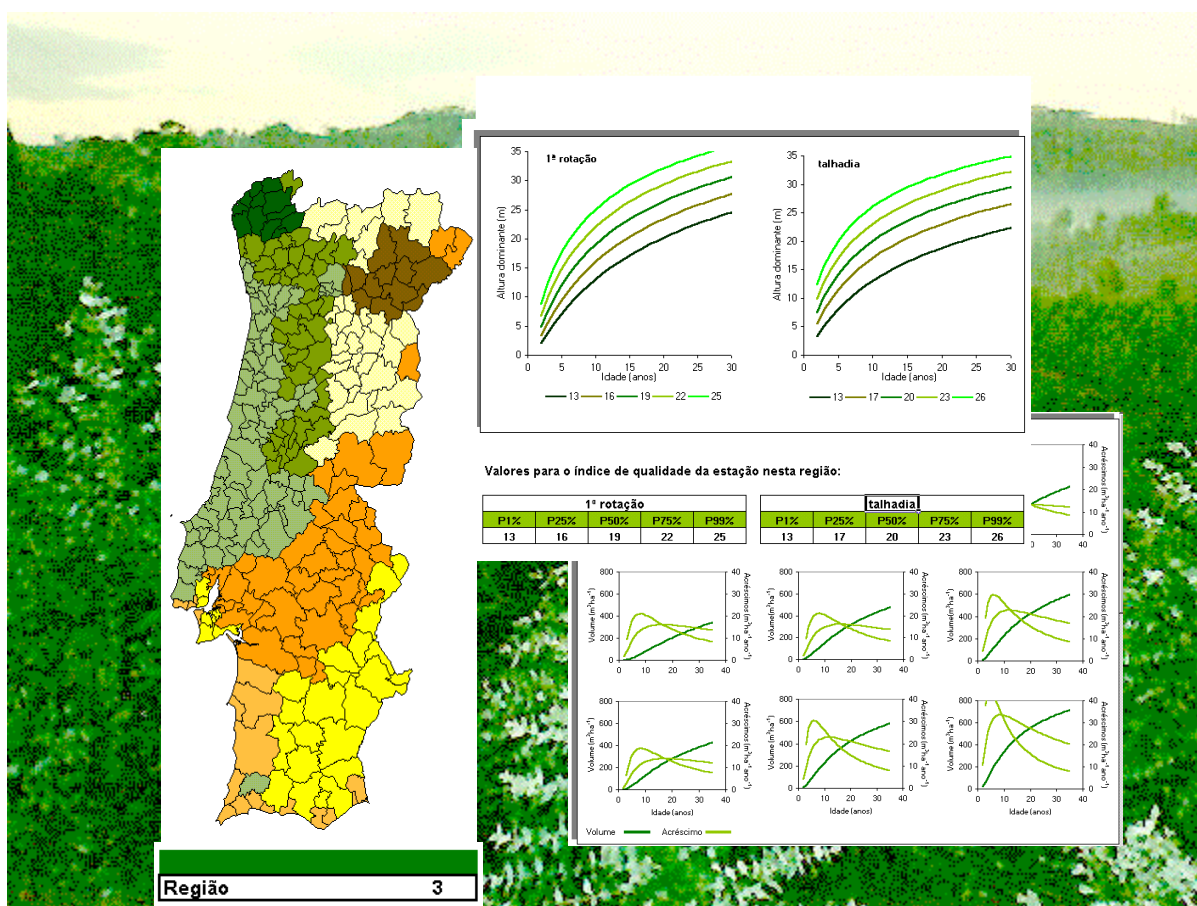


O modelo GLOBULUS 2.1

Margarida Tomé, Fernanda Ribeiro e Paula Soares



GIMREF

Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Trabalho desenvolvido no âmbito do projecto PRAXIS /3/3.2/PAPEL/2323/95

LCA - do eucalipto ao papel

O modelo GLOBULUS 2.1

1	Introdução _____	1
2	Regiões utilizadas _____	4
3	Dados _____	8
3.1	Descrição _____	8
3.2	Verificação dos dados e eliminação de medições erradas _____	11
3.3	Caracterização dos conjuntos de dados _____	11
3.4	Variação do índice de qualidade da estação em cada região _____	18
4	Metodologia para o desenvolvimento do modelo _____	22
4.1	Estrutura do modelo _____	22
4.2	Compatibilidade entre as funções de crescimento e de inicialização _____	24
4.3	Componentes do modelo _____	27
4.4	Metodologia utilizada na avaliação das novas componentes do modelo GLOBULUS 2.1 _____	29
4.4.1	Seleção de modelos candidatos _____	28
4.4.2	Critérios para a selecção de modelos _____	29
4.4.3	Análise das propriedades estatísticas do modelo seleccionado _____	30
4.4.4	Caracterização do erro do modelo final _____	31
4.5	Avaliação global do modelo _____	32

5	Ajustamento e validação das diversas componentes do modelo	33
5.1	Crescimento em altura dominante e estimação da classe de qualidade	33
5.1.1	Justificação da necessidade de um novo modelo	33
5.1.2	Modelo seleccionado	33
5.2	Inicialização e crescimento em área basal	35
5.2.1	Justificação da necessidade de um novo modelo e selecção de modelos candidatos	35
5.2.2	Modelos seleccionados	36
5.3	Inicialização e crescimento em volume	40
5.3.1	Modelos seleccionados	40
5.4	Predição de volumes mercantis	45
5.5	Mortalidade	48
5.5.1	Justificação da necessidade de um novo modelo	48
5.5.2	Modelos seleccionados	48
5.6	Equações para estimação das biomassas total e por componentes	50
5.6.1	Equações ao nível da árvore	50
5.6.2	Equações ao nível do povoamento	50
5.7	Carbono e nutrientes acumulados na biomassa	53
5.8	Transição entre rotações	55
6	O modelo GLOBULUS 2.1	57
6.1	As componentes do modelo	57
6.2	Avaliação global do modelo	63
7	Referências bibliográficas	69

ANEXOS

Lista de símbolos

d_{ap}	diâmetro medido a 1.30 m de altura (cm)
d_d	diâmetro de despona (cm)
d_{dom}	diâmetro da árvore dominante de área seccional média (cm)
d_g	diâmetro da árvore de área seccional média (cm)
e	base do logaritmo neperiano
A	assíptota
rot	Rotação: 0 – alto-fuste; 1 - talhadia
Fe	factor de espaçamento
G	área basal por hectare ($m^2 ha^{-1}$)
h_{dom}	altura dominante - altura média das árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare (m)
l_{qe}	índice de qualidade da estação - altura dominante aos 10 anos (m)
\log	logaritmo de base e
N	número de árvores vivas por hectare (ha^{-1})
N_{pl}	número de árvore plantadas por hectare (ha^{-1})
r_p	erro de predição
T	idade (anos)
V	volume total por hectare ($m^3 ha^{-1}$)
V_d	Volume por hectare até ao diâmetro de despona d ($m^3 ha^{-1}$)
W_t	biomassa total aérea ($t ha^{-1}$)
W_{tronco}	biomassa do tronco ($t ha^{-1}$)
W_{copa}	biomassa da copa ($t ha^{-1}$)
W_{casca}	biomassa da casca ($t ha^{-1}$)
W_{lenho}	biomassa de lenho ($t ha^{-1}$)
W_{folhas}	biomassa de folhas ($t ha^{-1}$)
W_{ramos}	biomassa de ramos ($t ha^{-1}$)

O modelo GLOBULUS 2.1

1 Introdução

O modelo GLOBULUS 2.0 foi desenvolvido no âmbito do projecto PAMAF nº 4058 *Desenvolvimento e implementação de modelos regionais de crescimento e produção para o eucalipto*. O objectivo principal deste projecto era o de desenvolver um modelo para a previsão do crescimento do eucalipto, aplicável a todo o país, embora reflectindo crescimentos diferentes para diferentes condições edafo-climáticas. O modelo descrito neste trabalho representa uma versão aperfeiçoada do modelo então obtido, o modelo GLOBULUS 2.1, a qual foi desenvolvida no âmbito do projecto PRAXIS com a referência PRAXIS/3/3.2/PAPEL/2323/95 (*LCA – do eucalipto ao papel*).

Tal como a correspondente 1ª versão, o modelo GLOBULUS 2.1 tem as seguintes melhorias em relação aos modelos anteriores:

- está baseado na classificação prévia do país em zonas homogéneas com base em variáveis climáticas (Ribeiro e Tomé, 2000)
- foi desenvolvido com dados de todo o país, com uma representatividade razoável das diversas regiões em que o país foi classificado, pelo menos para os povoamentos em 1ª rotação, com excepção da região Norte litoral, na qual apenas se dispõe de dados de um ensaio de compassos e mais um número muito pequeno de observações em plantações industriais. Para a organização destes dados numa base de dados relacional foi desenvolvida e implementada em Microsoft ACCESS, no âmbito do projecto PAMAF acima referido, a base de dados *sibFlor-Eg* (Falcão, 1998)
- foi feita uma análise da necessidade de parametrização de acordo com a localização do povoamento numa das oito regiões definidas, assim como para os povoamentos em talhadia, testando-se ainda a interacção do efeito da talhadia com a localização do povoamento (apenas Norte, contra Sul e interior)
- foi desenvolvida metodologia para a obtenção de modelos compatíveis para a inicialização e predição do crescimento em área basal ($dap > 5$)
- foi desenvolvida metodologia para a obtenção de modelos compatíveis para a inicialização e predição do crescimento em volume do povoamento, por sua vez compatíveis com a área basal e a altura dominante do povoamento

- foram ajustados não só modelos para a predição do volume total (dap>5) com casca, mas também para a predição do correspondente volume total sem casca, assim como de volumes mercantis (com e sem casca) para despontas entre 5 e 10 cm
- foi analisada a variabilidade da produtividade dos eucaliptais em Portugal, no todo e em cada uma das regiões definidas, análise que é essencial para prever o crescimento potencial de um povoamento de eucalipto de acordo com a sua localização e com uma classificação subjectiva da estação, relativamente a outras da mesma região, em cinco classes de qualidade: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Em relação ao modelo GLOBULUS 2.0, o presente modelo apresenta as seguintes alterações/melhorias:

- foi realizada uma validação adicional dos dados, em consequência da qual se procedeu a algumas correcções adicionais
- foram acrescentados à base de dados os novos dados provenientes dos ensaios cuja medição é da responsabilidade do ISA
- foi feita uma redefinição das variáveis indicatrizes das regiões climáticas, de modo a que o valor 1 de cada variável indicatriz corresponda sempre à região de maior produtividade
- durante a aplicação do modelo GLOBULUS 2.0 detectaram-se casos em que os valores observados da altura dominante e especialmente da área basal eram superiores ao valor da assíptota, facto que levava a estimativas de crescimento decrescentes; por outro lado, a forma do feixe de curvas da altura dominante do modelo GLOBULUS 2.0 não parecia razoável (as diferentes curvas aproximavam-se excessivamente umas das outras para idades superiores a 20 anos). Assim, optou-se por analisar modelos alternativos que correspondam a valores de assíptotas mais elevados
- no âmbito do modelo GLOBULUS 2.1 desenvolveu-se uma metodologia que permite substituir, na função de projecção em área basal, a utilização do número de árvores à plantação / número de varas após monda (consoante se trate de um povoamento em 1ª ou em talhadia) pelo número de árvores vivas em cada idade; por um lado, é difícil avaliar no campo o número de árvores após monda, por outro lado a utilização do número de árvores vivas em cada idade permitirá introduzir alguma correcção à predição do crescimento em povoamentos com bastante mortalidade
- no modelo GLOBULUS 2.0 a equação para a simulação da mortalidade era bastante simplificada, não incluindo a influência do índice de qualidade da estação, da densidade do povoamento ou da região, pelo que se desenvolveu um modelo melhorado

- manteve-se o sistema de equações para a predição e projecção de volumes totais com e sem casca e de volumes mercantis que haviam sido ajustados para o modelo GLOBULUS 2.0
- foram desenvolvidos sub-modelos para a estimação das biomassas totais e por componentes, o que implicou, numa primeira etapa, o ajustamento de equações ao nível da árvore e, numa segunda fase, o ajustamento de um sistema de equações para a predição das biomassas totais e por componentes ao nível do povoamento
- com base nas estimativas de biomassa totais e por componentes e nos dados sobre a composição química das diversas componentes de biomassa publicadas em Pereira *et al.* (1988), o modelo GLOBULUS 2.1 fornece estimativas de carbono e macro-nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados, ao longo do tempo, em cada uma das componentes da biomassa.

2 Regiões utilizadas

A classificação do país em zonas homogéneas surge na sequência de um trabalho idêntico realizado apenas para o património florestal da Soporcel (Amaro *et al.*, 1994). A validação dos modelos GLOBUS e TWIGGY/EUSOP para várias regiões identificadas nesse trabalho (Amaro e Tomé, 1996) indicou o enviesamento destes modelos em regiões diferentes daquelas para as quais haviam sido desenvolvidos. Surgiu assim a necessidade de “classificar” o país em zonas relativamente homogéneas do ponto de vista edafo-climático ou climático, com base nas quais se pudesse analisar a necessidade de parametrizar as componentes do modelo em função da localização do povoamento.

Uma primeira tentativa neste sentido foi apresentada por Oliveira (1997). Esta classificação teve como unidade primária de análise a freguesia e, com base num vasto conjunto de variáveis edafo-climáticas, foram propostas diversas classificações do país em zonas homogéneas do ponto de vista edafo-climático. A análise dos resultados obtidos com a classificação do país em zonas homogéneas a partir de variáveis edafo-climáticas e utilizando a freguesia como unidade de análise não nos pareceu totalmente correcta, associando na mesma zona regiões com diferentes produtividades. Uma análise cuidadosa levou-nos a suspeitar que a classificação ponderava demasiado as variáveis edáficas.

Este facto, conjugado com a verificação de que, na prática, uma grande proporção dos dados disponíveis não estavam geo-referenciados, sendo o concelho a única localização conhecida, levou-nos a realizar uma segunda classificação baseada apenas em variáveis climáticas e utilizando o concelho como unidade de análise. Os 275 concelhos do país foram caracterizados do ponto de vista climático com base na informação climática do Atlas do Ambiente que se encontra disponível sob forma digital. Utilizou-se análise em componentes principais seguida de uma classificação hierarquizada para dividir o país em 6 regiões. Com base no conhecimento empírico sobre a produtividade do eucalipto nas diferentes regiões do país, decidiu-se dividir (com base em metodologia idêntica à utilizada para a primeira classificação) duas das regiões assim originadas em duas sub-regiões, obtendo-se no final oito regiões. Uma descrição mais detalhada da classificação climática que serve de base ao modelo GLOBULUS encontra-se em Ribeiro e Tomé (2000). É evidente que esta classificação, como qualquer outra, não considera todos os factores que controlam o crescimento do eucalipto, mas as regiões parecem razoáveis como base de trabalho para analisar a importância das diferenças climáticas na produtividade dos eucaliptais e na forma das curvas de crescimento.

A decisão de utilizar uma classificação hierárquica prendeu-se com o desenvolvimento de uma metodologia para analisar, na fase de construção do modelo, a necessidade de parametrizar as funções de crescimento para as diferentes regiões. A vantagem de uma classificação climática hierárquica, surgiu na sequência do desenvolvimento do modelo GLOBULUS 1.0, no qual foram consideradas apenas três regiões. Durante o ajustamento das diversas componentes consideradas nesta versão preliminar do modelo, apercebemo-nos das dificuldades surgidas na análise da significância das diferenças entre regiões, resultantes da existência de um número razoável de regiões totalmente independentes.

A figura 1 representa a localização geográfica de cada uma das regiões que se obtiveram com a metodologia exposta. No ANEXO 1 encontra-se a correspondência entre os 275 concelhos e as 8 regiões definidas.

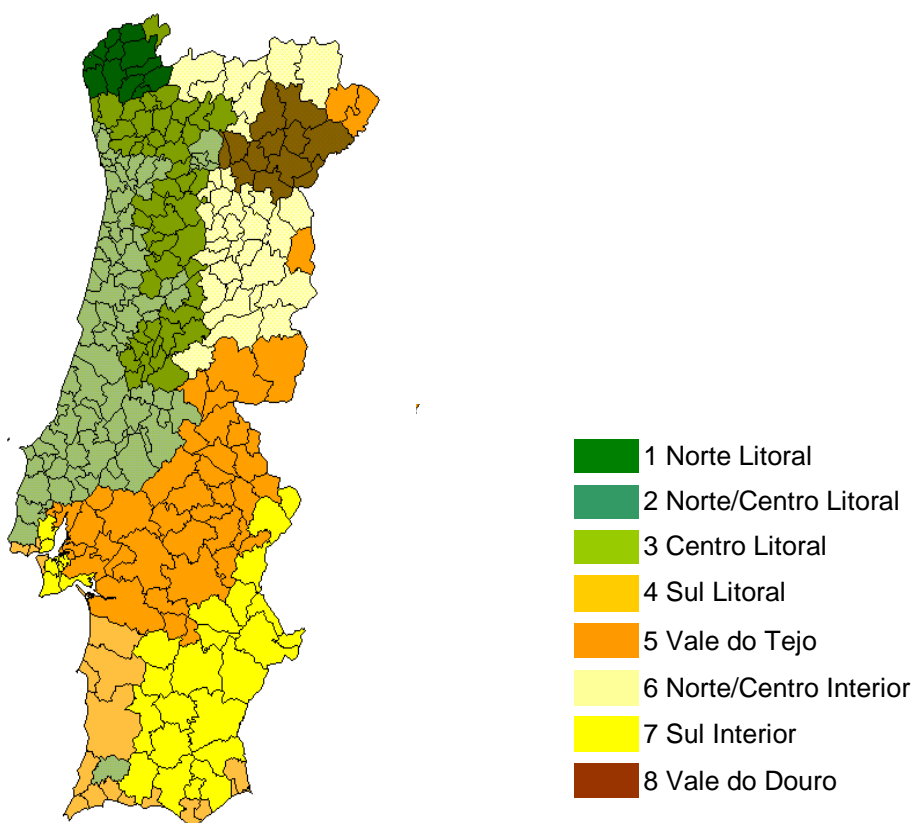


Figura 1. Mapa com as 8 regiões resultantes da classificação dos concelhos do país em regiões climaticamente homogêneas.

Tornou-se bastante difícil encontrar nomes adequados para as diversas regiões, pelo que se preferiu atribuir-lhe números de acordo com a ordenação dos valores mais frequentes do

índice de qualidade da estação. Contudo, para uma mais fácil localização, ao número acrescentaram-se duas letras indicadoras da localização aproximada da região, obtendo-se:

- 1NL - região Norte litoral
- 2NC - região Norte/Centro litoral
- 3CL - região Centro litoral
- 4SL - região Sul litoral
- 5NI - região Norte e Centro Interior
- 6VT - região do Vale do Tejo
- 7SI - região Sul interior
- 8VD - região do Vale do Douro interior

A tabela 1 apresenta resumidamente as características das 8 regiões climáticas adoptadas, as quais se representam graficamente na figura 2. Na figura 3 encontra-se representada a relação hierárquica entre as diversas regiões, assim como a estrutura de variáveis indicatrizes que foram definidas para as identificar durante o processo de ajustamento das diversas componentes do modelo.

Tabela 1. Caracterização climática das 8 regiões adoptadas.

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Temp média								
Min	11	10	10	16	11	7	15	14
Média	13	13	15	17	15	11	16	15
Max	14	15	17	18	17	14	18	15
N. dias geada								
Min	5	6	2	1	8	16	5	20
Média	19	30	17	4	26	51	22	42
Max	34	79	56	14	43	85	35	65
Precipitação								
Min	1510	1046	550	372	550	511	484	463
Média	1929	1436	958	575	690	1033	595	680
Max	2623	2007	1574	750	1053	1764	820	874

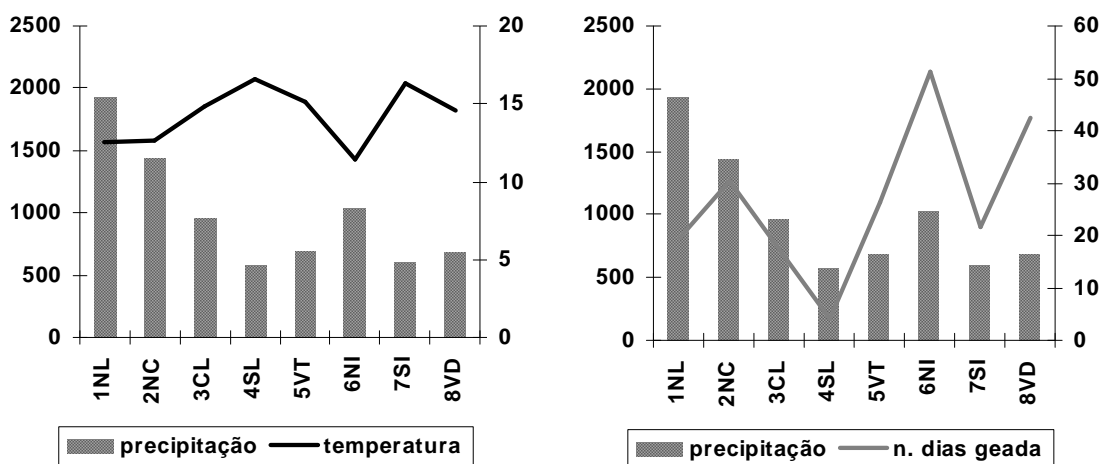


Figura 2. Caracterização climática das 8 regiões adoptadas.

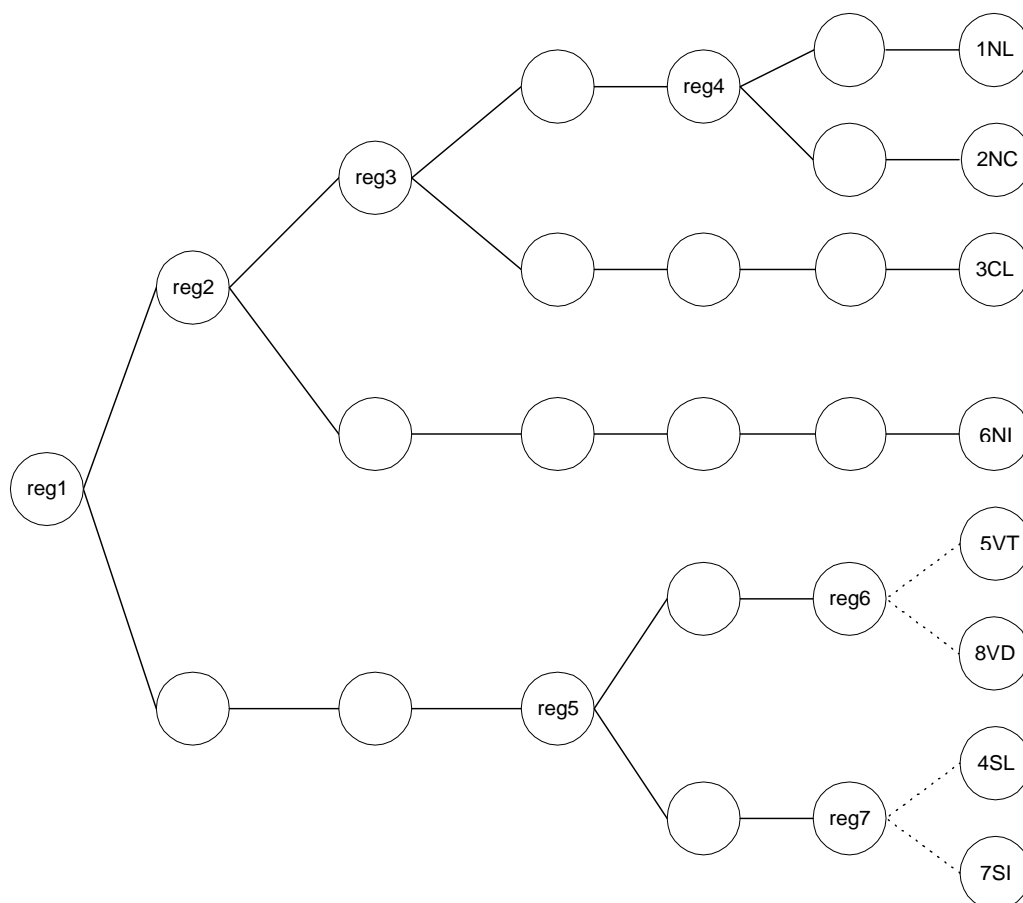


Figura 3. Estrutura hierárquica das regiões e correspondente estrutura de variáveis indicatrizes. Em cada nó, ao ramo superior corresponde o valor 1 da variável indicatriz e ao ramo inferior o valor 0.

3 Dados

3.1 Descrição

Foi feita uma análise exaustiva dos dados disponíveis em Portugal sobre o crescimento do eucalipto, tendo sido seleccionados os seguintes dados para integração do sistema florestal a desenvolver:

- Parcelas permanentes da STORACELBI
- Parcelas permanentes da CELPA
- Parcelas permanentes STRIDE/PAMAF
- Ensaios de compassos das empresas e do ISA
- Outros ensaios (*p.e.* as parcelas testemunhas e fertilizadas de um ensaio de fertilização e rega instalado pela STORACELBI em colaboração com o ISA e a SLU)
- Dados do inventário florestal contínuo da PORTUCEL
- Dados do inventário florestal contínuo da SOPORCEL
- Dados do inventário florestal contínuo da SILVICAIMA

Optou-se por excluir os dados provenientes de povoamentos clonais, uma vez que estes eram em número extremamente reduzido, não permitindo uma análise segura da necessidade de incluir a constituição genética nas diversas componentes do modelo.

A maior "falha" nos dados que se conseguiram reunir liga-se com a falta de informação sobre o efeito de outras práticas silvícolas para além do compasso de plantação, assim como na pouca informação disponível sobre a relação entre o índice de qualidade da estação em rotações sucessivas.

A tarefa de implementação da base de dados acabou por se tornar numa tarefa muito demorada, consequência quer da enorme quantidade de informação processada, quer da necessidade de compatibilizar e validar informação recolhida com protocolos bastante distintos. Desenvolveu-se, como já foi referido, uma base de dados (em *Microsoft Access*) adequada para o processamento, armazenamento, validação e utilização (para efeitos de modelação) desses dados, o sistema de informação biométrica florestal *sibFlor-Eg* (Falcão, 1998). Este sistema reúne os dados acima referidos. Foram ainda programadas em *Visual Basic* um conjunto de rotinas de validação que permitiram detectar uma grande parte das incorrecções dos dados para inspecção manual posterior e eventual eliminação ou correcção. A figura 4 representa a estrutura da base de dados do sistema *sibFlor-Eg*.

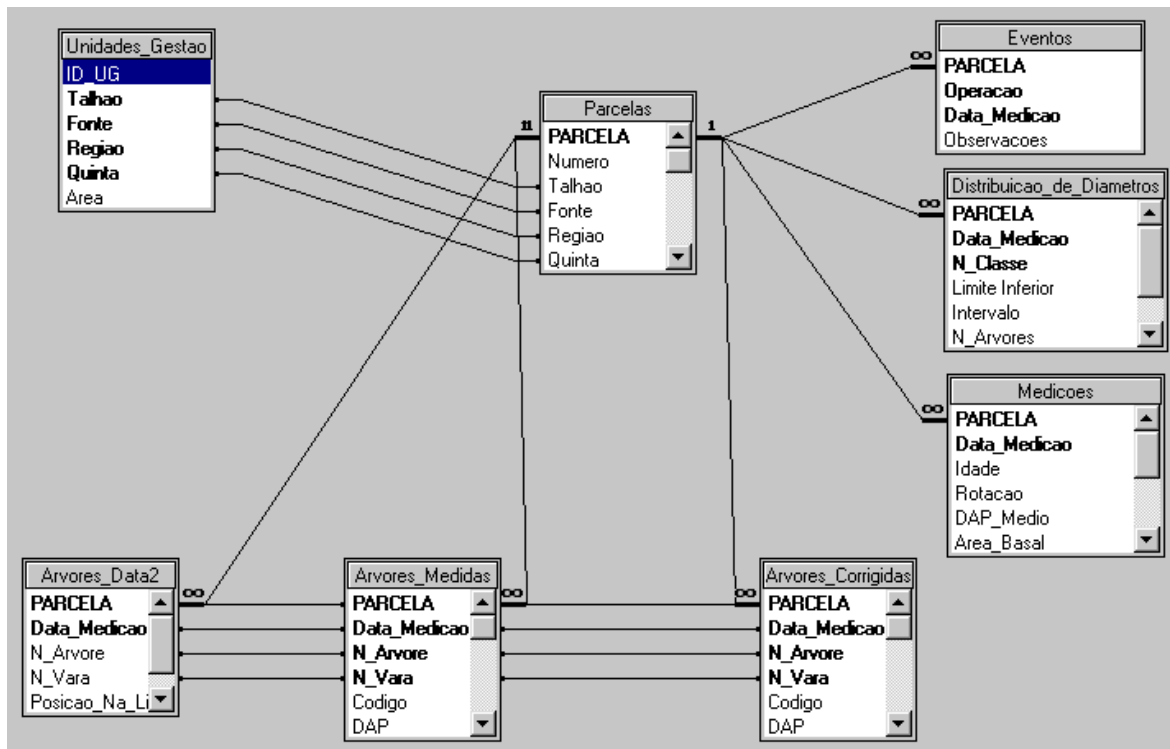


Figura 4. Estrutura da base de dados do sistema *sibFlor-Eg*, representando as principais tabelas do sistema e as respectivas relações.

Os dados utilizados no desenvolvimento do modelo GLOBULUS 2.1 foram obtidos por “queries” realizadas à base de dados *sibFlor-Eg*. Como já foi dito diversas vezes, os dados disponíveis são provenientes de parcelas permanentes e ensaios, assim como dos inventários florestais contínuos das empresas de celulose que fazem parte da equipa do projecto, o que teve implicações em termos das variáveis a utilizar no desenvolvimento do modelo.

Uma primeira decisão que teve de ser tomada relaciona-se com o facto de nas parcelas dos inventários florestais das empresas apenas se realizar a contagem das árvores/varas com diâmetro à altura do peito inferior a 5 cm, não se registando o respectivo diâmetro. Assim foi tomada a opção de utilizar a área basal e os volumes (totais e mercantis) excluindo estas árvores. Para simplificação de linguagem utilizar-se-ão simplesmente as designações área basal, volume total e volumes mercantis.

Foram realizadas duas “queries” à base de dados, uma para obter dados ao nível do povoamento, a outra para obter dados ao nível da árvore individual. Nesta última, essencial para o cálculo dos volumes totais e mercantis com que se desenvolveram os modelos para a predição de volumes, foram excluídos os dados provenientes do inventário florestal da

Soporcel, uma vez que esta empresa não tinha estes dados disponíveis em formato facilmente acessível.

Cada registo retirado da base de dados na 1ª “*query*” corresponde às seguintes variáveis resultantes do processamento dos dados da medição de uma parcela permanente ou de uma parcela de inventário:

- Identificação da parcela e da medição, incluindo instituição responsável pela medição, talhão, número da parcela, concelho
- Ano da medição
- Idade
- Número de árvores à plantação ou número de varas após monda no caso das talhadas (ha^{-1})
- Número de árvores vivas (ha^{-1})
- Altura dominante
- Área basal (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)

Cada registo retirado da base de dados na 2ª “*query*” corresponde às mesmas variáveis que as retiradas na 1ª “*query*”, acrescidas da área da parcela e da seguinte informação relativa à árvore:

- Número da árvore
- Diâmetro à altura do peito (*dap*)
- Código da árvore (se modelo, se com defeitos, etc)
- Altura total

Os dados desta “*query*” foram processados com um programa SAS especificamente escrito para o efeito e que, utilizando as equações de Tomé (1990), calcula os volumes totais e com despontas a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm para cada árvore (com e sem casca) e os correspondentes volumes por hectare. Obteve-se o ficheiro que foi utilizado na modelação dos volumes totais e mercantis (com e sem casca):

- Identificação da parcela e da medição, incluindo instituição responsável pela medição, talhão, número da parcela, concelho
- Ano da medição
- Idade
- Número de árvores à plantação ou número de varas após monda no caso das talhadas (ha^{-1})
- Número de árvores vivas (ha^{-1})
- Altura dominante
- Área basal (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)

- Volume total com casca (ha^{-1} , para $\text{dap}>5$ cm)
- Volume total sem casca (ha^{-1} , para $\text{dap}>5$ cm)
- Volumes com despona a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm com casca (ha^{-1} , para $\text{dap}>5$ cm)
- Volumes com despona a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm sem casca (ha^{-1} , para $\text{dap}>5$ cm)

3.2 Verificação dos dados e eliminação de medições erradas

Muito embora os dados já tivessem sido objecto de diversas validações, foi realizada uma validação adicional. Numa primeira fase escreveram-se dois programas SAS (semelhantes, mas para os dois conjuntos de dados disponíveis, com ou sem volumes) com duas funções:

1. Eliminação de dados com grande probabilidade de estarem errados

Foi definido um conjunto de regras sobre a verosimilhança dos dados que permitissem eliminar dados poucos prováveis

2. Preparação dos ficheiros a utilizar na fase de ajustamento do modelo, os ficheiros de predição (EQPRED10.SD2 e VEQPRED10.SD2) e os ficheiros de equações às diferenças (EQDIF10.SD2 e VEQDIF10.SD2).

Os primeiros foram utilizados no ajustamento de funções de predição. Os segundos, utilizados no ajustamento de equações às diferenças, foram construídos a partir dos primeiros, contendo todos os pares sucessivos de medições realizadas na mesma parcela.

Numa segunda fase, foi realizada uma análise gráfica que permitiu ainda apurar a validação já realizada. No final obtiveram-se 31,416 observações no conjunto total de predição e 11,371 observações no conjunto total de projecção.

Note-se que os ficheiros utilizados no ajustamento das novas componentes do modelo GLOBULUS 2.1 são ligeiramente diferentes dos que haviam sido utilizados no modelo anterior, em consequência, como já foi dito, do apuramento da validação e edição dos dados e do facto de se haverem acrescentado os novos dados provenientes dos ensaios cuja medição é da responsabilidade do ISA.

3.3 Caracterização dos conjuntos de dados

As tabelas 2A e 2B apresentam várias estatísticas, por região, para o conjunto total de dados a utilizar no ajustamento e validação das funções de predição, respectivamente para povoamentos em 1ª rotação e em talhadia. As características dos outros conjuntos de dados

(para ajustamento de funções de projecção e os utilizados na modelação dos volumes) são semelhantes, apenas com diferença no número de dados.

As figuras 5 e 6 pretendem caracterizar melhor os dados disponíveis para o desenvolvimento do modelo. Referem-se ao mesmo conjunto de dados de predição. Os problemas que facilmente se detectam nestes dados são mais agravados no conjunto com volumes, uma vez que este exclui toda a informação proveniente da Soporcel.

Tabela 2A. Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – 1ª rotação (n=27369).

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Nobs	98	1538	8194	1111	11364	836	3600	628
Idade								
Min	1.0	0.6	0.8	2.8	1.1	2.6	2.8	3.0
Média	5.4	5.6	7.8	6.5	6.7	7.2	6.5	5.4
Max	12.1	19.4	34.3	14.2	20.8	11.9	13.5	8.0
h_{dom}								
Min	2.6	2.8	1.5	4.8	2.1	4.0	3.5	3.0
Média	16.8	13.7	16.6	14.4	12.3	12.0	11.7	8.2
Max	29.2	28.1	36.6	27.9	34.6	25.4	27.4	15.0
G								
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Média	17.2	9.8	11.7	9.6	6.4	7.2	5.3	2.7
Max	33.1	33.9	64.6	31.0	34.3	27.0	22.2	11.5
N								
Min	901	350	200	421	200	250	200	200
Média	2094	1297	1075	997	848	949	765	583
Max	4745	5000	3750	1850	2600	1875	1829	1575
Iqe								
Min	16.0	5.2	2.2	8.3	7.0	5.7	9.5	7.8
Média	24.5	21.5	20.1	19.2	17.0	16.0	15.9	13.6
Max	29.6	28.5	35.9	28.1	32.0	25.9	27.3	21.2

Como se pode concluir da análise das tabelas 2 e destas figuras, os dados apresentam diversos problemas, os quais vieram a ter consequências importantes no desenvolvimento dos modelos:

- A representatividade dos dados na região 1NL é quase nula. Uma análise cuidada das observações pertencentes a essa região permitiu concluir que quase todas as observações pertencem ao ensaio de compassos da Quinta do Paço, localizado numa estação excelente. Decidiu-se, então, por não considerar na análise a variável indicatriz de região reg4

Tabela 2B. Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – talhadia (n=4047).

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Nobs	0	242	1029	131	2477	38	130	0
Idade								
Min		1.7	1.1	4.4	1.9	6.1	2.3	
Média		8.0	7.5	7.8	6.8	7.8	5.8	
Max		14.9	19.1	11.7	17.1	10.4	10.4	
h_{dom}								
Min		4.8	4.2	9.0	5.1	5.5	5.8	
Média		16.9	16.3	17.1	14.4	13.0	11.1	
Max		28.2	30.8	25.4	29.5	19.9	21.0	
G								
Min		0.6	0.4	2.4	0.1	0.4	0.3	
Média		14.4	12.1	12.0	9.2	8.5	4.2	
Max		36.0	45.8	21.2	35.8	19.5	18.2	
N								
Min		825	328	800	221	550	275	
Média		2048	1594	1320	1374	1405	755	
Max		3563	4852	2225	4179	2550	1650	
Iqe								
Min		12.2	8.5	11.2	8.1	8.0	10.2	
Média		19.8	19.6	19.0	17.9	15.2	14.5	
Max		29.3	29.1	25.1	29.0	20.5	22.5	

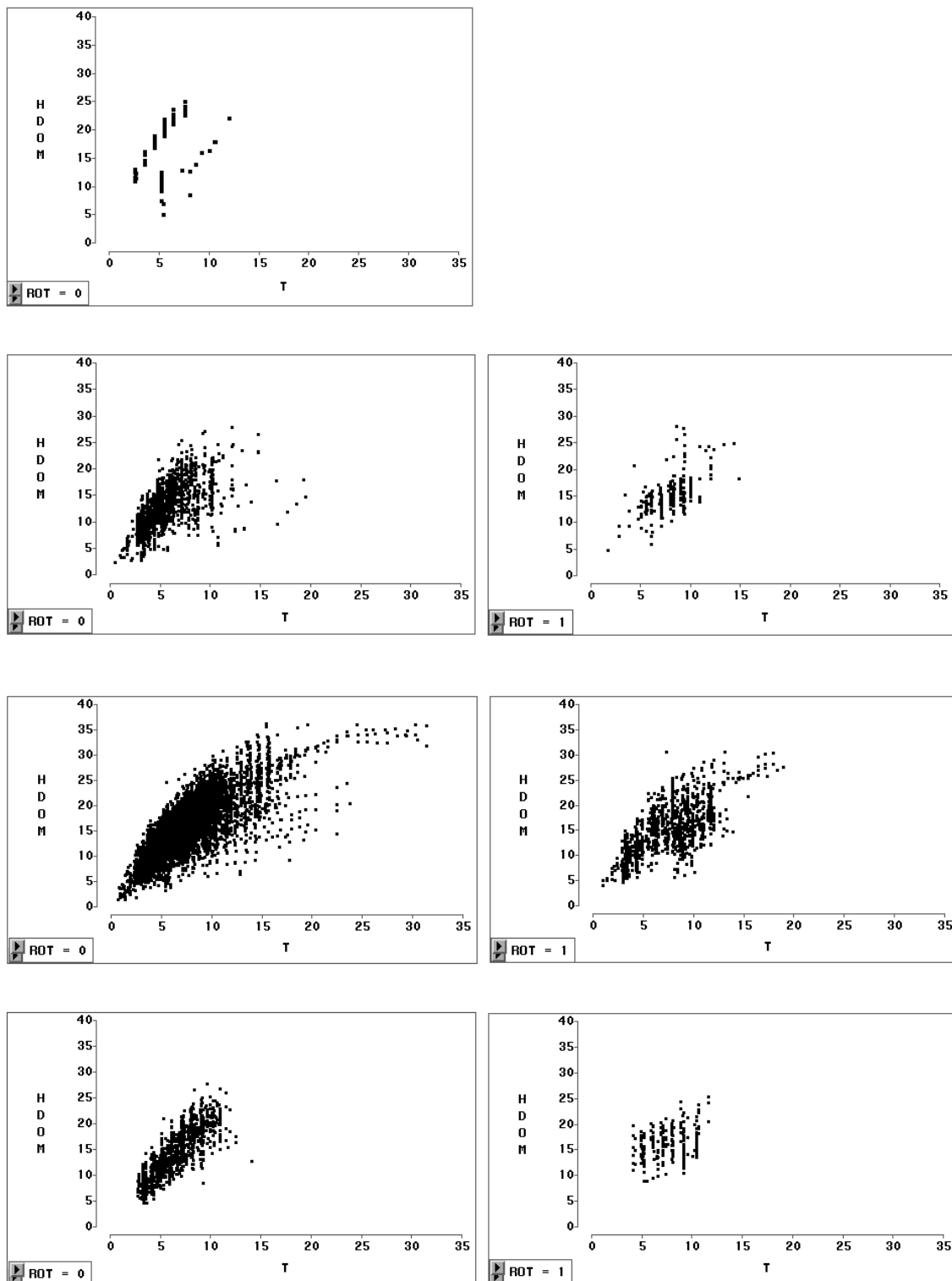


Figura 5A. Altura dominante em função da idade por rotações e regiões para as regiões a Norte do Tejo: em cima, Norte Litoral; no meio superior, Norte Centro Litoral; no meio inferior, Centro Litoral; em baixo, Norte Interior.

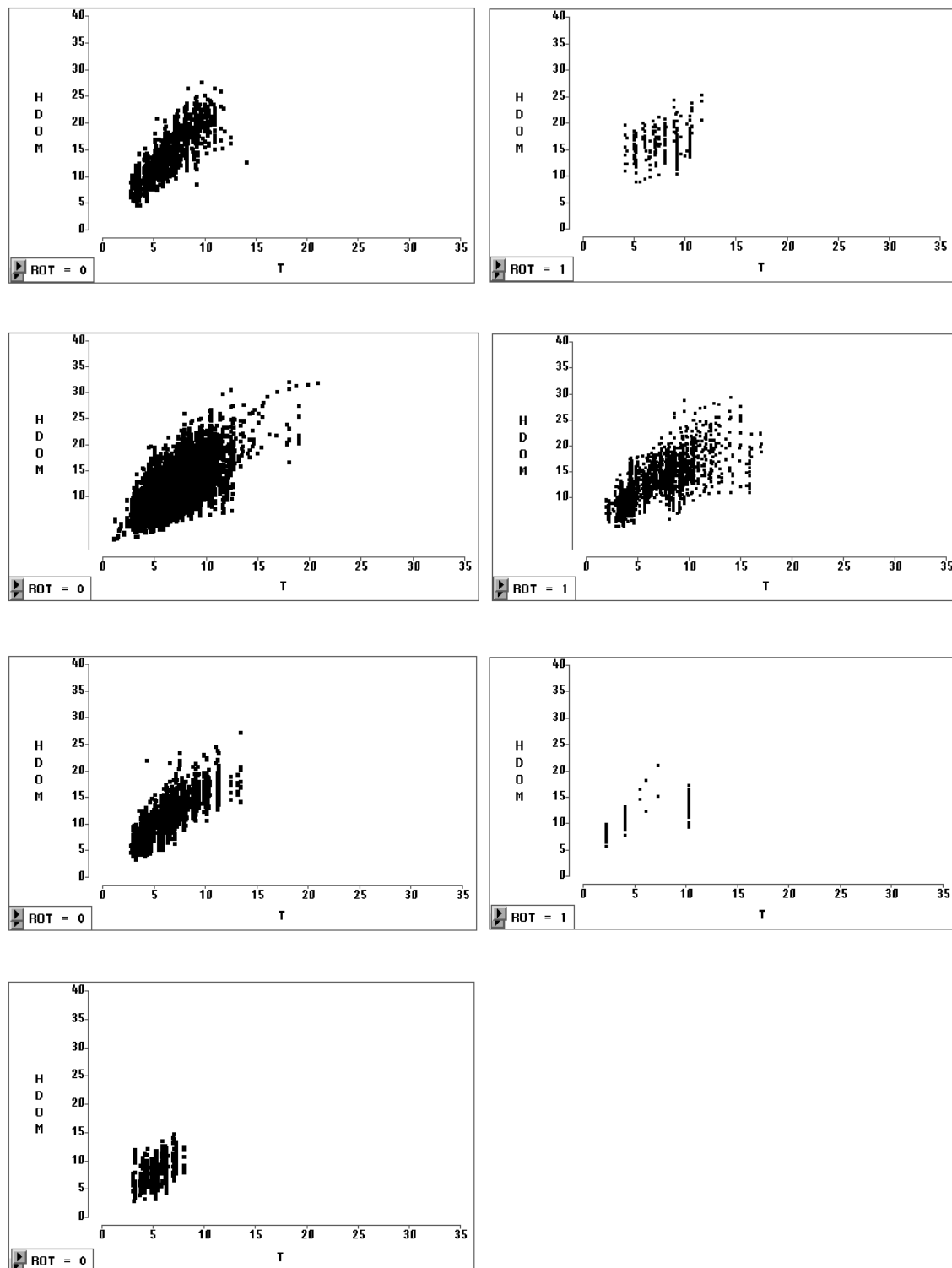


Figura 5B. Altura dominante em função da idade por rotações e regiões para as regiões a Sul do Tejo e nos Vales do Tejo e Douro Interior: em cima, Sul Litoral; no meio superior, Vale do Tejo; no meio inferior, Sul Interior; em baixo, Vale do Douro.

