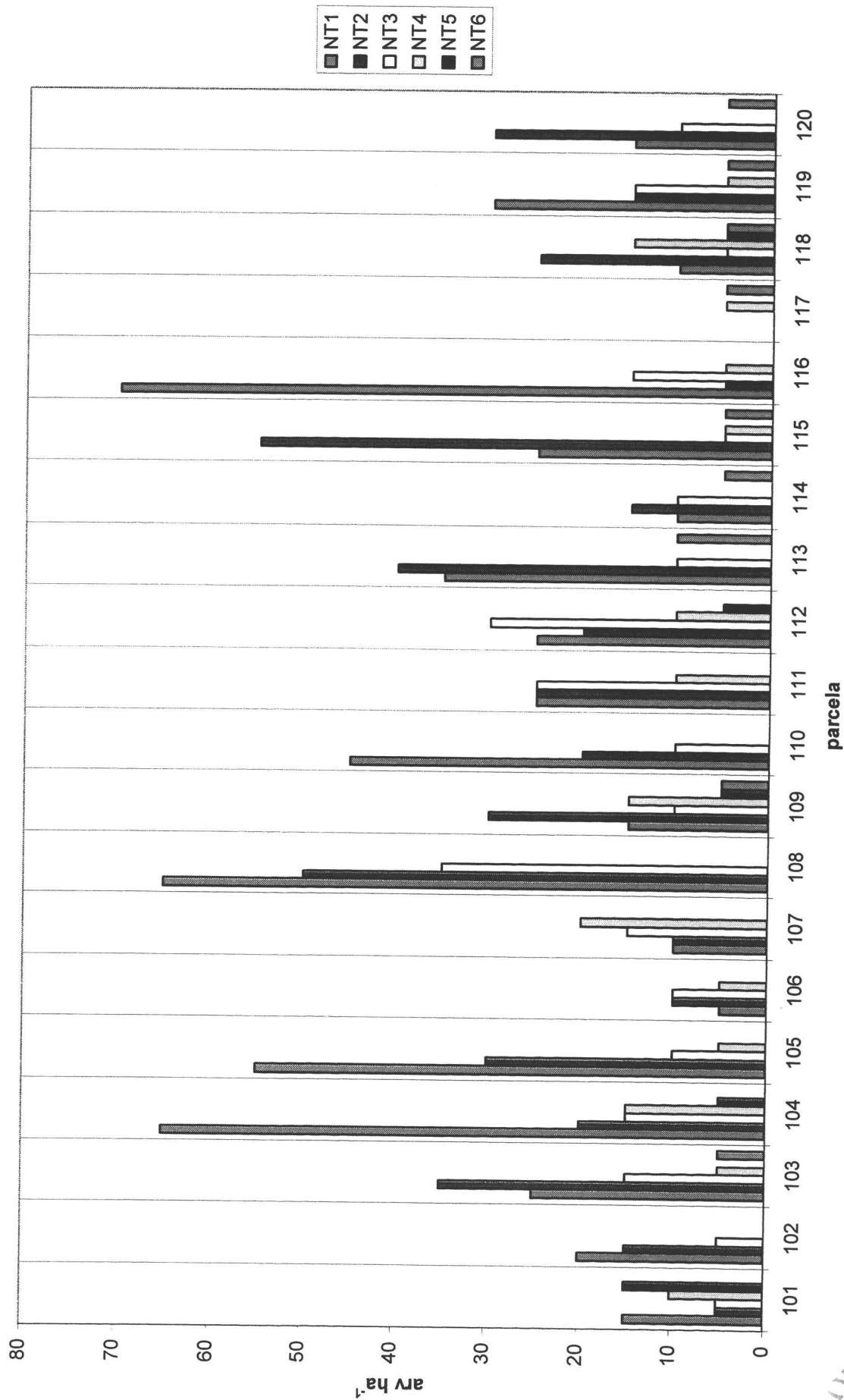


Figura 35 – Distribuição de frequências de árvores pelas classes de capi NT1, NT2, NT3, NT4, NT5 e NT6