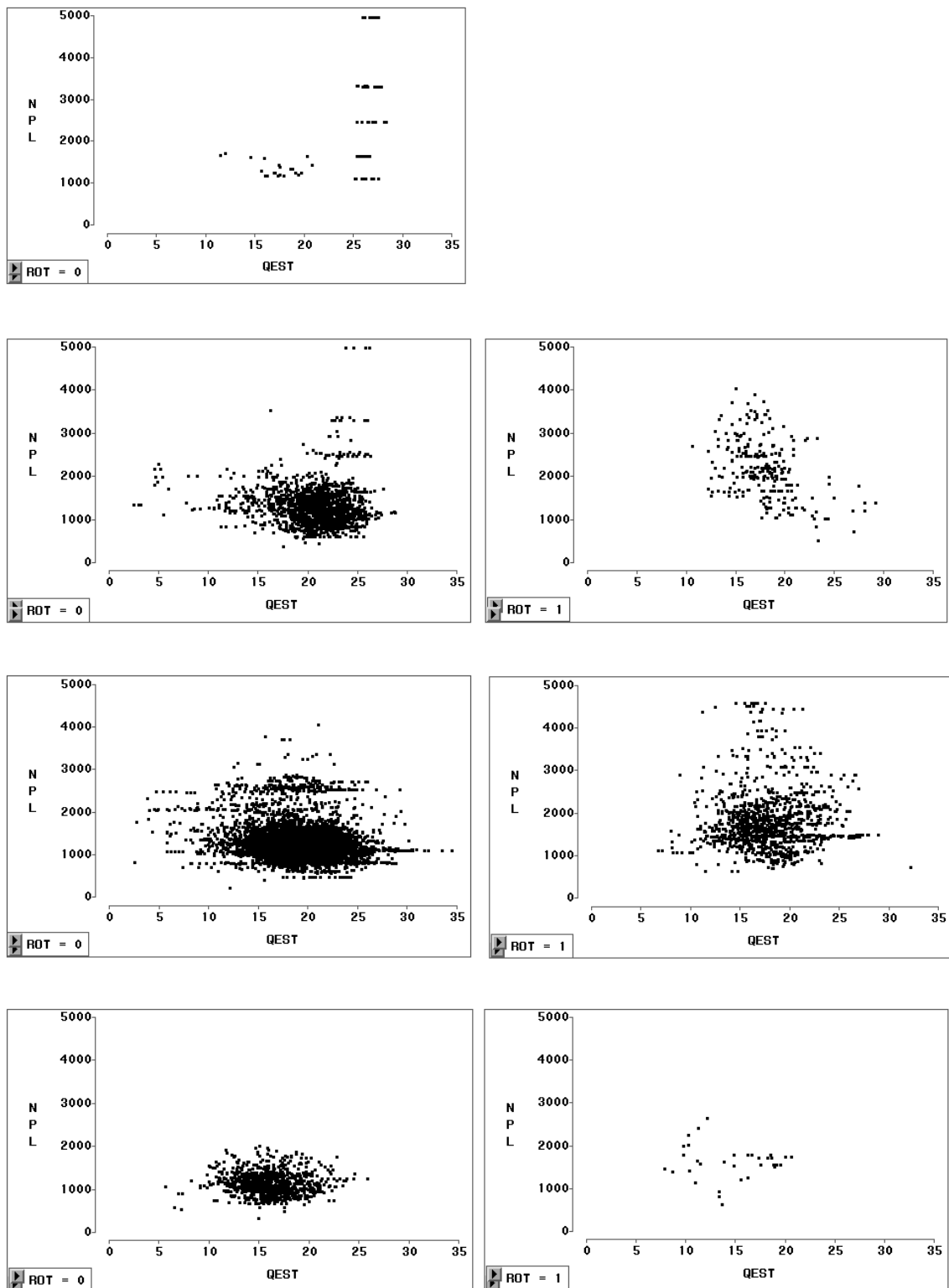


Figura 6A. Número de árvores à plantação em função do índice de qualidade da estação por rotações e regiões para as regiões a Norte do Tejo: em cima, Norte Litoral; no meio superior, Norte Centro Litoral; no meio inferior, Centro Litoral; em baixo, Norte Interior.

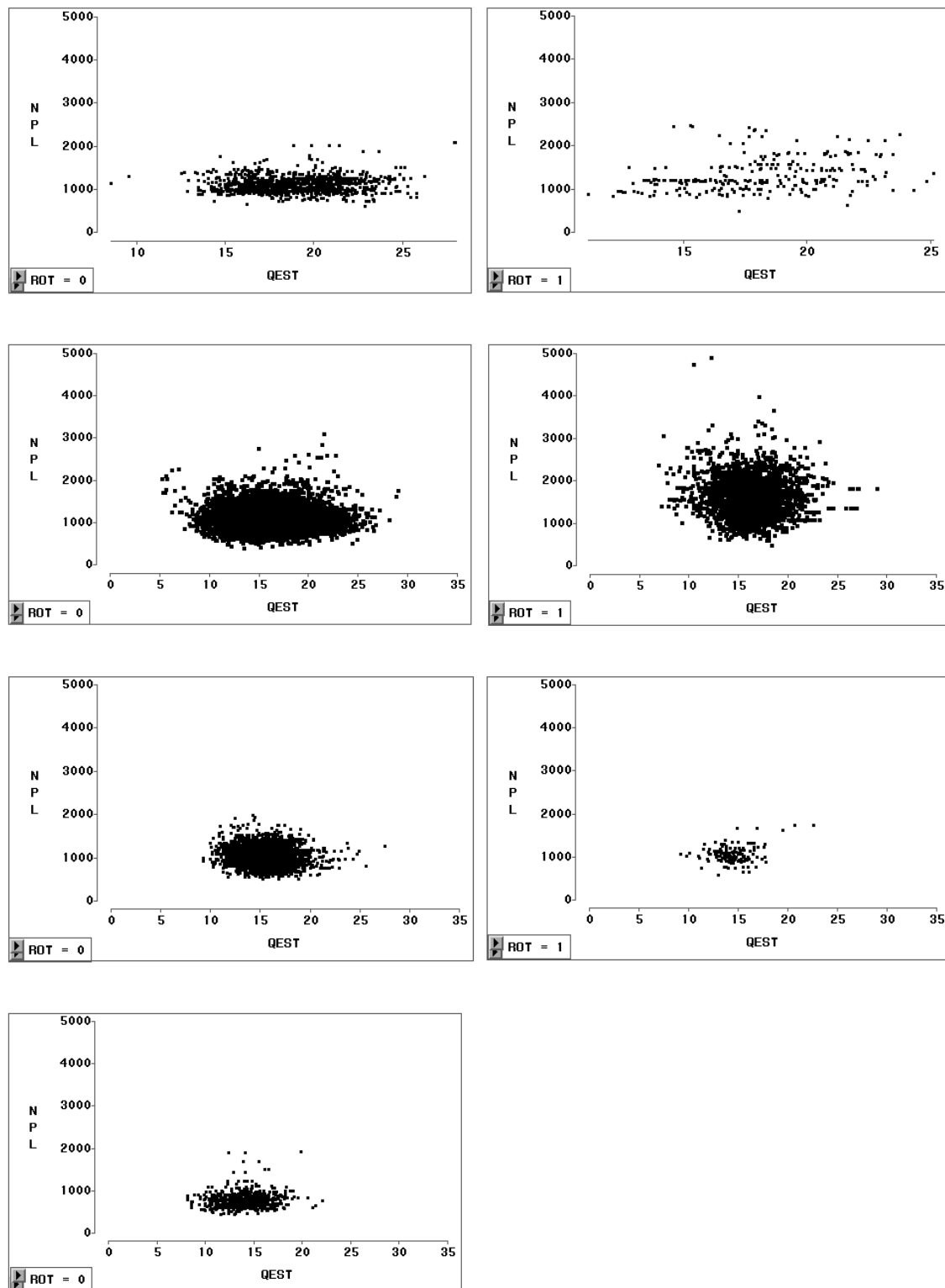


Figura 6B. Número de árvores à plantação em função do índice de qualidade da estação por rotações e regiões para as regiões a Sul do Tejo e nos Vales do Tejo e Douro Interior: em cima, Sul Litoral; no meio superior, Vale do Tejo; no meio inferior, Sul Interior; em baixo, Vale do Douro.

- Os dados relativos a povoamentos em talhadia são escassos para a maior parte das regiões. Apenas nas regiões Centro Litoral e Vale do Tejo existe um número razoável de dados em 2ª rotação. Decidiu-se por testar a interacção entre região e rotação apenas com base na variável indicatriz de região de nível 1, reg1 (separando, portanto, povoamentos a Norte de povoamentos a Sul e dos Vales do Tejo e Douro)
- A representatividade dos povoamentos com idades superiores a 10 anos é muito reduzida na maior parte das regiões, com excepção da região Centro Litoral e, em certa medida, das regiões no Vale do Tejo. O problema é mais acentuado nos povoamentos em talhadia. Esta desigual representatividade de idades mais avançadas nas diferentes regiões pode ter consequências graves para a estimação das assíptotas, como será discutido mais à frente
- a variabilidade dos dados no que diz respeito à densidade de plantação (figuras 6 A e B) também é extremamente variável entre regiões, com algumas regiões como é o caso do Centro Litoral e, em certa medida, do Vale do Tejo a apresentarem uma gama razoável de variação em densidade à plantação para todas as classe de qualidade, enquanto que outras não apresentam quase nenhuma variabilidade, como é o caso do Norte Interior e do Sul Litoral e Interior. O problema é ainda mais acentuado nos povoamentos em talhadia. Este facto pode, mais uma vez, “mascarar” a significância das variáveis de controlo: densidade à plantação, região e rotação
- A distribuição das densidades à plantação em função da qualidade da estação é, contudo, razoável.

3.4 Variação do índice de qualidade da estação em cada região

Um dos resultados mais importantes da análise dos dados disponíveis sobre o crescimento do eucalipto foi a caracterização do índice de qualidade de cada uma das 8 regiões climáticas em que o país foi classificado.

A figura 7 apresenta os diagramas de extremos e quartis para o índice de qualidade da estação (estimado com o modelo seleccionado em 5.1) nas diversas regiões. Nas parcelas monitorizadas durante mais do que um período de crescimento, seleccionou-se apenas o período de crescimento mais próximo dos 10 anos. Como se pode ver, há realmente diferenças grandes em produtividade entre as várias regiões, correspondendo as maiores produtividades médias, como é óbvio, às regiões com maior pluviosidade e menor número de dias de geada.

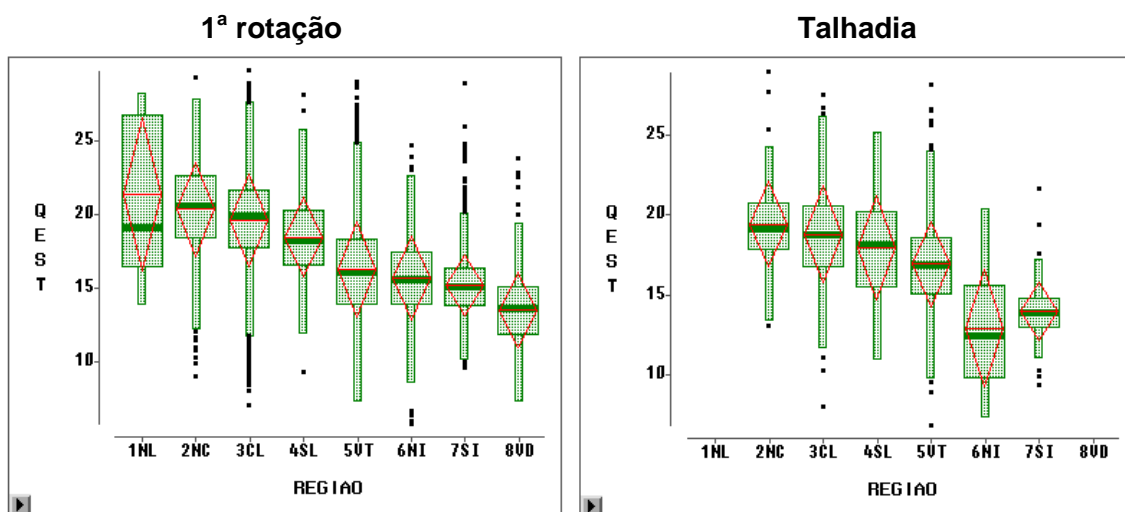


Figura 7. Índice de qualidade da estação para as 8 regiões (povoamentos com idade próxima dos 10 anos). A linha central de cada rectângulo indica o índice de qualidade da estação médio para a região, enquanto que a linha a traço grosso indica a mediana e os limites inferior e superior do rectângulo os percentis 25 e 75%, respectivamente.

A tabela 3 apresenta a frequência, o valor médio e os percentis 1, 25, 50, 75 e 99 para as distribuições do índice de qualidade da estação nas diversas regiões e para os povoamentos em alto fuste e talhadia.

A análise destes dados, em combinação com as respectivas frequências levou aos valores que se encontram na tabela 4, os quais pretendem caracterizar a distribuição do índice de qualidade da estação em cada uma das regiões, através da indicação dos valores mais prováveis para um povoamento que se situe numa estação subjectivamente classificada, em relação aos povoamentos da região em que o povoamento se situe, numa das seguintes classes:

- Produtividade muito elevada (I)
- Produtividade elevada (II)
- Produtividade média (III)
- Produtividade baixa (IV)
- Produtividade muito baixa (V)

Tabela 3. Distribuição observada do índice de qualidade da estação (Iqe) nas diversas regiões consideradas no modelo GLOBULUS 2.1.

Rotação	Região	Nºdados	Média	P1	P25	P50	P75	P99
1ª rotação	1NL	23	22	16	18	20	26	30
	2NC	855	21	12	20	21	23	28
	3CL	3532	20	12	18	20	22	27
	4SL	564	19	14	17	19	21	25
	5VT	5981	17	10	15	17	19	25
	6NI	560	16	10	14	16	18	23
	7SI	1791	16	11	14	16	17	21
	8VD	368	14	8	12	14	15	20
Talhada	1NL							
	2NC	120	20	13	18	20	21	27
	3CL	516	19	12	17	19	21	26
	4SL	68	18	11	15	18	20	25
	5VT	1419	18	12	16	17	19	25
	6NI	24	13	8	10	13	15	20
	7SI	89	14	10	13	14	15	22
	8VD							

Os valores apresentados na tabela 4 para o alto fuste foram calculados directamente a partir dos dados disponíveis, embora se tenham feito ajustamentos pontuais nas regiões com um pequeno volume de dados, de modo a obter um conjunto consistente de distribuições do índice de qualidade da estação. Os valores apresentados para a talhadia foram estimados a partir dos correspondentes valores para o alto fuste, com base na equação apresentada em 5.1.2. Muito embora esta equação tenha sido baseada num número bastante reduzido de observações, optou-se por utilizá-la em vez dos valores observados dos percentis, uma vez que a amostra de povoamentos em talhadia representada nos dados corresponde a povoamentos instalados há bastante mais tempo do que a amostra de povoamentos em alto fuste que cobre os diversos anos representados na amostra. Neste caso é natural que as estações disponíveis nos anos 60-70 sejam de qualidade diferente daquelas que se utilizaram posteriormente.

A diferença entre o leque de índices de qualidade da estação correspondente às diversas regiões é nítido a partir da análise das tabelas 3 e 4.

Tabela 4. Distribuição dos índices de qualidade da estação em cada uma das 8 regiões consideradas no modelo GLOBULUS 2.1.

Região	Alto-fuste					Talhada				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1NL	16	19	22	25	28	17	20	23	26	29
2NC	14	17	20	23	26	14	18	21	24	27
3CL	13	16	19	22	25	13	17	20	23	26
4SL	12	15	18	21	24	12	16	19	22	25
5VT	11	14	17	20	23	9	13	16	19	22
6NI	10	13	16	19	22	8	12	15	18	21
7SI	9	12	15	18	21	7	11	14	17	20
8VD	8	11	14	17	20	6	9	13	16	19

4 Metodologia para o desenvolvimento do modelo

4.1 Estrutura do modelo

O modelo GLOBULUS 2.1 é um modelo de povoamento que considera as seguintes variáveis de estado: altura dominante, área basal, volume total e volume mercantil para limites de despona entre 5 e 10 cm (com e sem casca), número de árvores por ha e biomassa total e por componentes. O modelo estima também o total de carbono e nutrientes (N, P, K, Ca) acumulados em cada componente. O índice de qualidade da estação, o número de árvores por ha à plantação, o número de varas por ha após a monda de varas, a rotação (alto fuste *versus* talhadia) e a localização numa das 8 regiões definidas são as variáveis de controlo. A rotação foi definida com base numa variável indicatriz da talhadia e a região de acordo com a estrutura hierárquica de variáveis indicatrizes apresentada na figura 3. A tabela 5 apresenta um resumo das variáveis incluídas no modelo.

A estrutura do modelo está representada na figura 8. Como se pode ver, o modelo considera dois módulos, o módulo de inicialização e o módulo de projecção.

O módulo de projecção é constituído por um conjunto de equações que actualizam o valor das variáveis de estado do instante t_1 para o instante t_2 . No modelo GLOBULUS 2.1 o módulo de projecção é constituído por funções de crescimento, formuladas como equações às diferenças, e por equações de predição. A maior parte das equações deste módulo, com excepção das equações para a predição dos volumes mercantis e das biomassas total e por componentes, são equações às diferenças, ou seja, equações que estimam o valor de uma variável de estado no instante t_2 em função dos valores das variáveis de controlo e dos valores das variáveis de estado no instante t_1 . Por seu lado, uma equação de predição estima o valor das variáveis de estado num determinado instante t , função do valor das variáveis de controlo e do valor de outras variáveis de estado no mesmo instante t . Os volumes mercantis são estimados com base numa equação que estima a proporção do correspondente volume (com ou sem casca) até ao limite de despona, enquanto que as biomassas das diferentes componentes são estimadas com base num sistema de equações alométricas. A projecção, até à idade de corte, de um povoamento que tenha sido objecto de um inventário florestal não necessita de nenhum outro módulo.

No caso de se pretender simular o crescimento de um povoamento no qual não tenha sido realizado nenhum inventário florestal, ou simular o crescimento de um povoamento após o corte (2ª rotação ou superiores) é necessário estimar as condições iniciais para a simulação, função do valor das variáveis de controlo. É esta a função do módulo de inicialização, o qual é constituído apenas por equações de predição.

Tabela 5. Variáveis incluídas no modelo GLOBULUS 2.1.

Variáveis de controlo	Variáveis de estado	
	Variáveis principais	Variáveis secundárias
Ambientais: Índice de qualidade da estação (idade padrão 10) Região climática	Altura dominante Número de árvores ha ⁻¹ Área basal do povoamento	Volumes mercantis (com e sem casca) Biomassa total (parte aérea)
Culturais: Densidade à plantação (1ª rotação) Densidade após monda (talhadia) Idade de corte	Volume total (com e sem casca)	Biomassa de raízes Biomassa por componentes: ramos, folhas, madeira, casca Armazenamento de carbono por componentes: ramos, folhas, madeira, casca e raízes
Povoamento: Rotação Idade		

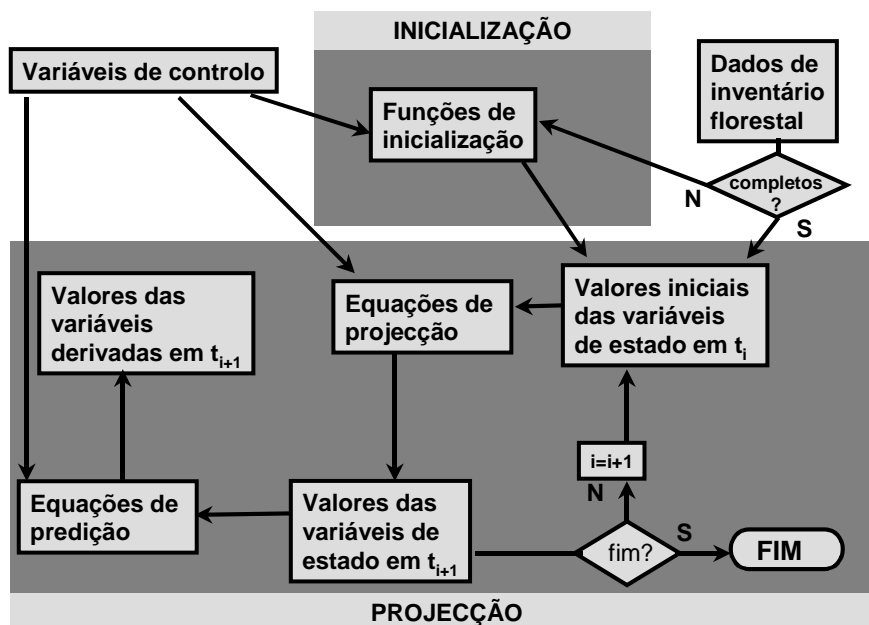


Figura 8. Estrutura do modelo GLOBULUS 2.1.

A compatibilidade entre os dois módulos está assegurada. Ou seja, para os mesmos valores das variáveis de controlo, obtém-se os mesmas estimativas para as variáveis de estado na idade t_2 , independentemente da idade inicial. Foi desenvolvida, no âmbito do desenvolvimento do modelo GLOBULUS 2.0, a metodologia para conseguir esta característica, a qual se considera essencial para garantir uma utilização do modelo na prática. No modelo GLOBULUS 2.1 desenvolveu-se uma versão melhorada do modelo da área basal então deduzido, o qual permite a expressão da taxa de crescimento em função da densidade do povoamento em vez da densidade de plantação. Esta metodologia é explicada em detalhe no ponto seguinte.

4.2 Compatibilidade entre as funções de crescimento e de inicialização

No modelo GLOBULUS 2.1, as funções de crescimento utilizaram-se sempre sob a forma de equações às diferenças. A expressão de uma função de crescimento como uma equação às diferenças baseia-se na premissa de que é possível modelar o crescimento com base numa família de curvas correspondente às curvas originadas por essa função de crescimento com todos os parâmetros comuns excepto um, o chamado parâmetro livre. Exemplificando com a função de Lundqvist, temos a seguinte expressão para a função de crescimento:

$$y = Ae^{-kt^{-n}}$$

A partir da função de crescimento nos instantes t_1 e t_2 obtém-se, respectivamente:

$$y_1 = Ae^{-kt_1^{-n}} \Rightarrow \ln(y_1) = \ln(A) - k t_1^{-n} \Rightarrow \ln\left(\frac{A}{y_1}\right) = k t_1^{-n} \Rightarrow k = \frac{1}{t_1^{-n}} \ln\left(\frac{A}{y_1}\right) \Rightarrow k = \ln\left(\frac{A}{y_1}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}}$$

$$y_2 = Ae^{-kt_2^{-n}} \Rightarrow \ln(y_2) = \ln(A) - k t_2^{-n} \Rightarrow \ln\left(\frac{A}{y_2}\right) = k t_2^{-n} \Rightarrow k = \frac{1}{t_2^{-n}} \ln\left(\frac{A}{y_2}\right) \Rightarrow k = \ln\left(\frac{A}{y_2}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}}$$

Igualando agora as duas expressões obtidas para k , vem:

$$\ln\left(\frac{y_2}{A}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}} = \ln\left(\frac{y_1}{A}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}} \Rightarrow \left(\frac{y_2}{A}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}} = \left(\frac{y_1}{A}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}} \Rightarrow y_2 = A \left(\frac{y_1}{A}\right)^{\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{-n}},$$

expressão que corresponde à equação de Lundqvist com o parâmetro k como parâmetro livre, geralmente designada por Lundqvist-k. A família de curvas é definida, para esta equação às diferenças, pelos parâmetros A e n . Um par (t_0, y_0) , que permite calcular o parâmetro k de acordo com:

$$k = \ln \left(\frac{A}{y_0} \right)^{\frac{1}{t_0^n}}$$

é a condição inicial, a qual expressa a forma de uma função da família de curvas definida pela equação às diferenças. Do mesmo modo se podem obter, para cada função de crescimento, tantas formulações como equações às diferenças quantos os parâmetros dessa função de crescimento.

Os parâmetros k e n da função de Lundqvist estão relacionados com a velocidade de crescimento. Sendo o primeiro dado pela condição inicial (t_0, y_0) , faz todo o sentido que o parâmetro n esteja relacionado com a densidade do povoamento. Se se assumir uma relação linear entre o parâmetro n e a densidade do povoamento. Neste caso, o parâmetro k pode ser expresso do seguinte modo, respectivamente para os instantes t_1 e t_2 :

$$k_{t_1} = \ln \left(\frac{A}{y_1} \right)^{\frac{1}{t_1^{n_0 + n_n \frac{N_1}{1000}}}}$$

$$k_{t_2} = \ln \left(\frac{A}{y_2} \right)^{\frac{1}{t_2^{n_0 + n_n \frac{N_2}{1000}}}}$$

O modelo resultante é:

$$y_2 = A \left(\frac{y_1}{A} \right)^{\frac{t_1^{n_0 + n_n \frac{N_1}{1000}}}{t_2^{n_0 + n_n \frac{N_2}{1000}}}}$$

A inicialização de uma equação às diferenças para um povoamento particular corresponde à definição da respectiva condição inicial, a qual é essencial para definir a função que corresponde a esse povoamento. Se o povoamento tiver sido objecto de um inventário florestal, a condição inicial é definida com base no resultado deste inventário. Caso contrário, é necessário encontrar uma equação de predição que permita estimar o valor y_0 , em função dos valores das variáveis de controlo e da idade t_0 . Para se garantir a compatibilidade entre esta equação de predição e a equação às diferenças é necessário que a expressão matemática da equação de predição corresponda à função de crescimento que está na base da equação às diferenças. Os parâmetros comuns da equação às diferenças serão também comuns à função de inicialização, sendo o parâmetro livre desta expresso em função dos valores das variáveis de controlo.

Exemplificando com uma das componentes do modelo GLOBULUS 2.1, a área basal para os povoamentos de 1ª rotação localizados nas regiões correspondentes à variável indicatriz $reg1=1$ e todas as outras variáveis indicatriz de região iguais a zero (Norte Interior, 6NI). O modelo seleccionado para simular o crescimento em área basal foi a equação Lundqvist-k com a assíntota A expressa em função do índice de qualidade da estação e com o parâmetro de forma n expresso em função do número de árvores por ha à plantação:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g0}+n_{gn}} \frac{N_1}{1000}}{t_2^{n_{g0}+n_{gn}} \frac{N_2}{1000}}}, \text{ com}$$

$$A_g = 0.1586 \text{ lqe}^2$$

$$n_{g0} = 3.6893 - 1.0288 \text{ lqe}$$

$$n_{gn} = 0.1024$$

A função de inicialização foi então obtida por ajustamento da função de Lundqvist na sua forma integral, fixando-se A e n nas expressões acima e estimando o parâmetro k como uma função das variáveis de controlo. Obteve-se então:

$$G = A_g e^{\left(-k_g \frac{1}{t} \right)^{\frac{n_{g0}+n_{gn}}{1000} N}}, \text{ com } A_g, n_{g0} \text{ e } n_{gn} \text{ dados pelas expressões acima e}$$

$$k = -4.7561 + 177.9 \frac{1}{\text{lqe}} + 0.5409 \frac{Npl}{1000} + 16.0146 \frac{100}{\text{lqe} \sqrt{Npl}}$$

Na metodologia utilizada no ajustamento das funções de crescimento e inicialização compatíveis foi dada prioridade à função de crescimento, ou seja, as expressões obtidas para os parâmetros comuns correspondem à minimização da soma dos quadrados dos resíduos das funções de crescimento. As expressões para os parâmetros livres, presentes nas funções de inicialização, são então estimadas por minimização das respectivas somas de quadrados dos resíduos, mantendo-se as expressões previamente encontradas para os parâmetros comuns. Esta opção foi discutida com os técnicos das empresas de celulose que forneceram dados para a base de dados *sibFlor*, que a preferiram à alternativa de proceder ao ajustamento simultâneo das funções de inicialização e de projecção.

4.3 Componentes do modelo

O modelo GLOBULUS 2.1 inclui as seguintes componentes:

Módulo de inicialização:

- Curvas de classe de qualidade
- Transição entre rotações
- Inicialização da densidade do povoamento
- Inicialização da área basal
- Inicialização do volume total

Módulo de projecção:

- Curvas de classe de qualidade
- Projecção da densidade do povoamento
- Projecção da área basal
- Projecção do volume total (com e sem casca)
- Predição do volume mercantil (com e sem casca)
- Biomassa total e por componentes
- Estimativas de carbono e nutrientes acumulados na biomassa

A maior parte destas componentes já estavam disponíveis no modelo GLOBULUS 2.0. Na sequência da aplicação do modelo surgiu a necessidade de introduzir algumas melhorias em algumas das componentes, como é o caso das curvas de classe de qualidade e da projecção e inicialização da área basal. Outras componentes, como é o caso das equações relativas à inicialização e projecção do volume, foram consideradas adequadas, pelo que se mantiveram no modelo GLOBULUS 2.1. Outras ainda, como é o caso do sistema de equações para a estimação da biomassa total e por componentes, foram desenvolvidas pela primeira vez neste modelo.

4.4 Metodologia utilizada na avaliação das novas componentes do modelo GLOBULUS

2.1

4.4.1 Seleccção de modelos candidatos

Em relação às componentes que já estavam presentes no modelo GLOBULUS 2.0 seleccionaram-se como modelos candidatos, para além daquele que já havia sido utilizado no modelo GLOBULUS 2.0, outros modelos alternativos de modo a tentar ultrapassar os problemas detectados com os modelos prévios. Os modelos foram testados com diversas variantes com um maior ou menor número de parâmetros, de modo a incluir a influência das diversas variáveis de controlo consideradas.

O número de variáveis de controlo envolvidas é bastante grande e, se contemplarmos as respectivas interacções, podem originar-se inúmeros modelos alternativos, alguns dos quais extremamente complexos e nos quais se torna difícil analisar a lógica das estimativas encontradas para os parâmetros. Os modelos demasiado complexos e com muitas interacções entre variáveis de controlo podem ser afectados pela existência de correlações entre os parâmetros, sendo por consequência instáveis e com capacidade preditiva inferior à de outros modelos mais simples, mesmo que com um pior ajustamento aos dados. Para tentar ultrapassar este problema, por um lado, e também para reduzir o número de modelos a testar foram tomadas as seguintes decisões, já utilizadas no modelo GLOBULUS 2.0:

1. A interacção do efeito da rotação com a região só foi analisado em relação à variável indicatriz de nível 1, reg1.

Esta decisão teve de ser tomada em virtude da fraca representatividade dos dados de povoamentos em talhadia na maior parte das regiões

2. O efeito da região só foi testado após encontrar o melhor modelo, incluindo outras variáveis de controlo

3. As variáveis indicatrizes da região não foram incluídas nas assíptotas.

Esta decisão teve de ser tomada em consequência da fraca representatividade de povoamentos de idades superiores a 10 em muitas das regiões, o que levaria forçosamente a estimativas de assíptota mais baixas nessas regiões

Este conjunto de regras permitiu a redução do conjunto possível de modelos a um subconjunto de modelos, os quais foram de seguida avaliados de acordo com a metodologia que a seguir se descreve.

4.4.2 Critérios para a selecção de modelos

Para avaliar ou comparar os diversos modelos testados, os quais foram ajustados com todo o conjunto de dados, avaliaram-se diferentes aspectos que se descrevem a seguir.

1. Capacidade de ajustamento aos dados

Avaliada com base na soma de quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação (R^2)

$$SQR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \quad \text{soma de quadrados dos resíduos}$$

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{coeficiente de determinação}$$

2. Capacidade preditiva global

Avaliada com recurso a estatísticas indicadoras do enviesamento e precisão do modelo, baseadas nos resíduos PRESS. Um resíduo PRESS para a observação i é a diferença entre o valor observado e o respectivo valor estimado com um modelo ajustado sem a observação i :

$$r_p = y - \hat{y}_{i,-i}$$

Os resíduos PRESS r_p foram analisados através de estatísticas e gráficos que permitem avaliar a sua eficiência assim como o enviesamento e precisão dos modelos:

1. Eficiência de modelação ou proporção da variação explicada pelos modelos

$$ef.mod. = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n r_p^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}$$

onde n é o número total de resíduos de predição.

A eficiência de modelação deve ser próxima de 1.

2. Média dos resíduos de predição, a qual avalia o enviesamento dos modelos

$$\overline{r_p} = \frac{\sum_{i=1}^n r_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})}{n}$$

A média dos resíduos de predição deve ser próxima de zero.

3. Média do valor absoluto dos resíduos de predição, a qual avalia a precisão dos modelos

$$\overline{|r_p|} = \frac{\sum_{i=1}^n |r_p|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_{i,-i}|}{n}$$

A média do valor absoluto dos resíduos de predição deve ser pequena.

3. Comportamento biológico

1. Verosimilhança dos valores da assíptota
2. Correção dos sinais dos parâmetros relativos à interacção com variáveis de estado e/ou de controlo
3. Localização dos pontos de inflexão, ocorrendo mais cedo para as melhores estações
4. Forma dos feixes de curvas

Uma segunda selecção foi baseada na análise da forma dos feixes de curvas correspondentes aos modelos com melhores capacidades de ajustamento e preditiva. Com base nesta análise eliminaram-se alguns modelos com boa prestação mas comportamento biologicamente pouco adequado.

A selecção do modelo final baseou-se na ponderação dos diversos critérios considerados.

4.4.3 Análise das propriedades estatísticas do modelo seleccionado

Nesta fase foram analisadas as propriedades estatísticas do modelo seleccionado, nomeadamente:

1. Normalidade dos resíduos, avaliada com base no gráfico dos resíduos *studentizados* em papel de probabilidade normal (Normal QQ plot), complementado com a informação proveniente de diversos testes de normalidade fornecidos pelo SASINSIGHT do SAS (SAS/STAT, 1989): Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling.
2. Homogeneidade da variância dos erros do modelo (heterocedasticidade), avaliada com base na análise visual do gráfico dos resíduos *studentizados* em função dos valores preditos.

Dum modo geral detectou-se, em todas as componentes do modelo e independentemente do modelo utilizado, uma falta de normalidade, na maior parte dos casos consequência de valores extremos fora do normal (distribuição com “pontas pesadas”). As estimativas finais dos parâmetros para o modelo final foram então obtidas com recurso ao método dos mínimos quadrados iterativamente ponderados ou método do estimador M de Huber (Myers, 1986).

Nos casos em que se verificou a não homogeneidade da variância, optou-se por recorrer ao reajustamento do modelo final com regressão ponderada a qual, na maior parte dos casos, foi capaz de resolver a questão.

4.4.4 Caracterização do erro do modelo final

Para uma melhor caracterização do erro do modelo final seleccionado foram ainda elaborados os histogramas de resíduos PRESS assim como os gráficos de extremos e quartis (*box-plot*) para os resíduos PRESS em função das variáveis de estado e/ou de controlo consideradas importantes (região, classes de idade, classes de qualidade e classe de densidade).

Nestes gráficos representa-se, para cada classe, o valor médio dos resíduos PRESS assim como os correspondentes quartis, valores extremos correspondentes a uma distância da média superior a 1.5 da distância interquartil e os pontos com um resíduo PRESS superior aos valores extremos.

Com a análise destes gráficos é possível detectar enviesamentos com alguma(s) destas variáveis, caso em que se deve aprofundar a pesquisa de modelos com melhores características.

4.5 Avaliação global do modelo

A avaliação global do modelo baseou-se na comparação dos valores simulados das diversas variáveis de estado mais importantes para um conjunto de parcelas permanentes localizadas em 4 regiões (1NL, 2NC, 3CL e 5VT, as únicas onde se dispunha de séries de crescimento longas) e representando diferentes produtividades combinadas com diferentes densidades de plantação. Chama-se a atenção para o facto dos dados destas parcelas terem sido incluídos no conjunto de dados que serviu de base ao ajustamento do modelo.

5 Ajustamento e validação das diversas componentes do modelo

5.1 Crescimento em altura dominante e estimação da classe de qualidade

5.1.1 Justificação da necessidade de um novo modelo

No modelo GLOBULUS 2.0 a função de crescimento em altura dominante baseava-se na função Richards-m

$$hdom_2 = A_h \frac{1 - \frac{\log(1 - e^{-k_h t_2})}{\log(1 - e^{-k_h t_1})}}{\frac{\log(1 - e^{-k_h t_2})}{\log(1 - e^{-k_h t_1})}} hdom_1$$

O feixe de curvas originado pela função de Richards-m tem uma forma biologicamente pouco adequada, como se pode ver na figura 9 que ilustra o feixe obtido para a região 3CL. Testou-se então a função de Lundqvist-k, aquela que, para além da função Richards-m, tinha mostrado uma melhor prestação em aplicações anteriores.

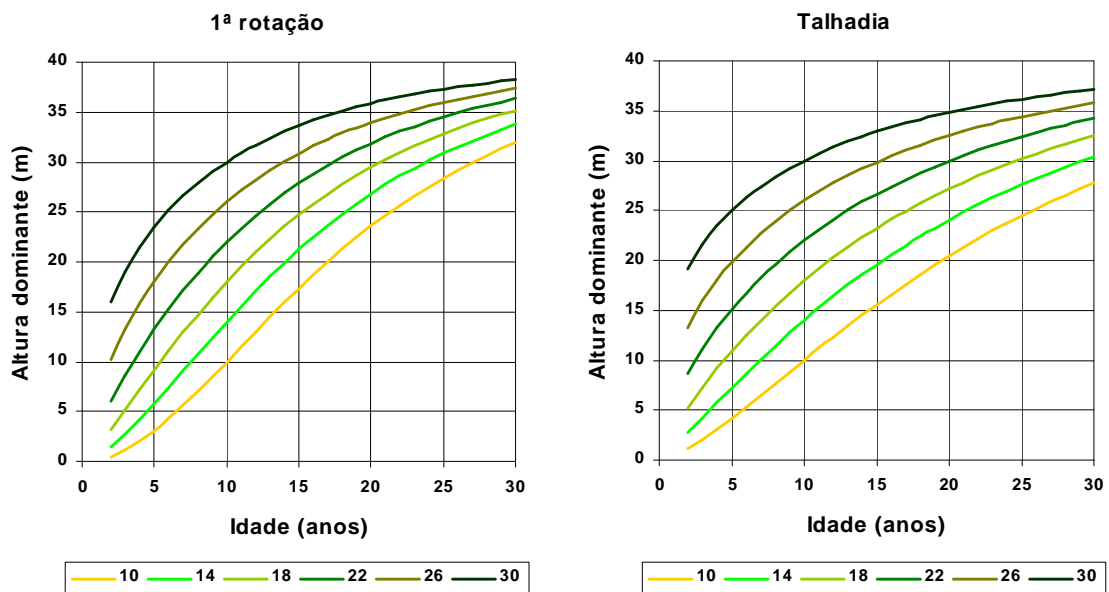


Figura 9. Feixe de curvas de classe de qualidade do modelo GLOBULUS 2.0 para a região 3CL.

5.1.2 Modelo seleccionado

Função Lundqvist-k com o parâmetro de forma n_h expresso em função da rotação e de algumas das variáveis indicatrizes que definem as 8 regiões consideradas.

$$hdom_2 = A_h \left(\frac{hdom_1}{A_h} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_h}}$$

Estimativas dos parâmetros:

$$A = 61.1372$$

$$n_h = 0.3955 - 0.1581 \text{ rot} + (0.0850 + 0.0740 \text{ rot}) \text{ reg1} + 0.0420 \text{ reg3} + 0.0825 \text{ reg6} + 0.0452 \text{ reg7}$$

Este modelo origina as seguintes estimativas dos parâmetros A_h e n_h para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – altura dominante

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_h	1ª rot.	61.1372							
	talhada								
n_h	1ª rot.	0.5225	0.4805	0.4407	0.4780	0.4805	0.3955		
	talhada	0.4384	0.3964	0.2826	0.3199	0.3964	0.2374		

As estatísticas de validação para este modelo apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erro do modelo da altura dominante	0.0857	0.8366	1.9596	-1.5573	0.9489

No ANEXO 2 encontram-se alguns detalhes sobre o ajustamento do modelo seleccionado, nomeadamente a caracterização do erro deste modelo (enviesamento e predição) em função da região, da densidade à plantação, da classe de qualidade e da idade para povoamentos em regime de exploração em alto-fuste ou talhada. Como se pode concluir a capacidade preditiva é bastante boa, não sendo nítidos quaisquer enviesamentos com alguma das variáveis consideradas na análise.

A figura 10 ilustra o feixe de curvas de classe de qualidade para a região 3CL obtido com a equação seleccionada para o modelo GLOBULUS 2.1.

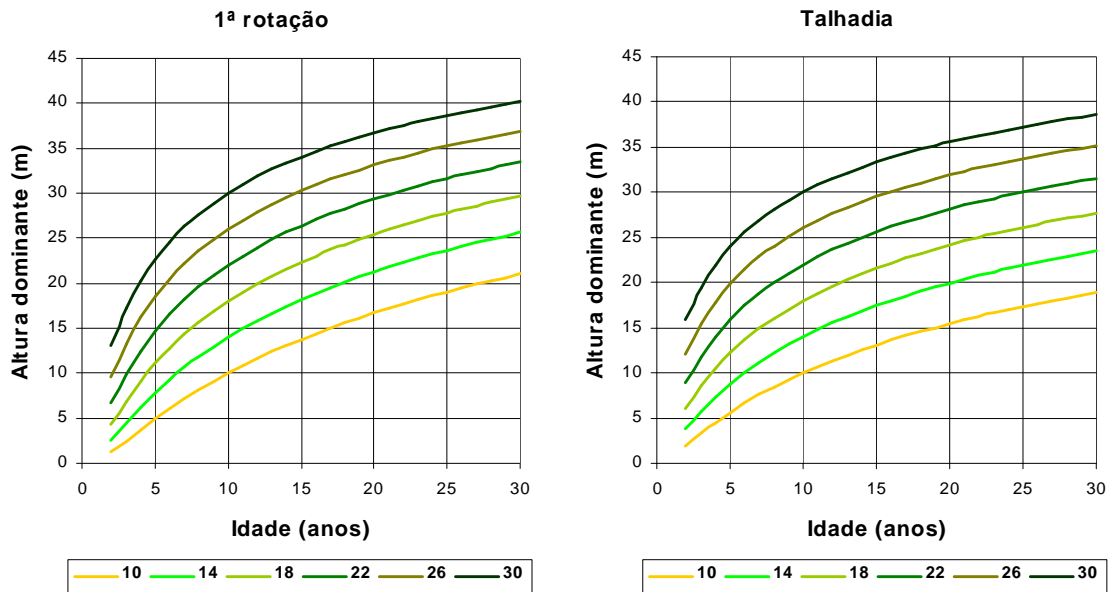


Figura 10. Feixe de curvas de classe de qualidade do modelo GLOBULUS 2.1 para a região 3CL.

5.2 Inicialização e crescimento em área basal

5.2.1 Justificação da necessidade de um novo modelo e selecção de modelos candidatos

O modelo seleccionado para a projecção em área basal no modelo GLOBULUS 2.0 foi a função Lundqvist-k

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_g}},$$

com os parâmetros iguais a

$$A_g = 8.363265 + 1.459301 \text{ lqe}$$

$$n_g = 0.725418 + 0.088971 \frac{N_{pl}}{1000} - 0.070988 \frac{N_{pl}}{1000} \text{ rot} + 0.067610 \frac{N_{pl}}{1000} \text{ reg1}$$

Foram detectados dois problemas neste modelo:

- O valor da assíntota, mesmo considerando um valor de $lqe=28$, é bastante mais baixo do que os valores de área basal observados em algumas das parcelas permanentes localizadas em locais de muito boa classe de qualidade
- O parâmetro n_g , ao ser expresso em função da densidade de plantação, não permite “corrigir” o efeito de uma elevada mortalidade na taxa de crescimento em área basal

Para a projecção em área basal no modelo GLOBULUS 2.1 utilizou-se, mais uma vez, a função Lundqvist-k, tendo-se testado diversas variantes da seguinte forma geral:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}},$$

com os parâmetros expressos do seguinte modo:

$$A_g = f(lqe)$$

$$n_{gi} = f(lqe, N_i)$$

Para tentar corrigir o valor demasiado baixo das estimativas da assíntota e, ao mesmo tempo, melhorar o gráfico dos resíduos *studentizados* em função do valor estimado (o qual indicava uma menor variância para valores crescentes da área basal) testaram-se várias ponderações a utilizar no ajustamento, de forma geral:

$$w = f(G)$$

As estimativas finais dos parâmetros para todos os modelos foram obtidas com recurso ao método dos mínimos quadrados iterativamente ponderados ou método do estimador M de Huber (Myers, 1986).

5.2.2 Modelos seleccionados

Projecção:

Seleccionou-se a função Lundqvist-k com o parâmetro de forma n_g expresso em função da rotação, da densidade e das variáveis indicatrizes que definem as 8 regiões consideradas.

A equação às diferenças a utilizar na simulação do crescimento em área basal é:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}} \Leftrightarrow G_2 = (A_{gQ} lqe^2) \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N1}{1000}}}{t_2^{n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N2}{1000}}}}$$

Estimativas dos parâmetros:

$$A_{gQ} = 0.1586$$

$$n_{g0} = 3.4571 + 0.2322 \text{ reg1} - 0.0539 \text{ reg2} + 0.0996 \text{ reg3} + 0.1105 \text{ reg5} + 0.1520 \text{ reg7} + (-0.9101 + 0.0389 \text{ reg1}) \text{ rot}$$

$$n_{gQ} = -1.0288 + 0.2972 \text{ rot}$$

$$n_{gn} = 0.1024 - 0.8008 \text{ rot}$$

As estimativas dos parâmetros A_g , n_{g0} , n_{gQ} e n_{gn} para as diferentes rotações e regiões são:

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção em área basal

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_g	1ª rot.	0.1586							
	talhadia	0.1586							
n_{g0}	1ª rot.	3.7350	3.6354	3.6091	3.5676	3.6893	3.4571	3.5676	
	talhadia	2.8638	2.7642	2.6990	2.6575	2.8181	2.5470		
n_{gQ}	1ª rot.	-1.0288							
	talhadia	-0.7316							
n_{gn}	1ª rot.	0.1024							
	talhadia	0.0216							

Como se pode ver o modelo apresenta uma assíntota em função do índice de qualidade da estação, variando entre valores de 23 e 124 m² ha⁻¹, respectivamente para estações pouco e muito produtivas (Iqe igual a 12 e 28, respectivamente). O modelo incluído no GLOBULUS 2.0 originava estimativas da assíntota entre 26 e 49 m² ha⁻¹, parecendo-nos o presente modelo mais realista, face aos dados disponíveis.

No que respeita ao parâmetro de forma n , este apresenta uma interacção nítida com a densidade de plantação, originando valores superiores (indicativos de crescimento mais rápido) para valores crescentes de densidade. Esta interacção é mais nítida nas regiões a Norte do país e nos povoamentos de 1ª rotação, o que parece lógico.

As estatísticas de validação para este modelo apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para a área basal (projectção)	0.0833	0.6904	1.6722	-1.3076	0.9786

No ANEXO 3 encontram-se os detalhes sobre o ajustamento do modelo, em particular a caracterização do erro deste modelo (enviesamento e predição) em função da região, da densidade à plantação, da classe de qualidade e da idade para povoamentos em regime de exploração em alto-fuste e em talhadia. Como se pode ver, o modelo apresenta, no geral, uma boa capacidade preditiva, com baixo enviesamento e alta precisão. Em relação ao modelo utilizado no GLOBULUS 2.0, pode notar-se a correcção do enviesamento com a idade que o anterior modelo apresentava.

Inicialização:

A função de Lundqvist na sua forma integral com os parâmetros A_g e n_{gi} iguais aos da respectiva função de crescimento e com o parâmetro k_g expresso em função de um conjunto razoável de variáveis de controlo e suas interacções.

Tal como já acontecia no GLOBULUS 2.0, o modelo seleccionado é razoavelmente complexo uma vez que, no processo de ajustamento, a soma dos quadrados dos resíduos ia sendo sucessivamente reduzida à medida que se acrescentavam ao parâmetro k os efeitos do índice de qualidade da estação (lqe), do factor de espaçamento (Fe), da densidade à plantação (N_{pl}), da rotação (rot) e das interacções desta com as outras variáveis de controlo. O factor de espaçamento é definido, à semelhança do factor de Wilson, mas utilizando o índice de qualidade da estação e a densidade à plantação:

$$Fe = \frac{100}{lqe \sqrt{N_{pl}}}$$

O modelo seleccionado foi:

$$G = A_g e^{-k_g \left(\frac{1}{t}\right)^{n_g}}$$

com os parâmetros A_g e n_g iguais ao da correspondente função de crescimento e o parâmetro k_g expresso em função das diversas variáveis de controlo e respectivas interacções:

$$k_g = k_{g0} + k_{gQ} \frac{1}{l_{qe}} + k_{gnp} \frac{N_{pl}}{1000} + k_{gf} Fe$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros k_{g0} , k_{gQ} , k_{gnp} e k_{gf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização da área basal

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{g0}	1ª rot.	-4.4820		-5.5311	-6.1201	-6.2433	-4.7560	-7.7941	-6.9326
	talhadia	0.7582		-0.2903	-0.8793	-1.0025	0.4848	-2.5533	-1.6918
k_{gQ}	1ª rot.	177.9							
	talhadia	72.3							
k_{gnp}	1ª rot.	0.5408							
	talhadia	0.0134							
k_{gf}	1ª rot.	16.015							
	talhadia	14.1898							

As estatísticas de validação deste modelo foram as seguintes:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para a área basal (inicialização)	0.0139	1.5387	3.5427	-3.1878	0.8714

A análise dos resíduos de predição deste modelo encontra-se no ANEXO 3. Como se pode ver, a capacidade preditiva do modelo é bastante boa, tendo em atenção que foi ajustado com dois parâmetros fixos (iguais aos das correspondentes funções de crescimento). Tal como no modelo GLOBULUS 2.0 verifica-se também algum enviesamento com as idades superiores a 15 anos, embora se note uma nítida melhoria em relação ao comportamento evidenciado pelo modelo GLOBULUS 2.0. A baixa representatividade de dados nestas classes de idade pode justificar a ocorrência deste enviesamento, devendo o modelo ser utilizado com cautela para idades desta ordem de grandeza.

As figuras 11 e 12 mostram os feixes de curvas originados pelo modelo seleccionado para algumas combinações de índice de qualidade da estação, densidade de plantação e

rotação. Como se pode ver, os feixes de curvas são biologicamente consistentes, o que nem sempre se verificou em vários dos modelos testados.

5.3 Inicialização e crescimento em volume

O sistema de equações para a estimação de volumes totais e mercantis com e sem casca não foi objecto de qualquer melhoria em relação ao modelo GLOBULUS 2.0.

Na selecção do modelo do volume foi dada prioridade, além das características já mencionadas para os outros modelos, ao facto do modelo mostrar boas capacidades de ajustamento e predição para os volumes com e sem casca. De facto, e para garantir a compatibilidade entre as estimativas de volume com e sem casca, foi seleccionado o mesmo modelo para ambas as variáveis, apenas reparametrizado com os dados correspondentes.

No que diz respeito às regiões, e tendo em atenção a fraca representatividade de dados de volume em algumas das regiões (note-se que, como se disse atrás, não dispúnhamos de informação ao nível da árvore para a Soporcel), optou-se por utilizar apenas a variável indicatriz de nível 1 (reg1).

5.3.1 Modelos seleccionados

Projeção:

Função de Shiver e Brister (1992), a qual corresponde, na sua forma integral, a um modelo alométrico semelhante ao utilizado nos modelos GLOBUS e EUSOP (também com efeito da idade), com os parâmetros independentes de qualquer variável de controlo:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{a_v} \left(\frac{hdom_2}{hdom_1} \right)^{b_v} \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{c_v}$$

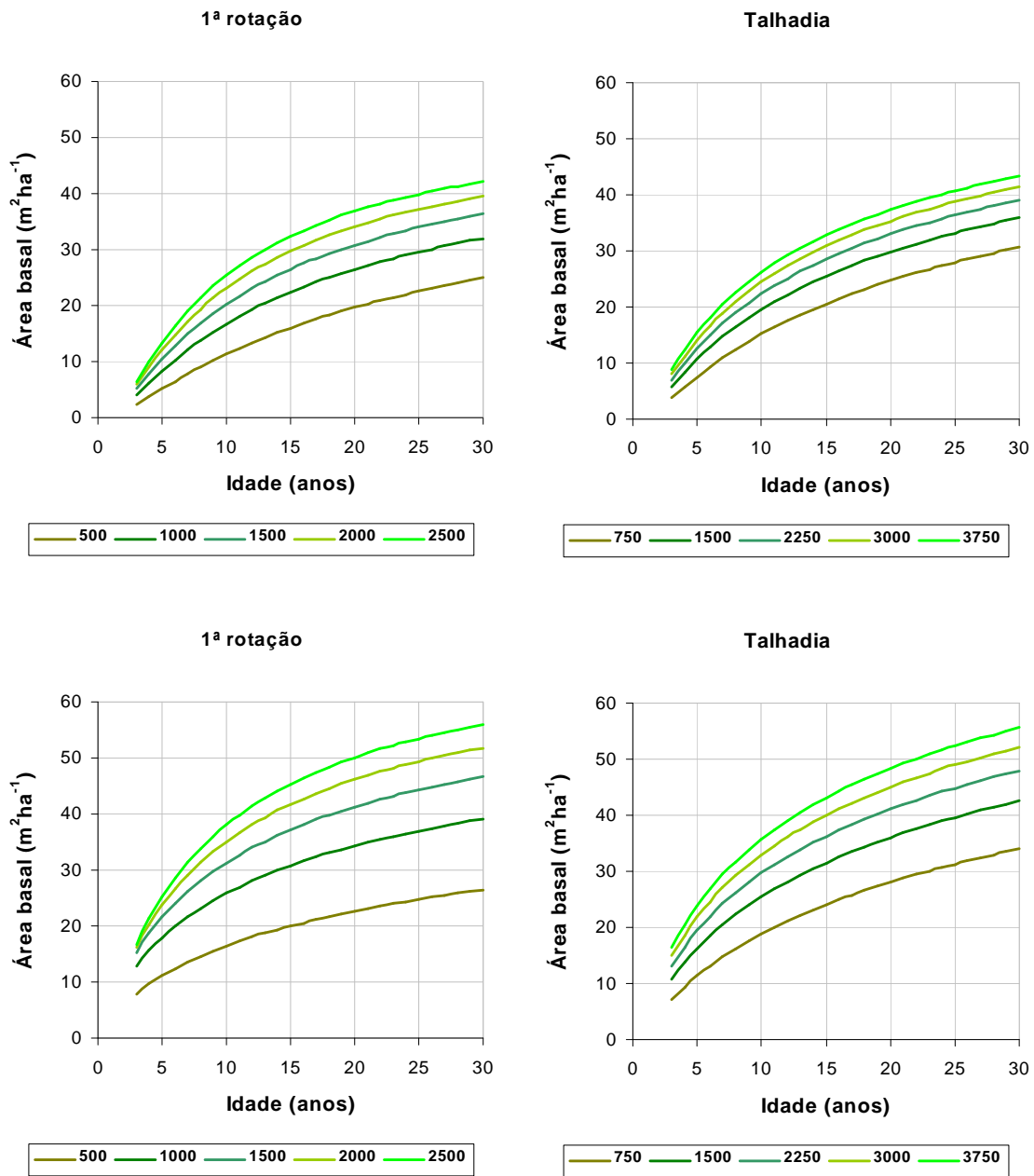


Figura 11.: Feixe de curvas de crescimento em área basal para os índices de qualidade da estação de 22 e 28 (diferentes densidades de plantação) obtidas com o modelo GLOBULUS 2.1.

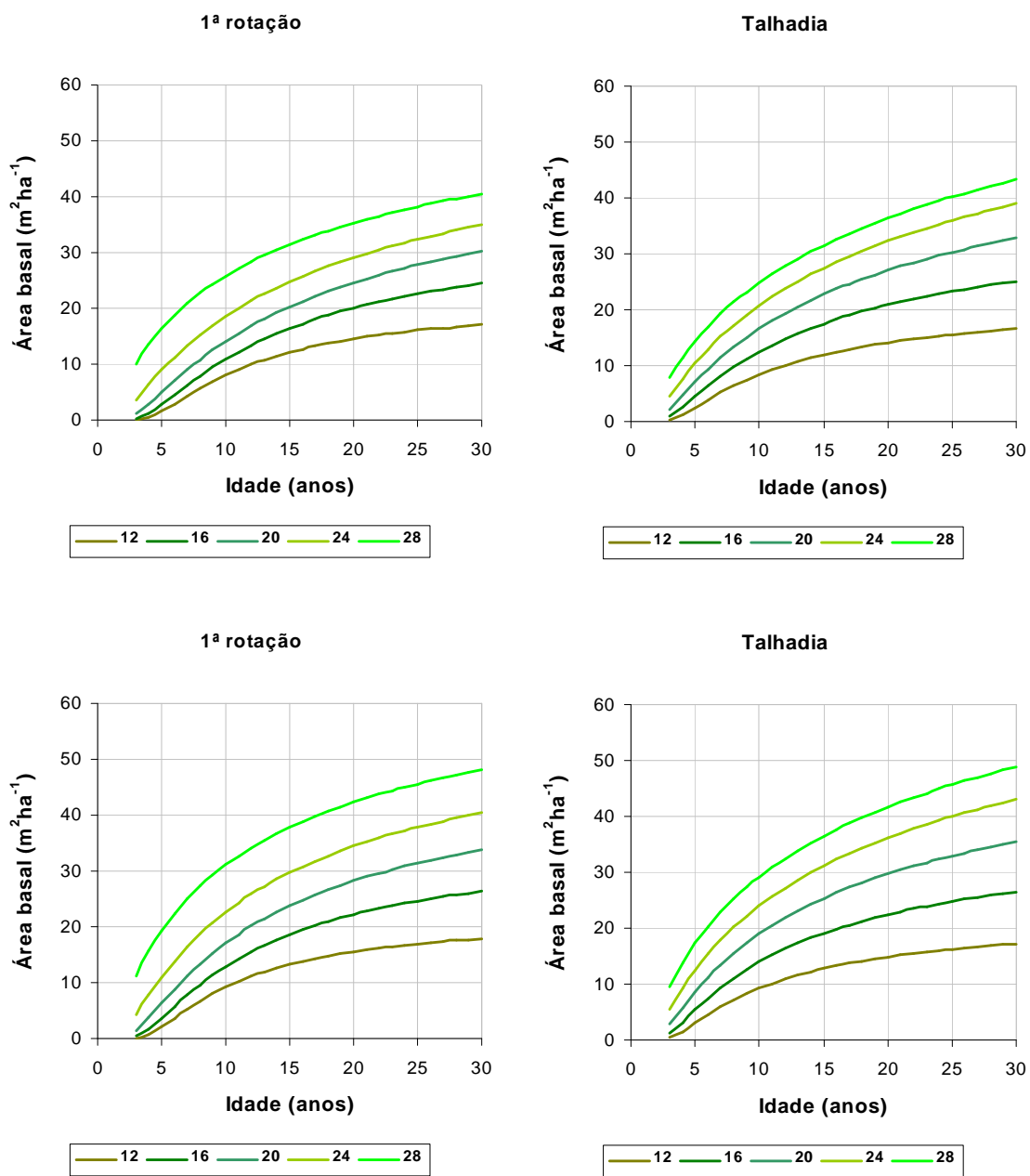


Figura 12.: Feixe de curvas de crescimento em área basal para a densidade de plantação de 1667 árvores por ha (diferentes índices de qualidade da estação) obtidas com o modelo GLOBULUS 2.1.

As estimativas dos três parâmetros para os volumes com e sem casca foram:

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção do volume com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vc}	1ª rot.	0.0655							
	talhadia								
b_{vc}	1ª rot.	0.8830							
	talhadia								
c_{vc}	1ª rot.	1.0263							
	talhadia								

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção do volume sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vs}	1ª rot.	0.0592							
	talhadia								
b_{vs}	1ª rot.	0.9349							
	talhadia								
c_{vs}	1ª rot.	1.0077							
	talhadia								

As estatísticas de validação para estes modelos apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o volume c/ casca	0.189	2.245	5.710	4.421	0.998
Erros do modelo para o volume s/ casca (projecção)	0.163	1.981	5.022	-3.83	0.997

A análise detalhada deste modelo pode ver-se na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). Os modelos são bastante precisos e não apresentam enviesamento com nenhuma variável.

Inicialização do volume:

A função alométrica do volume em função da idade, da altura dominante e da área basal é a forma integral do modelo Shiver-Brister seleccionado para a modelação do crescimento em volume:

$$V = k_v t^{a_v} hdom^{b_v} G^{c_v}$$

Para garantir a compatibilidade entre esta forma integral e a função de crescimento tomaram-se os parâmetros a_v , b_v e c_v iguais às estimativas nesta obtidas e ajustou-se a função com o parâmetro k_v expresso em função de um conjunto razoável de variáveis de controlo e suas interacções.

No modelo seleccionado para a inicialização do volume total com casca, o parâmetro k_{vc} apresenta a seguinte expressão:

$$k_{vc} = 0.4886 + 0.0387 \text{ rot} + 0.0122 \text{ reg1} - 0.2480 \text{ Fe rot} - 0.1348 \text{ Fe reg1} - 0.0039 \text{ rot reg1}$$

No caso da inicialização do volume sem casca a expressão a utilizar para a estimação do parâmetro k_{vs} é:

$$k_{vs} = 0.3724 + 0.0384 \text{ rot} + 0.0162 \text{ reg1} - 0.2119 \text{ Fe rot} - 0.1497 \text{ Fe reg1} - 0.0052 \text{ rot reg1}$$

Este modelos correspondem à seguinte expressão do parâmetro k_v para um povoamento particular:

$$k_v = k_{v0} + k_{vf} \text{ Fe}$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros k_{v0} , e k_{vf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização do volume com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{v0c}	1ª rot.	0.5007			0.4886		0.5007	0.4886	
	talhadia	0.5355			0.5272		0.5355	0.5272	
k_{vfc}	1ª rot.	-0.1348			-		-0.1348	-	
	talhadia	-0.3828			-0.2480		-0.3828	-0.2480	

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização do volume sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{vos}	1ª rot.	0.3886			0.3724		0.3886	0.3724	
	talhadia	0.4218			0.4108		0.4218	0.4108	
k_{vrs}	1ª rot.	-0.1497			-		-0.1497	-	
	talhadia	-0.3616			-0.2119		-0.3616	-0.2119	

As estatísticas de validação deste modelo foram as seguintes:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o volume c/ casca	0.470	2.943	8.08	-5.942	0.996
Erros do modelo para o volume s/ casca (inicialização)	0.432	2.597	7.158	-5.210	0.995

A análise dos resíduos de predição deste modelo, assim como outras características relativas ao seu ajustamento, encontra-se na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). A capacidade preditiva do modelo é bastante boa, tendo em atenção que foi ajustado apenas com um dos parâmetros livres. Apresenta apenas um ligeiro enviesamento nas idades muito altas e nas classes de qualidade muito boas, ambas muito pouco frequentes nos dados (e também na vida real).

5.4 Predição de volumes mercantis

O único modelo testado foi o de Amateis *et al.* (1986):

$$V_d = V e^{a_{vm} \left(\frac{d_d}{d_g} \right)^{b_{vm}}}$$

O modelo seleccionado tem o parâmetro b_{vm} independente de variáveis de controlo, enquanto que o parâmetro a_{vm} toma a seguinte expressão na predição de volumes com e sem casca, respectivamente:

$$a_{vmc} = -1.090385 + 0.072908 \frac{N_{pl}}{1000} + 0.385099 Fe - 0.197698 rot + 0.652653 Fe rot + 0.019765 \frac{N_{pl}}{1000} rot reg1$$

$$a_{vms} = -1.062545 + 0.065410 \frac{N_{pl}}{1000} + 0.384076 Fe - 0.190552 rot + 0.640614 Fe rot + 0.019594 \frac{N_{pl}}{1000} rot reg1$$

As estatísticas de validação para estes modelos apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o vol. merc. c/ casca	0.280	1.531	3.73	-3.49	0.999
Erros do modelo para o vol. merc. s/ casca	0.241	1.269	3.06	-2.88	0.999

Este modelos correspondem à seguinte expressão do parâmetro a_{vm} para um povoamento particular:

$$a_{vm} = a_{vm0} + a_{vmnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{vmf} Fe$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros a_{vm0} , a_{vmnp} e a_{vmf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – predição do volume mercantil com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0c}	1ª rot.	-1.0904							
	talhadia	-1.2881							
a_{vmnpc}	1ª rot.	0.0729							
	talhadia	0.09267		0.0729			0.09267	0.0729	
a_{vmfc}	1ª rot.	0.3851							
	talhadia	1.0378							
b_{vmfc}	1ª rot.	3.3716							
	talhadia	3.3716							

Modelo GLOBULUS 2.1 – predição do volume mercantil sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0s}	1ª rot.	-1.0625							
	talhadia	-1.2531							
a_{vmnps}	1ª rot.	0.0654							
	talhadia	0.0850			0.0654		0.0850		0.0654
a_{vmfs}	1ª rot.	0.3841							
	talhadia	1.0247							
b_{vmfs}	1ª rot.	3.3288							
	talhadia	3.3288							

A análise relativa ao ajustamento destes modelos pode, mais uma vez, ser vista na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). Os modelos têm uma capacidade preditiva bastante boa.

A figura 13 mostra o exemplo de um feixe de curvas obtido para a simulação do volume total com recurso às equações do modelo GLOBULUS 2.1.

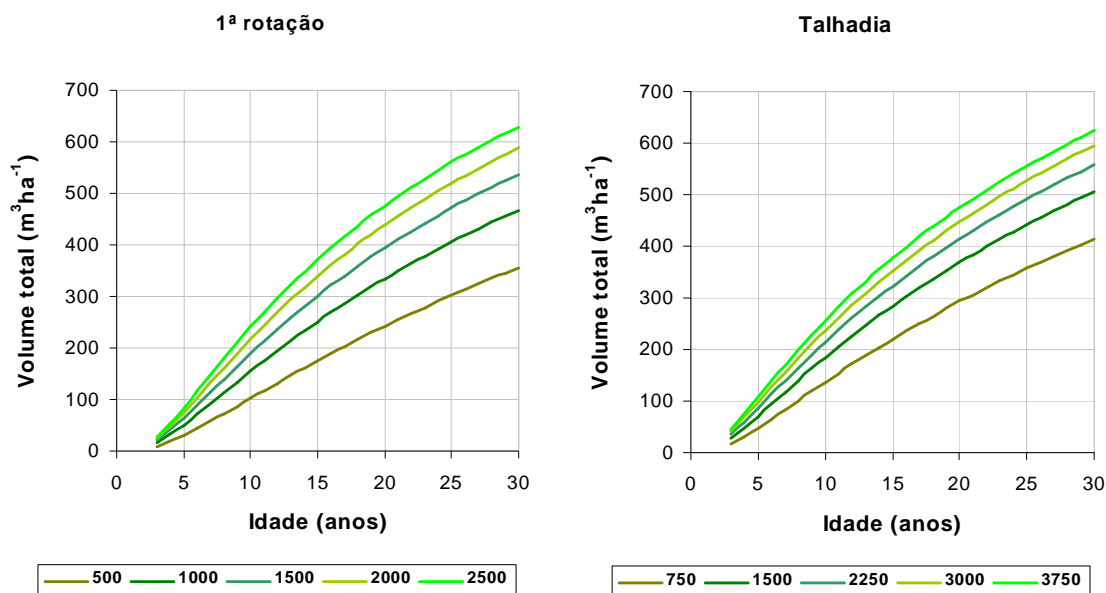


Figura 13. Curvas de crescimento em volume para o índice de qualidade da estação de 22 (diferentes densidades de plantação), obtidas com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

5.5 Mortalidade

5.5.1 Justificação da necessidade de um novo modelo

O modelo para a simulação da mortalidade do modelo GLOBULUS 2.0 é bastante simplificado, correspondendo a uma taxa de mortalidade constante, independentemente da região, qualidade da estação ou densidade do povoamento. Este modelo corresponde ao modelo seleccionado no modelo SOP (Amaro, 1997):

$$N_2 = N_1 e^{-a_m(t_2 - t_1)}$$

Este modelo pode ser utilizado para a inicialização, tomando $N_1=N_{pl}$ em $t_1=0$ (1ª rotação) ou $N_1=N_0$ em $t_1=3$ (talhadias), sendo neste caso as expressões a utilizar as seguintes:

$$N = N_{pl} e^{-a_m(t)}$$

$$N = N_0 e^{-a_m(t - 3)}$$

No modelo GLOBULUS 2.1 testaram-se diversas expressões para o parâmetro a_m , correspondendo à inclusão dos efeitos da região, qualidade da estação e/ou densidade do povoamento.

5.5.2 Modelos seleccionados

O modelo seleccionado corresponde a

$$a_m = 0.0401 + 0.0013 \frac{N_{pl}}{1000} - 0.0064 \frac{I_{qe}}{10} - 0.0190 (reg1 + reg7) - 0.0159 reg5 + \\ (-0.0311 + 0.0152 (reg1 + reg5 + reg7)) rot + \left(0.0050 \frac{I_{qe}}{10}\right) rot$$

Este modelo toma a seguinte expressão para o parâmetro a_m para um povoamento particular:

$$a_m = a_{m0} + a_{mnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{mQ} \frac{I_{qe}}{10}$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros a_{m0} , a_{mnp} e a_{mQ} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – simulação da mortalidade

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{m0}	1ª rot.	0.0211				0.0242	0.0211	0.0401	0.0242
	talhadia	0.0052				0.0083	0.0052	0.0090	0.0083
a_{mp}	1ª rot.	0.0013							
	talhadia	0.0013							
a_{mQ}	1ª rot.	-0.00064							
	talhadia	-0.0014							

Os detalhes sobre o ajustamento do modelo para a simulação da mortalidade encontram-se no ANEXO 4. Como se pode ver, os resíduos têm uma distribuição que se afasta bastante da normal, consequência da existência de alguns povoamentos nos quais ocorre mortalidade superior à estimada. De facto, o modelo simula apenas a mortalidade que ocorre sob condições normais e não aquela que ocorre em consequência da ocorrência de qualquer problema, como seja ataques de pragas e doenças, tempestades, etc. O comportamento geral do modelo é, contudo, bastante aceitável, originado feixes de curvas biologicamente aceitáveis, como se ilustra na figura 14.

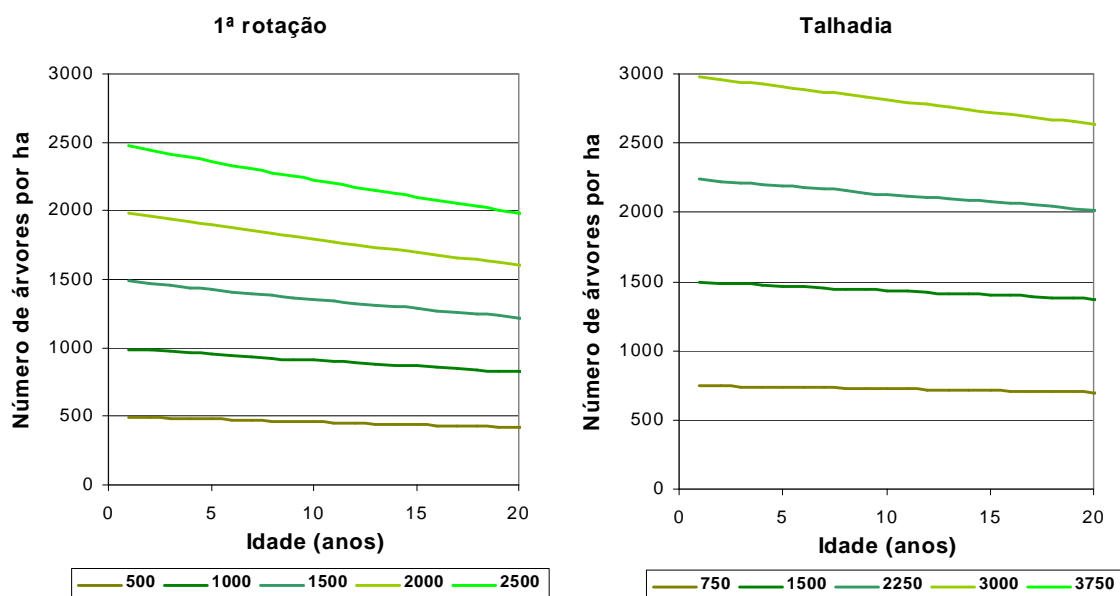


Figura 14. Simulação da mortalidade para o índice de qualidade da estação de 20 e diferentes densidades de plantação nas regiões a Norte do Tejo, com base no modelo GLOBULUS 2.1.

5.6 Equações para estimação das biomassas total e por componentes

5.6.1 Equações ao nível da árvore

Para desenvolver as equações de biomassa total e por componentes ao nível da árvore recorreu-se a dados obtidos, em 23 povoamentos, por amostragem destrutiva de 484 árvores. As equações alométricas utilizadas foram ajustadas por regressão não linear com o PROC NLIN do SAS (SAS/STAT, 1989). As equações de biomassa das componentes da árvore (madeira, casca, ramos e folhas), baseadas na hipótese da existência de relações alométricas entre a biomassa total (ou a biomassa de cada uma das componentes consideradas) e o diâmetro e altura total da árvore, foram ajustadas com base em metodologia idêntica à apresentada na figura 15 para o povoamento.

As equações seleccionadas para estimação das biomassa total e por componentes, ao nível da árvore, foram:

$$w_t = (0.0680 - 0.0018 h_{dom}) d^{2.0652 + 0.0065 t - 1.505 Fw} h^{0.0280 h_{dom} + 2.6614 Fw}$$

$$p_{tronco} = (0.3577 + 0.0130 G - 0.0877 Fw) d^{0.0862 - 0.0060 G} h^{0.1561}$$

$$p_{copa} = 1 - p_{tronco}$$

$$w_{tronco} = p_{tronco} w_t \quad w_{copa} = p_{copa} w_t$$

5.6.2 Equações ao nível do povoamento

O sistema de equações resultante foi aplicado a um conjunto de 79 parcelas permanentes da STORACELBI, obtendo-se dados de biomassa aérea total e por componentes ao nível do povoamento com os quais se desenvolveu um sistema de equações para predição das referidas biomassas. As equações alométricas utilizadas foram ajustadas por regressão não linear com o PROC NLIN do SAS (SAS/STAT, 1989), utilizando a metodologia apresentada na figura 15. Garantiu-se que a soma das biomassas da copa e do tronco iguala a biomassa total dos povoamentos (ajustamento simultâneo de equações). As equações para a

estimação das proporções de folhas e de casca foram ajustadas com base em dados apresentados em Fabião (1986).

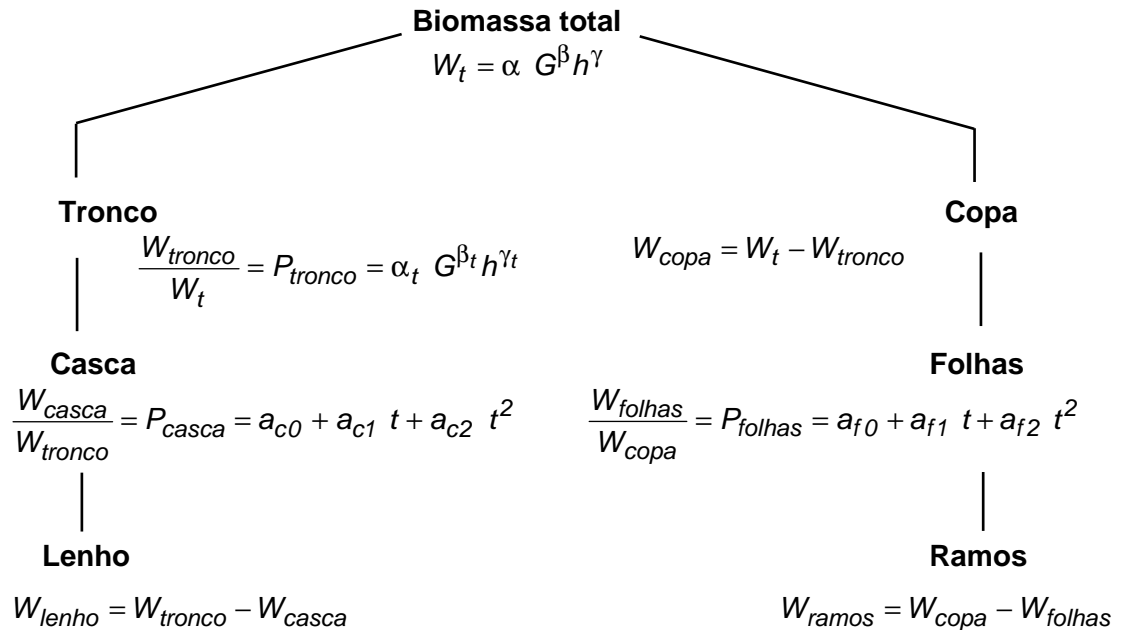


Figura 15. Metodologia utilizada no ajustamento das equações que constituem o sub-módulo de biomassa do modelo Globulus 2.1.

A equação seleccionada para estimação da biomassa total, ao nível do povoamento, foi:

$$W_t = (0.0095 - 0.0025 \frac{lqe}{10}) G^{1.1392 - 0.0424 \frac{N}{1000} - 0.0115 t} hdom^{2.4043}$$

As relações entre as variáveis e as equações para estimação das biomassas do tronco e copa, ao nível do povoamento, foram:

$$P_{tronco} = 0.2019 G^{0.1613 + 0.0046 \frac{N}{1000} - 0.0037 t - 0.0355 \frac{lqe}{10}} hdom^{0.4301}$$

$$P_{casca} = 0.1946 - 0.0094 t + 0.0026 \frac{t^2}{10} \quad P_{folhas} = 0.7304 - 0.0154 t + 0.0021 \frac{t^2}{10}$$

$$\begin{aligned}
 W_{tronco} &= P_{tronco} \times W_t & W_{lenho} &= W_{tronco} (1 - P_{casca}) \\
 W_{casca} &= P_{casca} \times W_{tronco} & W_{copa} &= W_t - W_{tronco} \\
 W_{ramos} &= W_{copa} \times (1 - P_{folhas}) & W_{folhas} &= P_{folhas} \times W_{copa}
 \end{aligned}$$

A biomassa radicular foi estimada com base no trabalho de Fabião (1986). O autor sugere o valor de 0.12 para expressar a relação entre a biomassa radicular e a biomassa da parte aérea.

A figura 16 ilustra a estimação de biomassa total e por componentes (esquerda), assim como do carbono acumulado (direita) para um povoamento em 1ª rotação localizado na região 3CL num local com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha.

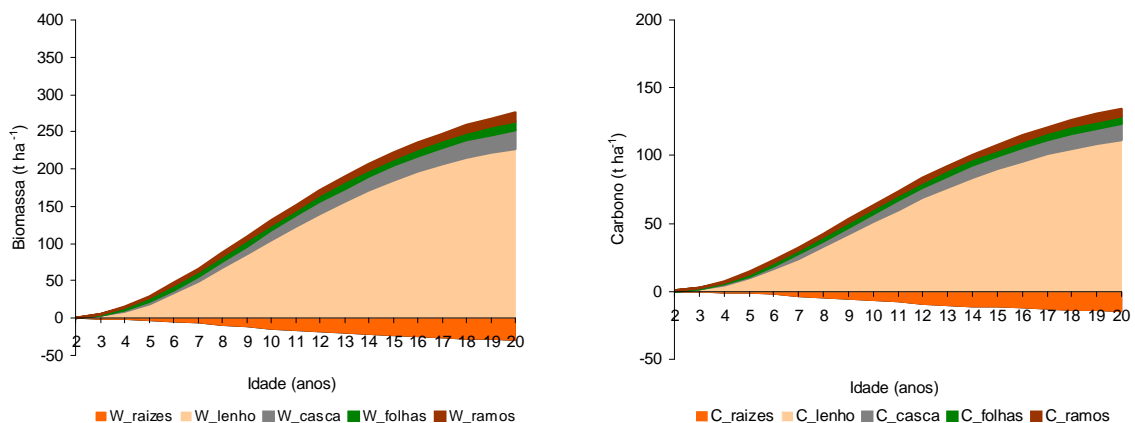


Figura 16. Estimação da biomassa total e por componentes, assim como do carbono acumulado, ao longo da 1ª rotação de um povoamento da região 3CL com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha, com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

Alguns detalhes sobre o ajustamento da equação para a predição da biomassa total, assim como do sistema para estimar as biomassas de tronco (casca + lenho) e de copa (folhas + ramos) podem ser consultados no ANEXO 5.

O módulo para a estimação de biomassas está ainda um pouco incipiente, estando em curso a recolha de um maior número de dados (novos ou já disponíveis), esperando-se obter uma versão melhorada deste módulo num futuro próximo.

5.7 Carbono e nutrientes acumulados na biomassa

A estimação dos conteúdos de carbono e nutrientes baseia-se nas estimativas da distribuição da biomassa aérea por componentes: lenho, casca, ramos e folhas (figura 17).

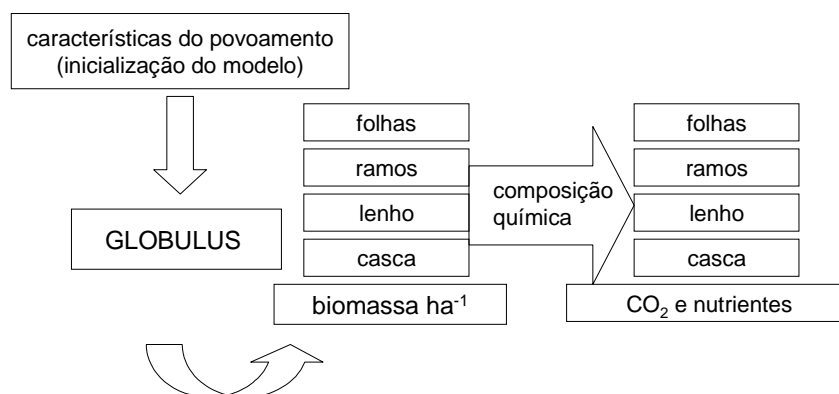


Figura 17. Estimação do conteúdo em carbono e nutrientes a partir do sub-módulo de biomassa do modelo Globulus 2.1.

A quantificação do carbono e dos nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados nas diferentes componentes de biomassa consideradas no modelo GLOBULUS 2.1 - lenho, casca, ramos e folhas - baseou-se no cálculo, para cada uma destas componentes, de coeficientes de conversão de biomassa em carbono e nutrientes, deduzidos com base na respectiva composição química.

A composição química das diferentes componentes da biomassa aérea da *E. globulus* foi estudada por Pereira (1988), numa amostragem realizada em 4 povoamentos com idade próxima do corte, localizados em diferentes regiões: Águeda, Niza, Odemira e Cadaval. Em cada um destes locais foram seleccionadas duas parcelas, cada uma com 100 árvores. Entre as 100 árvores foram escolhidas 5 árvores, de forma aleatória, o que correspondeu a um total de 10 árvores por local, em que foram efectuadas análises químicas.

As componentes de biomassa aérea: lenho, casca, bicada e ramos (com diâmetro inferior a 1 cm), foram separadas e analisadas. Deste modo, para cada árvore foi efectuada a análise química das componentes de biomassa, tendo sido recolhida uma amostra ponderada de material a várias alturas de cada componente.

Na tabela 6 são apresentados os factores de conversão utilizados no modelo GLOBULUS 2.1. A metodologia utilizada para calcular os coeficientes de conversão da biomassa das

diferentes componentes em carbono encontra-se em Soares *et al.* (2000). Os factores de conversão de biomassa em nutrientes foram obtidos por média dos valores apresentados em Pereira (1988) para os diversos locais. Para a componente raízes utilizaram-se factores de conversão iguais aos da componente tronco.

Tabela 6. Factores de conversão utilizados no modelo GLOBULUS 2.1 para a conversão da biomassa das diversas componentes da planta em carbono e nutrientes.

Componentes	Carbono %	Nutrientes (% kg/kg)			
		N	P	K	Ca
Lenho	49.0	0.0753	0.0221	0.0682	0.1086
Casca	46.8	0.1862	0.0137	0.1271	0.6651
Folhas	49.2	1.1363	0.0548	0.5285	0.5280
Ramos	47.4	0.2763	0.0117	0.3593	0.6896
Raízes	49.0	0.0753	0.0221	0.0683	0.1086

Tal como o módulo para a estimação de biomassas, a estimação do carbono e nutrientes acumulados na biomassa é ainda bastante incipiente, estando em curso trabalho para melhorar os coeficientes de conversão, em particular para tentar encontrar relações entre estes factores e a estação, a idade, técnicas culturais ou qualquer outra variável de controlo de interesse.

Na figura 16 pode ver-se um exemplo da estimativa da acumulação de carbono ao longo da 1ª rotação de um povoamento localizado na região 3CL, enquanto que a figura 18 ilustra as correspondentes estimativas para os nutrientes acumulados.

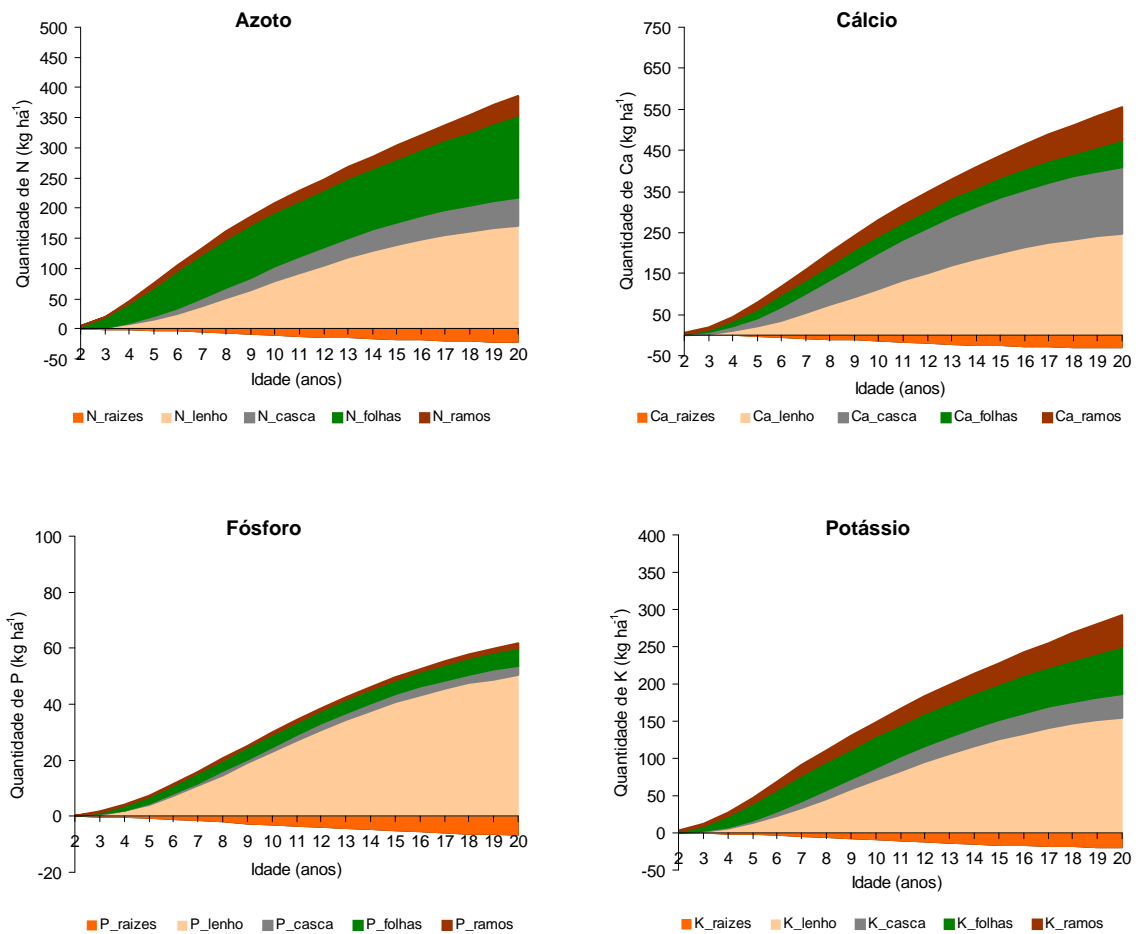


Figura 18. Estimação dos nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados, por componentes, ao longo da 1ª rotação de um povoamento da região 3CL com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha, com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

5.8 Transição entre rotações

O problema que se põe ao simular a transição entre rotações é o de saber se o índice de qualidade da estação – altura dominante aos 10 anos – se mantém em rotações sucessivas. Os dados disponíveis para avaliar esta hipótese resumem-se a um conjunto de 24 parcelas permanentes, localizadas na região Centro Litoral (3CL) ou na região do Vale do Tejo (5VT). A relação entre o índice de qualidade da estação nas duas primeiras rotações pode ver-se na figura 19. Como se pode ver nesta figura existe uma correlação razoável entre os índices de qualidade da estação nas duas rotações, embora o gráfico sugira que se verifica um ligeiro decréscimo de rotação nas regiões mais desfavoráveis, representadas pela região 5VT, e um ligeiro acréscimo nas regiões mais favoráveis, representadas pela região 3CL.

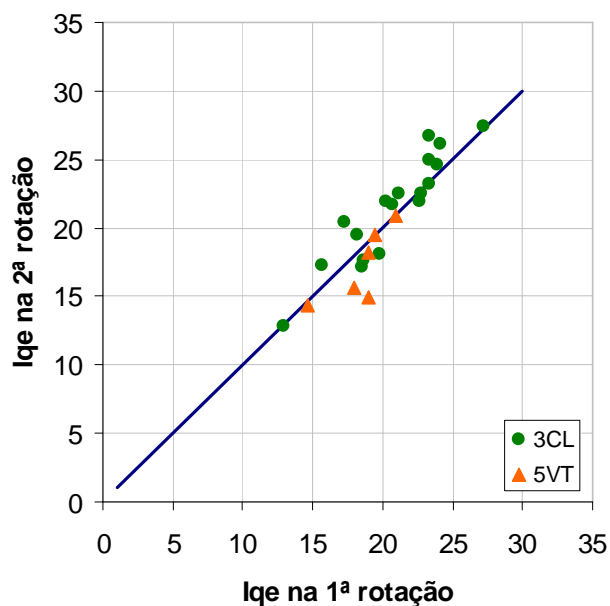


Figura 19. Relação entre o índice de qualidade da estação nas duas primeiras rotações de um conjunto de 24 parcelas permanentes.