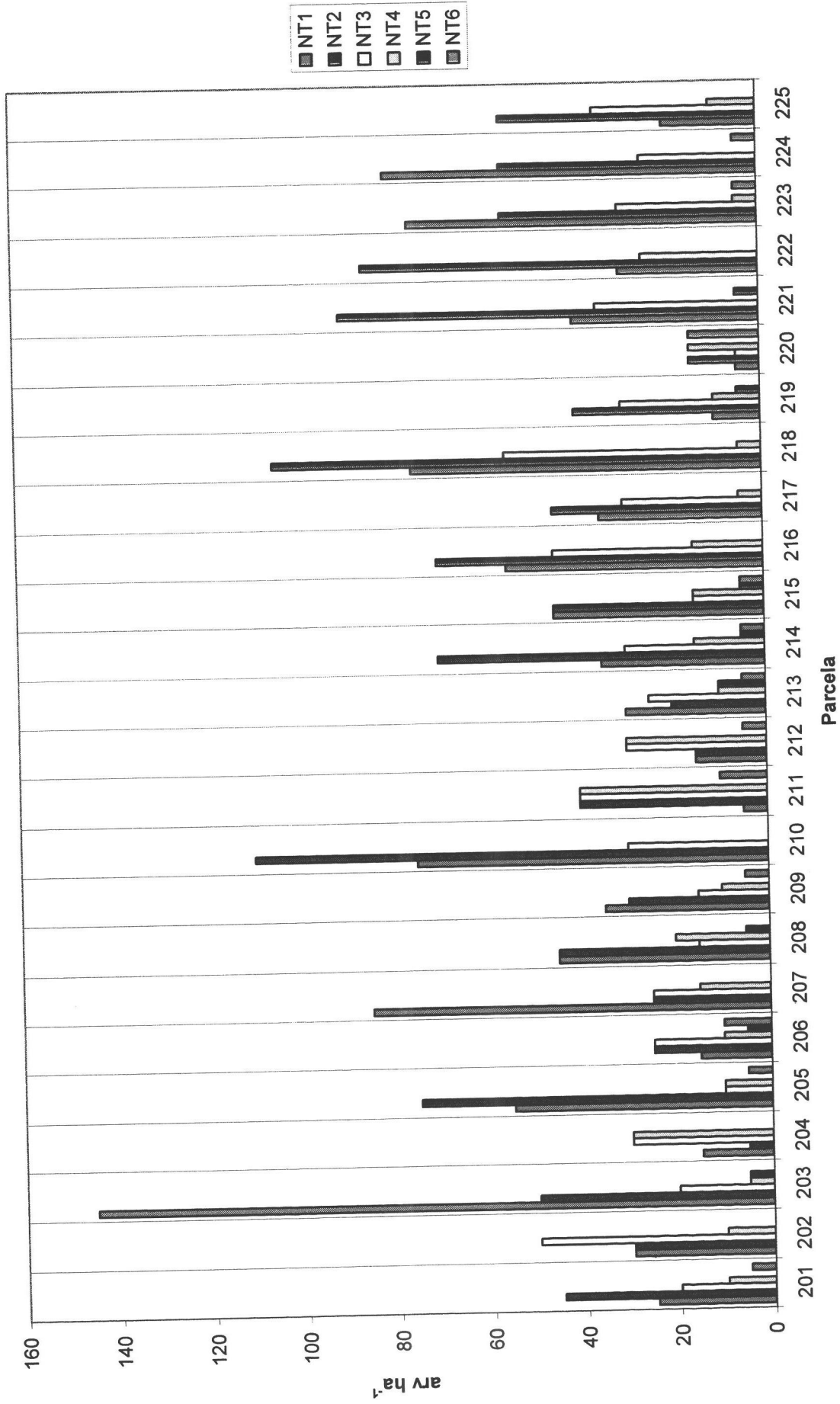


Figura 36 – Distribuição de frequências de árvores pelas classes de capi NT1, NT2, NT3, NT4, NT5 e NT6