Os dados representados na figura 19 foram utilizados para verificar se se deveria assumir a hipótese de que o índice de qualidade da estação se mantém ao longo de sucessivas rotações ou se, pelo contrário, se devem assumir alterações no sentido das descritas acima. Optou-se pelo seguinte modelo:

$$Iqe_{2^{a}rot} = 1.0335 Iqe_{1^{a}rot} - 1.8703 I_{reg\ desf} ,$$

onde $I_{reg\ desf}$ é uma variável indicatriz para as regiões desfavoráveis, tendo sido consideradas como tal as regiões que correspondem a $reg1 = 0$.

6 O modelo GLOBULUS 2.1

6.1 As componentes do modelo

A tabela 7 resume as equações correspondentes às diversas componentes do modelo GLOBULUS 2.1.

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Altura dominante									
$hdom_2 = A_h \left(\frac{hdom_1}{A_h} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_h}}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_h	1ª rot.	61.1372							
	talhadia								
n_h	1ª rot.	0.5225		0.4805	0.4407	0.4780	0.4805		0.3955
	talhadia	0.4384		0.3964	0.2826	0.3199	0.3964		0.2374
Mortalidade									
Projecção: $N_2 = N_1 e^{-a_m(t_2 - t_1)}$									
Inicialização: $N = N_{pl} e^{-a_m(t)}$ (alto fuste) $N = N_0 e^{-a_m(t-3)}$ (talhadia)									
$a_m = a_{m0} + a_{mnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{mQ} \frac{lqe}{10}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{m0}	1ª rot.	0.0211				0.0242	0.0211	0.0401	0.0242
	talhadia	0.0052				0.0083	0.0052	0.0090	0.0083
a_{mnp}	1ª rot.	0.0013							
	talhadia								
a_{mQ}	1ª rot.	-0.00064							
	talhadia	-0.0014							

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Área basal									
Projectção: $G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}}$ $A_g = A_{gQ} lqe^2$ $n_{gi} = n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N_i}{1000}$									
Inicialização: $G = A_g e^{-k_g \left(\frac{1}{t} \right)^{n_g}}$ $k_g = k_{g0} + k_{gQ} \frac{1}{lqe} + k_{gnp} \frac{N_{pl}}{1000} + k_{gf} Fe$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_{gQ}	1ª rot.	0.1586							
	talhadia								
n_{g0}	1ª rot.	3.7350	3.6354	3.6091	3.5676	3.6893	3.4571	3.5676	
	talhadia	2.8638	2.7642	2.6990	2.6575	2.8181	2.5470	2.6575	
n_{gQ}	1ª rot.	-1.0288							
	talhadia	-0.7316							
n_{gn}	1ª rot.	0.1024							
	talhadia	0.0216							
k_{g0}	1ª rot.	-4.4826	-5.5311	-6.1201	-6.2433	-4.7560	-7.7941	-6.9326	
	talhadia	0.7582	-0.2903	-0.8793	-1.0025	0.4848	-2.5533	-1.6918	
k_{gQ}	1ª rot.	177.9							
	talhadia	72.3							
k_{gnp}	1ª rot.	0.5408							
	talhadia	0.0134							
k_{gf}	1ª rot.	16.015							
	talhadia	14.1898							

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Volume total									
Projectção: $V_2 = V_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{a_v} \left(\frac{h_{dom_2}}{h_{dom_1}} \right)^{b_v} \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{c_v}$									
Inicialização: $V = k_v t^{a_v} h_{dom}^{b_v} G^{c_v}$ $k_v = k_{v0} + k_{vf} F_e$									
Volume com casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vc}	1ª rot.	0.0655							
	talhadia								
b_{vc}	1ª rot.	0.8830							
	talhadia								
c_{vc}	1ª rot.	1.0263							
	talhadia								
k_{v0c}	1ª rot.	0.5007			0.4886		0.5007	0.4886	
	talhadia	0.5355			0.5272		0.5355	0.5272	
k_{vfc}	1ª rot.	-0.1348			-		-0.1348	-	
	talhadia	-0.3828			-0.2480		-0.3828	-0.2480	
Volume sem casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vs}	1ª rot.	0.0592							
	talhadia								
b_{vs}	1ª rot.	0.9349							
	talhadia								
c_{vs}	1ª rot.	1.0077							
	talhadia								
k_{v0s}	1ª rot.	0.3886			0.3724		0.3886	0.3724	
	talhadia	0.4218			0.4108		0.4218	0.4108	
k_{vfs}	1ª rot.	-0.1497			-		-0.1497	-	
	talhadia	-0.3616			-0.2119		-0.3616	-0.2119	

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Volume mercantil									
$V_d = V e^{a_{vm} \left(\frac{d_d}{d_g} \right)^{b_{vm}}} \qquad a_{vm} = a_{vm0} + a_{vmnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{vmf} Fe$									
Volume mercantil com casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0c}	1ª rot.	-1.0904							
	talhadia	-1.2881							
a_{vmnpc}	1ª rot.	0.0729							
	talhadia	0.09267		0.0729			0.0927	0.0729	
a_{vmfc}	1ª rot.	0.3851							
	talhadia	1.0378							
b_{vmc}	1ª rot.	3.3716							
	talhadia								
Volume mercantil sem casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0s}	1ª rot.	-1.0625							
	talhadia	-1.2531							
a_{vmnps}	1ª rot.	0.0654							
	talhadia	0.0850		0.0654			0.0850	0.0654	
a_{vmfs}	1ª rot.	0.3841							
	talhadia	1.0247							
b_{vms}	1ª rot.	3.3288							
	talhadia								

O modelo GLOBULUS 2.1 encontra-se, de momento, apenas implementado em EXCEL, mas estará, em breve, disponível numa versão interactiva em *Visual Basic*. Prevê-se, também para breve, a sua implementação no sistema de apoio à decisão sagFlor, desenvolvido no Centro de Estudos Florestais (Borges e Falcão, 1999).

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Biomassa total									
$W_t = \alpha_w G^{\beta_w} hdom^{Y_w}$		$\alpha_w = \alpha_{w0} + \alpha_{wQ} \frac{lqe}{10}$				$\beta_w = \beta_{w0} + \beta_{wn} \frac{N}{1000} + \beta_{wt} t$			
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{w0}	1ª rot.	0.0095							
	talhadia								
α_{wQ}	1ª rot.	-0.0025							
	talhadia								
β_{w0}	1ª rot.	1.1392							
	talhadia								
β_{wn}	1ª rot.	-0.0424							
	talhadia								
β_{wt}	1ª rot.	-0.0115							
	talhadia								
γ_w	1ª rot.	2.4043							
	talhadia								
Biomassas de tronco e de copa									
$W_{tronco} = W_t P_{tronco} = W_t (\alpha_{wt} G^{\beta_{wt}} hdom^{Y_{wt}})$		$\beta_{wt} = \beta_{wt0} + \beta_{wtn} \frac{N}{1000} + \beta_{wtt} t + \beta_{wtQ} \frac{lqe}{10}$							
$W_{copa} = W_t - W_{tronco}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{wt}	1ª rot.	0.2019							
	talhadia								
β_{wt0}	1ª rot.	0.1613							
	talhadia								
β_{wtn}	1ª rot.	0.0046							
	talhadia								
β_{wtt}	1ª rot.	-0.0037							
	talhadia								
β_{wtQ}	1ª rot.	-0.0355							
	talhadia								
γ_{wt}	1ª rot.	0.4301							
	talhadia								

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Biomassas de casca, lenho, folhas e ramos

$$W_{casca} = W_{tronco} (a_{c0} + a_{ct} t + a_{ct2} \frac{t^2}{10}) \qquad W_{lenho} = W_{tronco} (1 - P_{casca})$$

$$W_{folhas} = W_{copa} (a_{fo} + a_{ft} t + a_{ft2} \frac{t^2}{10}) \qquad W_{ramos} = W_{copa} - W_{folhas}$$

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{c0}	1ª rot.								
	talhadia	0.1946							
a_{ct}	1ª rot.								
	talhadia	-0.0094							
a_{ct2}	1ª rot.								
	talhadia	0.0026							
a_{fo}	1ª rot.								
	talhadia	0.7304							
a_{ft}	1ª rot.								
	talhadia	-0.0154							
a_{ft2}	1ª rot.								
	talhadia	0.0021							

Transição entre rotações

$$lqe_{2ª rot} = \alpha_{trans} + \beta_{trans} lqe_{1ª rot}$$

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{trans}		-			-1.8703		-	-1.8703	
β_{trans}		1.0335							

6.2 Avaliação global do modelo

A avaliação global do modelo consistiu, como já foi dito, na comparação das projecções a longo prazo de um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI seleccionadas de modo a cobrir as três regiões nas quais estavam disponíveis, diferentes índices de qualidade da estação, diferentes densidades de plantação e as duas rotações.

Foram analisadas 40 parcelas, distribuídas pelas variáveis de controlo de acordo com as frequências indicadas na tabela 8.

Tabela 8. Distribuição das parcelas teste por classes de densidade e de índice de qualidade da estação.

Classes de densidade	Classes de qualidade da estação					Frequência
	12	16	20	24	28	
<1000	1	2	3	3	1	10
1200	1	3	2	1	1	8
1600	1	2	3	2	2	10
2000				1		1
2400		2		2	2	6
2800		1	1			2
3200				1	2	3
<3400				1	2	3
Frequência	3	10	9	11	10	43

Na figura 20 encontram-se alguns dos gráficos que foram elaborados, os quais correspondem a um sorteio aleatório de 10 das 43 parcelas que foram analisadas. Como se pode ver, e como se confirma com a análise das restantes parcelas, a aderência do modelo aos dados reais é bastante boa. Nota-se uma ligeira estimação por defeito da área basal em algumas parcelas (cerca de 4) localizadas na região 3CL as quais são, muito provavelmente, influenciadas por algum factor micro-ambiental relacionado com uma maior disponibilidade hídrica. Está planeada uma análise mais cuidada destas parcelas com o objectivo de detectar possíveis causas para este problema.

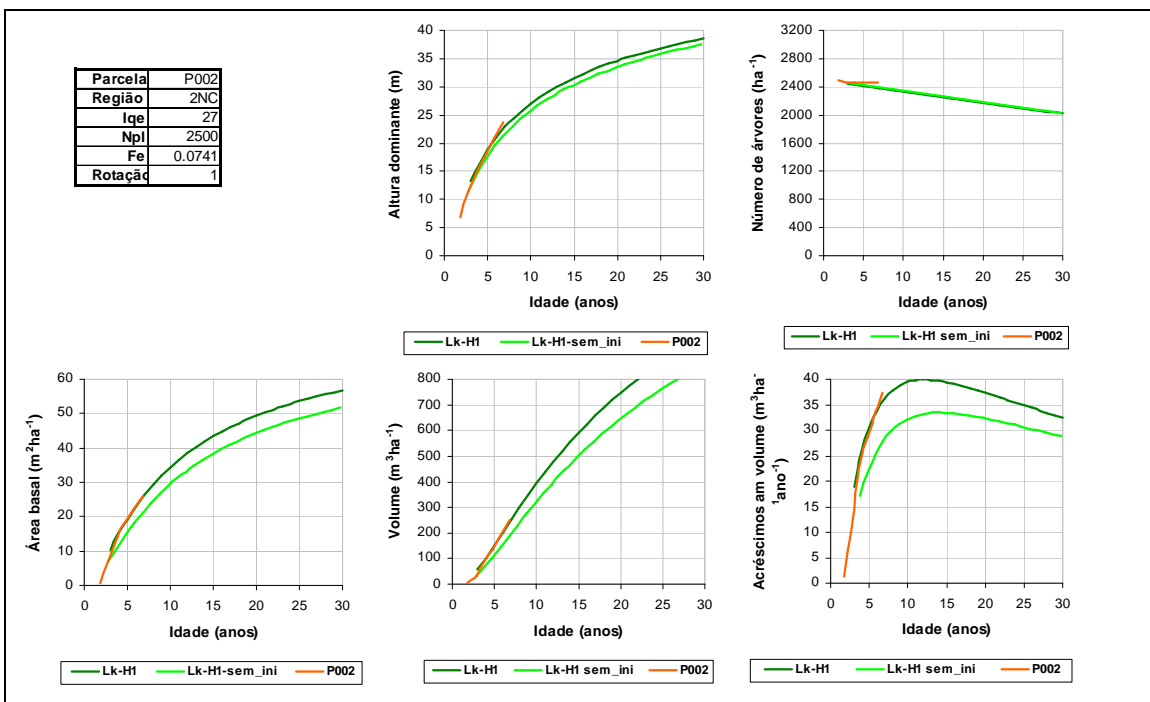
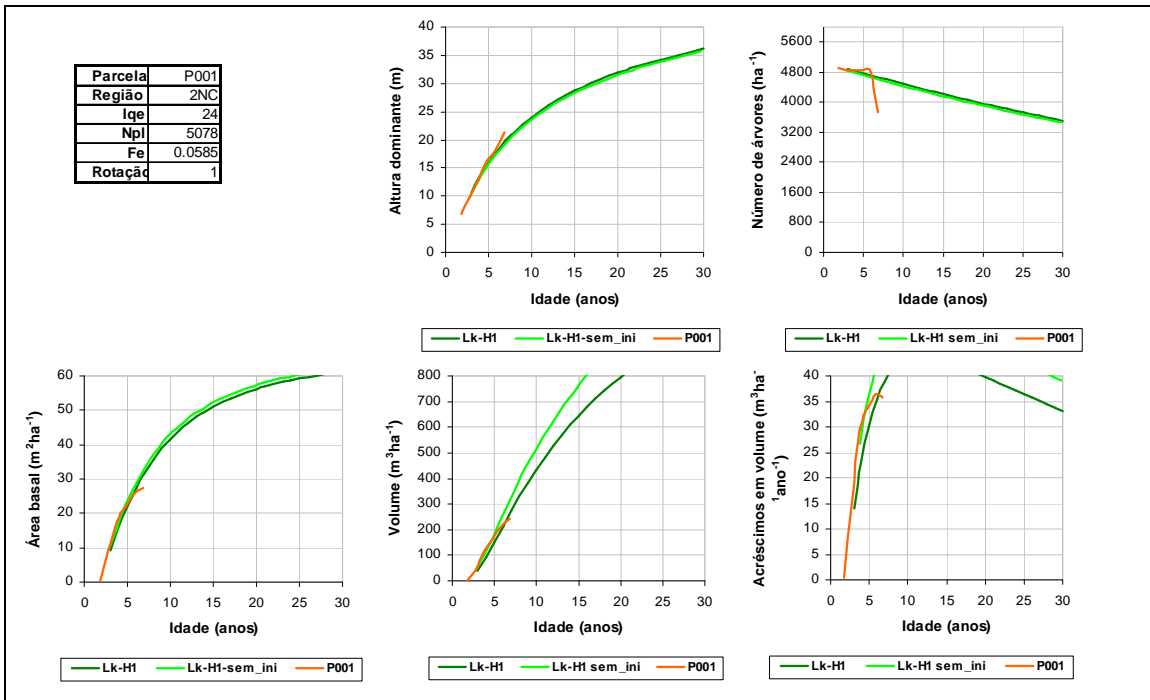
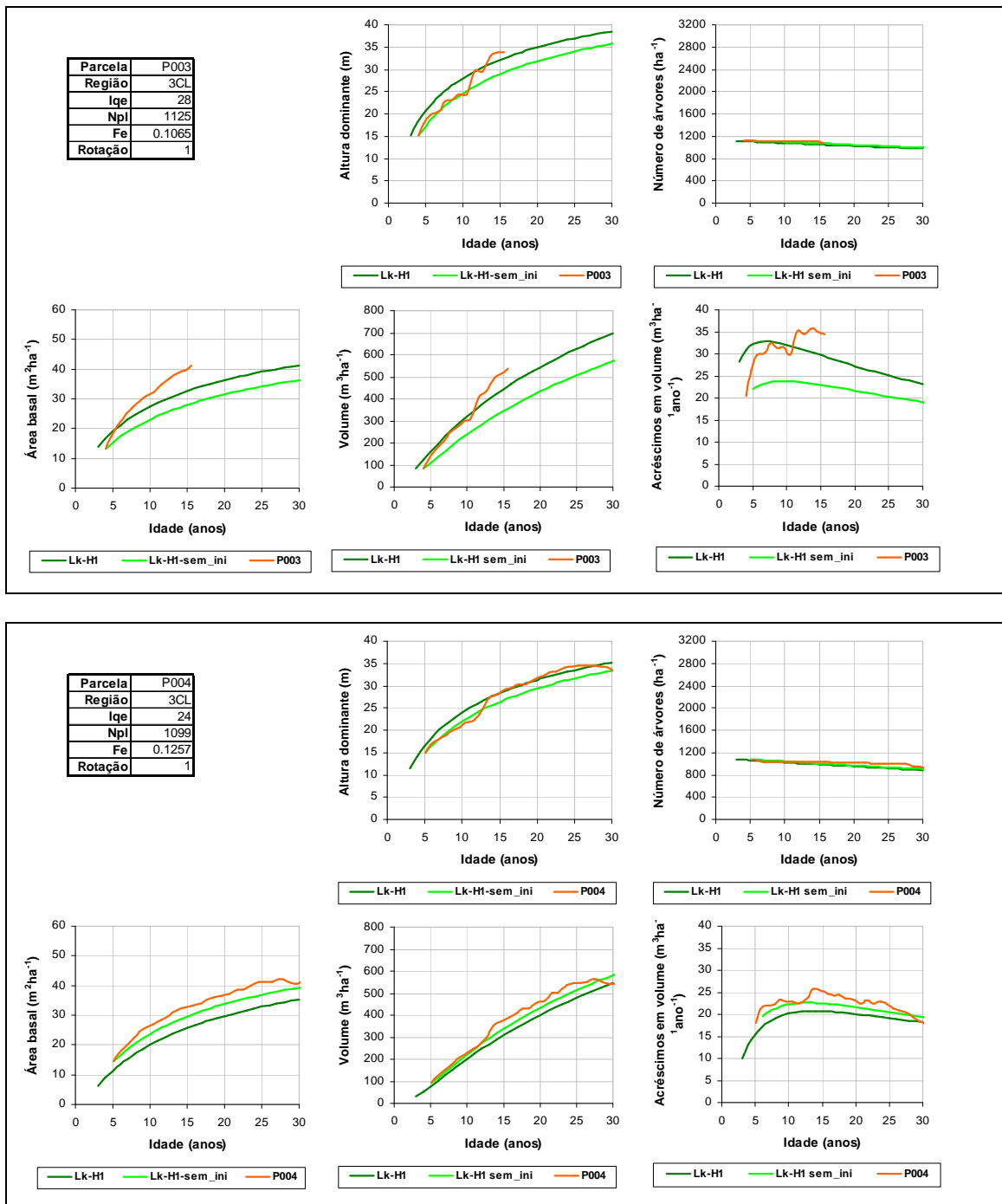


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação.



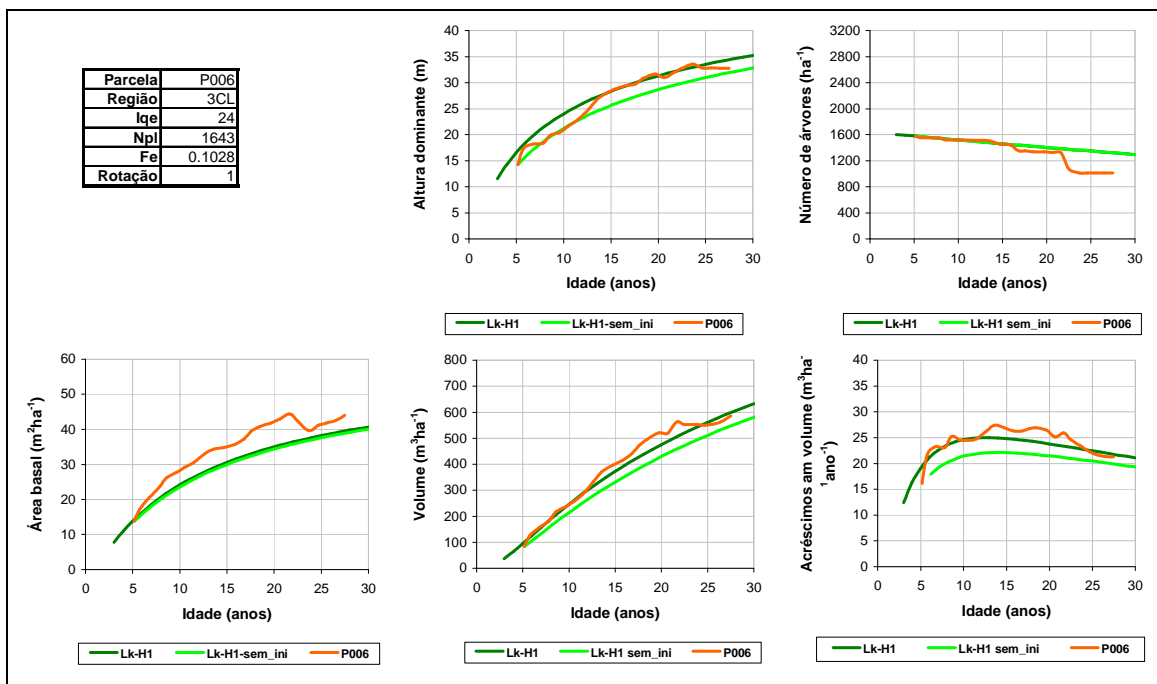
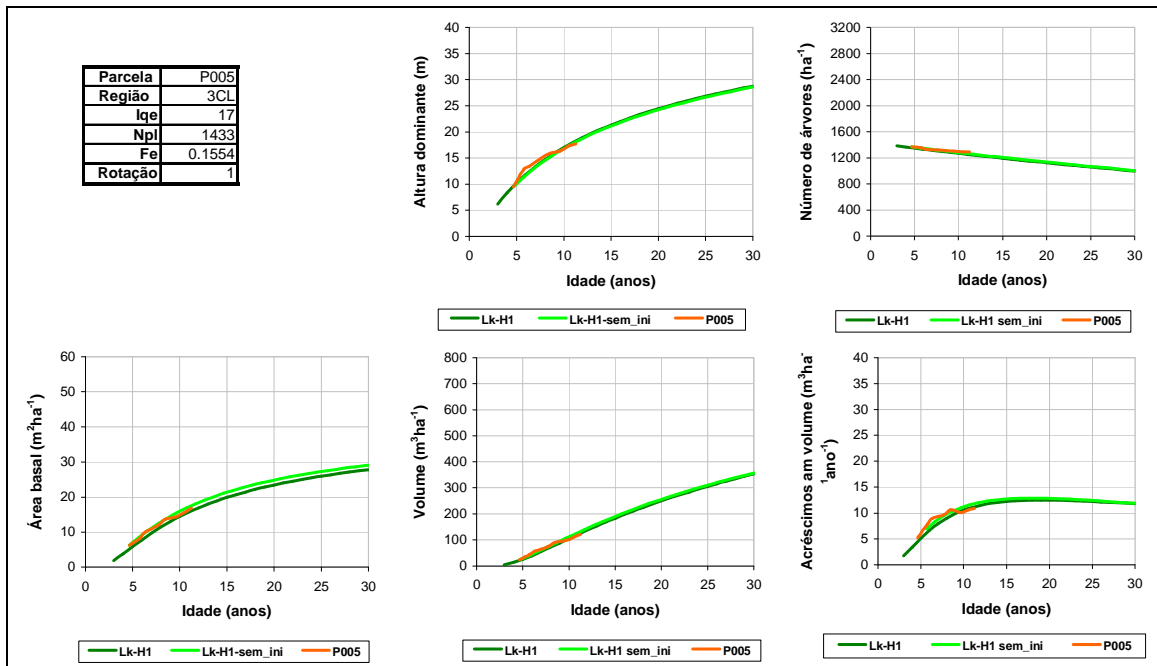


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

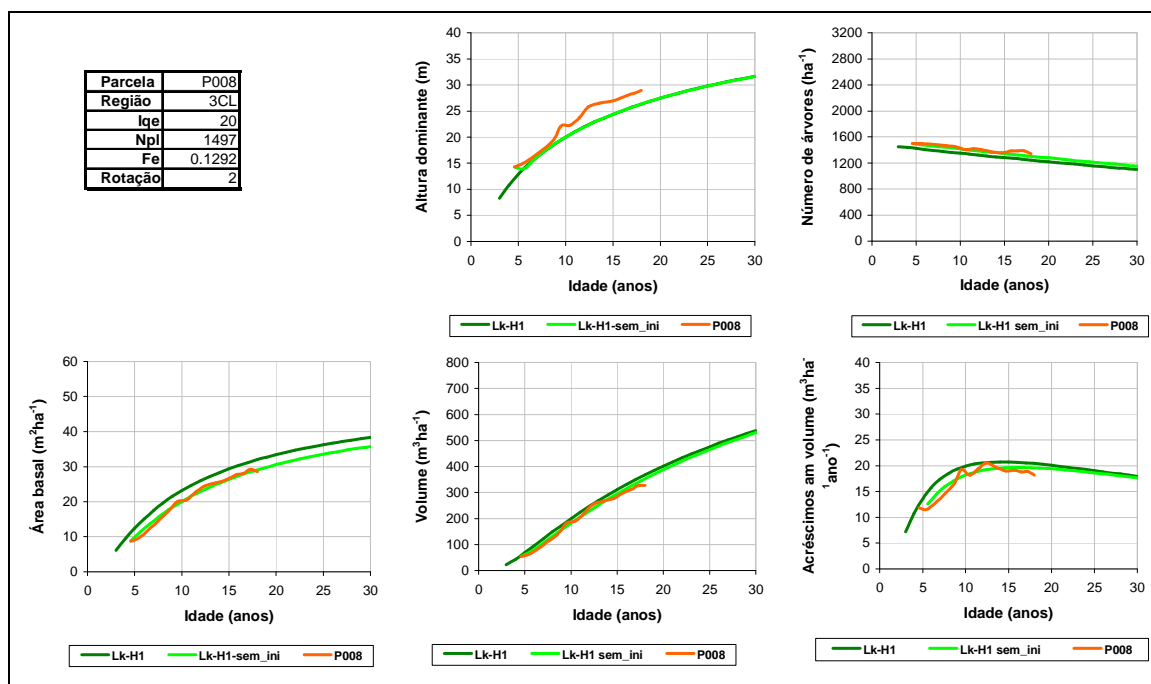
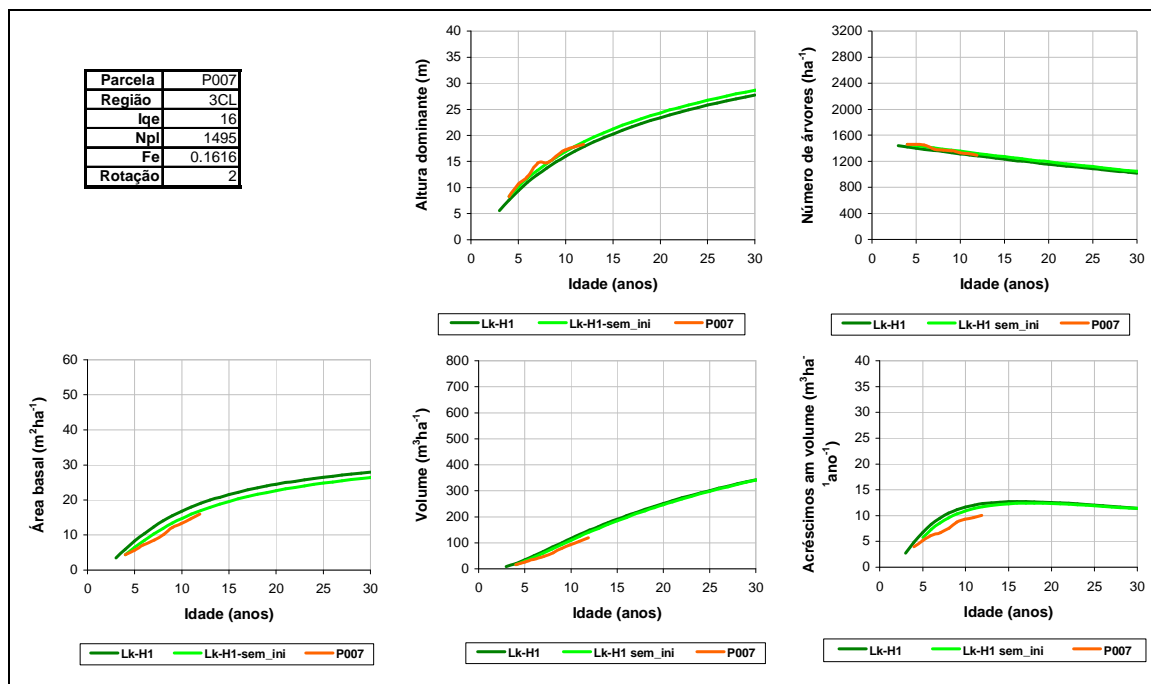


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

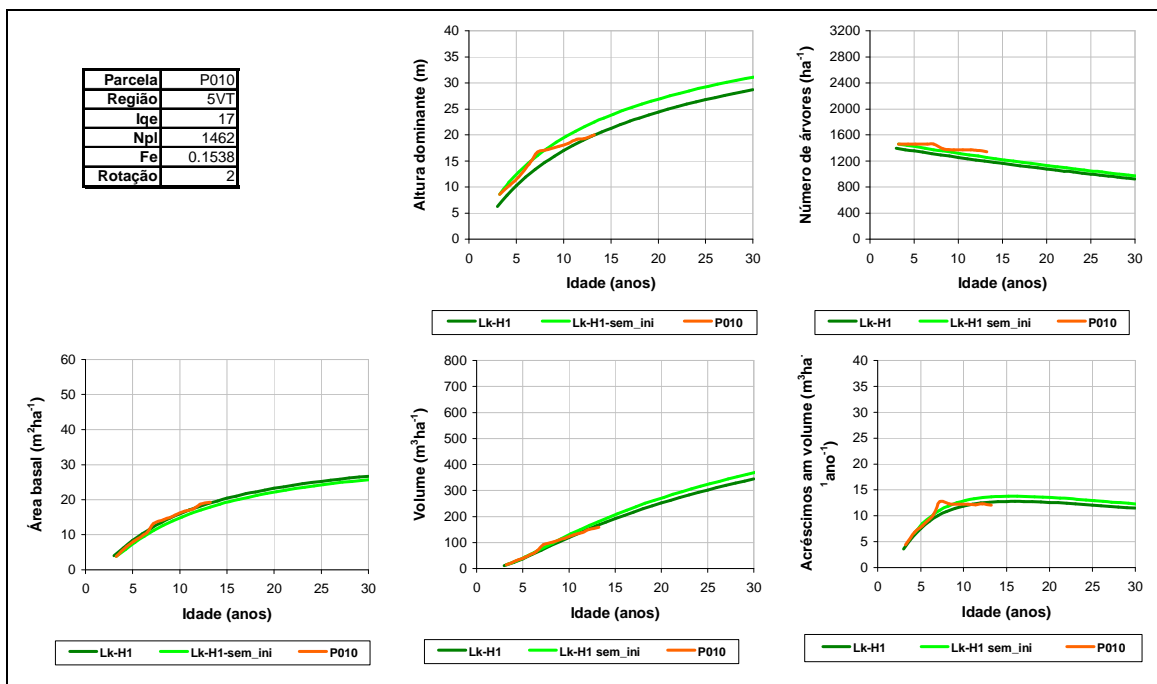
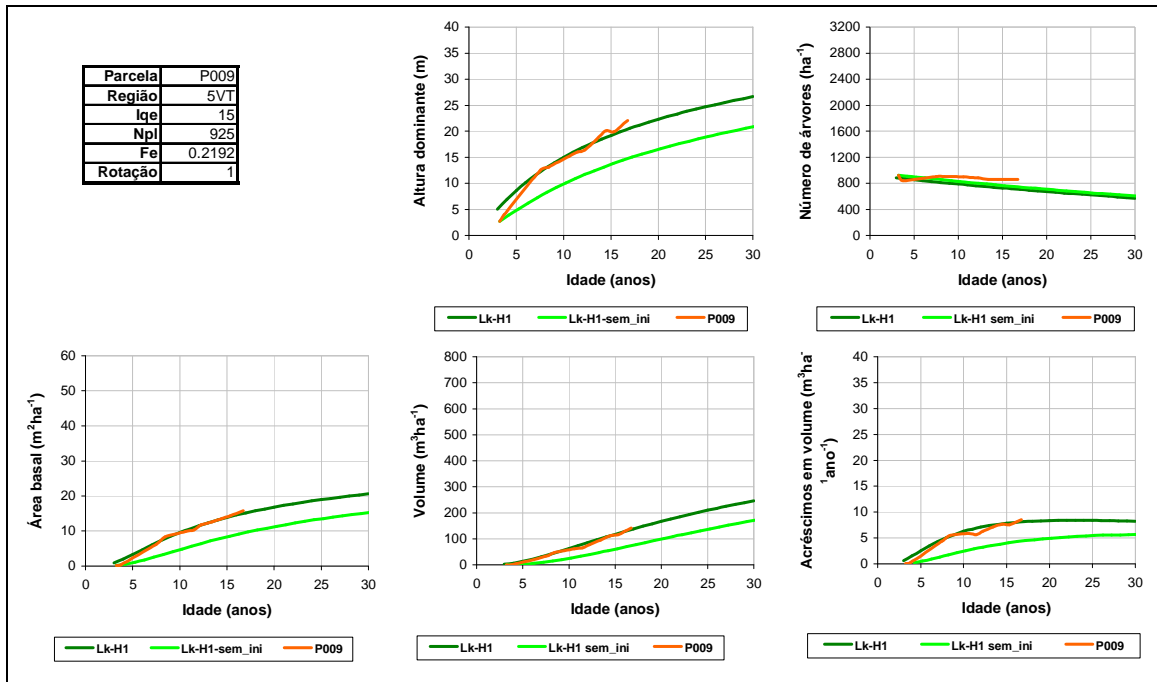


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

7 Referências bibliográficas

- Amaro, A., 1997. Modelação do Crescimento de Povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. em 1ª Rotação. Tese de Doutoramento, IST, Lisboa.
- Amaro, A., Themido, I., e Tomé, M., 1994. A definição de unidades de gestão de informação num sistema de apoio à decisão para a gestão florestal. III Congresso Florestal Nacional, Figueira da Foz, Actas 1, pp. 74-82 (poster).
- Amaro, A. e Tomé, M., 1996. The use of GLOBUS and EUSOP stand models in Portugal. Some preliminary results. In: R. Paivinen, L. Roihuvuo e M. Siitonen (eds.), *Large scale forestry models: experiences and requirements*. EFI Proceedings nº 5, pp. 193-204.
- Amateis, R., Burkhart, H. e Burk, T., 1986. A ratio approach to predicting merchantable yields of unthinned Loblolly pine plantations. *For. Sci.*, 32:2 87-296.
- Borges, J. e Falcão, A., 1999. SagFlor, um simulador de alternativas de gestão em ecossistemas florestais. *Revista Florestal*, 12(1): 37-42.
- Fabião, A., 1986. Contribuição para o Estudo da Dinâmica da Biomassa e da Produtividade Primária Líquida em Eucaliptais. Região Litoral do Centro de Portugal. Tese de Doutoramento, ISA, Lisboa.
- Falcão, A., 1998. Estruturação e Implementação de uma Base de Dados de Informação Biométrica Floresta. Tese de Mestrado, ISA, Lisboa.
- Myers, R., 1986. *Classical and Modern Regression With Applications*. Duxbury Press, Boston, Massachusetts,.
- Oliveira, J., 1997. Definição de Zonas Homogéneas na Produção Florestal em Portugal Continental, Exemplo de Aplicação à *Eucalyptus globulus*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Pereira, H., 1988. Variability in the chemical composition of plantation eucalypts (*Eucalyptus globulus* Labill). *Wood and Fiber Science*, 20(1): 82 - 90.
- Ribeiro, F. e Tomé, M., 2000. Classificação climática de Portugal Continental, baseada em informação do Atlas do Ambiente. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. XXIII, nº 2: 23-38.
- SAS/STAT, 1989. *User's Guide*. versão 6, 4ª ed., vol. 2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 846 pp.
- Shiver, B. e Brister, G., 1992. Tree and stand volume functions for *Eucalyptus saligna*. *For. Ecol. Manag.*, 47: 211-223.
- Soares, P., Pinheiro, A. e Tomé, M., 2000. Relatório de Progresso do Projecto LCA – do Eucalipto ao Papel, PRAXIS/3/3.2/PAPEL/2323/95. ISA, Lisboa.
- Tomé, M. e Ribeiro, F., 2000. GLOBULUS 2.0, Um Modelo de Aplicação Nacional Para a Simulação da Produção e Crescimento do Eucalipto em Portugal. Relatórios Técnico – Científicos do GIMREF, nº1/2000, Dep. Engenharia Florestal, ISA, Lisboa.

ANEXO 1

**Listagem dos concelhos e respectiva correspondência com as regiões do
modelo GLOBULUS 2.1**

Concelho	Cod_INE	Região
ABRANTES	1401	3CL
AGUEDA	101	3CL
AGUIAR DA BEIRA	901	6NI
ALANDROAL	701	7SI
ALBERGARIA-A-VELHA	102	3CL
ALBUFEIRA	801	4SL
ALCACER DO SAL	1501	5VT
ALCANENA	1402	3CL
ALCOBACA	1001	3CL
ALCOCHETE	1502	5VT
ALCOUTIM	802	7SI
ALENQUER	1101	3CL
ALFANDEGA DA FE	401	8VD
ALIJO	1701	8VD
ALJEZUR	803	4SL
ALJUSTREL	201	7SI
ALMADA	1503	4SL
ALMEIDA	902	5VT
ALMEIRIM	1403	3CL
ALMODOVAR	202	7SI
ALPIARCA	1404	3CL
ALTER DO CHAO	1201	5VT
ALVAIAZERE	1002	2NC
ALVITO	203	5VT
AMADORA	1115	4SL
AMARANTE	1301	2NC
AMARES	301	1NL
ANADIA	103	3CL
ANSIAO	1003	2NC
ARCOS DE VALDEVEZ	1601	1NL
ARGANIL	601	2NC
ARMAMAR	1801	6NI
AROUCA	104	2NC
ARRAIOS	702	5VT
ARRONCHES	1202	5VT
ARRUDA DOS VINHOS	1102	5VT
AVEIRO	105	3CL
AVIS	1203	5VT
AZAMBUJA	1103	3CL
BAIAO	1302	2NC
BARCELOS	302	2NC
BARRANCOS	204	7SI
BARREIRO	1504	7SI
BATALHA	1004	3CL
BEJA	205	7SI
BELMONTE	501	6NI
BENAVENTE	1405	5VT
BOMBARRAL	1005	3CL
BORBA	703	5VT
BOTICAS	1702	6NI
BRAGA	303	2NC

Concelho	Cod_INE	Região
BRAGANCA	402	6NI
CABECEIRAS DE BASTO	304	2NC
CADAVAL	1104	3CL
CALDAS DA RAINHA	1006	3CL
CAMINHA	1602	1NL
CAMPO MAIOR	1204	7SI
CANTANHEDE	602	3CL
CARRAZEDA DE ANSIAES	403	8VD
CARREGAL DO SAL	1802	3CL
CARTAXO	1406	3CL
CASCAIS	1105	4SL
CASTANHEIRA DE PERA	1007	2NC
CASTELO BRANCO	502	5VT
CASTELO DE PAIVA	106	3CL
CASTELO DE VIDE	1205	5VT
CASTRO D'AIRE	1803	2NC
CASTRO MARIM	804	4SL
CASTRO VERDE	206	7SI
CELORICO DA BEIRA	903	6NI
CELORICO DE BASTO	305	2NC
CHAMUSCA	1407	3CL
CHAVES	1703	6NI
CINFAES	1804	2NC
COIMBRA	603	3CL
CONDEIXA-A-NOVA	604	3CL
CONSTANCIA	1408	3CL
CORUCHE	1409	5VT
COVILHA	503	6NI
CRATO	1206	5VT
CUBA	207	5VT
ELVAS	1207	7SI
ENTRONCAMENTO	1410	3CL
ESPINHO	107	3CL
ESPOSENDE	306	2NC
ESTARREJA	108	3CL
ESTREMOZ	704	5VT
EVORA	705	5VT
FAFE	307	2NC
FARO	805	4SL
FEIRA	109	3CL
FELGUEIRAS	1303	2NC
FERREIRA DO ALENTEJO	208	7SI
FERREIRA DO ZEZERE	1411	3CL
FIGUEIRA DA FOZ	605	3CL
FIGUEIRA DE CASTELO RODR	904	6NI
FIGUEIRO DOS VINHOS	1008	2NC
FORNOS DE ALGODRES	905	6NI
FREIXO DE ESPADA A CINTA	404	8VD
FRONTEIRA	1208	5VT
FUNDAO	504	6NI
GAVIAO	1209	5VT

Concelho	Cod_INE	Região
GOIS	606	2NC
GOLEGA	1412	3CL
GONDOMAR	1304	3CL
GOUVEIA	906	6NI
GRANDOLA	1505	4SL
GUARDA	907	6NI
GUIMARAES	308	2NC
IDANHA-A-NOVA	505	5VT
ILHAVO	110	3CL
LAGOA	806	4SL
LAGOS	807	4SL
LAMEGO	1805	2NC
LEIRIA	1009	3CL
LISBOA	1106	7SI
LOULE	808	7SI
LOURES	1107	7SI
LOURINHA	1108	3CL
LOUSA	607	2NC
LOUSADA	1305	2NC
MACAO	1413	3CL
MACEDO DE CAVALEIROS	405	8VD
MAFRA	1109	3CL
MAIA	1306	3CL
MANGUALDE	1806	6NI
MANTEIGAS	908	6NI
MARCO DE CANAVEZES	1307	3CL
MARINHA GRANDE	1010	3CL
MARVAO	1210	5VT
MATOSINHOS	1308	3CL
MEALHADA	111	3CL
MEDA	909	6NI
MELGACO	1603	2NC
MERTOLA	209	7SI
MESAO FRIO	1704	3CL
MIRA	608	3CL
MIRANDA DO CORVO	609	2NC
MIRANDA DO DOURO	406	5VT
MIRANDELA	407	8VD
MOGADOURO	408	8VD
MOIMENTA DA BEIRA	1807	6NI
MOITA	1506	7SI
MONCAO	1604	1NL
MONCHIQUE	809	3CL
MONDIM DE BASTO	1705	2NC
MONFORTE	1211	5VT
MONTALEGRE	1706	6NI
MONTEMOR-O-NOVO	706	5VT
MONTEMOR-O-VELHO	610	3CL
MONTIJO	1507	5VT
MORA	707	5VT
MORTAGUA	1808	2NC

Concelho	Cod_INE	Região
MOURA	210	7SI
MOURAO	708	7SI
MURCA	1707	6NI
MURTOSA	112	3CL
NAZARE	1011	3CL
NELAS	1809	2NC
NISA	1212	5VT
OBIDOS	1012	3CL
ODEMIRA	211	4SL
OEIRAS	1110	4SL
OLEIROS	506	6NI
OLHAO	810	4SL
OLIVEIRA DE AZEMEIS	113	3CL
OLIVEIRA DE FRADES	1810	2NC
OLIVEIRA DO BAIRRO	114	3CL
OLIVEIRA DO HOSPITAL	611	2NC
OURIQUE	212	7SI
OVAR	115	3CL
PACOS DE FERREIRA	1309	2NC
PALMELA	1508	5VT
PAMPILHOSA DA SERRA	612	2NC
PAREDES	1310	3CL
PAREDES DE COURA	1605	1NL
PEDROGAO GRANDE	1013	2NC
PENACOVA	613	3CL
PENAFIEL	1311	3CL
PENALVA DO CASTELO	1811	6NI
PENAMACOR	507	6NI
PENEDONO	1812	6NI
PENELA	614	2NC
PENICHE	1014	3CL
PESO DA REGUA	1708	3CL
PINHEL	910	6NI
POMBAL	1015	3CL
PONTE DA BARCA	1606	1NL
PONTE DE LIMA	1607	1NL
PONTE DE SOR	1213	5VT
PORTALEGRE	1214	5VT
PORTEL	709	7SI
PORTIMAO	811	4SL
PORTO	1312	3CL
PORTO DE MOS	1016	3CL
POVOA DE VARZIM	1313	3CL
POVOA DO LANHOSO	309	2NC
PROENCA-A-NOVA	508	5VT
REDONDO	710	5VT
REGUENGOS DE MONSARAZ	711	7SI
RESENDE	1813	2NC
RIBEIRA DE PENA	1709	2NC
RIO MAIOR	1414	3CL
SABROSA	1710	8VD

Concelho	Cod_INE	Região
SABUGAL	911	6NI
SALVATERRA DE MAGOS	1415	5VT
SANTA COMBA DAO	1814	3CL
SANTA MARTA DE PENAGUIA	1711	3CL
SANTAREM	1416	3CL
SANTIAGO DO CACEM	1509	4SL
SANTO TIRSO	1314	2NC
SAO BRAS DE ALPORTEL	812	7SI
SAO JOAO DA MADEIRA	116	3CL
SAO JOAO DA PESQUEIRA	1815	8VD
SAO PEDRO DO SUL	1816	2NC
SARDOAL	1417	3CL
SATAO	1817	6NI
SEIA	912	6NI
SEIXAL	1510	7SI
SERNANCELHE	1818	6NI
SERPA	213	7SI
SERTA	509	2NC
SESIMBRA	1511	7SI
SETUBAL	1512	7SI
SEVER DO VOUGA	117	3CL
SILVES	813	7SI
SINES	1513	4SL
SINTRA	1111	3CL
SOBRAL DE MONTE AGRACO	1112	3CL
SOURE	615	3CL
SOUSEL	1215	5VT
TABUA	616	3CL
TABUACO	1819	6NI
TAROUCA	1820	6NI
TAVIRA	814	7SI
TERRAS DE BOURO	310	1NL
TOMAR	1418	3CL
TONDELA	1821	2NC
TORRE DE MONCORVO	409	8VD
TORRES NOVAS	1419	3CL

Concelho	Cod_INE	Região
TORRES VEDRAS	1113	3CL
TRANCOSO	913	6NI
VAGOS	118	3CL
VALE DE CAMBRA	119	2NC
VALENCA	1608	1NL
VALONGO	1315	3CL
VALPACOS	1712	6NI
VENDAS NOVAS	712	5VT
VIANA DO ALENTEJO	713	5VT
VIANA DO CASTELO	1609	1NL
VIDIGUEIRA	214	7SI
VIEIRA DO MINHO	311	2NC
VILA DE REI	510	3CL
VILA DO BISPO	815	4SL
VILA DO CONDE	1316	3CL
VILA FLOR	410	8VD
VILA FRANCA DE XIRA	1114	5VT
VILA NOVA DA BARQUINHA	1420	3CL
VILA NOVA DE CERVEIRA	1610	1NL
VILA NOVA DE FAMALICAO	312	2NC
VILA NOVA DE FOZ COA	914	8VD
VILA NOVA DE GAIA	1317	3CL
VILA NOVA DE OUREM	1421	3CL
VILA NOVA DE PAIVA	1822	6NI
VILA NOVA POIARES	617	3CL
VILA POUCA DE AGUIAR	1713	2NC
VILA REAL	1714	3CL
VILA REAL DE SANTO ANTONI	816	4SL
VILA VELHA DE RODAO	511	5VT
VILA VERDE	313	1NL
VILA VICOSA	714	5VT
VIMIOSO	411	5VT
VINHAI	412	6NI
UISEU	1823	2NC
VOUZELA	1824	2NC

Observações

A informação por freguesia está disponível. Para a obter contacte: gimref@isa.utl.pt
--

ANEXO 2

Ajustamento do modelo da altura dominante

MODELO GLOBULUS 2.1 - ALTURA DOMINANTE

Restrições aos dados (n=11371):

```
if hdom2<hdom1 then hdom2=hdom1;
```

Modelo (Lundqvist-k):

```
A=a0;
nh=nh0+nhr*rot+nh1*reg1+nh3*reg3+nh6*reg6+nh7*reg7+nhr1*reg1*rot;
model hdom2=A*(hdom1/A)**((t1/t2)**nh);
```

Método de Huber:

```
if abs(rstud) <= 2 then w=rstud;
  else if rstud > 2 then w=2;
  else if rstud < -2 then w=-2;
w=w/rstud;
```

Ajustamento:

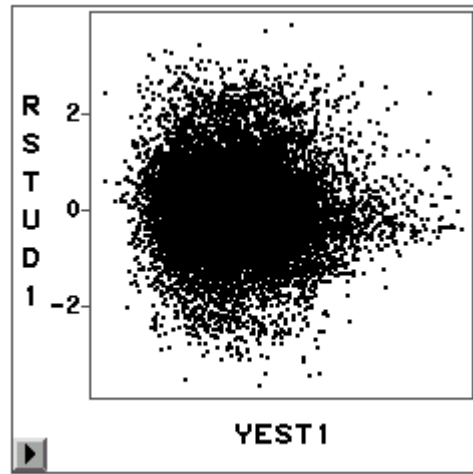
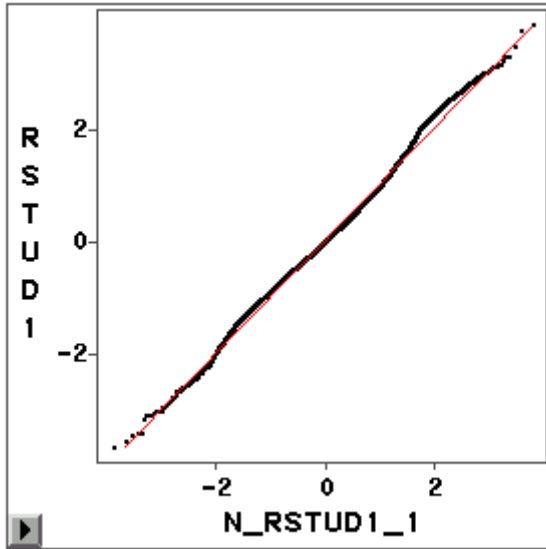
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	8	3062729	382841	346286	<.0001
Residual	11363	12562.5	1.1056		
Uncorrected Total	11371	3075291			
Corrected Total	11370	276403			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits		
A0	61.1372	1.8426	57.5253	64.7491	
nh0	0.3955	0.00796	0.3799	0.4111	
nhr	-0.1581	0.0101	-0.1778	-0.1383	
nh1	0.0850	0.00610	0.0730	0.0969	
nhr1	0.0740	0.0160	0.0426	0.1055	
nh3	0.0420	0.00652	0.0292	0.0548	
nh6	0.0825	0.00576	0.0712	0.0938	
nh7	0.0452	0.00849	0.0286	0.0619	

Validação:

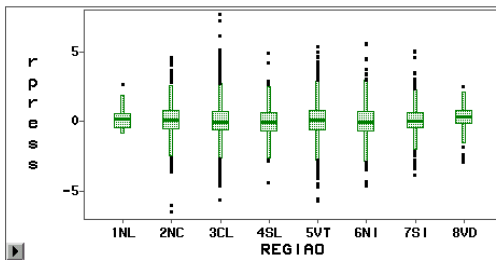
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11371	0.085662	0.83664	1.95962	-1.55726	0.94894

Propriedades estatísticas do modelo:

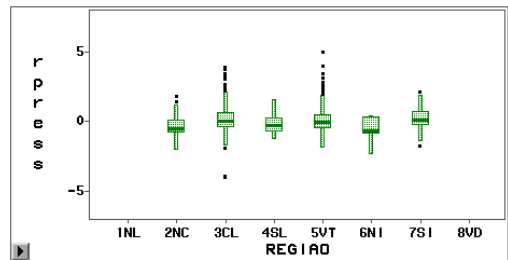


Caracterização do erro do modelo:

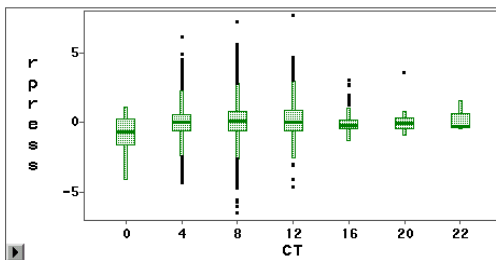
▶ ROT = 0



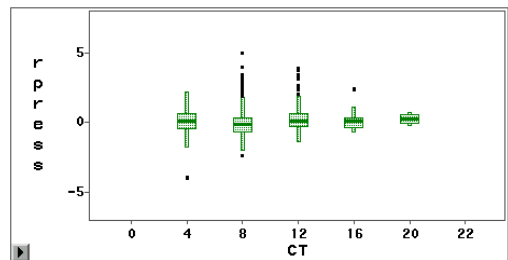
▶ ROT = 1



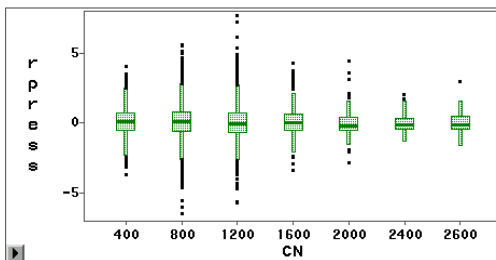
▶ ROT = 0



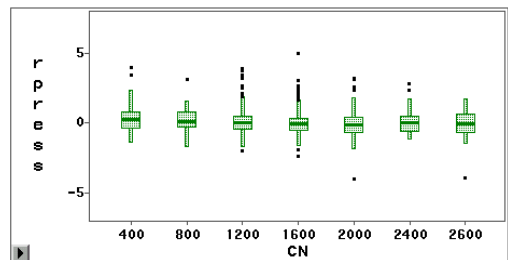
▶ ROT = 1

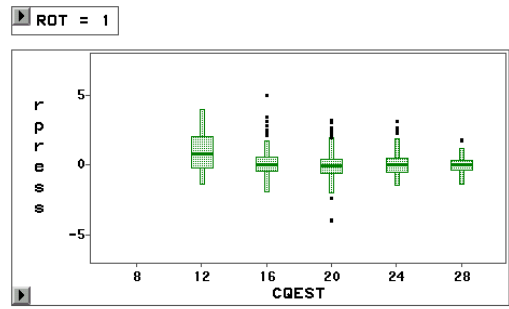
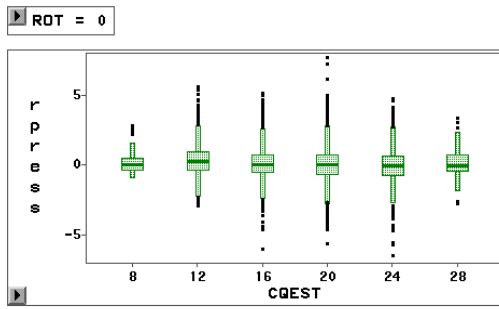


▶ ROT = 0



▶ ROT = 1





ANEXO 3

Ajustamento dos modelos da área basal: projecção e inicialização

MODELO GLOBULUS 2.1 - ÁREA BASAL

PROJEÇÃO

Restrições aos dados (n=11363):

```
if g2<g1 then g2=g1;
if g1*g2=0 then delete;
```

Modelo (Lundqvist-k):

```
Ag=AgQ*Qest**2;
ng=ng0+ngQ*log(Iqe)+(ngr+ngQr*log(Iqe))*rot+
  (ng1+ng1r*rot)*reg1+ng2*reg2+ng3*reg3+ng5*reg5+ng7*reg7;
ngn1=(ngn+ngnr*rot)*n1/1000;
ngn2=(ngn+ngnr*rot)*n2/1000;

model g2=Ag*(g1/Ag)**((t1**ngn1/t2**ngn2)*(t1/t2)**ng);
```

Método de Huber:

```
data huber1;
set reg0;
arstud=abs(rstud);
if arstud <= 2 then huber=rstud;
  else if rstud > 2 then huber=2;
    else if rstud < -2 then huber=-2;
w=huber/rstud;
```

Ajustamento:

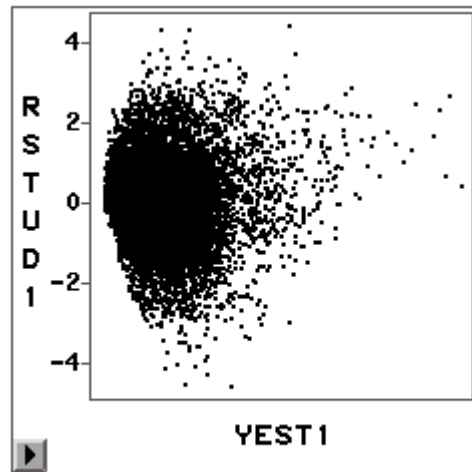
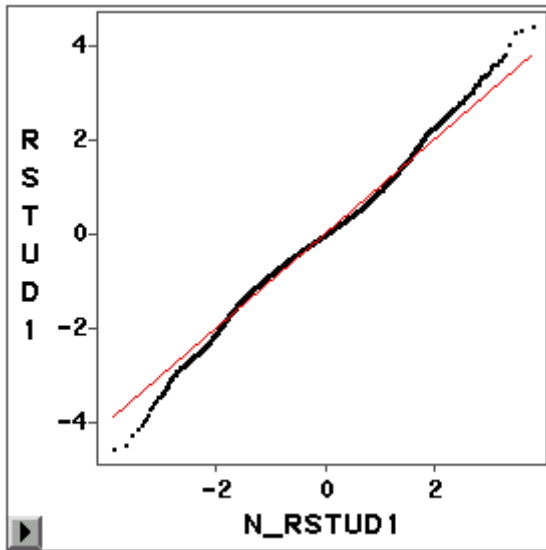
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	13	7084897	544992	280272	<.0001
Residual	11350	22070.2	1.9445		
Uncorrected Total	11363	7106967			
Corrected Total	11362	1794119			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
agQ	0.1586	0.00356	0.1516	0.1656
ng0	3.4571	0.0603	3.3389	3.5753
ngQ	-1.0288	0.0201	-1.0682	-0.9895
ngn	0.1024	0.00462	0.0934	0.1115
ngr	-0.9101	0.1684	-1.2402	-0.5799
ngQr	0.2972	0.0563	0.1868	0.4075
ngnr	-0.0808	0.0134	-0.1072	-0.0545
ng1	0.2322	0.0178	0.1974	0.2670
ng2	-0.0539	0.0160	-0.0853	-0.0226
ng3	0.0996	0.00555	0.0887	0.1105
ng5	0.1105	0.00959	0.0917	0.1293
ng7	0.1520	0.0119	0.1287	0.1754
ng1r	0.0389	0.0159	0.00770	0.0700

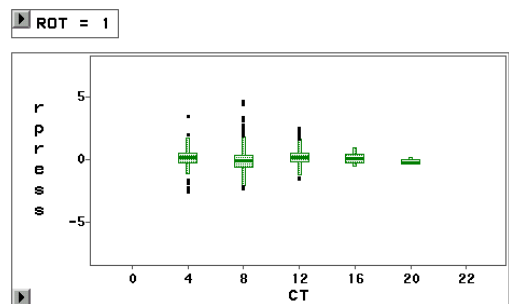
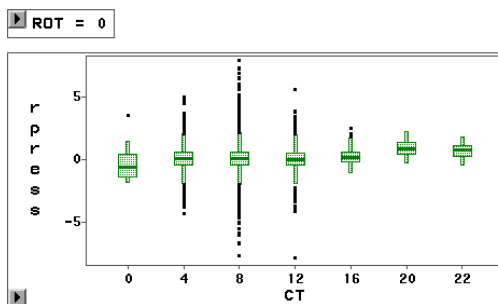
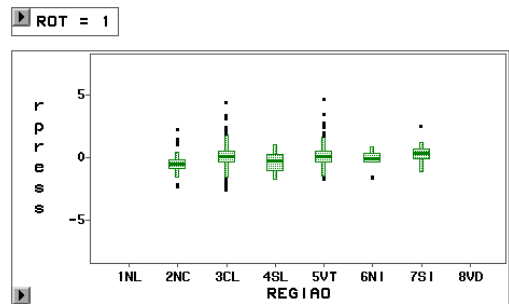
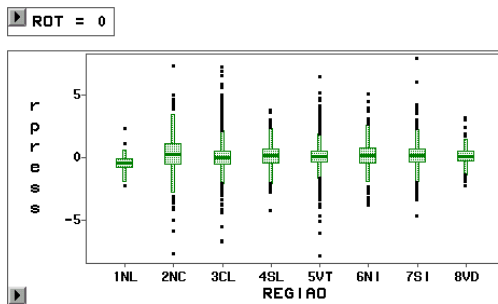
Validação:

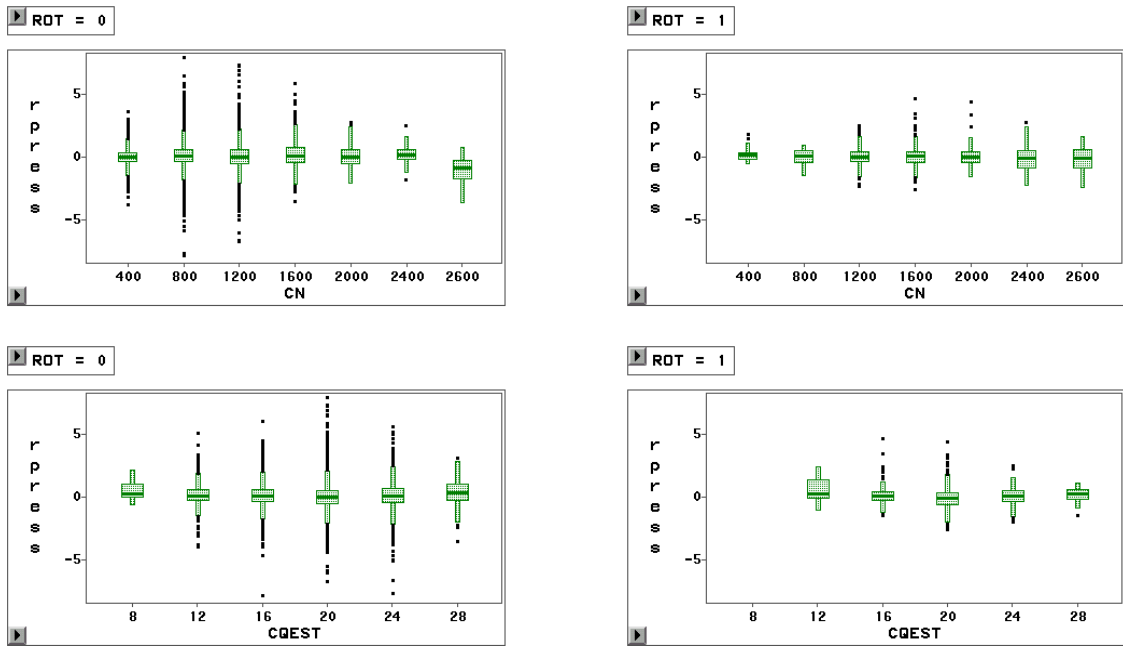
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11363	0.083286	0.69042	1.67221	-1.30761	0.97864

Propriedades estatísticas do modelo:



Caracterização do erro do modelo:





INICIALIZAÇÃO

Restrições aos dados (n=31398):

```
if g2=0 then delete;
truque=1;
```

Modelo (Lundqvist):

```
kg=kg0+kgiQ*1/Qest+kgn*np1/1000+kgf*fe+
(kgr+kgiQr*1/Qest+kgnr*np1/1000+kgfr*fe)*rot+
kg1*reg1+kg2*reg2+kg3*reg3+kg5*reg5+kg6*reg6+kg7*reg7;
```

```
model g2=Ag*exp(-kg*(1/t2)**ng);
```

Método de Huber:

```
data huber1;
set reg0;
arstud=abs(rstud);
if arstud <= 2 then huber=rstud;
else if rstud > 2 then huber=2;
else if rstud < -2 then huber=-2;
w=huber/rstud;
```

Ajustamento:

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	---------------

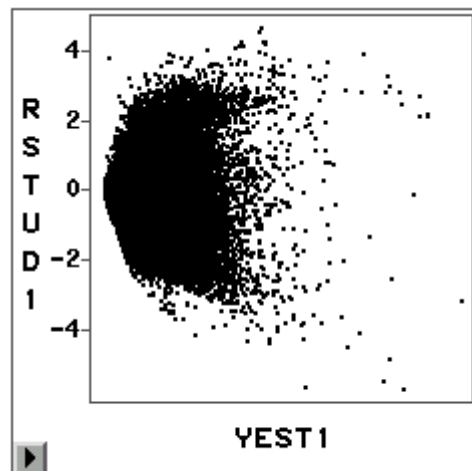
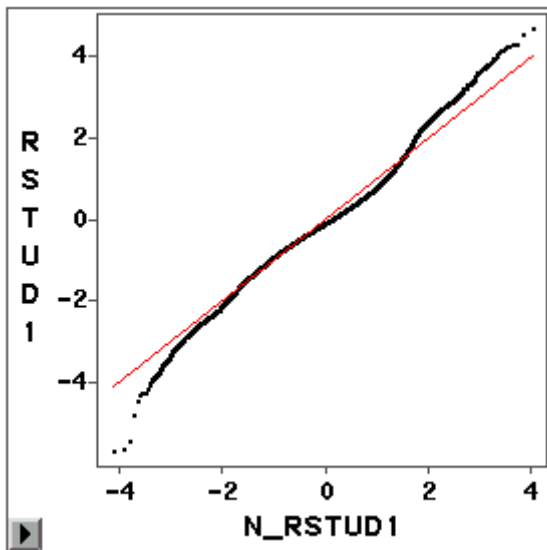
Regression	14	3081596	220114	55159.7	<.0001
Residual	31384	125237	3.9905		
Uncorrected Total	31398	3206834			
Corrected Total	31397	1086204			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
kg0	-7.7941	0.0408	-7.8740	-7.7141
kgiQ	177.9	1.1794	175.6	180.2
kgn	0.5408	0.0135	0.5143	0.5673
kgf	16.0150	0.2912	15.4443	16.5857
kgr	5.2408	0.0768	5.0903	5.3914
kgiQr	-105.6	2.4436	-110.4	-100.8
kgnr	-0.5274	0.0275	-0.5813	-0.4734
kgfr	-1.8252	0.6857	-3.1693	-0.4811
kg1	3.0381	0.0486	2.9428	3.1335
kg2	-0.7751	0.0457	-0.8645	-0.6856
kg3	1.0485	0.0149	1.0194	1.0776
kg5	0.8615	0.1095	0.6468	1.0762
kg6	0.6893	0.1088	0.4760	0.9025
kg7	1.6740	0.0251	1.6248	1.7231

Validação:

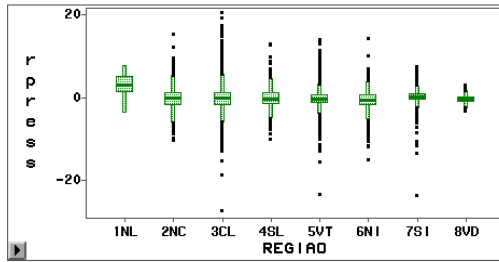
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	31398	0.013943	1.53867	3.54267	-3.18778	0.87135

Propriedades estatísticas do modelo:

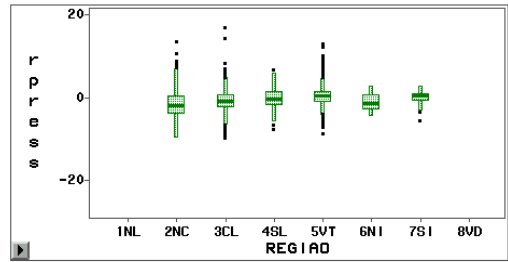


Caracterização do erro do modelo:

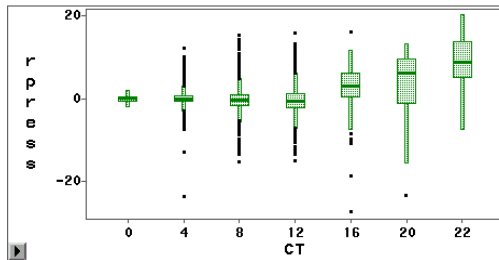
▶ ROT = 0



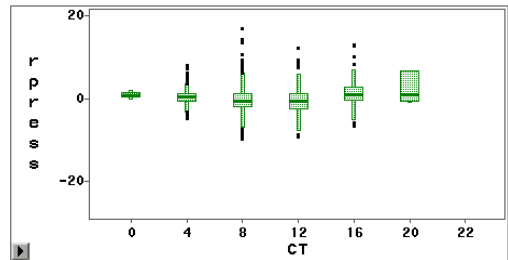
▶ ROT = 1



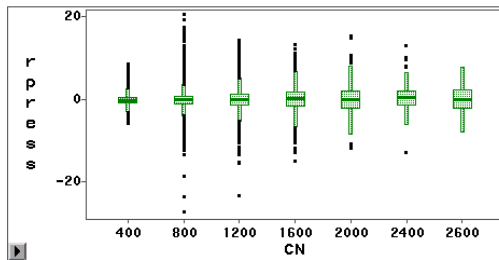
▶ ROT = 0



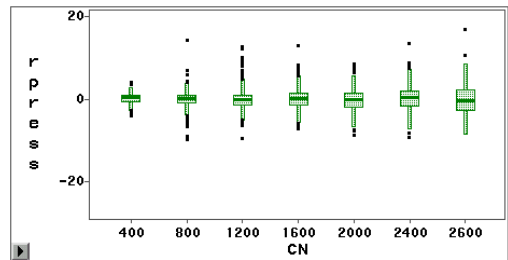
▶ ROT = 1



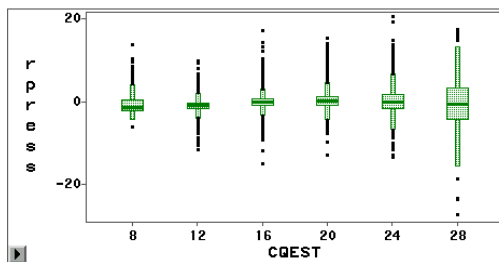
▶ ROT = 0



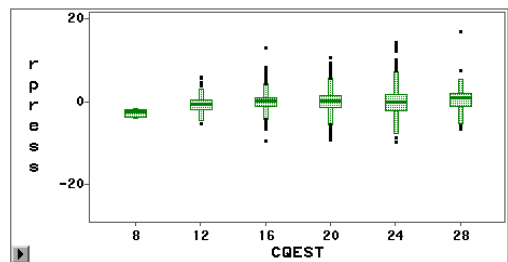
▶ ROT = 1



▶ ROT = 0



▶ ROT = 1



ANEXO 4

Ajustamento do modelo da mortalidade

MODELO GLOBULUS 2.1 - Mortalidade

Restrições aos dados (n=11371):

```
reg17=reg1+reg7;
if n2>n1 then n2=n1;
```

Modelo:

```
am=am0+amQ*Qest+amn*np1/1000+amr*rot+(amQr*Qest)*rot+
am17*reg17+am5*reg5+am175r*rot*(reg17+reg5);
model n2=n1*exp(-am*(t2-t1));
```

Método de Huber:

```
if rstud <= -1 then w=-1/rstud;
else w=1;
```

Ajustamento:

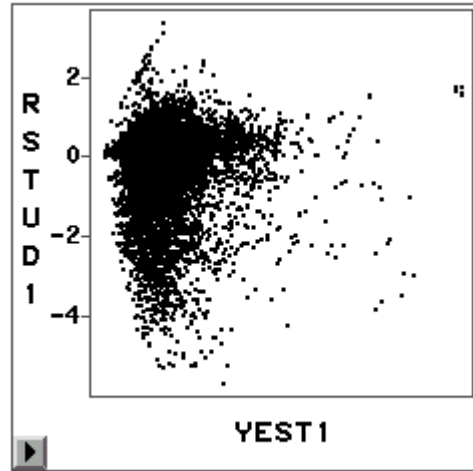
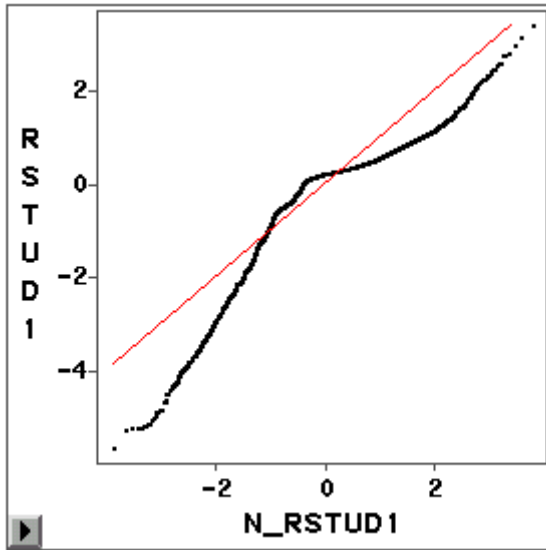
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	8	1.254E10	1.5671E9	1397168	<.0001
Residual	11363	12745346	1121.7		
Uncorrected Total	11371	1.255E10			
Corrected Total	11370	1.7843E9			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
am0	0.0401	0.00140	0.0373	0.0428
amQ	-0.00064	0.000072	-0.00078	-0.00050
amn	0.00131	0.000365	0.000594	0.00203
amr	-0.0311	0.00485	-0.0407	-0.0216
amQr	0.000505	0.000215	0.000083	0.000927
am17	-0.0190	0.000887	-0.0207	-0.0172
am175r	0.0152	0.00377	0.00784	0.0226
am5	-0.0159	0.000882	-0.0176	-0.0141

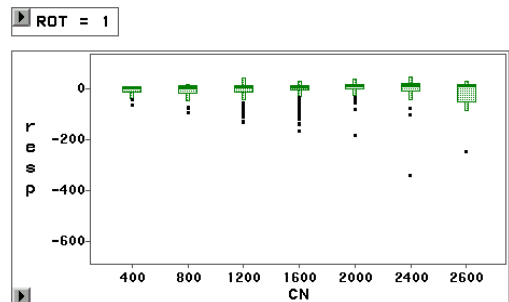
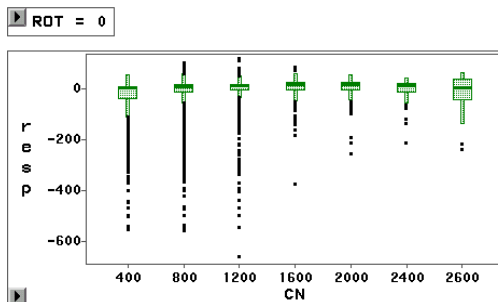
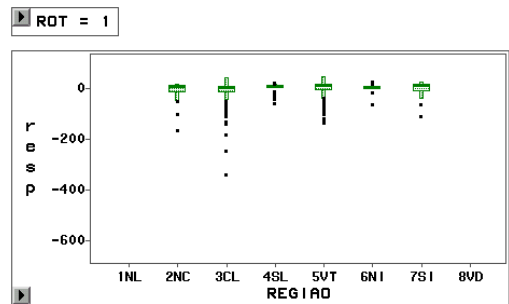
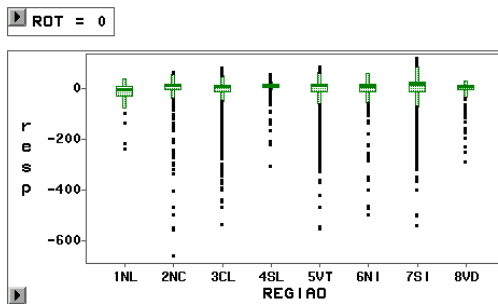
Validação:

Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11371	-7.32426	27.9356	32.3501	-94.9945	0.98308

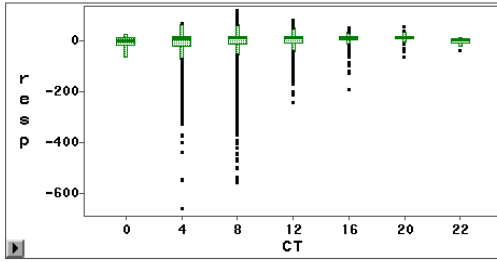
Propriedades estatísticas do modelo:



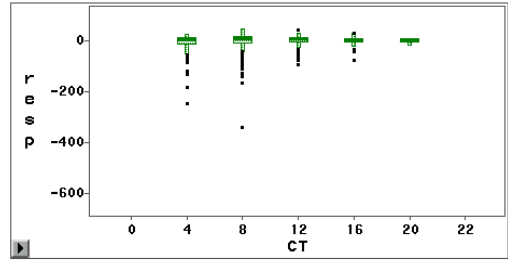
Caracterização do erro do modelo:



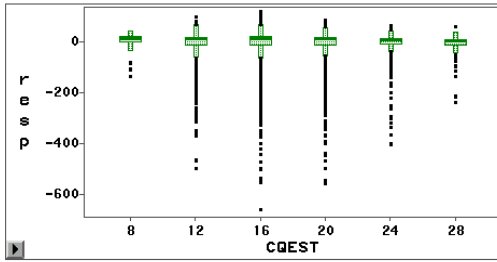
▶ ROT = 0



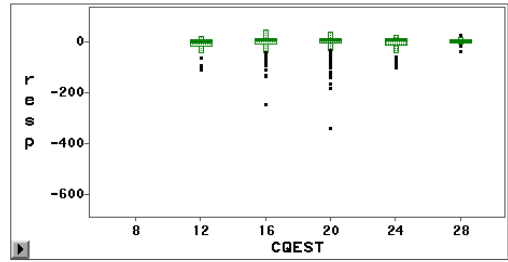
▶ ROT = 1



▶ ROT = 0



▶ ROT = 1



ANEXO 5

Ajustamento do modelo da predição de biomassas

RTC-GIMREF nº 1/2001 - O modelo GLOBULUS 2.1

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
ANO	729	80.5788752	6.5322230	70.0000000	91.0000000
AREA	729	933.0662551	516.1868537	432.0000000	2464.00
T	729	11.9143759	4.5354055	2.0000000	31.5800000
HDOM	729	22.2353498	6.0947855	6.3000000	36.5600000
DDOM	729	22.4762003	5.5014754	6.6000000	38.2800000
N	729	1193.34	503.7512954	481.0000000	2488.00
G	729	22.2121399	10.8386356	1.7700000	64.6200000
DG	729	15.6051578	4.3110371	4.5900000	26.5900000
WTOT	729	145.7284088	88.4275534	5.8300000	394.8700000
WTRONCO	729	130.9310700	83.2530092	2.9500000	342.9700000
WCOPA	729	14.7972016	7.2605776	2.3800000	68.3800000
A	729	43.9519860	0	43.9519860	43.9519860
K	729	0.0357080	0	0.0357080	0.0357080
LN1	729	-1.1382244	0.3465081	-2.6747288	-0.3912523
LN10	729	-1.2030283	0	-1.2030283	-1.2030283
Q	729	21.0274715	4.6177750	1.2953611	33.8857216

Non-Linear Least Squares Iterative Phase
Dependent Variable WTOT Method: Gauss-Newton

Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable WTOT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	21086664.680	3514444.113
Residual	723	87486.660	121.005
Uncorrected Total	729	21174151.341	
(Corrected Total)	728	5692546.648	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
AWO	0.009543588	0.00103004348	0.0075213212	0.0115658543
AWQ	-0.000253175	0.00002633223	-0.0003048722	-0.0002014769
BWO	1.139247993	0.02059038543	1.0988232463	1.1796727407
BWN	-0.042397164	0.00165114964	-0.0456388373	-0.0391554904
BWT	-0.011507174	0.00027503986	-0.0120471546	-0.0109671926
CW	2.404310807	0.04432152375	2.3172951268	2.4913264872

RTC-GIMREF nº 1/2001 - O modelo GLOBULUS 2.1

Non-Linear Least Squares Iterative Phase Dependent Variable Y Method: Gauss-Newton

Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	564.36575940	94.06095990
Residual	1452	0.20373696	0.00014031
Uncorrected Total	1458	564.56949636	
(Corrected Total)	1457	200.06949636	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
AWTO	0.2019167735	0.00212233380	0.19775353308	0.20608001391
BWTO	0.1612511749	0.00263173620	0.15608867386	0.16641367601
BWTN	0.0046114126	0.00027233291	0.00407719533	0.00514562989
BWTT	-.0037368911	0.00004136478	-.00381803357	-.00365574854
BWTQ	-.0035471014	0.00004916613	-.00364354731	-.00345065547
CWTO	0.4301107905	0.00508591019	0.42013410027	0.44008748068

Trabalho desenvolvido no âmbito do projecto PRAXIS /3/3.2/PAPEL/2323/95

LCA - do eucalipto ao papel

O modelo GLOBULUS 2.1

1	Introdução	1
2	Regiões utilizadas	4
3	Dados	8
3.1	Descrição	8
3.2	Verificação dos dados e eliminação de medições erradas	11
3.3	Caracterização dos conjuntos de dados	11
3.4	Variação do índice de qualidade da estação em cada região	18
4	Metodologia para o desenvolvimento do modelo	22
4.1	Estrutura do modelo	22
4.2	Compatibilidade entre as funções de crescimento e de inicialização	24
4.3	Componentes do modelo	27
4.4	Metodologia utilizada na avaliação das novas componentes do modelo GLOBULUS 2.1	29
4.4.1	Seleção de modelos candidatos	28
4.4.2	Critérios para a selecção de modelos	29
4.4.3	Análise das propriedades estatísticas do modelo seleccionado	30
4.4.4	Caracterização do erro do modelo final	31
4.5	Avaliação global do modelo	32

5	Ajustamento e validação das diversas componentes do modelo	33
5.1	Crescimento em altura dominante e estimação da classe de qualidade	33
5.1.1	Justificação da necessidade de um novo modelo	33
5.1.2	Modelo seleccionado	33
5.2	Inicialização e crescimento em área basal	35
5.2.1	Justificação da necessidade de um novo modelo e selecção de modelos candidatos	35
5.2.2	Modelos seleccionados	36
5.3	Inicialização e crescimento em volume	40
5.3.1	Modelos seleccionados	40
5.4	Predição de volumes mercantis	45
5.5	Mortalidade	48
5.5.1	Justificação da necessidade de um novo modelo	48
5.5.2	Modelos seleccionados	48
5.6	Equações para estimação das biomassas total e por componentes	50
5.6.1	Equações ao nível da árvore	50
5.6.2	Equações ao nível do povoamento	50
5.7	Carbono e nutrientes acumulados na biomassa	53
5.8	Transição entre rotações	55
6	O modelo GLOBULUS 2.1	57
6.1	As componentes do modelo	57
6.2	Avaliação global do modelo	63
7	Referências bibliográficas	69

ANEXOS

Lista de símbolos

d_{ap}	diâmetro medido a 1.30 m de altura (cm)
d_d	diâmetro de despona (cm)
d_{dom}	diâmetro da árvore dominante de área seccional média (cm)
d_g	diâmetro da árvore de área seccional média (cm)
e	base do logaritmo neperiano
A	assíptota
rot	Rotação: 0 – alto-fuste; 1 - talhadia
Fe	factor de espaçamento
G	área basal por hectare ($m^2 ha^{-1}$)
h_{dom}	altura dominante - altura média das árvores mais grossas na proporção de 100 árvores por hectare (m)
l_{qe}	índice de qualidade da estação - altura dominante aos 10 anos (m)
\log	logaritmo de base e
N	número de árvores vivas por hectare (ha^{-1})
N_{pl}	número de árvore plantadas por hectare (ha^{-1})
r_p	erro de predição
T	idade (anos)
V	volume total por hectare ($m^3 ha^{-1}$)
V_d	Volume por hectare até ao diâmetro de despona d ($m^3 ha^{-1}$)
W_t	biomassa total aérea ($t ha^{-1}$)
W_{tronco}	biomassa do tronco ($t ha^{-1}$)
W_{copa}	biomassa da copa ($t ha^{-1}$)
W_{casca}	biomassa da casca ($t ha^{-1}$)
W_{lenho}	biomassa de lenho ($t ha^{-1}$)
W_{folhas}	biomassa de folhas ($t ha^{-1}$)
W_{ramos}	biomassa de ramos ($t ha^{-1}$)

O modelo GLOBULUS 2.1

1 Introdução

O modelo GLOBULUS 2.0 foi desenvolvido no âmbito do projecto PAMAF nº 4058 *Desenvolvimento e implementação de modelos regionais de crescimento e produção para o eucalipto*. O objectivo principal deste projecto era o de desenvolver um modelo para a previsão do crescimento do eucalipto, aplicável a todo o país, embora reflectindo crescimentos diferentes para diferentes condições edafo-climáticas. O modelo descrito neste trabalho representa uma versão aperfeiçoada do modelo então obtido, o modelo GLOBULUS 2.1, a qual foi desenvolvida no âmbito do projecto PRAXIS com a referência PRAXIS/3/3.2/PAPEL/2323/95 (*LCA – do eucalipto ao papel*).

Tal como a correspondente 1ª versão, o modelo GLOBULUS 2.1 tem as seguintes melhorias em relação aos modelos anteriores:

- está baseado na classificação prévia do país em zonas homogéneas com base em variáveis climáticas (Ribeiro e Tomé, 2000)
- foi desenvolvido com dados de todo o país, com uma representatividade razoável das diversas regiões em que o país foi classificado, pelo menos para os povoamentos em 1ª rotação, com excepção da região Norte litoral, na qual apenas se dispõe de dados de um ensaio de compassos e mais um número muito pequeno de observações em plantações industriais. Para a organização destes dados numa base de dados relacional foi desenvolvida e implementada em Microsoft ACCESS, no âmbito do projecto PAMAF acima referido, a base de dados *sibFlor-Eg* (Falcão, 1998)
- foi feita uma análise da necessidade de parametrização de acordo com a localização do povoamento numa das oito regiões definidas, assim como para os povoamentos em talhadia, testando-se ainda a interacção do efeito da talhadia com a localização do povoamento (apenas Norte, contra Sul e interior)
- foi desenvolvida metodologia para a obtenção de modelos compatíveis para a inicialização e predição do crescimento em área basal ($dap > 5$)
- foi desenvolvida metodologia para a obtenção de modelos compatíveis para a inicialização e predição do crescimento em volume do povoamento, por sua vez compatíveis com a área basal e a altura dominante do povoamento

- foram ajustados não só modelos para a predição do volume total (dap>5) com casca, mas também para a predição do correspondente volume total sem casca, assim como de volumes mercantis (com e sem casca) para despontas entre 5 e 10 cm
- foi analisada a variabilidade da produtividade dos eucaliptais em Portugal, no todo e em cada uma das regiões definidas, análise que é essencial para prever o crescimento potencial de um povoamento de eucalipto de acordo com a sua localização e com uma classificação subjectiva da estação, relativamente a outras da mesma região, em cinco classes de qualidade: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Em relação ao modelo GLOBULUS 2.0, o presente modelo apresenta as seguintes alterações/melhorias:

- foi realizada uma validação adicional dos dados, em consequência da qual se procedeu a algumas correcções adicionais
- foram acrescentados à base de dados os novos dados provenientes dos ensaios cuja medição é da responsabilidade do ISA
- foi feita uma redefinição das variáveis indicatrizes das regiões climáticas, de modo a que o valor 1 de cada variável indicatriz corresponda sempre à região de maior produtividade
- durante a aplicação do modelo GLOBULUS 2.0 detectaram-se casos em que os valores observados da altura dominante e especialmente da área basal eram superiores ao valor da assíntota, facto que levava a estimativas de crescimento decrescentes; por outro lado, a forma do feixe de curvas da altura dominante do modelo GLOBULUS 2.0 não parecia razoável (as diferentes curvas aproximavam-se excessivamente umas das outras para idades superiores a 20 anos). Assim, optou-se por analisar modelos alternativos que correspondam a valores de assíntotas mais elevados
- no âmbito do modelo GLOBULUS 2.1 desenvolveu-se uma metodologia que permite substituir, na função de projecção em área basal, a utilização do número de árvores à plantação / número de varas após monda (consoante se trate de um povoamento em 1ª ou em talhadia) pelo número de árvores vivas em cada idade; por um lado, é difícil avaliar no campo o número de árvores após monda, por outro lado a utilização do número de árvores vivas em cada idade permitirá introduzir alguma correcção à predição do crescimento em povoamentos com bastante mortalidade
- no modelo GLOBULUS 2.0 a equação para a simulação da mortalidade era bastante simplificada, não incluindo a influência do índice de qualidade da estação, da densidade do povoamento ou da região, pelo que se desenvolveu um modelo melhorado

- manteve-se o sistema de equações para a predição e projecção de volumes totais com e sem casca e de volumes mercantis que haviam sido ajustados para o modelo GLOBULUS 2.0
- foram desenvolvidos sub-modelos para a estimação das biomassas totais e por componentes, o que implicou, numa primeira etapa, o ajustamento de equações ao nível da árvore e, numa segunda fase, o ajustamento de um sistema de equações para a predição das biomassas totais e por componentes ao nível do povoamento
- com base nas estimativas de biomassa totais e por componentes e nos dados sobre a composição química das diversas componentes de biomassa publicadas em Pereira *et al.* (1988), o modelo GLOBULUS 2.1 fornece estimativas de carbono e macro-nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados, ao longo do tempo, em cada uma das componentes da biomassa.

2 Regiões utilizadas

A classificação do país em zonas homogéneas surge na sequência de um trabalho idêntico realizado apenas para o património florestal da Soporcel (Amaro *et al.*, 1994). A validação dos modelos GLOBUS e TWIGGY/EUSOP para várias regiões identificadas nesse trabalho (Amaro e Tomé, 1996) indicou o enviesamento destes modelos em regiões diferentes daquelas para as quais haviam sido desenvolvidos. Surgiu assim a necessidade de “classificar” o país em zonas relativamente homogéneas do ponto de vista edafo-climático ou climático, com base nas quais se pudesse analisar a necessidade de parametrizar as componentes do modelo em função da localização do povoamento.

Uma primeira tentativa neste sentido foi apresentada por Oliveira (1997). Esta classificação teve como unidade primária de análise a freguesia e, com base num vasto conjunto de variáveis edafo-climáticas, foram propostas diversas classificações do país em zonas homogéneas do ponto de vista edafo-climático. A análise dos resultados obtidos com a classificação do país em zonas homogéneas a partir de variáveis edafo-climáticas e utilizando a freguesia como unidade de análise não nos pareceu totalmente correcta, associando na mesma zona regiões com diferentes produtividades. Uma análise cuidadosa levou-nos a suspeitar que a classificação ponderava demasiado as variáveis edáficas.