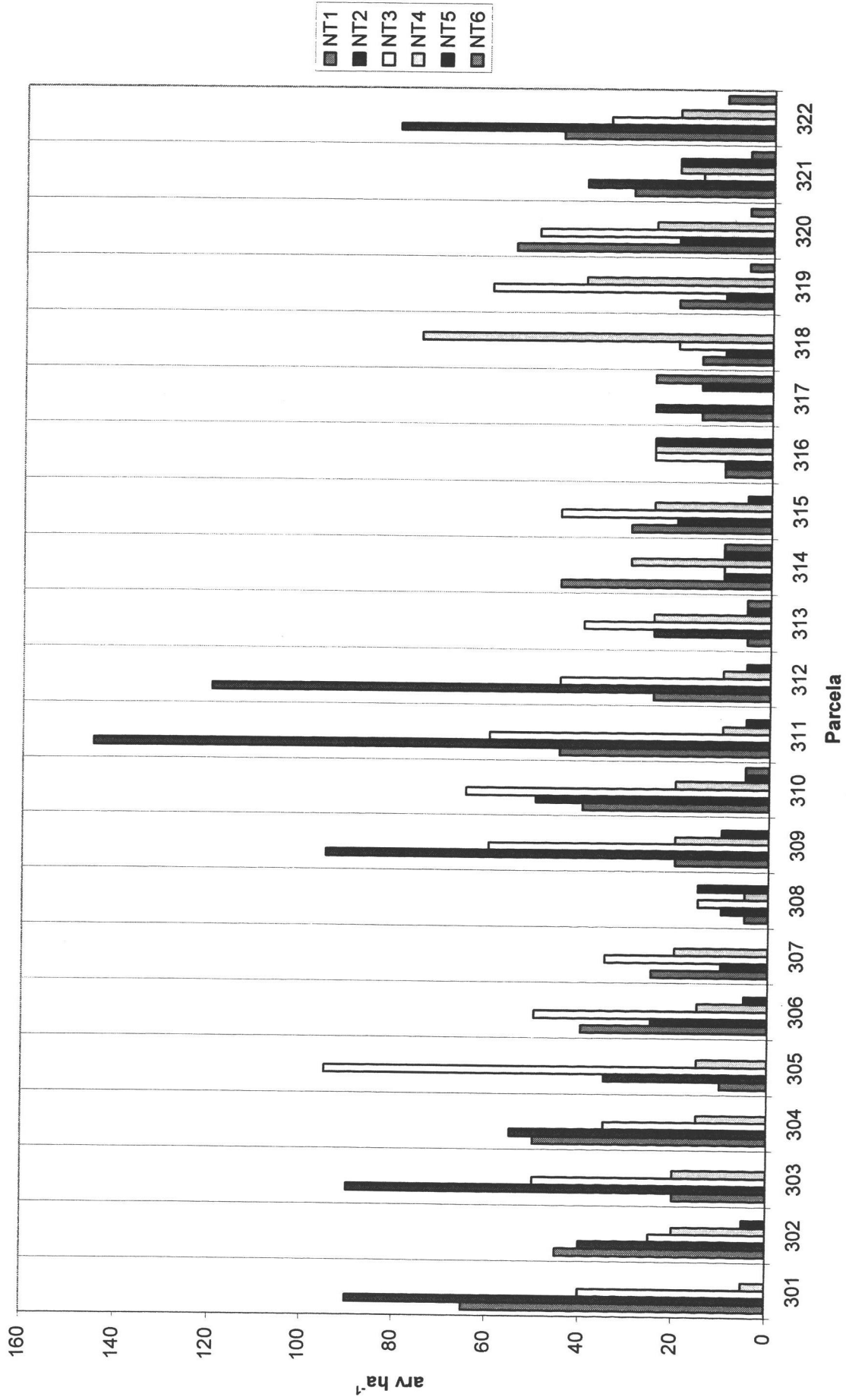


Figura 37 – Distribuição de frequências de árvores pelas classes de capi NT1, NT2, NT3, NT4, NT5 e NT6