Este facto, conjugado com a verificação de que, na prática, uma grande proporção dos dados disponíveis não estavam geo-referenciados, sendo o concelho a única localização conhecida, levou-nos a realizar uma segunda classificação baseada apenas em variáveis climáticas e utilizando o concelho como unidade de análise. Os 275 concelhos do país foram caracterizados do ponto de vista climático com base na informação climática do Atlas do Ambiente que se encontra disponível sob forma digital. Utilizou-se análise em componentes principais seguida de uma classificação hierarquizada para dividir o país em 6 regiões. Com base no conhecimento empírico sobre a produtividade do eucalipto nas diferentes regiões do país, decidiu-se dividir (com base em metodologia idêntica à utilizada para a primeira classificação) duas das regiões assim originadas em duas sub-regiões, obtendo-se no final oito regiões. Uma descrição mais detalhada da classificação climática que serve de base ao modelo GLOBULUS encontra-se em Ribeiro e Tomé (2000). É evidente que esta classificação, como qualquer outra, não considera todos os factores que controlam o crescimento do eucalipto, mas as regiões parecem razoáveis como base de trabalho para analisar a importância das diferenças climáticas na produtividade dos eucaliptais e na forma das curvas de crescimento.

A decisão de utilizar uma classificação hierárquica prendeu-se com o desenvolvimento de uma metodologia para analisar, na fase de construção do modelo, a necessidade de parametrizar as funções de crescimento para as diferentes regiões. A vantagem de uma classificação climática hierárquica, surgiu na sequência do desenvolvimento do modelo GLOBULUS 1.0, no qual foram consideradas apenas três regiões. Durante o ajustamento das diversas componentes consideradas nesta versão preliminar do modelo, apercebemo-nos das dificuldades surgidas na análise da significância das diferenças entre regiões, resultantes da existência de um número razoável de regiões totalmente independentes.

A figura 1 representa a localização geográfica de cada uma das regiões que se obtiveram com a metodologia exposta. No ANEXO 1 encontra-se a correspondência entre os 275 concelhos e as 8 regiões definidas.

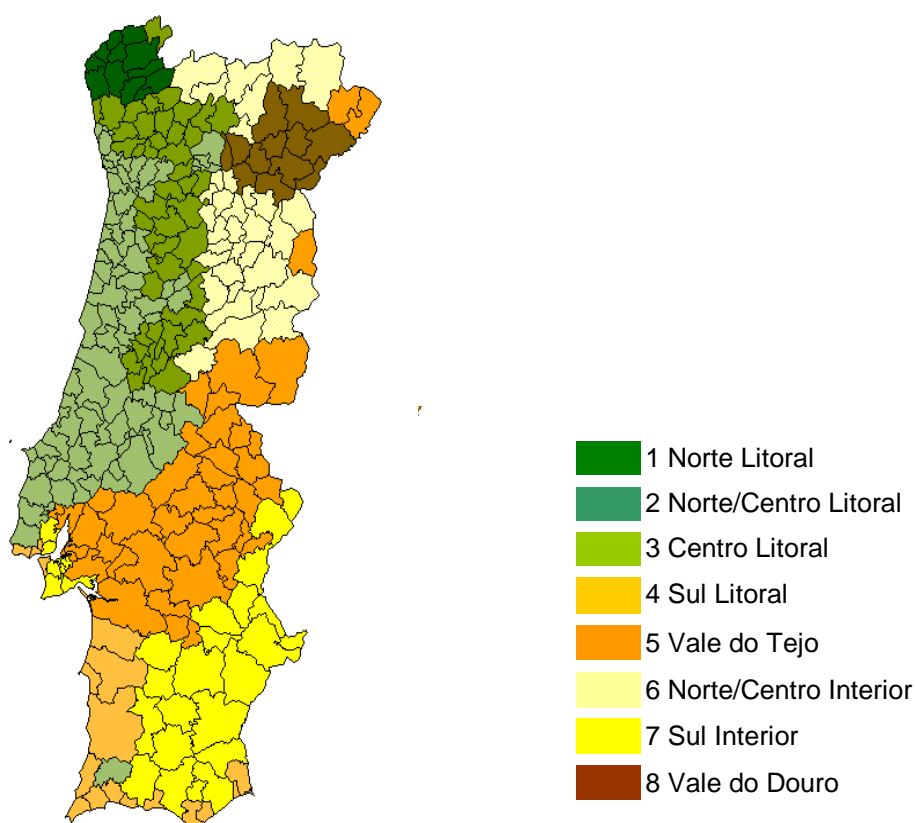


Figura 1. Mapa com as 8 regiões resultantes da classificação dos concelhos do país em regiões climaticamente homogêneas.

Tornou-se bastante difícil encontrar nomes adequados para as diversas regiões, pelo que se preferiu atribuir-lhe números de acordo com a ordenação dos valores mais frequentes do

índice de qualidade da estação. Contudo, para uma mais fácil localização, ao número acrescentaram-se duas letras indicadoras da localização aproximada da região, obtendo-se:

- 1NL - região Norte litoral
- 2NC - região Norte/Centro litoral
- 3CL - região Centro litoral
- 4SL - região Sul litoral
- 5NI - região Norte e Centro Interior
- 6VT - região do Vale do Tejo
- 7SI - região Sul interior
- 8VD - região do Vale do Douro interior

A tabela 1 apresenta resumidamente as características das 8 regiões climáticas adoptadas, as quais se representam graficamente na figura 2. Na figura 3 encontra-se representada a relação hierárquica entre as diversas regiões, assim como a estrutura de variáveis indicatrizes que foram definidas para as identificar durante o processo de ajustamento das diversas componentes do modelo.

Tabela 1. Caracterização climática das 8 regiões adoptadas.

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Temp média								
Min	11	10	10	16	11	7	15	14
Média	13	13	15	17	15	11	16	15
Max	14	15	17	18	17	14	18	15
N. dias geada								
Min	5	6	2	1	8	16	5	20
Média	19	30	17	4	26	51	22	42
Max	34	79	56	14	43	85	35	65
Precipitação								
Min	1510	1046	550	372	550	511	484	463
Média	1929	1436	958	575	690	1033	595	680
Max	2623	2007	1574	750	1053	1764	820	874

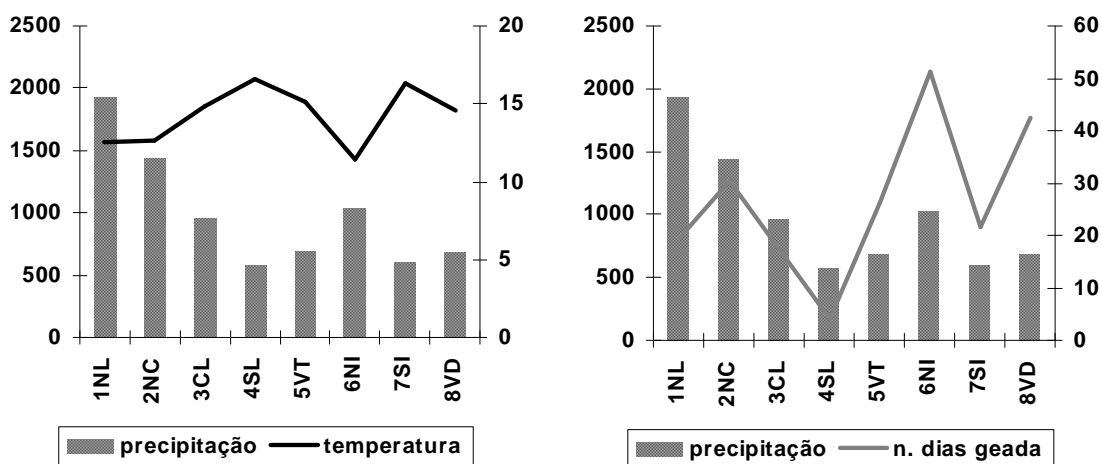


Figura 2. Caracterização climática das 8 regiões adoptadas.

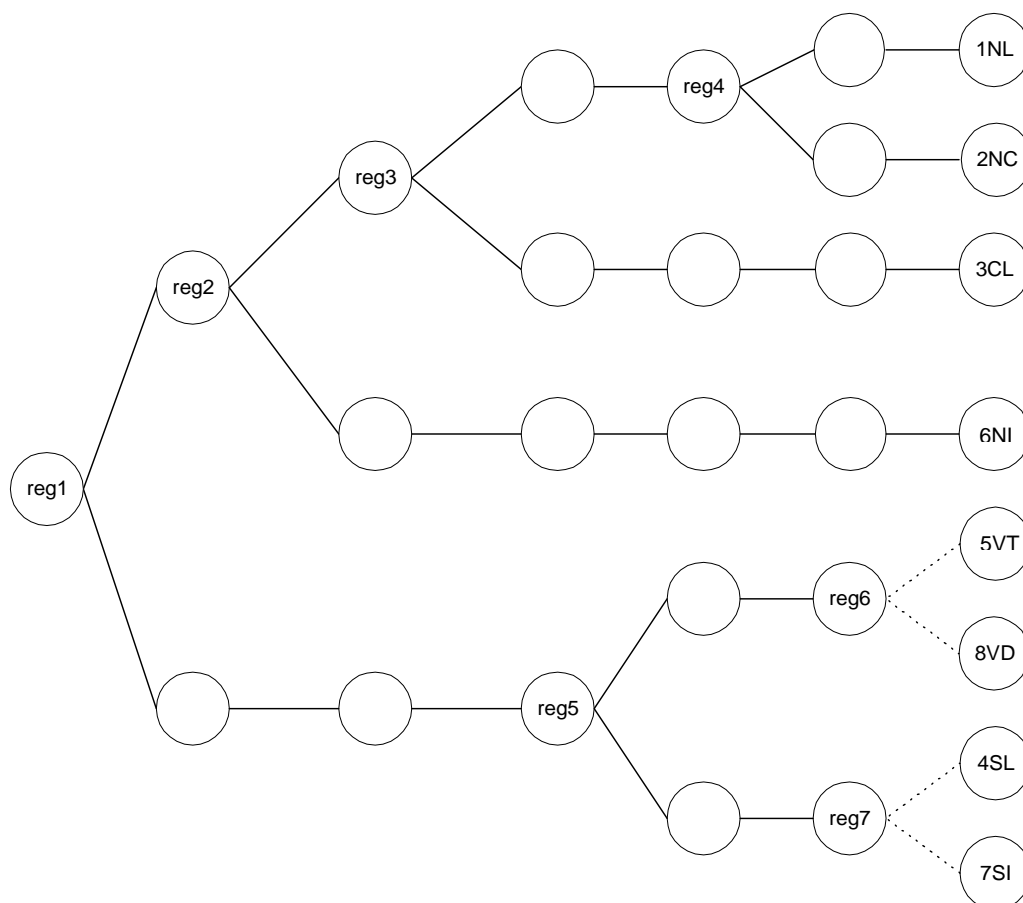


Figura 3. Estrutura hierárquica das regiões e correspondente estrutura de variáveis indicatrizes. Em cada nó, ao ramo superior corresponde o valor 1 da variável indicatriz e ao ramo inferior o valor 0.

3 Dados

3.1 Descrição

Foi feita uma análise exaustiva dos dados disponíveis em Portugal sobre o crescimento do eucalipto, tendo sido seleccionados os seguintes dados para integração do sistema florestal a desenvolver:

- Parcelas permanentes da STORACELBI
- Parcelas permanentes da CELPA
- Parcelas permanentes STRIDE/PAMAF
- Ensaios de compassos das empresas e do ISA
- Outros ensaios (p.e. as parcelas testemunhas e fertilizadas de um ensaio de fertilização e rega instalado pela STORACELBI em colaboração com o ISA e a SLU)
- Dados do inventário florestal contínuo da PORTUCEL
- Dados do inventário florestal contínuo da SOPORCEL
- Dados do inventário florestal contínuo da SILVICAIMA

Optou-se por excluir os dados provenientes de povoamentos clonais, uma vez que estes eram em número extremamente reduzido, não permitindo uma análise segura da necessidade de incluir a constituição genética nas diversas componentes do modelo.

A maior "falha" nos dados que se conseguiram reunir liga-se com a falta de informação sobre o efeito de outras práticas silvícolas para além do compasso de plantação, assim como na pouca informação disponível sobre a relação entre o índice de qualidade da estação em rotações sucessivas.

A tarefa de implementação da base de dados acabou por se tornar numa tarefa muito demorada, consequência quer da enorme quantidade de informação processada, quer da necessidade de compatibilizar e validar informação recolhida com protocolos bastante distintos. Desenvolveu-se, como já foi referido, uma base de dados (em *Microsoft Access*) adequada para o processamento, armazenamento, validação e utilização (para efeitos de modelação) desses dados, o sistema de informação biométrica florestal *sibFlor-Eg* (Falcão, 1998). Este sistema reúne os dados acima referidos. Foram ainda programadas em *Visual Basic* um conjunto de rotinas de validação que permitiram detectar uma grande parte das incorrecções dos dados para inspecção manual posterior e eventual eliminação ou correcção. A figura 4 representa a estrutura da base de dados do sistema *sibFlor-Eg*.

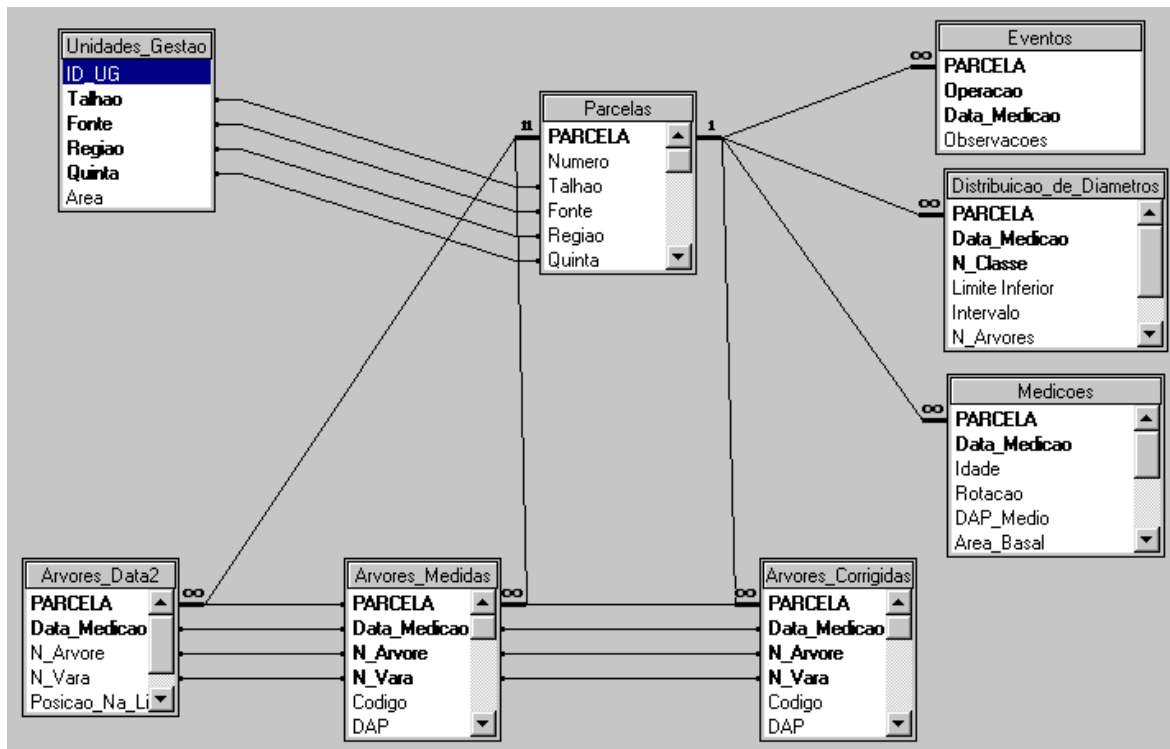


Figura 4. Estrutura da base de dados do sistema *sibFlor-Eg*, representando as principais tabelas do sistema e as respectivas relações.

Os dados utilizados no desenvolvimento do modelo GLOBULUS 2.1 foram obtidos por “queries” realizadas à base de dados *sibFlor-Eg*. Como já foi dito diversas vezes, os dados disponíveis são provenientes de parcelas permanentes e ensaios, assim como dos inventários florestais contínuos das empresas de celulose que fazem parte da equipa do projecto, o que teve implicações em termos das variáveis a utilizar no desenvolvimento do modelo.

Uma primeira decisão que teve de ser tomada relaciona-se com o facto de nas parcelas dos inventários florestais das empresas apenas se realizar a contagem das árvores/varas com diâmetro à altura do peito inferior a 5 cm, não se registando o respectivo diâmetro. Assim foi tomada a opção de utilizar a área basal e os volumes (totais e mercantis) excluindo estas árvores. Para simplificação de linguagem utilizar-se-ão simplesmente as designações área basal, volume total e volumes mercantis.

Foram realizadas duas “queries” à base de dados, uma para obter dados ao nível do povoamento, a outra para obter dados ao nível da árvore individual. Nesta última, essencial para o cálculo dos volumes totais e mercantis com que se desenvolveram os modelos para a predição de volumes, foram excluídos os dados provenientes do inventário florestal da

Soporcel, uma vez que esta empresa não tinha estes dados disponíveis em formato facilmente acessível.

Cada registo retirado da base de dados na 1ª “*query*” corresponde às seguintes variáveis resultantes do processamento dos dados da medição de uma parcela permanente ou de uma parcela de inventário:

- Identificação da parcela e da medição, incluindo instituição responsável pela medição, talhão, número da parcela, concelho
- Ano da medição
- Idade
- Número de árvores à plantação ou número de varas após monda no caso das talhadas (ha^{-1})
- Número de árvores vivas (ha^{-1})
- Altura dominante
- Área basal (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)

Cada registo retirado da base de dados na 2ª “*query*” corresponde às mesmas variáveis que as retiradas na 1ª “*query*”, acrescidas da área da parcela e da seguinte informação relativa à árvore:

- Número da árvore
- Diâmetro à altura do peito (*dap*)
- Código da árvore (se modelo, se com defeitos, etc)
- Altura total

Os dados desta “*query*” foram processados com um programa SAS especificamente escrito para o efeito e que, utilizando as equações de Tomé (1990), calcula os volumes totais e com despontas a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm para cada árvore (com e sem casca) e os correspondentes volumes por hectare. Obteve-se o ficheiro que foi utilizado na modelação dos volumes totais e mercantis (com e sem casca):

- Identificação da parcela e da medição, incluindo instituição responsável pela medição, talhão, número da parcela, concelho
- Ano da medição
- Idade
- Número de árvores à plantação ou número de varas após monda no caso das talhadas (ha^{-1})
- Número de árvores vivas (ha^{-1})
- Altura dominante
- Área basal (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)

- Volume total com casca (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)
- Volume total sem casca (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)
- Volumes com despona a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm com casca (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)
- Volumes com despona a 5, 6, 7, 8, 9 e 10 cm sem casca (ha^{-1} , para $\text{dap} > 5 \text{ cm}$)

3.2 Verificação dos dados e eliminação de medições erradas

Muito embora os dados já tivessem sido objecto de diversas validações, foi realizada uma validação adicional. Numa primeira fase escreveram-se dois programas SAS (semelhantes, mas para os dois conjuntos de dados disponíveis, com ou sem volumes) com duas funções:

1. Eliminação de dados com grande probabilidade de estarem errados

Foi definido um conjunto de regras sobre a verosimilhança dos dados que permitissem eliminar dados poucos prováveis

2. Preparação dos ficheiros a utilizar na fase de ajustamento do modelo, os ficheiros de predição (EQPRED10.SD2 e VEQPRED10.SD2) e os ficheiros de equações às diferenças (EQDIF10.SD2 e VEQDIF10.SD2).

Os primeiros foram utilizados no ajustamento de funções de predição. Os segundos, utilizados no ajustamento de equações às diferenças, foram construídos a partir dos primeiros, contendo todos os pares sucessivos de medições realizadas na mesma parcela.

Numa segunda fase, foi realizada uma análise gráfica que permitiu ainda apurar a validação já realizada. No final obtiveram-se 31,416 observações no conjunto total de predição e 11,371 observações no conjunto total de projecção.

Note-se que os ficheiros utilizados no ajustamento das novas componentes do modelo GLOBULUS 2.1 são ligeiramente diferentes dos que haviam sido utilizados no modelo anterior, em consequência, como já foi dito, do apuramento da validação e edição dos dados e do facto de se haverem acrescentado os novos dados provenientes dos ensaios cuja medição é da responsabilidade do ISA.

3.3 Caracterização dos conjuntos de dados

As tabelas 2A e 2B apresentam várias estatísticas, por região, para o conjunto total de dados a utilizar no ajustamento e validação das funções de predição, respectivamente para povoamentos em 1ª rotação e em talhadia. As características dos outros conjuntos de dados

(para ajustamento de funções de projecção e os utilizados na modelação dos volumes) são semelhantes, apenas com diferença no número de dados.

As figuras 5 e 6 pretendem caracterizar melhor os dados disponíveis para o desenvolvimento do modelo. Referem-se ao mesmo conjunto de dados de predição. Os problemas que facilmente se detectam nestes dados são mais agravados no conjunto com volumes, uma vez que este exclui toda a informação proveniente da Soporcel.

Tabela 2A. Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – 1ª rotação (n=27369).

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Nobs	98	1538	8194	1111	11364	836	3600	628
Idade								
Min	1.0	0.6	0.8	2.8	1.1	2.6	2.8	3.0
Média	5.4	5.6	7.8	6.5	6.7	7.2	6.5	5.4
Max	12.1	19.4	34.3	14.2	20.8	11.9	13.5	8.0
h_{dom}								
Min	2.6	2.8	1.5	4.8	2.1	4.0	3.5	3.0
Média	16.8	13.7	16.6	14.4	12.3	12.0	11.7	8.2
Max	29.2	28.1	36.6	27.9	34.6	25.4	27.4	15.0
G								
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Média	17.2	9.8	11.7	9.6	6.4	7.2	5.3	2.7
Max	33.1	33.9	64.6	31.0	34.3	27.0	22.2	11.5
N								
Min	901	350	200	421	200	250	200	200
Média	2094	1297	1075	997	848	949	765	583
Max	4745	5000	3750	1850	2600	1875	1829	1575
Iqe								
Min	16.0	5.2	2.2	8.3	7.0	5.7	9.5	7.8
Média	24.5	21.5	20.1	19.2	17.0	16.0	15.9	13.6
Max	29.6	28.5	35.9	28.1	32.0	25.9	27.3	21.2

Como se pode concluir da análise das tabelas 2 e destas figuras, os dados apresentam diversos problemas, os quais vieram a ter consequências importantes no desenvolvimento dos modelos:

- A representatividade dos dados na região 1NL é quase nula. Uma análise cuidada das observações pertencentes a essa região permitiu concluir que quase todas as observações pertencem ao ensaio de compassos da Quinta do Paço, localizado numa estação excelente. Decidiu-se, então, por não considerar na análise a variável indicatriz de região reg4

Tabela 2B. Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – talhadia (n=4047).

Variável	REGIÃO							
	Norte litoral	Norte centro	Centro litoral	Sul litoral	Vale do Tejo	Norte interior	Sul interior	Vale do Douro
Nobs	0	242	1029	131	2477	38	130	0
Idade								
Min		1.7	1.1	4.4	1.9	6.1	2.3	
Média		8.0	7.5	7.8	6.8	7.8	5.8	
Max		14.9	19.1	11.7	17.1	10.4	10.4	
h_{dom}								
Min		4.8	4.2	9.0	5.1	5.5	5.8	
Média		16.9	16.3	17.1	14.4	13.0	11.1	
Max		28.2	30.8	25.4	29.5	19.9	21.0	
G								
Min		0.6	0.4	2.4	0.1	0.4	0.3	
Média		14.4	12.1	12.0	9.2	8.5	4.2	
Max		36.0	45.8	21.2	35.8	19.5	18.2	
N								
Min		825	328	800	221	550	275	
Média		2048	1594	1320	1374	1405	755	
Max		3563	4852	2225	4179	2550	1650	
Iqe								
Min		12.2	8.5	11.2	8.1	8.0	10.2	
Média		19.8	19.6	19.0	17.9	15.2	14.5	
Max		29.3	29.1	25.1	29.0	20.5	22.5	

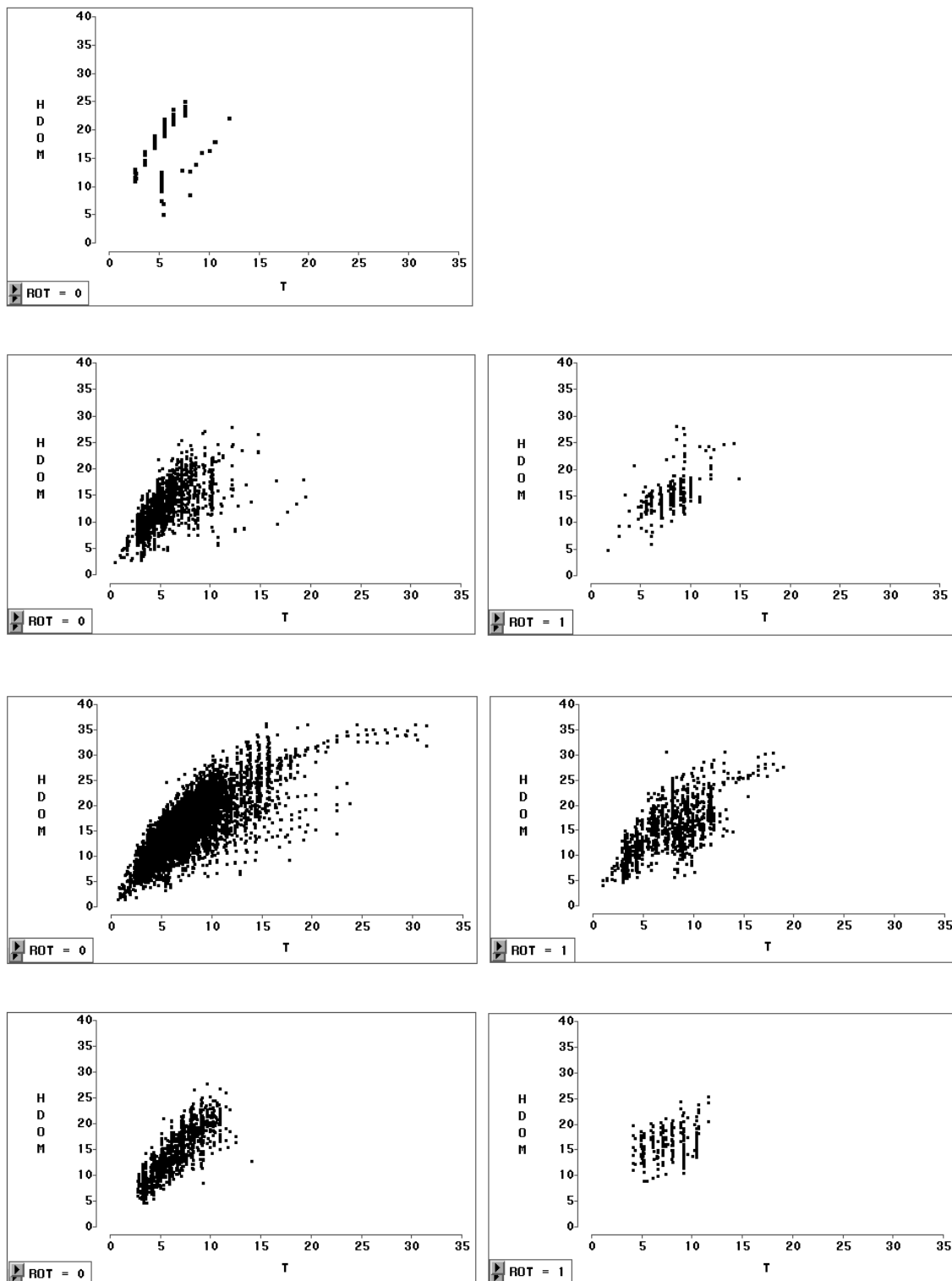


Figura 5A. Altura dominante em função da idade por rotações e regiões para as regiões a Norte do Tejo: em cima, Norte Litoral; no meio superior, Norte Centro Litoral; no meio inferior, Centro Litoral; em baixo, Norte Interior.

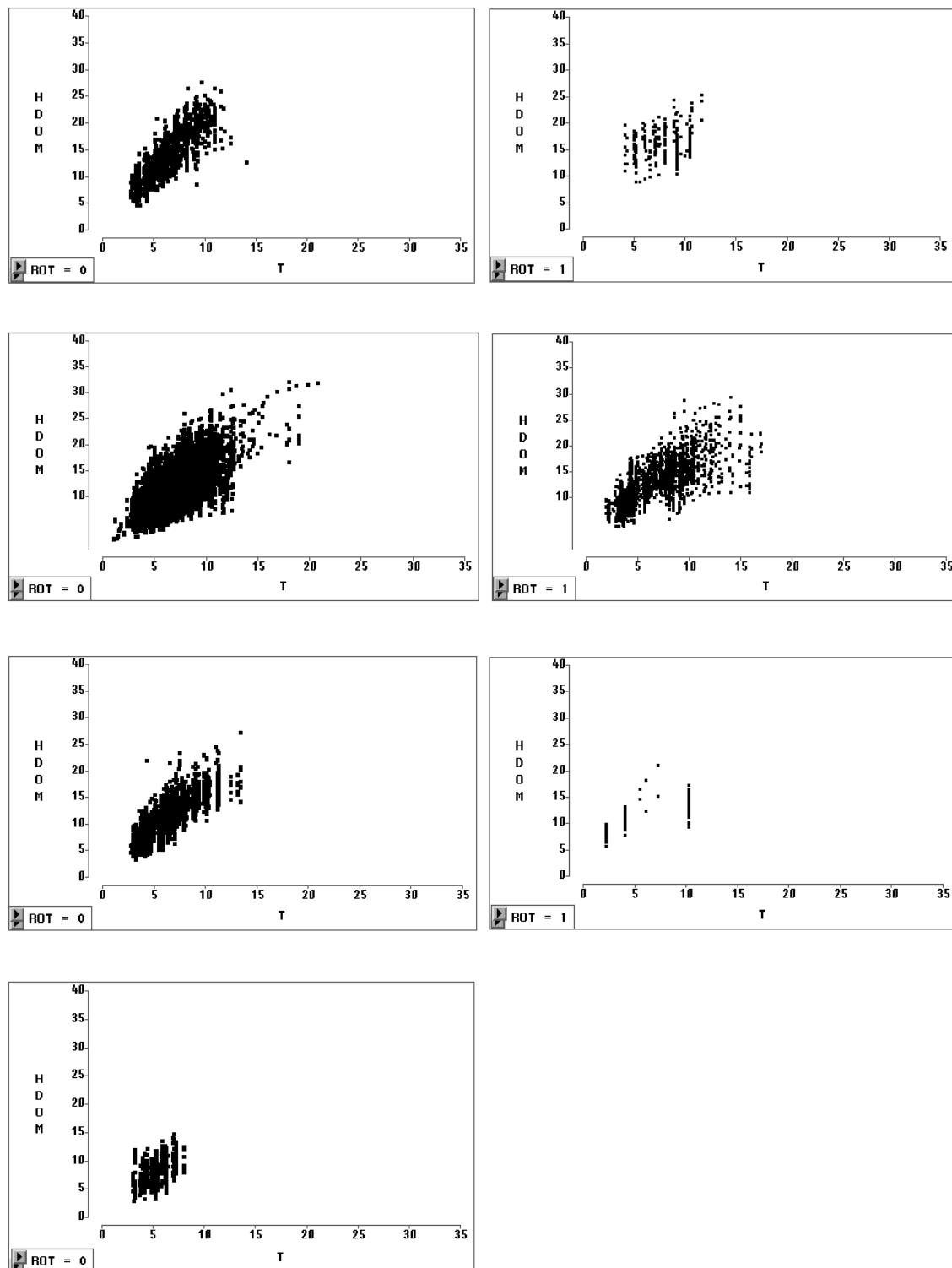


Figura 5B. Altura dominante em função da idade por rotações e regiões para as regiões a Sul do Tejo e nos Vales do Tejo e Douro Interior: em cima, Sul Litoral; no meio superior, Vale do Tejo; no meio inferior, Sul Interior; em baixo, Vale do Douro.

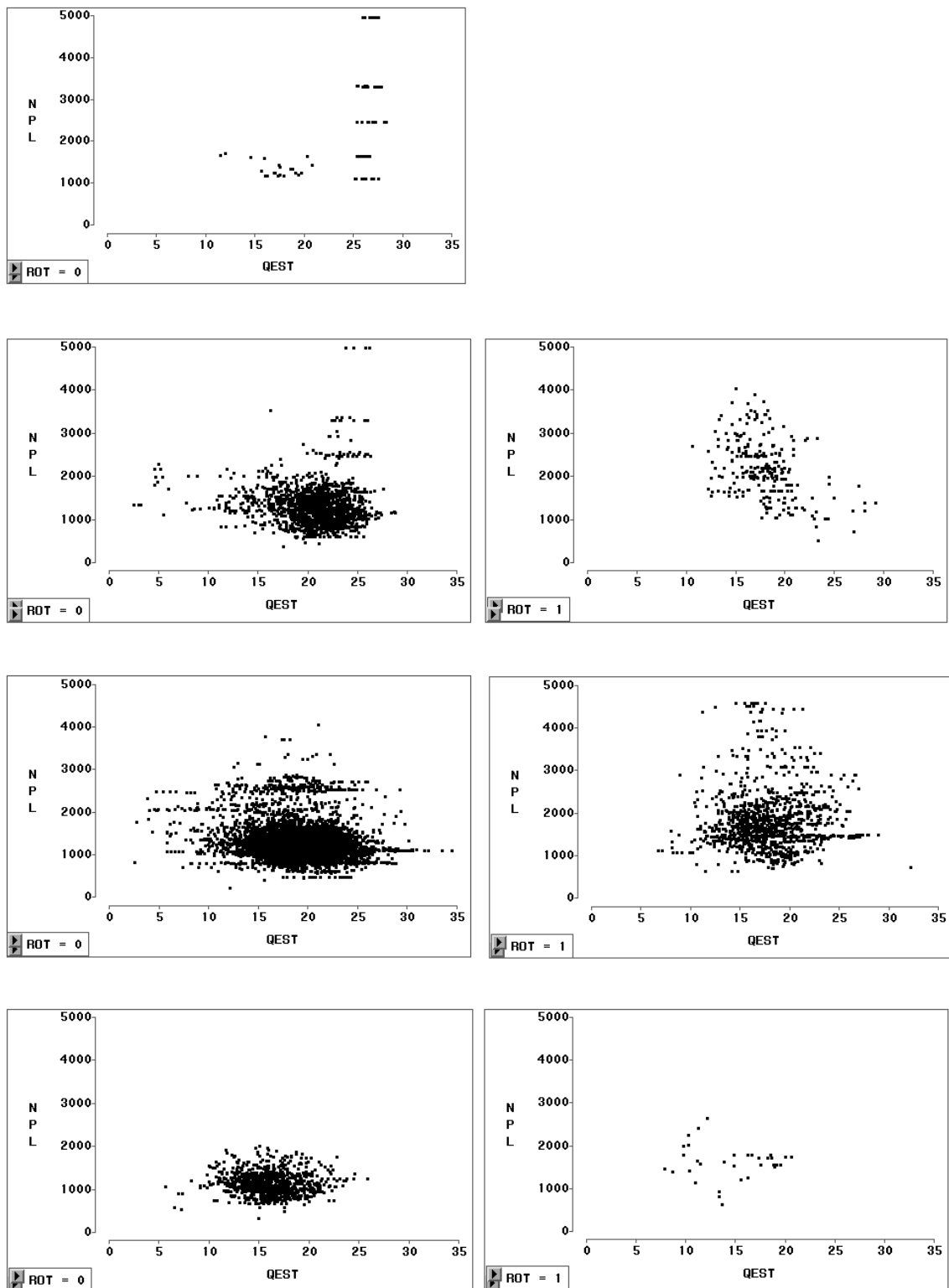


Figura 6A. Número de árvores à plantação em função do índice de qualidade da estação por rotações e regiões para as regiões a Norte do Tejo: em cima, Norte Litoral; no meio superior, Norte Centro Litoral; no meio inferior, Centro Litoral; em baixo, Norte Interior.

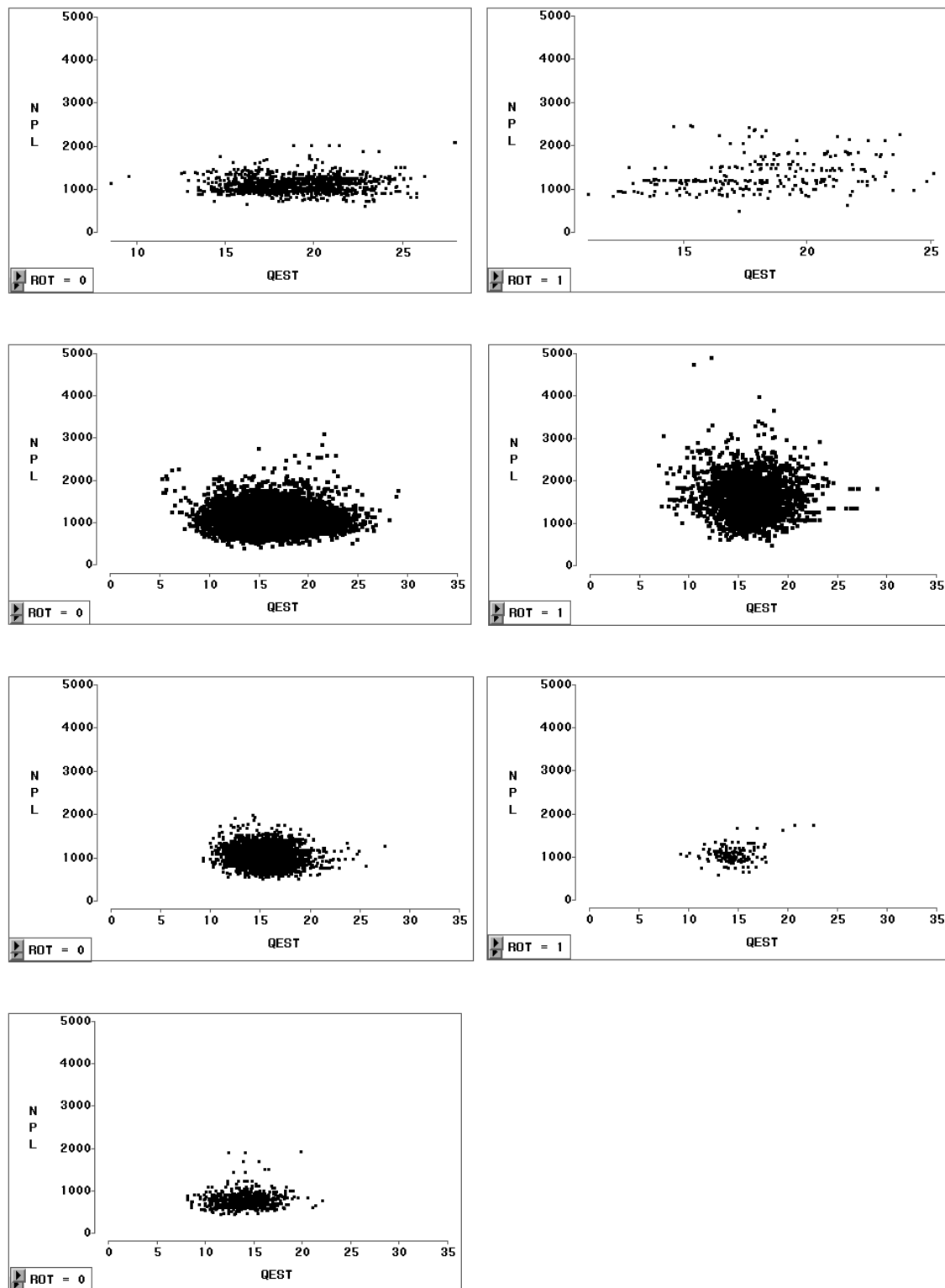


Figura 6B. Número de árvores à plantação em função do índice de qualidade da estação por rotações e regiões para as regiões a Sul do Tejo e nos Vales do Tejo e Douro Interior: em cima, Sul Litoral; no meio superior, Vale do Tejo; no meio inferior, Sul Interior; em baixo, Vale do Douro.

- Os dados relativos a povoamentos em talhadia são escassos para a maior parte das regiões. Apenas nas regiões Centro Litoral e Vale do Tejo existe um número razoável de dados em 2ª rotação. Decidiu-se por testar a interacção entre região e rotação apenas com base na variável indicatriz de região de nível 1, reg1 (separando, portanto, povoamentos a Norte de povoamentos a Sul e dos Vales do Tejo e Douro)
- A representatividade dos povoamentos com idades superiores a 10 anos é muito reduzida na maior parte das regiões, com excepção da região Centro Litoral e, em certa medida, das regiões no Vale do Tejo. O problema é mais acentuado nos povoamentos em talhadia. Esta desigual representatividade de idades mais avançadas nas diferentes regiões pode ter consequências graves para a estimação das assíptotas, como será discutido mais à frente
- a variabilidade dos dados no que diz respeito à densidade de plantação (figuras 6 A e B) também é extremamente variável entre regiões, com algumas regiões como é o caso do Centro Litoral e, em certa medida, do Vale do Tejo a apresentarem uma gama razoável de variação em densidade à plantação para todas as classe de qualidade, enquanto que outras não apresentam quase nenhuma variabilidade, como é o caso do Norte Interior e do Sul Litoral e Interior. O problema é ainda mais acentuado nos povoamentos em talhadia. Este facto pode, mais uma vez, “mascarar” a significância das variáveis de controlo: densidade à plantação, região e rotação
- A distribuição das densidades à plantação em função da qualidade da estação é, contudo, razoável.

3.4 Variação do índice de qualidade da estação em cada região

Um dos resultados mais importantes da análise dos dados disponíveis sobre o crescimento do eucalipto foi a caracterização do índice de qualidade de cada uma das 8 regiões climáticas em que o país foi classificado.

A figura 7 apresenta os diagramas de extremos e quartis para o índice de qualidade da estação (estimado com o modelo seleccionado em 5.1) nas diversas regiões. Nas parcelas monitorizadas durante mais do que um período de crescimento, seleccionou-se apenas o período de crescimento mais próximo dos 10 anos. Como se pode ver, há realmente diferenças grandes em produtividade entre as várias regiões, correspondendo as maiores produtividades médias, como é óbvio, às regiões com maior pluviosidade e menor número de dias de geada.

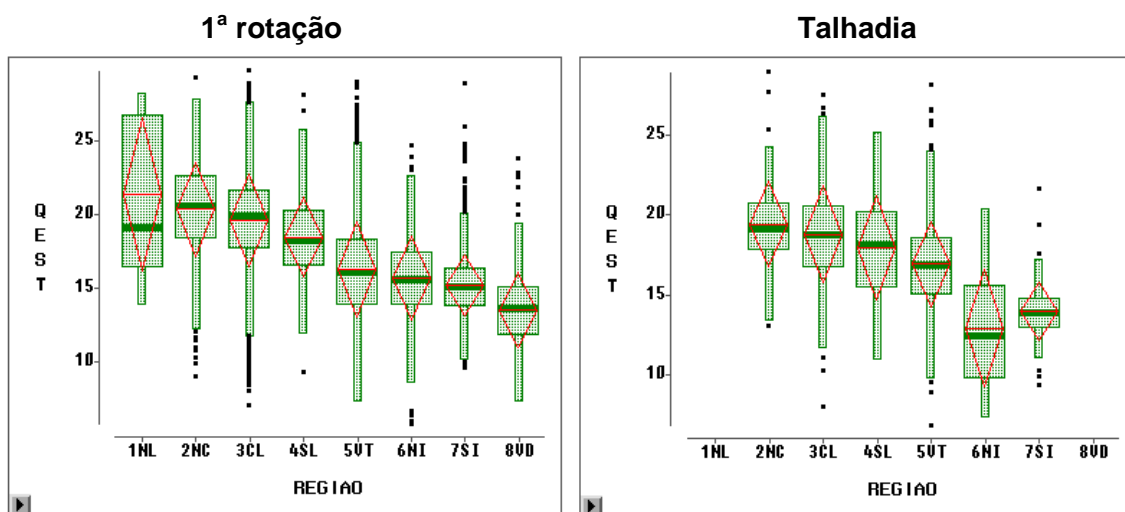


Figura 7. Índice de qualidade da estação para as 8 regiões (povoamentos com idade próxima dos 10 anos). A linha central de cada rectângulo indica o índice de qualidade da estação médio para a região, enquanto que a linha a traço grosso indica a mediana e os limites inferior e superior do rectângulo os percentis 25 e 75%, respectivamente.

A tabela 3 apresenta a frequência, o valor médio e os percentis 1, 25, 50, 75 e 99 para as distribuições do índice de qualidade da estação nas diversas regiões e para os povoamentos em alto fuste e talhadia.

A análise destes dados, em combinação com as respectivas frequências levou aos valores que se encontram na tabela 4, os quais pretendem caracterizar a distribuição do índice de qualidade da estação em cada uma das regiões, através da indicação dos valores mais prováveis para um povoamento que se situe numa estação subjectivamente classificada, em relação aos povoamentos da região em que o povoamento se situe, numa das seguintes classes:

- Produtividade muito elevada (I)
- Produtividade elevada (II)
- Produtividade média (III)
- Produtividade baixa (IV)
- Produtividade muito baixa (V)

Tabela 3. Distribuição observada do índice de qualidade da estação (Iqe) nas diversas regiões consideradas no modelo GLOBULUS 2.1.

Rotação	Região	Nºdados	Média	P1	P25	P50	P75	P99
1ª rotação	1NL	23	22	16	18	20	26	30
	2NC	855	21	12	20	21	23	28
	3CL	3532	20	12	18	20	22	27
	4SL	564	19	14	17	19	21	25
	5VT	5981	17	10	15	17	19	25
	6NI	560	16	10	14	16	18	23
	7SI	1791	16	11	14	16	17	21
	8VD	368	14	8	12	14	15	20
Talhada	1NL							
	2NC	120	20	13	18	20	21	27
	3CL	516	19	12	17	19	21	26
	4SL	68	18	11	15	18	20	25
	5VT	1419	18	12	16	17	19	25
	6NI	24	13	8	10	13	15	20
	7SI	89	14	10	13	14	15	22
	8VD							

Os valores apresentados na tabela 4 para o alto fuste foram calculados directamente a partir dos dados disponíveis, embora se tenham feito ajustamentos pontuais nas regiões com um pequeno volume de dados, de modo a obter um conjunto consistente de distribuições do índice de qualidade da estação. Os valores apresentados para a talhadia foram estimados a partir dos correspondentes valores para o alto fuste, com base na equação apresentada em 5.1.2. Muito embora esta equação tenha sido baseada num número bastante reduzido de observações, optou-se por utilizá-la em vez dos valores observados dos percentis, uma vez que a amostra de povoamentos em talhadia representada nos dados corresponde a povoamentos instalados há bastante mais tempo do que a amostra de povoamentos em alto fuste que cobre os diversos anos representados na amostra. Neste caso é natural que as estações disponíveis nos anos 60-70 sejam de qualidade diferente daquelas que se utilizaram posteriormente.

A diferença entre o leque de índices de qualidade da estação correspondente às diversas regiões é nítido a partir da análise das tabelas 3 e 4.

Tabela 4. Distribuição dos índices de qualidade da estação em cada uma das 8 regiões consideradas no modelo GLOBULUS 2.1.

Região	Alto-fuste					Talhada				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1NL	16	19	22	25	28	17	20	23	26	29
2NC	14	17	20	23	26	14	18	21	24	27
3CL	13	16	19	22	25	13	17	20	23	26
4SL	12	15	18	21	24	12	16	19	22	25
5VT	11	14	17	20	23	9	13	16	19	22
6NI	10	13	16	19	22	8	12	15	18	21
7SI	9	12	15	18	21	7	11	14	17	20
8VD	8	11	14	17	20	6	9	13	16	19

4 Metodologia para o desenvolvimento do modelo

4.1 Estrutura do modelo

O modelo GLOBULUS 2.1 é um modelo de povoamento que considera as seguintes variáveis de estado: altura dominante, área basal, volume total e volume mercantil para limites de despona entre 5 e 10 cm (com e sem casca), número de árvores por ha e biomassa total e por componentes. O modelo estima também o total de carbono e nutrientes (N, P, K, Ca) acumulados em cada componente. O índice de qualidade da estação, o número de árvores por ha à plantação, o número de varas por ha após a monda de varas, a rotação (alto fuste *versus* talhadia) e a localização numa das 8 regiões definidas são as variáveis de controlo. A rotação foi definida com base numa variável indicatriz da talhadia e a região de acordo com a estrutura hierárquica de variáveis indicatrizes apresentada na figura 3. A tabela 5 apresenta um resumo das variáveis incluídas no modelo.

A estrutura do modelo está representada na figura 8. Como se pode ver, o modelo considera dois módulos, o módulo de inicialização e o módulo de projecção.

O módulo de projecção é constituído por um conjunto de equações que actualizam o valor das variáveis de estado do instante t_1 para o instante t_2 . No modelo GLOBULUS 2.1 o módulo de projecção é constituído por funções de crescimento, formuladas como equações às diferenças, e por equações de predição. A maior parte das equações deste módulo, com excepção das equações para a predição dos volumes mercantis e das biomassas total e por componentes, são equações às diferenças, ou seja, equações que estimam o valor de uma variável de estado no instante t_2 em função dos valores das variáveis de controlo e dos valores das variáveis de estado no instante t_1 . Por seu lado, uma equação de predição estima o valor das variáveis de estado num determinado instante t , função do valor das variáveis de controlo e do valor de outras variáveis de estado no mesmo instante t . Os volumes mercantis são estimados com base numa equação que estima a proporção do correspondente volume (com ou sem casca) até ao limite de despona, enquanto que as biomassas das diferentes componentes são estimadas com base num sistema de equações alométricas. A projecção, até à idade de corte, de um povoamento que tenha sido objecto de um inventário florestal não necessita de nenhum outro módulo.

No caso de se pretender simular o crescimento de um povoamento no qual não tenha sido realizado nenhum inventário florestal, ou simular o crescimento de um povoamento após o corte (2ª rotação ou superiores) é necessário estimar as condições iniciais para a simulação, função do valor das variáveis de controlo. É esta a função do módulo de inicialização, o qual é constituído apenas por equações de predição.

Tabela 5. Variáveis incluídas no modelo GLOBULUS 2.1.

Variáveis de controlo	Variáveis de estado	
	Variáveis principais	Variáveis secundárias
Ambientais: Índice de qualidade da estação (idade padrão 10) Região climática	Altura dominante Número de árvores ha ⁻¹ Área basal do povoamento	Volumes mercantis (com e sem casca) Biomassa total (parte aérea)
Culturais: Densidade à plantação (1ª rotação) Densidade após monda (talhadia) Idade de corte	Volume total (com e sem casca)	Biomassa de raízes Biomassa por componentes: ramos, folhas, madeira, casca Armazenamento de carbono por componentes: ramos, folhas, madeira, casca e raízes
Povoamento: Rotação Idade		

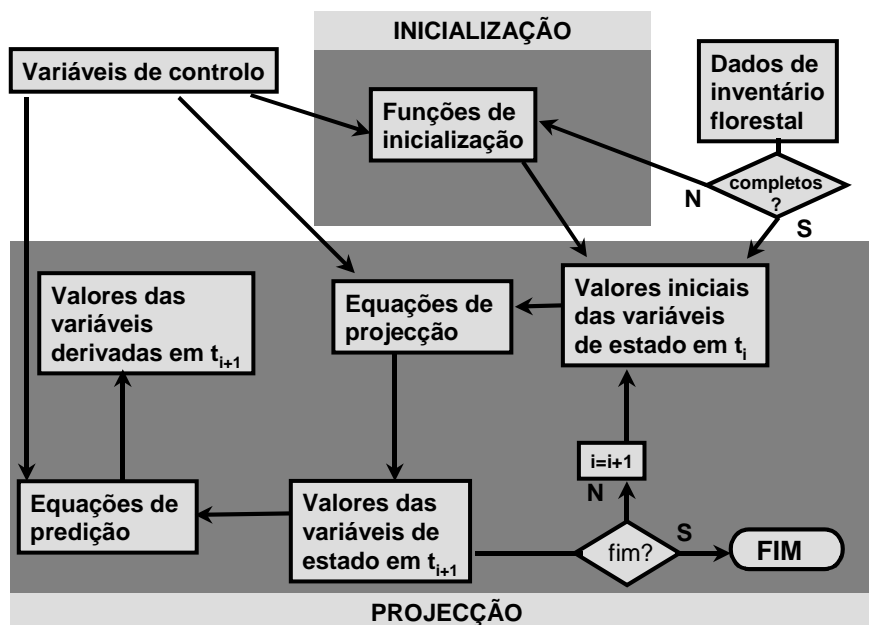


Figura 8. Estrutura do modelo GLOBULUS 2.1.

A compatibilidade entre os dois módulos está assegurada. Ou seja, para os mesmos valores das variáveis de controlo, obtém-se os mesmas estimativas para as variáveis de estado na idade t_2 , independentemente da idade inicial. Foi desenvolvida, no âmbito do desenvolvimento do modelo GLOBULUS 2.0, a metodologia para conseguir esta característica, a qual se considera essencial para garantir uma utilização do modelo na prática. No modelo GLOBULUS 2.1 desenvolveu-se uma versão melhorada do modelo da área basal então deduzido, o qual permite a expressão da taxa de crescimento em função da densidade do povoamento em vez da densidade de plantação. Esta metodologia é explicada em detalhe no ponto seguinte.

4.2 Compatibilidade entre as funções de crescimento e de inicialização

No modelo GLOBULUS 2.1, as funções de crescimento utilizaram-se sempre sob a forma de equações às diferenças. A expressão de uma função de crescimento como uma equação às diferenças baseia-se na premissa de que é possível modelar o crescimento com base numa família de curvas correspondente às curvas originadas por essa função de crescimento com todos os parâmetros comuns excepto um, o chamado parâmetro livre. Exemplificando com a função de Lundqvist, temos a seguinte expressão para a função de crescimento:

$$y = Ae^{-kt^{-n}}$$

A partir da função de crescimento nos instantes t_1 e t_2 obtém-se, respectivamente:

$$y_1 = Ae^{-kt_1^{-n}} \Rightarrow \ln(y_1) = \ln(A) - k t_1^{-n} \Rightarrow \ln\left(\frac{A}{y_1}\right) = k t_1^{-n} \Rightarrow k = \frac{1}{t_1^{-n}} \ln\left(\frac{A}{y_1}\right) \Rightarrow k = \ln\left(\frac{A}{y_1}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}}$$

$$y_2 = Ae^{-kt_2^{-n}} \Rightarrow \ln(y_2) = \ln(A) - k t_2^{-n} \Rightarrow \ln\left(\frac{A}{y_2}\right) = k t_2^{-n} \Rightarrow k = \frac{1}{t_2^{-n}} \ln\left(\frac{A}{y_2}\right) \Rightarrow k = \ln\left(\frac{A}{y_2}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}}$$

Igualando agora as duas expressões obtidas para k , vem:

$$\ln\left(\frac{y_2}{A}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}} = \ln\left(\frac{y_1}{A}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}} \Rightarrow \left(\frac{y_2}{A}\right)^{\frac{1}{t_2^{-n}}} = \left(\frac{y_1}{A}\right)^{\frac{1}{t_1^{-n}}} \Rightarrow y_2 = A \left(\frac{y_1}{A}\right)^{\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{-n}},$$

expressão que corresponde à equação de Lundqvist com o parâmetro k como parâmetro livre, geralmente designada por Lundqvist-k. A família de curvas é definida, para esta equação às diferenças, pelos parâmetros A e n . Um par (t_0, y_0) , que permite calcular o parâmetro k de acordo com:

$$k = \ln \left(\frac{A}{y_0} \right)^{\frac{1}{t_0^n}}$$

é a condição inicial, a qual expressa a forma de uma função da família de curvas definida pela equação às diferenças. Do mesmo modo se podem obter, para cada função de crescimento, tantas formulações como equações às diferenças quantos os parâmetros dessa função de crescimento.

Os parâmetros k e n da função de Lundqvist estão relacionados com a velocidade de crescimento. Sendo o primeiro dado pela condição inicial (t_0, y_0) , faz todo o sentido que o parâmetro n esteja relacionado com a densidade do povoamento. Se se assumir uma relação linear entre o parâmetro n e a densidade do povoamento. Neste caso, o parâmetro k pode ser expresso do seguinte modo, respectivamente para os instantes t_1 e t_2 :

$$k_{t_1} = \ln \left(\frac{A}{y_1} \right)^{\frac{1}{t_1^{n_0+n_n \frac{N_1}{1000}}}}$$

$$k_{t_2} = \ln \left(\frac{A}{y_2} \right)^{\frac{1}{t_2^{n_0+n_n \frac{N_2}{1000}}}}$$

O modelo resultante é:

$$y_2 = A \left(\frac{y_1}{A} \right)^{\frac{t_1^{n_0+n_n \frac{N_1}{1000}}}{t_2^{n_0+n_n \frac{N_2}{1000}}}}$$

A inicialização de uma equação às diferenças para um povoamento particular corresponde à definição da respectiva condição inicial, a qual é essencial para definir a função que corresponde a esse povoamento. Se o povoamento tiver sido objecto de um inventário florestal, a condição inicial é definida com base no resultado deste inventário. Caso contrário, é necessário encontrar uma equação de predição que permita estimar o valor y_0 , em função dos valores das variáveis de controlo e da idade t_0 . Para se garantir a compatibilidade entre esta equação de predição e a equação às diferenças é necessário que a expressão matemática da equação de predição corresponda à função de crescimento que está na base da equação às diferenças. Os parâmetros comuns da equação às diferenças serão também comuns à função de inicialização, sendo o parâmetro livre desta expresso em função dos valores das variáveis de controlo.

Exemplificando com uma das componentes do modelo GLOBULUS 2.1, a área basal para os povoamentos de 1ª rotação localizados nas regiões correspondentes à variável indicatriz $reg1=1$ e todas as outras variáveis indicatriz de região iguais a zero (Norte Interior, 6NI). O modelo seleccionado para simular o crescimento em área basal foi a equação Lundqvist-k com a assíntota A expressa em função do índice de qualidade da estação e com o parâmetro de forma n expresso em função do número de árvores por ha à plantação:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g0}+n_{gn}} \frac{N_1}{1000}}{t_2^{n_{g0}+n_{gn}} \frac{N_2}{1000}}}, \text{ com}$$

$$A_g = 0.1586 \text{ lqe}^2$$

$$n_{g0} = 3.6893 - 1.0288 \text{ lqe}$$

$$n_{gn} = 0.1024$$

A função de inicialização foi então obtida por ajustamento da função de Lundqvist na sua forma integral, fixando-se A e n nas expressões acima e estimando o parâmetro k como uma função das variáveis de controlo. Obteve-se então:

$$G = A_g e^{\left(-k_g \frac{1}{t} \right)^{\frac{n_{g0}+n_{gn}}{1000} N}}, \text{ com } A_g, n_{g0} \text{ e } n_{gn} \text{ dados pelas expressões acima e}$$

$$k = -4.7561 + 177.9 \frac{1}{\text{lqe}} + 0.5409 \frac{Npl}{1000} + 16.0146 \frac{100}{\text{lqe} \sqrt{Npl}}$$

Na metodologia utilizada no ajustamento das funções de crescimento e inicialização compatíveis foi dada prioridade à função de crescimento, ou seja, as expressões obtidas para os parâmetros comuns correspondem à minimização da soma dos quadrados dos resíduos das funções de crescimento. As expressões para os parâmetros livres, presentes nas funções de inicialização, são então estimadas por minimização das respectivas somas de quadrados dos resíduos, mantendo-se as expressões previamente encontradas para os parâmetros comuns. Esta opção foi discutida com os técnicos das empresas de celulose que forneceram dados para a base de dados *sibFlor*, que a preferiram à alternativa de proceder ao ajustamento simultâneo das funções de inicialização e de projecção.

4.3 Componentes do modelo

O modelo GLOBULUS 2.1 inclui as seguintes componentes:

Módulo de inicialização:

- Curvas de classe de qualidade
- Transição entre rotações
- Inicialização da densidade do povoamento
- Inicialização da área basal
- Inicialização do volume total

Módulo de projecção:

- Curvas de classe de qualidade
- Projecção da densidade do povoamento
- Projecção da área basal
- Projecção do volume total (com e sem casca)
- Predição do volume mercantil (com e sem casca)
- Biomassa total e por componentes
- Estimativas de carbono e nutrientes acumulados na biomassa

A maior parte destas componentes já estavam disponíveis no modelo GLOBULUS 2.0. Na sequência da aplicação do modelo surgiu a necessidade de introduzir algumas melhorias em algumas das componentes, como é o caso das curvas de classe de qualidade e da projecção e inicialização da área basal. Outras componentes, como é o caso das equações relativas à inicialização e projecção do volume, foram consideradas adequadas, pelo que se mantiveram no modelo GLOBULUS 2.1. Outras ainda, como é o caso do sistema de equações para a estimação da biomassa total e por componentes, foram desenvolvidas pela primeira vez neste modelo.

4.4 Metodologia utilizada na avaliação das novas componentes do modelo GLOBULUS

2.1

4.4.1 Seleccção de modelos candidatos

Em relação às componentes que já estavam presentes no modelo GLOBULUS 2.0 seleccionaram-se como modelos candidatos, para além daquele que já havia sido utilizado no modelo GLOBULUS 2.0, outros modelos alternativos de modo a tentar ultrapassar os problemas detectados com os modelos prévios. Os modelos foram testados com diversas variantes com um maior ou menor número de parâmetros, de modo a incluir a influência das diversas variáveis de controlo consideradas.

O número de variáveis de controlo envolvidas é bastante grande e, se contemplarmos as respectivas interacções, podem originar-se inúmeros modelos alternativos, alguns dos quais extremamente complexos e nos quais se torna difícil analisar a lógica das estimativas encontradas para os parâmetros. Os modelos demasiado complexos e com muitas interacções entre variáveis de controlo podem ser afectados pela existência de correlações entre os parâmetros, sendo por consequência instáveis e com capacidade preditiva inferior à de outros modelos mais simples, mesmo que com um pior ajustamento aos dados. Para tentar ultrapassar este problema, por um lado, e também para reduzir o número de modelos a testar foram tomadas as seguintes decisões, já utilizadas no modelo GLOBULUS 2.0:

1. A interacção do efeito da rotação com a região só foi analisado em relação à variável indicatriz de nível 1, reg1.

Esta decisão teve de ser tomada em virtude da fraca representatividade dos dados de povoamentos em talhadia na maior parte das regiões

2. O efeito da região só foi testado após encontrar o melhor modelo, incluindo outras variáveis de controlo

3. As variáveis indicatrizes da região não foram incluídas nas assíptotas.

Esta decisão teve de ser tomada em consequência da fraca representatividade de povoamentos de idades superiores a 10 em muitas das regiões, o que levaria forçosamente a estimativas de assíptota mais baixas nessas regiões

Este conjunto de regras permitiu a redução do conjunto possível de modelos a um subconjunto de modelos, os quais foram de seguida avaliados de acordo com a metodologia que a seguir se descreve.

4.4.2 Crítérios para a selecção de modelos

Para avaliar ou comparar os diversos modelos testados, os quais foram ajustados com todo o conjunto de dados, avaliaram-se diferentes aspectos que se descrevem a seguir.

1. Capacidade de ajustamento aos dados

Avaliada com base na soma de quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação (R^2)

$$SQR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \quad \text{soma de quadrados dos resíduos}$$

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{coeficiente de determinação}$$

2. Capacidade preditiva global

Avaliada com recurso a estatísticas indicadoras do enviesamento e precisão do modelo, baseadas nos resíduos PRESS. Um resíduo PRESS para a observação i é a diferença entre o valor observado e o respectivo valor estimado com um modelo ajustado sem a observação i :

$$r_p = y - \hat{y}_{i,-i}$$

Os resíduos PRESS r_p foram analisados através de estatísticas e gráficos que permitem avaliar a sua eficiência assim como o enviesamento e precisão dos modelos:

1. Eficiência de modelação ou proporção da variação explicada pelos modelos

$$ef.mod. = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n r_p^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}$$

onde n é o número total de resíduos de predição.

A eficiência de modelação deve ser próxima de 1.

2. Média dos resíduos de predição, a qual avalia o enviesamento dos modelos

$$\overline{r_p} = \frac{\sum_{i=1}^n r_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})}{n}$$

A média dos resíduos de predição deve ser próxima de zero.

3. Média do valor absoluto dos resíduos de predição, a qual avalia a precisão dos modelos

$$\overline{|r_p|} = \frac{\sum_{i=1}^n |r_p|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_{i,-i}|}{n}$$

A média do valor absoluto dos resíduos de predição deve ser pequena.

3. Comportamento biológico

1. Verosimilhança dos valores da assíptota
2. Correção dos sinais dos parâmetros relativos à interacção com variáveis de estado e/ou de controlo
3. Localização dos pontos de inflexão, ocorrendo mais cedo para as melhores estações
4. Forma dos feixes de curvas

Uma segunda selecção foi baseada na análise da forma dos feixes de curvas correspondentes aos modelos com melhores capacidades de ajustamento e preditiva. Com base nesta análise eliminaram-se alguns modelos com boa prestação mas comportamento biologicamente pouco adequado.

A selecção do modelo final baseou-se na ponderação dos diversos critérios considerados.

4.4.3 Análise das propriedades estatísticas do modelo seleccionado

Nesta fase foram analisadas as propriedades estatísticas do modelo seleccionado, nomeadamente:

1. Normalidade dos resíduos, avaliada com base no gráfico dos resíduos *studentizados* em papel de probabilidade normal (Normal QQ plot), complementado com a informação proveniente de diversos testes de normalidade fornecidos pelo SASINSIGHT do SAS (SAS/STAT, 1989): Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling.
2. Homogeneidade da variância dos erros do modelo (heterocedasticidade), avaliada com base na análise visual do gráfico dos resíduos studentizados em função dos valores preditos.

Dum modo geral detectou-se, em todas as componentes do modelo e independentemente do modelo utilizado, uma falta de normalidade, na maior parte dos casos consequência de valores extremos fora do normal (distribuição com “pontas pesadas”). As estimativas finais dos parâmetros para o modelo final foram então obtidas com recurso ao método dos mínimos quadrados iterativamente ponderados ou método do estimador M de Huber (Myers, 1986).

Nos casos em que se verificou a não homogeneidade da variância, optou-se por recorrer ao reajustamento do modelo final com regressão ponderada a qual, na maior parte dos casos, foi capaz de resolver a questão.

4.4.4 Caracterização do erro do modelo final

Para uma melhor caracterização do erro do modelo final seleccionado foram ainda elaborados os histogramas de resíduos PRESS assim como os gráficos de extremos e quartis (*box-plot*) para os resíduos PRESS em função das variáveis de estado e/ou de controlo consideradas importantes (região, classes de idade, classes de qualidade e classe de densidade).

Nestes gráficos representa-se, para cada classe, o valor médio dos resíduos PRESS assim como os correspondentes quartis, valores extremos correspondentes a uma distância da média superior a 1.5 da distância interquartil e os pontos com um resíduo PRESS superior aos valores extremos.

Com a análise destes gráficos é possível detectar enviesamentos com alguma(s) destas variáveis, caso em que se deve aprofundar a pesquisa de modelos com melhores características.

4.5 Avaliação global do modelo

A avaliação global do modelo baseou-se na comparação dos valores simulados das diversas variáveis de estado mais importantes para um conjunto de parcelas permanentes localizadas em 4 regiões (1NL, 2NC, 3CL e 5VT, as únicas onde se dispunha de séries de crescimento longas) e representando diferentes produtividades combinadas com diferentes densidades de plantação. Chama-se a atenção para o facto dos dados destas parcelas terem sido incluídos no conjunto de dados que serviu de base ao ajustamento do modelo.

5 Ajustamento e validação das diversas componentes do modelo

5.1 Crescimento em altura dominante e estimação da classe de qualidade

5.1.1 Justificação da necessidade de um novo modelo

No modelo GLOBULUS 2.0 a função de crescimento em altura dominante baseava-se na função Richards-m

$$hdom_2 = A_h \frac{1 - \frac{\log(1 - e^{-k_h t_2})}{\log(1 - e^{-k_h t_1})}}{\frac{\log(1 - e^{-k_h t_2})}{\log(1 - e^{-k_h t_1})}} hdom_1$$

O feixe de curvas originado pela função de Richards-m tem uma forma biologicamente pouco adequada, como se pode ver na figura 9 que ilustra o feixe obtido para a região 3CL. Testou-se então a função de Lundqvist-k, aquela que, para além da função Richards-m, tinha mostrado uma melhor prestação em aplicações anteriores.

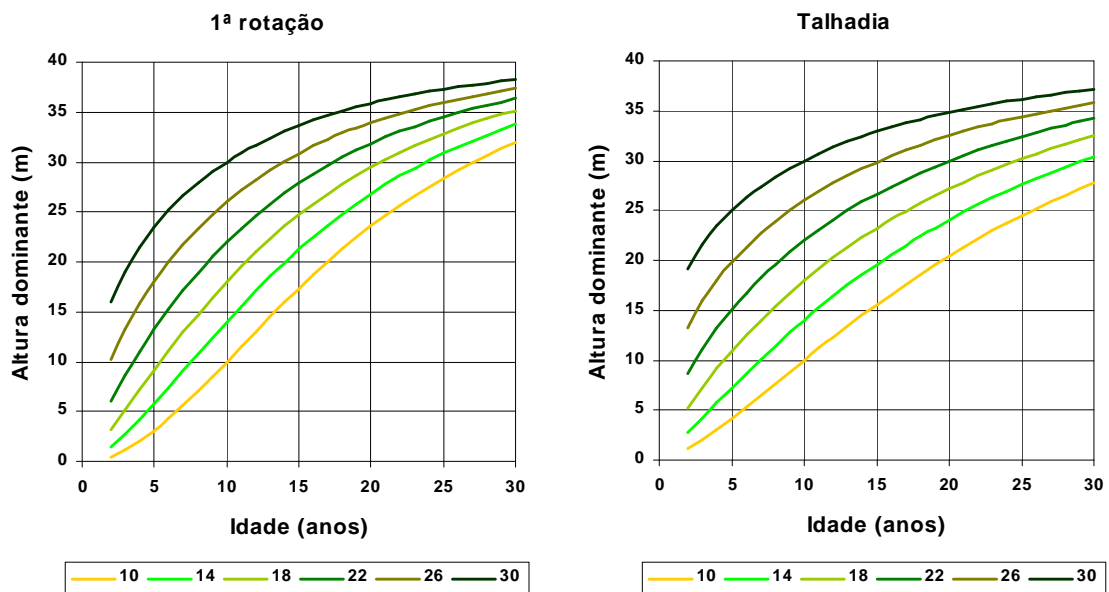


Figura 9. Feixe de curvas de classe de qualidade do modelo GLOBULUS 2.0 para a região 3CL.

5.1.2 Modelo seleccionado

Função Lundqvist-k com o parâmetro de forma n_h expresso em função da rotação e de algumas das variáveis indicatrizes que definem as 8 regiões consideradas.

$$hdom_2 = A_h \left(\frac{hdom_1}{A_h} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_h}}$$

Estimativas dos parâmetros:

$$A = 61.1372$$

$$n_h = 0.3955 - 0.1581 \text{ rot} + (0.0850 + 0.0740 \text{ rot}) \text{ reg1} + 0.0420 \text{ reg3} + 0.0825 \text{ reg6} + 0.0452 \text{ reg7}$$

Este modelo origina as seguintes estimativas dos parâmetros A_h e n_h para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – altura dominante

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_h	1ª rot.	61.1372							
	talhada								
n_h	1ª rot.	0.5225	0.4805	0.4407	0.4780	0.4805	0.3955		
	talhada	0.4384	0.3964	0.2826	0.3199	0.3964	0.2374		

As estatísticas de validação para este modelo apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erro do modelo da altura dominante	0.0857	0.8366	1.9596	-1.5573	0.9489

No ANEXO 2 encontram-se alguns detalhes sobre o ajustamento do modelo seleccionado, nomeadamente a caracterização do erro deste modelo (enviesamento e predição) em função da região, da densidade à plantação, da classe de qualidade e da idade para povoamentos em regime de exploração em alto-fuste ou talhada. Como se pode concluir a capacidade preditiva é bastante boa, não sendo nítidos quaisquer enviesamentos com alguma das variáveis consideradas na análise.

A figura 10 ilustra o feixe de curvas de classe de qualidade para a região 3CL obtido com a equação seleccionada para o modelo GLOBULUS 2.1.

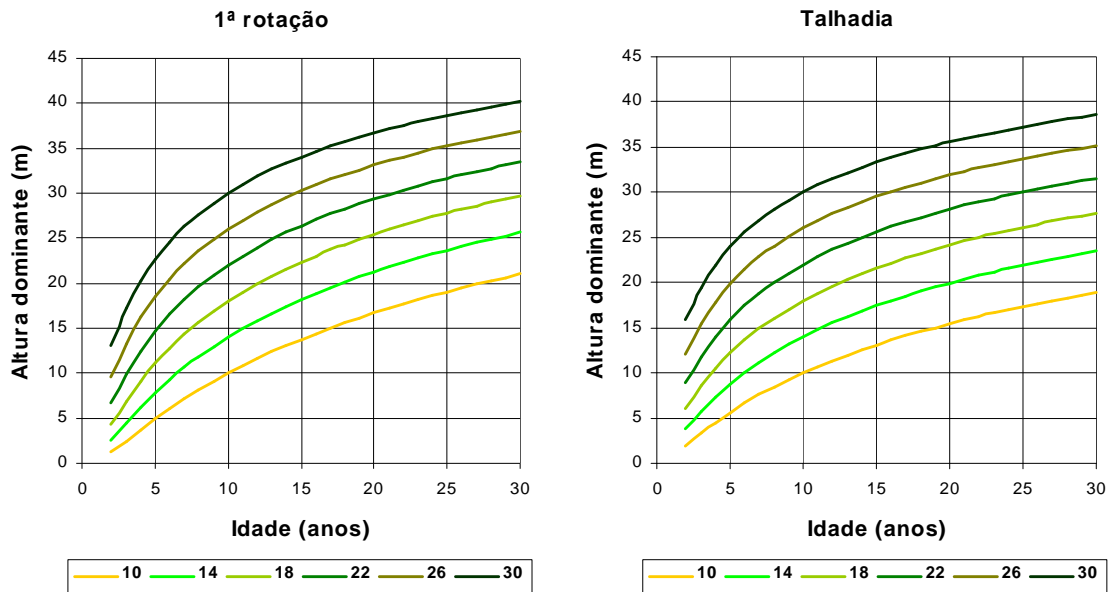


Figura 10. Feixe de curvas de classe de qualidade do modelo GLOBULUS 2.1 para a região 3CL.

5.2 Inicialização e crescimento em área basal

5.2.1 Justificação da necessidade de um novo modelo e selecção de modelos candidatos

O modelo seleccionado para a projecção em área basal no modelo GLOBULUS 2.0 foi a função Lundqvist-k

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_g}},$$

com os parâmetros iguais a

$$A_g = 8.363265 + 1.459301 \cdot Iqe$$

$$n_g = 0.725418 + 0.088971 \frac{N_{pl}}{1000} - 0.070988 \frac{N_{pl}}{1000} \cdot rot + 0.067610 \frac{N_{pl}}{1000} \cdot reg1$$

Foram detectados dois problemas neste modelo:

- O valor da assíptota, mesmo considerando um valor de $lqe=28$, é bastante mais baixo do que os valores de área basal observados em algumas das parcelas permanentes localizadas em locais de muito boa classe de qualidade
- O parâmetro n_g , ao ser expresso em função da densidade de plantação, não permite “corrigir” o efeito de uma elevada mortalidade na taxa de crescimento em área basal

Para a projecção em área basal no modelo GLOBULUS 2.1 utilizou-se, mais uma vez, a função Lundqvist-k, tendo-se testado diversas variantes da seguinte forma geral:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}},$$

com os parâmetros expressos do seguinte modo:

$$A_g = f(lqe)$$

$$n_{gi} = f(lqe, N_i)$$

Para tentar corrigir o valor demasiado baixo das estimativas da assíptota e, ao mesmo tempo, melhorar o gráfico dos resíduos *studentizados* em função do valor estimado (o qual indicava uma menor variância para valores crescentes da área basal) testaram-se várias ponderações a utilizar no ajustamento, de forma geral:

$$w = f(G)$$

As estimativas finais dos parâmetros para todos os modelos foram obtidas com recurso ao método dos mínimos quadrados iterativamente ponderados ou método do estimador M de Huber (Myers, 1986).

5.2.2 Modelos seleccionados

Projecção:

Seleccionou-se a função Lundqvist-k com o parâmetro de forma n_g expresso em função da rotação, da densidade e das variáveis indicatrizes que definem as 8 regiões consideradas.

A equação às diferenças a utilizar na simulação do crescimento em área basal é:

$$G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}} \Leftrightarrow G_2 = (A_{gQ} lqe^2) \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N1}{1000}}}{t_2^{n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N2}{1000}}}}$$

Estimativas dos parâmetros:

$$A_{gQ} = 0.1586$$

$$n_{g0} = 3.4571 + 0.2322 \text{ reg1} - 0.0539 \text{ reg2} + 0.0996 \text{ reg3} + 0.1105 \text{ reg5} + 0.1520 \text{ reg7} + (-0.9101 + 0.0389 \text{ reg1}) \text{ rot}$$

$$n_{gQ} = -1.0288 + 0.2972 \text{ rot}$$

$$n_{gn} = 0.1024 - 0.8008 \text{ rot}$$

As estimativas dos parâmetros A_g , n_{g0} , n_{gQ} e n_{gn} para as diferentes rotações e regiões são:

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção em área basal

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_g	1ª rot.	0.1586							
	talhadia								
n_{g0}	1ª rot.	3.7350	3.6354	3.6091	3.5676	3.6893	3.4571	3.5676	
	talhadia	2.8638	2.7642	2.6990	2.6575	2.8181	2.5470		
n_{gQ}	1ª rot.	-1.0288							
	talhadia	-0.7316							
n_{gn}	1ª rot.	0.1024							
	talhadia	0.0216							

Como se pode ver o modelo apresenta uma assíntota em função do índice de qualidade da estação, variando entre valores de 23 e 124 m² ha⁻¹, respectivamente para estações pouco e muito produtivas (Iqe igual a 12 e 28, respectivamente). O modelo incluído no GLOBULUS 2.0 originava estimativas da assíntota entre 26 e 49 m² ha⁻¹, parecendo-nos o presente modelo mais realista, face aos dados disponíveis.

No que respeita ao parâmetro de forma n , este apresenta uma interacção nítida com a densidade de plantação, originando valores superiores (indicativos de crescimento mais rápido) para valores crescentes de densidade. Esta interacção é mais nítida nas regiões a Norte do país e nos povoamentos de 1ª rotação, o que parece lógico.

As estatísticas de validação para este modelo apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para a área basal (projecção)	0.0833	0.6904	1.6722	-1.3076	0.9786

No ANEXO 3 encontram-se os detalhes sobre o ajustamento do modelo, em particular a caracterização do erro deste modelo (enviesamento e predição) em função da região, da densidade à plantação, da classe de qualidade e da idade para povoamentos em regime de exploração em alto-fuste e em talhadia. Como se pode ver, o modelo apresenta, no geral, uma boa capacidade preditiva, com baixo enviesamento e alta precisão. Em relação ao modelo utilizado no GLOBULUS 2.0, pode notar-se a correcção do enviesamento com a idade que o anterior modelo apresentava.

Inicialização:

A função de Lundqvist na sua forma integral com os parâmetros A_g e n_{gi} iguais aos da respectiva função de crescimento e com o parâmetro k_g expresso em função de um conjunto razoável de variáveis de controlo e suas interacções.

Tal como já acontecia no GLOBULUS 2.0, o modelo seleccionado é razoavelmente complexo uma vez que, no processo de ajustamento, a soma dos quadrados dos resíduos ia sendo sucessivamente reduzida à medida que se acrescentavam ao parâmetro k os efeitos do índice de qualidade da estação (lqe), do factor de espaçamento (Fe), da densidade à plantação (N_{pl}), da rotação (rot) e das interacções desta com as outras variáveis de controlo. O factor de espaçamento é definido, à semelhança do factor de Wilson, mas utilizando o índice de qualidade da estação e a densidade à plantação:

$$Fe = \frac{100}{lqe \sqrt{N_{pl}}}$$

O modelo seleccionado foi:

$$G = A_g e^{-k_g \left(\frac{1}{t}\right)^{n_g}}$$

com os parâmetros A_g e n_g iguais ao da correspondente função de crescimento e o parâmetro k_g expresso em função das diversas variáveis de controlo e respectivas interacções:

$$k_g = k_{g0} + k_{gQ} \frac{1}{l_{qe}} + k_{gnp} \frac{N_{pl}}{1000} + k_{gf} Fe$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros k_{g0} , k_{gQ} , k_{gnp} e k_{gf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização da área basal

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{g0}	1ª rot.	-4.4820		-5.5311	-6.1201	-6.2433	-4.7560	-7.7941	-6.9326
	talhadia	0.7582		-0.2903	-0.8793	-1.0025	0.4848	-2.5533	-1.6918
k_{gQ}	1ª rot.	177.9							
	talhadia	72.3							
k_{gnp}	1ª rot.	0.5408							
	talhadia	0.0134							
k_{gf}	1ª rot.	16.015							
	talhadia	14.1898							

As estatísticas de validação deste modelo foram as seguintes:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para a área basal (inicialização)	0.0139	1.5387	3.5427	-3.1878	0.8714

A análise dos resíduos de predição deste modelo encontra-se no ANEXO 3. Como se pode ver, a capacidade preditiva do modelo é bastante boa, tendo em atenção que foi ajustado com dois parâmetros fixos (iguais aos das correspondentes funções de crescimento). Tal como no modelo GLOBULUS 2.0 verifica-se também algum enviesamento com as idades superiores a 15 anos, embora se note uma nítida melhoria em relação ao comportamento evidenciado pelo modelo GLOBULUS 2.0. A baixa representatividade de dados nestas classes de idade pode justificar a ocorrência deste enviesamento, devendo o modelo ser utilizado com cautela para idades desta ordem de grandeza.

As figuras 11 e 12 mostram os feixes de curvas originados pelo modelo seleccionado para algumas combinações de índice de qualidade da estação, densidade de plantação e

rotação. Como se pode ver, os feixes de curvas são biologicamente consistentes, o que nem sempre se verificou em vários dos modelos testados.

5.3 Inicialização e crescimento em volume

O sistema de equações para a estimação de volumes totais e mercantis com e sem casca não foi objecto de qualquer melhoria em relação ao modelo GLOBULUS 2.0.

Na selecção do modelo do volume foi dada prioridade, além das características já mencionadas para os outros modelos, ao facto do modelo mostrar boas capacidades de ajustamento e predição para os volumes com e sem casca. De facto, e para garantir a compatibilidade entre as estimativas de volume com e sem casca, foi seleccionado o mesmo modelo para ambas as variáveis, apenas reparametrizado com os dados correspondentes.

No que diz respeito às regiões, e tendo em atenção a fraca representatividade de dados de volume em algumas das regiões (note-se que, como se disse atrás, não dispúnhamos de informação ao nível da árvore para a Soporcel), optou-se por utilizar apenas a variável indicatriz de nível 1 (reg1).

5.3.1 Modelos seleccionados

Projeção:

Função de Shiver e Brister (1992), a qual corresponde, na sua forma integral, a um modelo alométrico semelhante ao utilizado nos modelos GLOBUS e EUSOP (também com efeito da idade), com os parâmetros independentes de qualquer variável de controlo:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{a_v} \left(\frac{hdom_2}{hdom_1} \right)^{b_v} \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{c_v}$$

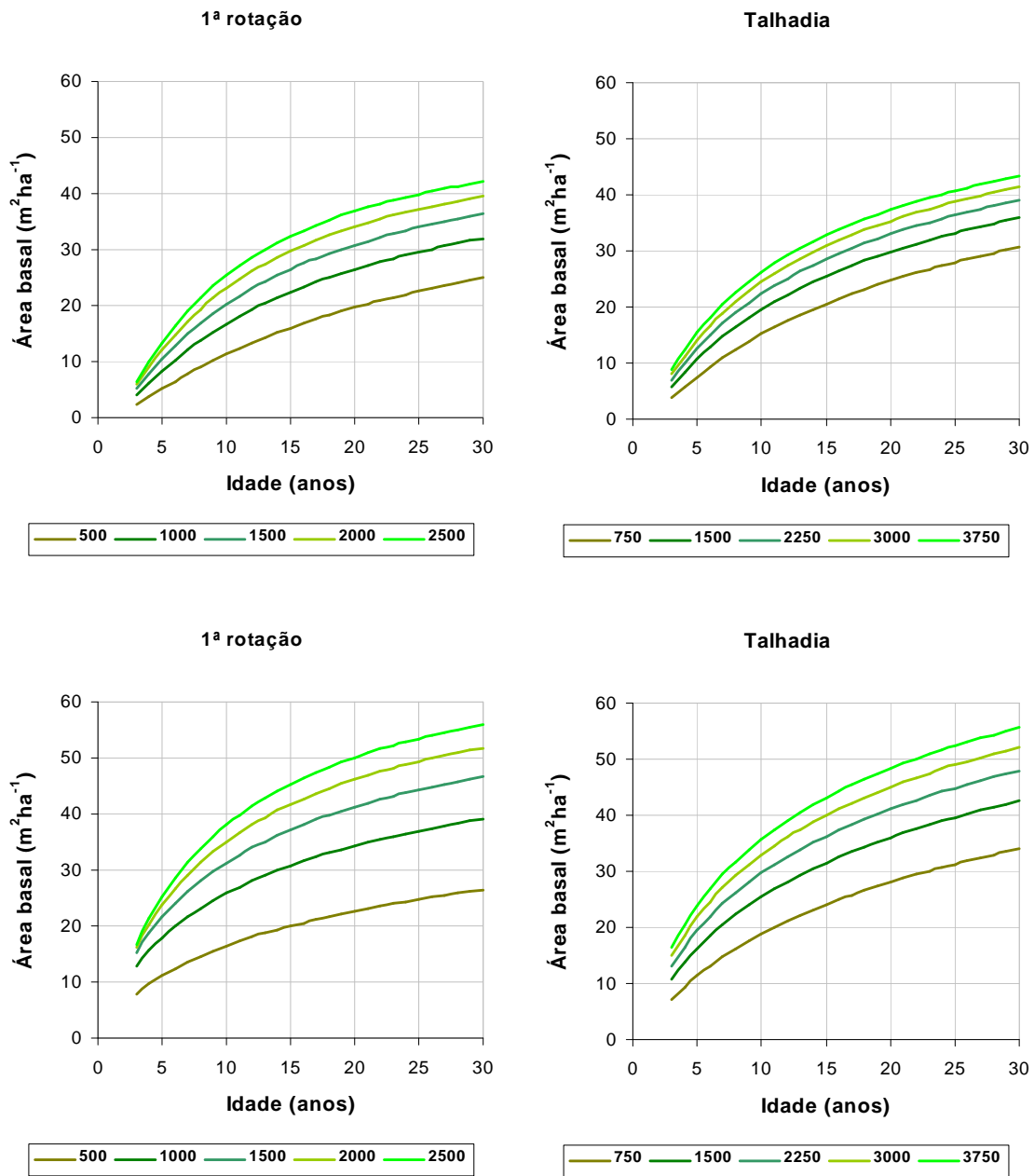


Figura 11.: Feixe de curvas de crescimento em área basal para os índices de qualidade da estação de 22 e 28 (diferentes densidades de plantação) obtidas com o modelo GLOBULUS 2.1.

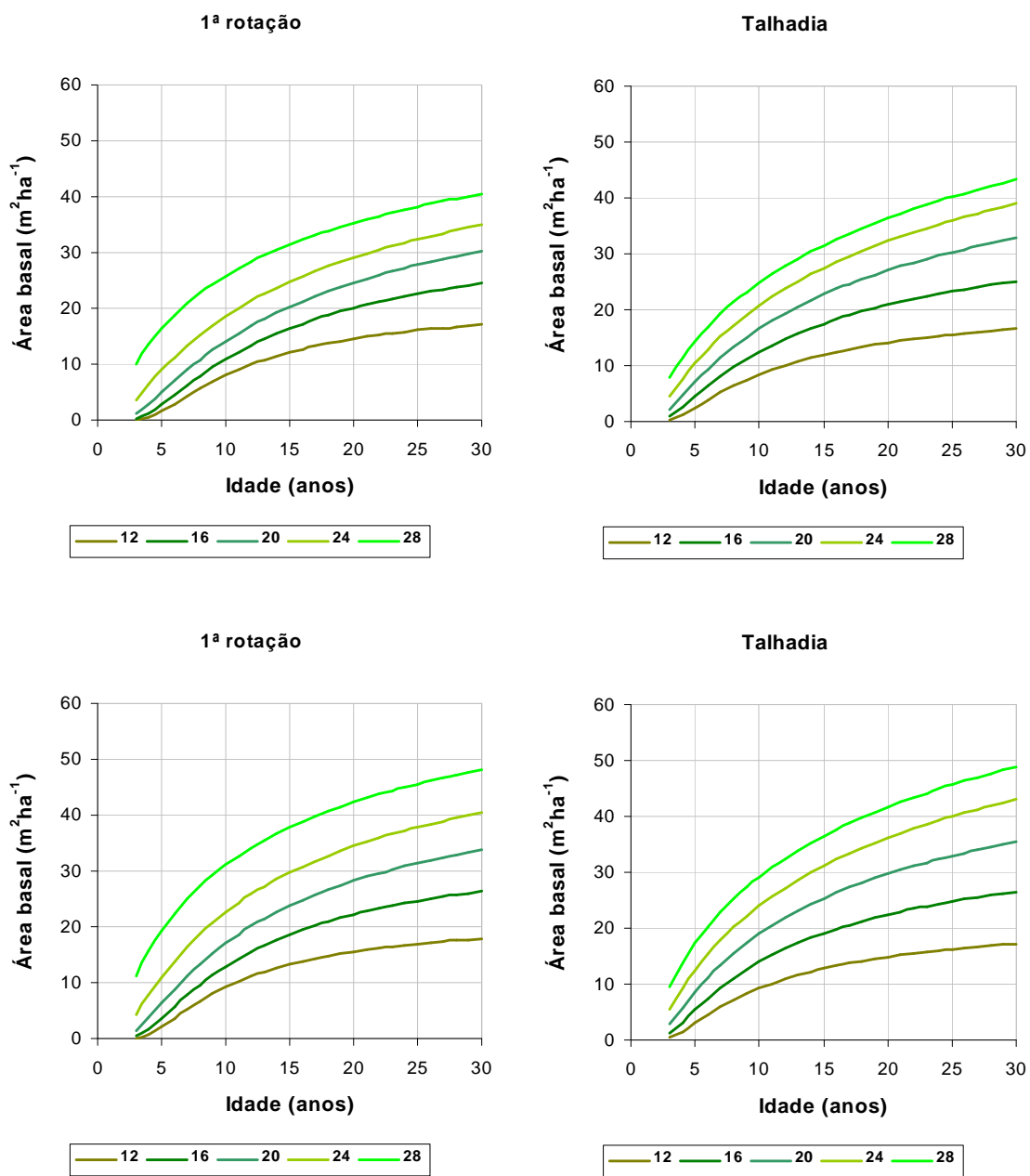


Figura 12.: Feixe de curvas de crescimento em área basal para a densidade de plantação de 1667 árvores por ha (diferentes índices de qualidade da estação) obtidas com o modelo GLOBULUS 2.1.

As estimativas dos três parâmetros para os volumes com e sem casca foram:

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção do volume com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vc}	1ª rot.	0.0655							
	talhadia								
b_{vc}	1ª rot.	0.8830							
	talhadia								
c_{vc}	1ª rot.	1.0263							
	talhadia								

Modelo GLOBULUS 2.1 – projecção do volume sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vs}	1ª rot.	0.0592							
	talhadia								
b_{vs}	1ª rot.	0.9349							
	talhadia								
c_{vs}	1ª rot.	1.0077							
	talhadia								

As estatísticas de validação para estes modelos apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o volume c/ casca	0.189	2.245	5.710	4.421	0.998
Erros do modelo para o volume s/ casca (projecção)	0.163	1.981	5.022	-3.83	0.997

A análise detalhada deste modelo pode ver-se na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). Os modelos são bastante precisos e não apresentam enviesamento com nenhuma variável.

Inicialização do volume:

A função alométrica do volume em função da idade, da altura dominante e da área basal é a forma integral do modelo Shiver-Brister seleccionado para a modelação do crescimento em volume:

$$V = k_v t^{a_v} hdom^{b_v} G^{c_v}$$

Para garantir a compatibilidade entre esta forma integral e a função de crescimento tomaram-se os parâmetros a_v , b_v e c_v iguais às estimativas nesta obtidas e ajustou-se a função com o parâmetro k_v expresso em função de um conjunto razoável de variáveis de controlo e suas interacções.

No modelo seleccionado para a inicialização do volume total com casca, o parâmetro k_{vc} apresenta a seguinte expressão:

$$k_{vc} = 0.4886 + 0.0387 \text{ rot} + 0.0122 \text{ reg1} - 0.2480 \text{ Fe rot} - 0.1348 \text{ Fe reg1} - 0.0039 \text{ rot reg1}$$

No caso da inicialização do volume sem casca a expressão a utilizar para a estimação do parâmetro k_{vs} é:

$$k_{vs} = 0.3724 + 0.0384 \text{ rot} + 0.0162 \text{ reg1} - 0.2119 \text{ Fe rot} - 0.1497 \text{ Fe reg1} - 0.0052 \text{ rot reg1}$$

Este modelos correspondem à seguinte expressão do parâmetro k_v para um povoamento particular:

$$k_v = k_{v0} + k_{vf} \text{ Fe}$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros k_{v0} , e k_{vf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização do volume com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{v0c}	1ª rot.	0.5007			0.4886		0.5007	0.4886	
	talhadia	0.5355			0.5272		0.5355	0.5272	
k_{vfc}	1ª rot.	-0.1348			-		-0.1348	-	
	talhadia	-0.3828			-0.2480		-0.3828	-0.2480	

Modelo GLOBULUS 2.1 – inicialização do volume sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
k_{vos}	1ª rot.	0.3886			0.3724		0.3886	0.3724	
	talhadia	0.4218			0.4108		0.4218	0.4108	
k_{vrs}	1ª rot.	-0.1497			-		-0.1497	-	
	talhadia	-0.3616			-0.2119		-0.3616	-0.2119	

As estatísticas de validação deste modelo foram as seguintes:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o volume c/ casca	0.470	2.943	8.08	-5.942	0.996
Erros do modelo para o volume s/ casca (inicialização)	0.432	2.597	7.158	-5.210	0.995

A análise dos resíduos de predição deste modelo, assim como outras características relativas ao seu ajustamento, encontra-se na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). A capacidade preditiva do modelo é bastante boa, tendo em atenção que foi ajustado apenas com um dos parâmetros livres. Apresenta apenas um ligeiro enviesamento nas idades muito altas e nas classes de qualidade muito boas, ambas muito pouco frequentes nos dados (e também na vida real).

5.4 Predição de volumes mercantis

O único modelo testado foi o de Amateis *et al.* (1986):

$$V_d = V e^{a_{vm} \left(\frac{d_d}{d_g} \right)^{b_{vm}}}$$

O modelo seleccionado tem o parâmetro b_{vm} independente de variáveis de controlo, enquanto que o parâmetro a_{vm} toma a seguinte expressão na predição de volumes com e sem casca, respectivamente:

$$a_{vmc} = -1.090385 + 0.072908 \frac{N_{pl}}{1000} + 0.385099 Fe - 0.197698 rot + 0.652653 Fe rot + 0.019765 \frac{N_{pl}}{1000} rot reg1$$

$$a_{vms} = -1.062545 + 0.065410 \frac{N_{pl}}{1000} + 0.384076 Fe - 0.190552 rot + 0.640614 Fe rot + 0.019594 \frac{N_{pl}}{1000} rot reg1$$

As estatísticas de validação para estes modelos apresentaram os seguintes valores:

Modelo GLOBULUS 2.1	Média r_p	Média $ r_p $	Perc. 95%	Perc. 5%	Ef. mod.
Erros do modelo para o vol. merc. c/ casca	0.280	1.531	3.73	-3.49	0.999
Erros do modelo para o vol. merc. s/ casca	0.241	1.269	3.06	-2.88	0.999

Este modelos correspondem à seguinte expressão do parâmetro a_{vm} para um povoamento particular:

$$a_{vm} = a_{vm0} + a_{vmnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{vmf} Fe$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros a_{vm0} , a_{vmnp} e a_{vmf} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – predição do volume mercantil com casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0c}	1ª rot.	-1.0904							
	talhadia	-1.2881							
a_{vmnpc}	1ª rot.	0.0729							
	talhadia	0.09267		0.0729			0.09267	0.0729	
a_{vmfc}	1ª rot.	0.3851							
	talhadia	1.0378							
b_{vmfc}	1ª rot.	3.3716							
	talhadia	3.3716							

Modelo GLOBULUS 2.1 – predição do volume mercantil sem casca

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0s}	1ª rot.	-1.0625							
	talhadia	-1.2531							
a_{vmnps}	1ª rot.	0.0654							
	talhadia	0.0850			0.0654		0.0850		0.0654
a_{vmfs}	1ª rot.	0.3841							
	talhadia	1.0247							
b_{vmfs}	1ª rot.	3.3288							
	talhadia	3.3288							

A análise relativa ao ajustamento destes modelos pode, mais uma vez, ser vista na publicação relativa ao modelo GLOBULUS 2.0 (Tomé e Ribeiro, 2000). Os modelos têm uma capacidade preditiva bastante boa.

A figura 13 mostra o exemplo de um feixe de curvas obtido para a simulação do volume total com recurso às equações do modelo GLOBULUS 2.1.

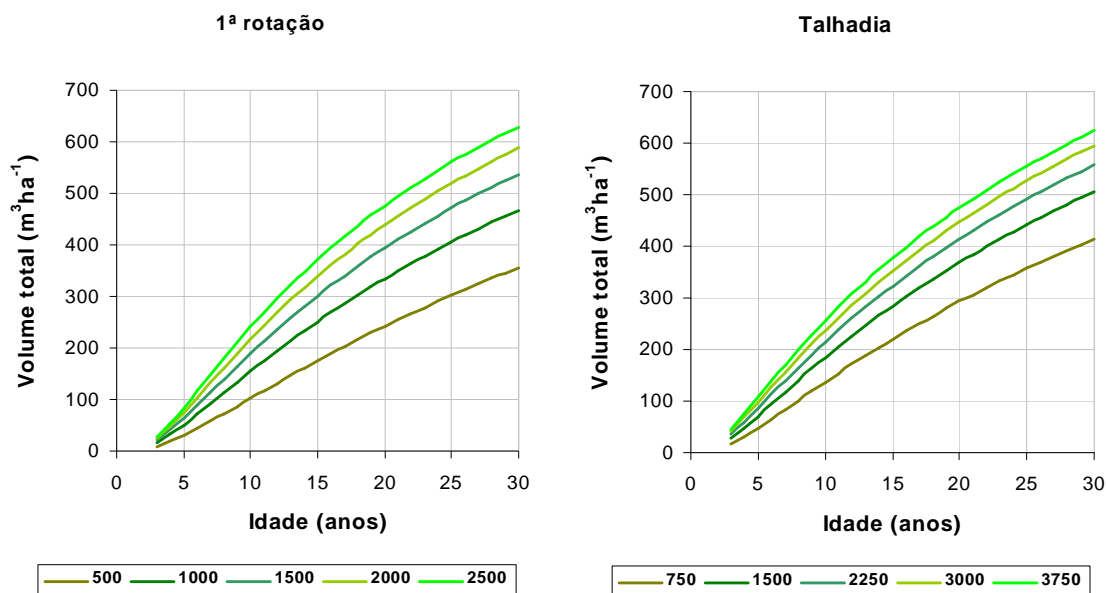


Figura 13. Curvas de crescimento em volume para o índice de qualidade da estação de 22 (diferentes densidades de plantação), obtidas com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

5.5 Mortalidade

5.5.1 Justificação da necessidade de um novo modelo

O modelo para a simulação da mortalidade do modelo GLOBULUS 2.0 é bastante simplificado, correspondendo a uma taxa de mortalidade constante, independentemente da região, qualidade da estação ou densidade do povoamento. Este modelo corresponde ao modelo seleccionado no modelo SOP (Amaro, 1997):

$$N_2 = N_1 e^{-a_m(t_2 - t_1)}$$

Este modelo pode ser utilizado para a inicialização, tomando $N_1=N_{pl}$ em $t_1=0$ (1ª rotação) ou $N_1=N_0$ em $t_1=3$ (talhadias), sendo neste caso as expressões a utilizar as seguintes:

$$N = N_{pl} e^{-a_m(t)}$$

$$N = N_0 e^{-a_m(t - 3)}$$

No modelo GLOBULUS 2.1 testaram-se diversas expressões para o parâmetro a_m , correspondendo à inclusão dos efeitos da região, qualidade da estação e/ou densidade do povoamento.

5.5.2 Modelos seleccionados

O modelo seleccionado corresponde a

$$a_m = 0.0401 + 0.0013 \frac{N_{pl}}{1000} - 0.0064 \frac{I_{qe}}{10} - 0.0190 (reg1 + reg7) - 0.0159 reg5 + \\ (-0.0311 + 0.0152 (reg1 + reg5 + reg7)) rot + \left(0.0050 \frac{I_{qe}}{10}\right) rot$$

Este modelo toma a seguinte expressão para o parâmetro a_m para um povoamento particular:

$$a_m = a_{m0} + a_{mnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{mQ} \frac{I_{qe}}{10}$$

com as seguintes estimativas dos parâmetros a_{m0} , a_{mnp} e a_{mQ} para as diferentes rotações e regiões:

Modelo GLOBULUS 2.1 – simulação da mortalidade

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{m0}	1ª rot.	0.0211				0.0242	0.0211	0.0401	0.0242
	talhadia	0.0052				0.0083	0.0052	0.0090	0.0083
a_{mp}	1ª rot.	0.0013							
	talhadia	0.0013							
a_{mQ}	1ª rot.	-0.00064							
	talhadia	-0.0014							

Os detalhes sobre o ajustamento do modelo para a simulação da mortalidade encontram-se no ANEXO 4. Como se pode ver, os resíduos têm uma distribuição que se afasta bastante da normal, consequência da existência de alguns povoamentos nos quais ocorre mortalidade superior à estimada. De facto, o modelo simula apenas a mortalidade que ocorre sob condições normais e não aquela que ocorre em consequência da ocorrência de qualquer problema, como seja ataques de pragas e doenças, tempestades, etc. O comportamento geral do modelo é, contudo, bastante aceitável, originado feixes de curvas biologicamente aceitáveis, como se ilustra na figura 14.

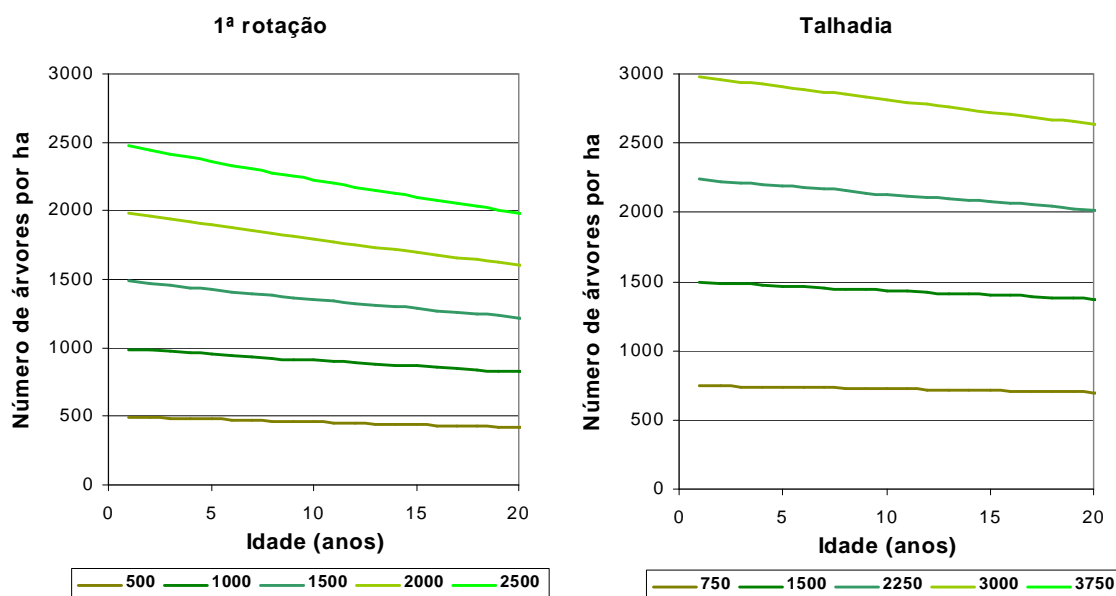


Figura 14. Simulação da mortalidade para o índice de qualidade da estação de 20 e diferentes densidades de plantação nas regiões a Norte do Tejo, com base no modelo GLOBULUS 2.1.

5.6 Equações para estimação das biomassas total e por componentes

5.6.1 Equações ao nível da árvore

Para desenvolver as equações de biomassa total e por componentes ao nível da árvore recorreu-se a dados obtidos, em 23 povoamentos, por amostragem destrutiva de 484 árvores. As equações alométricas utilizadas foram ajustadas por regressão não linear com o PROC NLIN do SAS (SAS/STAT, 1989). As equações de biomassa das componentes da árvore (madeira, casca, ramos e folhas), baseadas na hipótese da existência de relações alométricas entre a biomassa total (ou a biomassa de cada uma das componentes consideradas) e o diâmetro e altura total da árvore, foram ajustadas com base em metodologia idêntica à apresentada na figura 15 para o povoamento.

As equações seleccionadas para estimação das biomassa total e por componentes, ao nível da árvore, foram:

$$w_t = (0.0680 - 0.0018 h_{dom}) d^{2.0652 + 0.0065 t - 1.505 Fw} h^{0.0280 h_{dom} + 2.6614 Fw}$$

$$p_{tronco} = (0.3577 + 0.0130 G - 0.0877 Fw) d^{0.0862 - 0.0060 G} h^{0.1561}$$

$$p_{copa} = 1 - p_{tronco}$$

$$w_{tronco} = p_{tronco} w_t \quad w_{copa} = p_{copa} w_t$$

5.6.2 Equações ao nível do povoamento

O sistema de equações resultante foi aplicado a um conjunto de 79 parcelas permanentes da STORACELBI, obtendo-se dados de biomassa aérea total e por componentes ao nível do povoamento com os quais se desenvolveu um sistema de equações para predição das referidas biomassas. As equações alométricas utilizadas foram ajustadas por regressão não linear com o PROC NLIN do SAS (SAS/STAT, 1989), utilizando a metodologia apresentada na figura 15. Garantiu-se que a soma das biomassas da copa e do tronco iguala a biomassa total dos povoamentos (ajustamento simultâneo de equações). As equações para a

estimação das proporções de folhas e de casca foram ajustadas com base em dados apresentados em Fabião (1986).

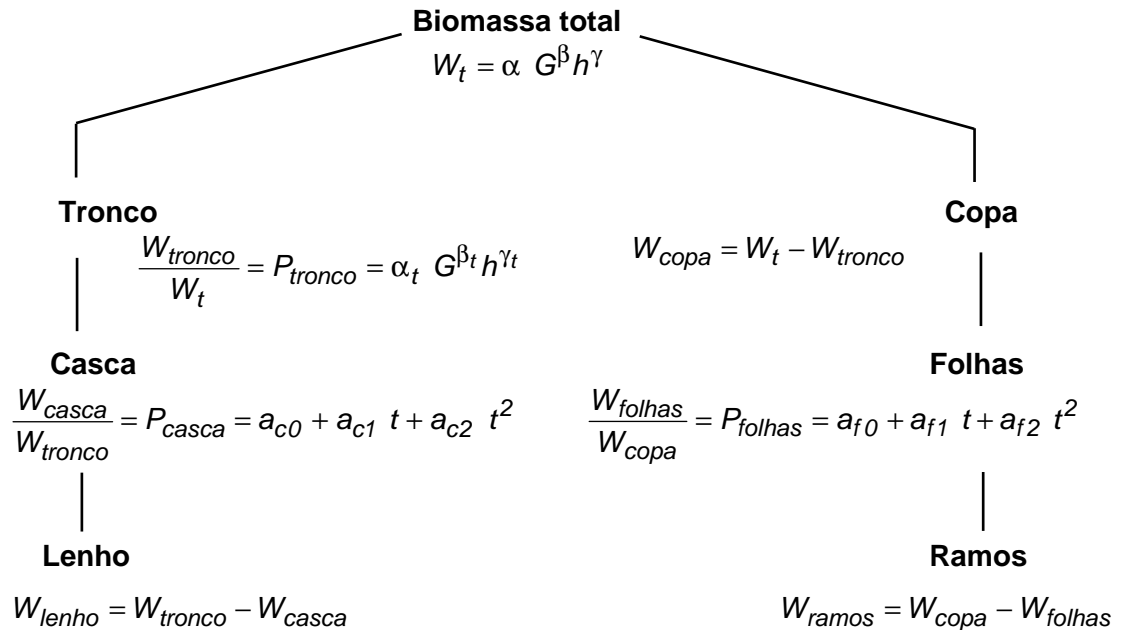


Figura 15. Metodologia utilizada no ajustamento das equações que constituem o sub-módulo de biomassa do modelo Globulus 2.1.

A equação seleccionada para estimação da biomassa total, ao nível do povoamento, foi:

$$W_t = (0.0095 - 0.0025 \frac{lqe}{10}) G^{1.1392 - 0.0424 \frac{N}{1000} - 0.0115 t} hdom^{2.4043}$$

As relações entre as variáveis e as equações para estimação das biomassas do tronco e copa, ao nível do povoamento, foram:

$$P_{tronco} = 0.2019 G^{0.1613 + 0.0046 \frac{N}{1000} - 0.0037 t - 0.0355 \frac{lqe}{10}} hdom^{0.4301}$$

$$P_{casca} = 0.1946 - 0.0094 t + 0.0026 \frac{t^2}{10} \quad P_{folhas} = 0.7304 - 0.0154 t + 0.0021 \frac{t^2}{10}$$

$$\begin{aligned}
 W_{tronco} &= P_{tronco} \times W_t & W_{lenho} &= W_{tronco} (1 - P_{casca}) \\
 W_{casca} &= P_{casca} \times W_{tronco} & W_{copa} &= W_t - W_{tronco} \\
 W_{ramos} &= W_{copa} \times (1 - P_{folhas}) & W_{folhas} &= P_{folhas} \times W_{copa}
 \end{aligned}$$

A biomassa radicular foi estimada com base no trabalho de Fabião (1986). O autor sugere o valor de 0.12 para expressar a relação entre a biomassa radicular e a biomassa da parte aérea.

A figura 16 ilustra a estimação de biomassa total e por componentes (esquerda), assim como do carbono acumulado (direita) para um povoamento em 1ª rotação localizado na região 3CL num local com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha.

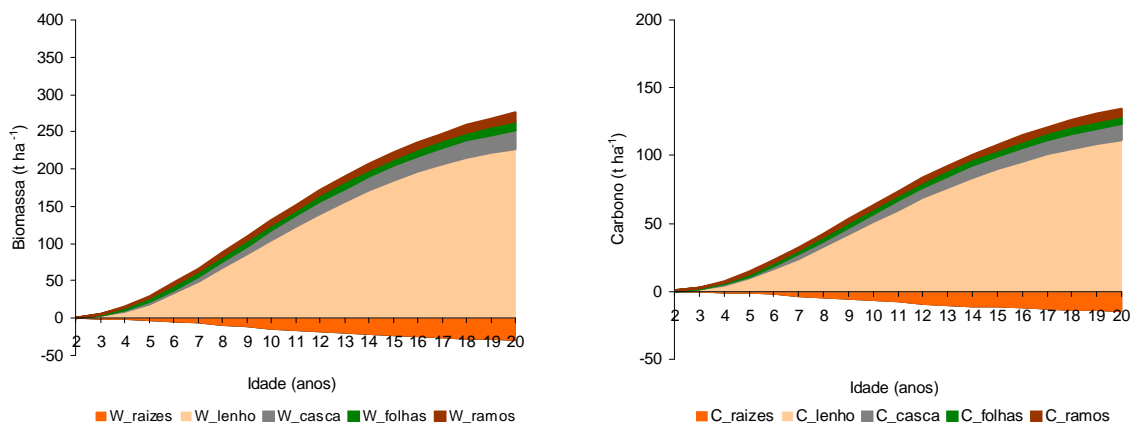


Figura 16. Estimação da biomassa total e por componentes, assim como do carbono acumulado, ao longo da 1ª rotação de um povoamento da região 3CL com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha, com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

Alguns detalhes sobre o ajustamento da equação para a predição da biomassa total, assim como do sistema para estimar as biomassas de tronco (casca + lenho) e de copa (folhas + ramos) podem ser consultados no ANEXO 5.

O módulo para a estimação de biomassas está ainda um pouco incipiente, estando em curso a recolha de um maior número de dados (novos ou já disponíveis), esperando-se obter uma versão melhorada deste módulo num futuro próximo.

5.7 Carbono e nutrientes acumulados na biomassa

A estimação dos conteúdos de carbono e nutrientes baseia-se nas estimativas da distribuição da biomassa aérea por componentes: lenho, casca, ramos e folhas (figura 17).

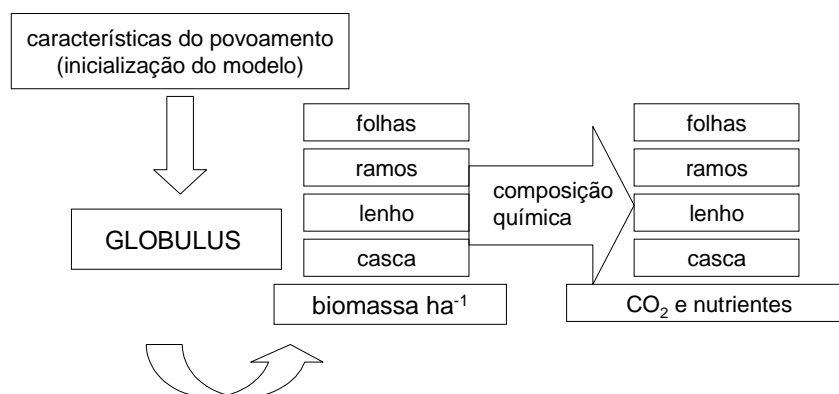


Figura 17. Estimação do conteúdo em carbono e nutrientes a partir do sub-módulo de biomassa do modelo Globulus 2.1.

A quantificação do carbono e dos nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados nas diferentes componentes de biomassa consideradas no modelo GLOBULUS 2.1 - lenho, casca, ramos e folhas - baseou-se no cálculo, para cada uma destas componentes, de coeficientes de conversão de biomassa em carbono e nutrientes, deduzidos com base na respectiva composição química.

A composição química das diferentes componentes da biomassa aérea da *E. globulus* foi estudada por Pereira (1988), numa amostragem realizada em 4 povoamentos com idade próxima do corte, localizados em diferentes regiões: Águeda, Niza, Odemira e Cadaval. Em cada um destes locais foram seleccionadas duas parcelas, cada uma com 100 árvores. Entre as 100 árvores foram escolhidas 5 árvores, de forma aleatória, o que correspondeu a um total de 10 árvores por local, em que foram efectuadas análises químicas.

As componentes de biomassa aérea: lenho, casca, bicada e ramos (com diâmetro inferior a 1 cm), foram separadas e analisadas. Deste modo, para cada árvore foi efectuada a análise química das componentes de biomassa, tendo sido recolhida uma amostra ponderada de material a várias alturas de cada componente.

Na tabela 6 são apresentados os factores de conversão utilizados no modelo GLOBULUS 2.1. A metodologia utilizada para calcular os coeficientes de conversão da biomassa das

diferentes componentes em carbono encontra-se em Soares *et al.* (2000). Os factores de conversão de biomassa em nutrientes foram obtidos por média dos valores apresentados em Pereira (1988) para os diversos locais. Para a componente raízes utilizaram-se factores de conversão iguais aos da componente tronco.

Tabela 6. Factores de conversão utilizados no modelo GLOBULUS 2.1 para a conversão da biomassa das diversas componentes da planta em carbono e nutrientes.

Componentes	Carbono %	Nutrientes (% kg/kg)			
		N	P	K	Ca
Lenho	49.0	0.0753	0.0221	0.0682	0.1086
Casca	46.8	0.1862	0.0137	0.1271	0.6651
Folhas	49.2	1.1363	0.0548	0.5285	0.5280
Ramos	47.4	0.2763	0.0117	0.3593	0.6896
Raízes	49.0	0.0753	0.0221	0.0683	0.1086

Tal como o módulo para a estimação de biomassas, a estimação do carbono e nutrientes acumulados na biomassa é ainda bastante incipiente, estando em curso trabalho para melhorar os coeficientes de conversão, em particular para tentar encontrar relações entre estes factores e a estação, a idade, técnicas culturais ou qualquer outra variável de controlo de interesse.

Na figura 16 pode ver-se um exemplo da estimativa da acumulação de carbono ao longo da 1ª rotação de um povoamento localizado na região 3CL, enquanto que a figura 18 ilustra as correspondentes estimativas para os nutrientes acumulados.

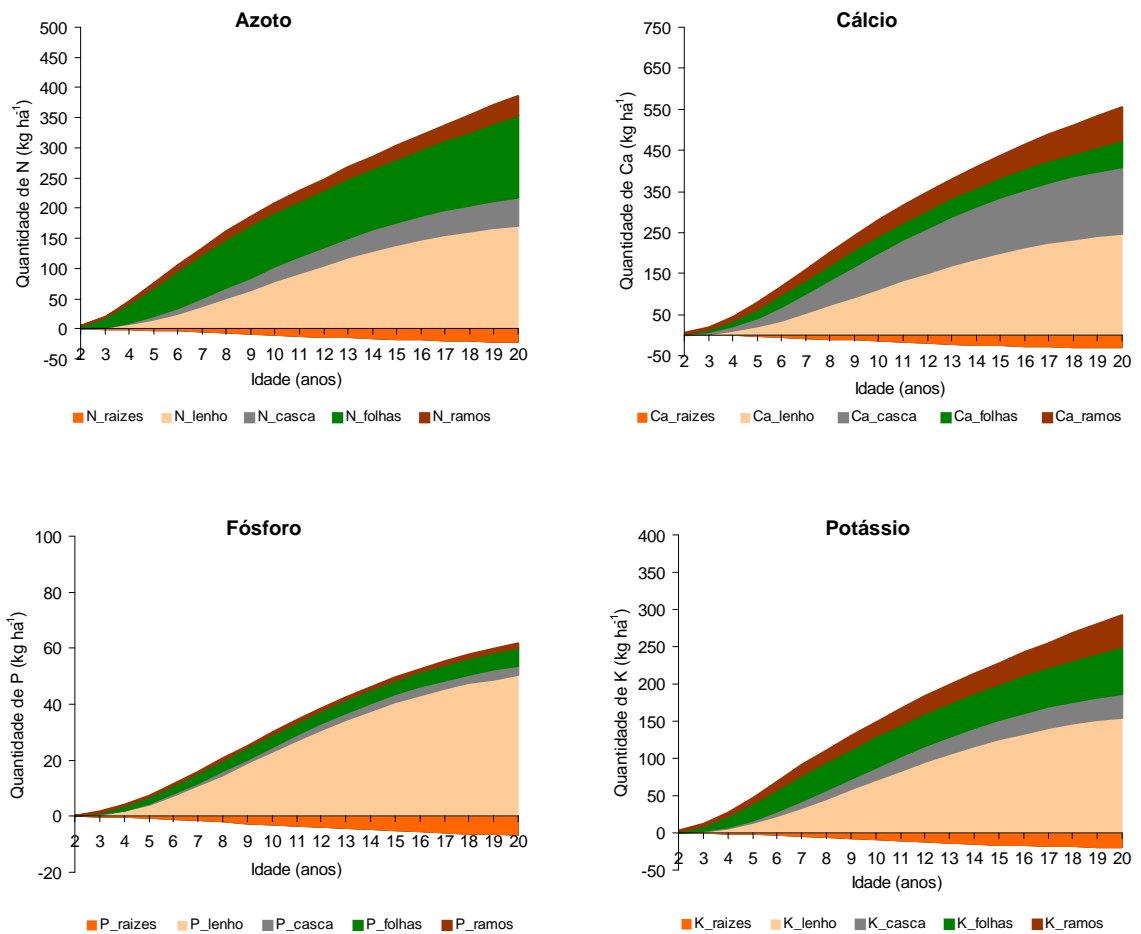


Figura 18. Estimação dos nutrientes (N, P, K e Ca) acumulados, por componentes, ao longo da 1ª rotação de um povoamento da região 3CL com índice de qualidade da estação de 22 e densidade de plantação de 1250 árvores por ha, com recurso ao modelo GLOBULUS 2.1.

5.8 Transição entre rotações

O problema que se põe ao simular a transição entre rotações é o de saber se o índice de qualidade da estação – altura dominante aos 10 anos – se mantém em rotações sucessivas. Os dados disponíveis para avaliar esta hipótese resumem-se a um conjunto de 24 parcelas permanentes, localizadas na região Centro Litoral (3CL) ou na região do Vale do Tejo (5VT). A relação entre o índice de qualidade da estação nas duas primeiras rotações pode ver-se na figura 19. Como se pode ver nesta figura existe uma correlação razoável entre os índices de qualidade da estação nas duas rotações, embora o gráfico sugira que se verifica um ligeiro decréscimo de rotação nas regiões mais desfavoráveis, representadas pela região 5VT, e um ligeiro acréscimo nas regiões mais favoráveis, representadas pela região 3CL.

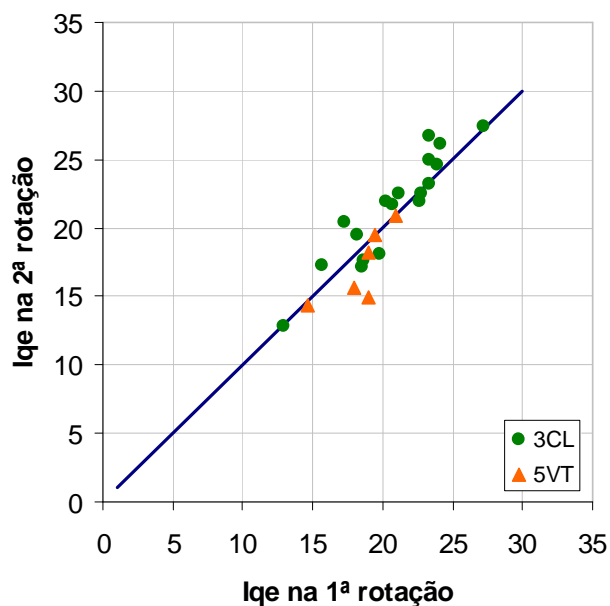


Figura 19. Relação entre o índice de qualidade da estação nas duas primeiras rotações de um conjunto de 24 parcelas permanentes.

Os dados representados na figura 19 foram utilizados para verificar se se deveria assumir a hipótese de que o índice de qualidade da estação se mantém ao longo de sucessivas rotações ou se, pelo contrário, se devem assumir alterações no sentido das descritas acima. Optou-se pelo seguinte modelo:

$$Iqe_{2^{a}rot} = 1.0335 Iqe_{1^{a}rot} - 1.8703 I_{reg\ desf} ,$$

onde $I_{reg\ desf}$ é uma variável indicatriz para as regiões desfavoráveis, tendo sido consideradas como tal as regiões que correspondem a $reg1 = 0$.

6 O modelo GLOBULUS 2.1

6.1 As componentes do modelo

A tabela 7 resume as equações correspondentes às diversas componentes do modelo GLOBULUS 2.1.

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Altura dominante									
$hdom_2 = A_h \left(\frac{hdom_1}{A_h} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{n_h}}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_h	1ª rot.	61.1372							
	talhadia								
n_h	1ª rot.	0.5225		0.4805	0.4407	0.4780	0.4805		0.3955
	talhadia	0.4384		0.3964	0.2826	0.3199	0.3964		0.2374
Mortalidade									
Projecção: $N_2 = N_1 e^{-a_m(t_2 - t_1)}$									
Inicialização: $N = N_{pl} e^{-a_m(t)}$ (alto fuste) $N = N_0 e^{-a_m(t-3)}$ (talhadia)									
$a_m = a_{m0} + a_{mnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{mQ} \frac{lqe}{10}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{m0}	1ª rot.	0.0211				0.0242	0.0211	0.0401	0.0242
	talhadia	0.0052				0.0083	0.0052	0.0090	0.0083
a_{mnp}	1ª rot.	0.0013							
	talhadia								
a_{mQ}	1ª rot.	-0.00064							
	talhadia	-0.0014							

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Área basal									
Projectção: $G_2 = A_g \left(\frac{G_1}{A_g} \right)^{\frac{t_1^{n_{g1}}}{t_2^{n_{g2}}}}$ $A_g = A_{gQ} lqe^2$ $n_{gi} = n_{g0} + n_{gQ} \ln(lqe) + n_{gn} \frac{N_i}{1000}$									
Inicialização: $G = A_g e^{-k_g \left(\frac{1}{t} \right)^{n_g}}$ $k_g = k_{g0} + k_{gQ} \frac{1}{lqe} + k_{gnp} \frac{N_{pl}}{1000} + k_{gf} Fe$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
A_{gQ}	1ª rot.	0.1586							
	talhadia								
n_{g0}	1ª rot.	3.7350	3.6354	3.6091	3.5676	3.6893	3.4571	3.5676	
	talhadia	2.8638	2.7642	2.6990	2.6575	2.8181	2.5470	2.6575	
n_{gQ}	1ª rot.	-1.0288							
	talhadia	-0.7316							
n_{gn}	1ª rot.	0.1024							
	talhadia	0.0216							
k_{g0}	1ª rot.	-4.4826	-5.5311	-6.1201	-6.2433	-4.7560	-7.7941	-6.9326	
	talhadia	0.7582	-0.2903	-0.8793	-1.0025	0.4848	-2.5533	-1.6918	
k_{gQ}	1ª rot.	177.9							
	talhadia	72.3							
k_{gnp}	1ª rot.	0.5408							
	talhadia	0.0134							
k_{gf}	1ª rot.	16.015							
	talhadia	14.1898							

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Volume total									
Projeccção: $V_2 = V_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{a_v} \left(\frac{hdom_2}{hdom_1} \right)^{b_v} \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{c_v}$									
Inicialização: $V = k_v t^{a_v} hdom^{b_v} G^{c_v}$ $k_v = k_{v0} + k_{vf} Fe$									
Volume com casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vc}	1ª rot.	0.0655							
	talhadia								
b_{vc}	1ª rot.	0.8830							
	talhadia								
c_{vc}	1ª rot.	1.0263							
	talhadia								
k_{v0c}	1ª rot.	0.5007		0.4886		0.5007		0.4886	
	talhadia	0.5355		0.5272		0.5355		0.5272	
k_{vfc}	1ª rot.	-0.1348		-		-0.1348		-	
	talhadia	-0.3828		-0.2480		-0.3828		-0.2480	
Volume sem casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vs}	1ª rot.	0.0592							
	talhadia								
b_{vs}	1ª rot.	0.9349							
	talhadia								
c_{vs}	1ª rot.	1.0077							
	talhadia								
k_{v0s}	1ª rot.	0.3886		0.3724		0.3886		0.3724	
	talhadia	0.4218		0.4108		0.4218		0.4108	
k_{vfs}	1ª rot.	-0.1497		-		-0.1497		-	
	talhadia	-0.3616		-0.2119		-0.3616		-0.2119	

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Volume mercantil									
$V_d = V e^{a_{vm} \left(\frac{d_d}{d_g} \right)^{b_{vm}}}$					$a_{vm} = a_{vm0} + a_{vmnp} \frac{N_{pl}}{1000} + a_{vmf} Fe$				
Volume mercantil com casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0c}	1ª rot.	-1.0904							
	talhadia	-1.2881							
a_{vmnpc}	1ª rot.	0.0729							
	talhadia	0.09267		0.0729			0.0927	0.0729	
a_{vmfc}	1ª rot.	0.3851							
	talhadia	1.0378							
b_{vmc}	1ª rot.	3.3716							
	talhadia								
Volume mercantil sem casca									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{vm0s}	1ª rot.	-1.0625							
	talhadia	-1.2531							
a_{vmnps}	1ª rot.	0.0654							
	talhadia	0.0850		0.0654			0.0850	0.0654	
a_{vmfs}	1ª rot.	0.3841							
	talhadia	1.0247							
b_{vms}	1ª rot.	3.3288							
	talhadia								

O modelo GLOBULUS 2.1 encontra-se, de momento, apenas implementado em EXCEL, mas estará, em breve, disponível numa versão interactiva em *Visual Basic*. Prevê-se, também para breve, a sua implementação no sistema de apoio à decisão sagFlor, desenvolvido no Centro de Estudos Florestais (Borges e Falcão, 1999).

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Biomassa total									
$W_t = \alpha_w G^{\beta_w} hdom^{Y_w}$		$\alpha_w = \alpha_{w0} + \alpha_{wQ} \frac{lqe}{10}$				$\beta_w = \beta_{w0} + \beta_{wn} \frac{N}{1000} + \beta_{wt} t$			
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{w0}	1ª rot.	0.0095							
	talhadia								
α_{wQ}	1ª rot.	-0.0025							
	talhadia								
β_{w0}	1ª rot.	1.1392							
	talhadia								
β_{wn}	1ª rot.	-0.0424							
	talhadia								
β_{wt}	1ª rot.	-0.0115							
	talhadia								
γ_w	1ª rot.	2.4043							
	talhadia								
Biomassas de tronco e de copa									
$W_{tronco} = W_t P_{tronco} = W_t (\alpha_{wt} G^{\beta_{wt}} hdom^{Y_{wt}})$		$\beta_{wt} = \beta_{wt0} + \beta_{wtn} \frac{N}{1000} + \beta_{wtt} t + \beta_{wtQ} \frac{lqe}{10}$							
$W_{copa} = W_t - W_{tronco}$									
	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{wt}	1ª rot.	0.2019							
	talhadia								
β_{wt0}	1ª rot.	0.1613							
	talhadia								
β_{wtn}	1ª rot.	0.0046							
	talhadia								
β_{wtt}	1ª rot.	-0.0037							
	talhadia								
β_{wtQ}	1ª rot.	-0.0355							
	talhadia								
γ_{wt}	1ª rot.	0.4301							
	talhadia								

Tabela 7. Expressões matemáticas correspondentes aos modelos seleccionados para as componentes do modelo GLOBULUS 2.1 (continua na página seguinte).

Biomassas de casca, lenho, folhas e ramos

$$W_{casca} = W_{tronco} (a_{c0} + a_{ct} t + a_{ct2} \frac{t^2}{10}) \qquad W_{lenho} = W_{tronco} (1 - P_{casca})$$

$$W_{folhas} = W_{copa} (a_{fo} + a_{ft} t + a_{ft2} \frac{t^2}{10}) \qquad W_{ramos} = W_{copa} - W_{folhas}$$

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
a_{c0}	1ª rot.								
	talhadia	0.1946							
a_{ct}	1ª rot.								
	talhadia	-0.0094							
a_{ct2}	1ª rot.								
	talhadia	0.0026							
a_{fo}	1ª rot.								
	talhadia	0.7304							
a_{ft}	1ª rot.								
	talhadia	-0.0154							
a_{ft2}	1ª rot.								
	talhadia	0.0021							

Transição entre rotações

$$lqe_{2ª rot} = \alpha_{trans} + \beta_{trans} lqe_{1ª rot}$$

	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
α_{trans}		-			-1.8703		-	-1.8703	
β_{trans}		1.0335							

6.2 Avaliação global do modelo

A avaliação global do modelo consistiu, como já foi dito, na comparação das projecções a longo prazo de um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI seleccionadas de modo a cobrir as três regiões nas quais estavam disponíveis, diferentes índices de qualidade da estação, diferentes densidades de plantação e as duas rotações.

Foram analisadas 40 parcelas, distribuídas pelas variáveis de controlo de acordo com as frequências indicadas na tabela 8.

Tabela 8. Distribuição das parcelas teste por classes de densidade e de índice de qualidade da estação.

Classes de densidade	Classes de qualidade da estação					Frequência
	12	16	20	24	28	
<1000	1	2	3	3	1	10
1200	1	3	2	1	1	8
1600	1	2	3	2	2	10
2000				1		1
2400		2		2	2	6
2800		1	1			2
3200				1	2	3
<3400				1	2	3
Frequência	3	10	9	11	10	43

Na figura 20 encontram-se alguns dos gráficos que foram elaborados, os quais correspondem a um sorteio aleatório de 10 das 43 parcelas que foram analisadas. Como se pode ver, e como se confirma com a análise das restantes parcelas, a aderência do modelo aos dados reais é bastante boa. Nota-se uma ligeira estimação por defeito da área basal em algumas parcelas (cerca de 4) localizadas na região 3CL as quais são, muito provavelmente, influenciadas por algum factor micro-ambiental relacionado com uma maior disponibilidade hídrica. Está planeada uma análise mais cuidada destas parcelas com o objectivo de detectar possíveis causas para este problema.

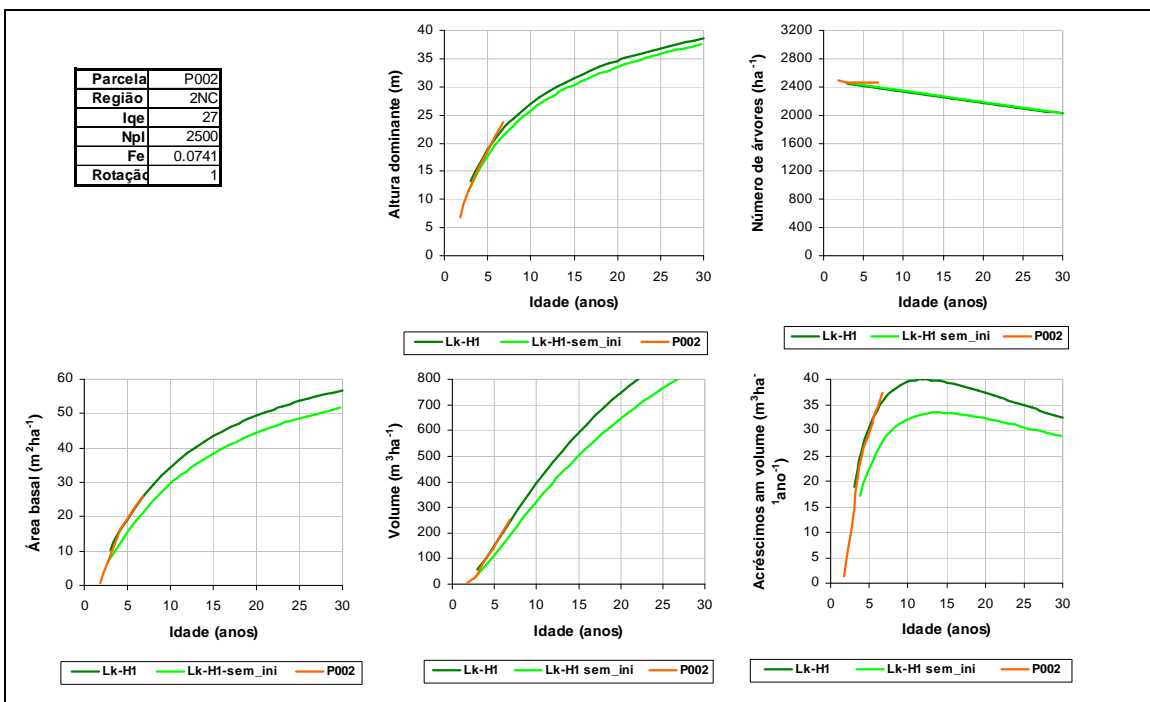
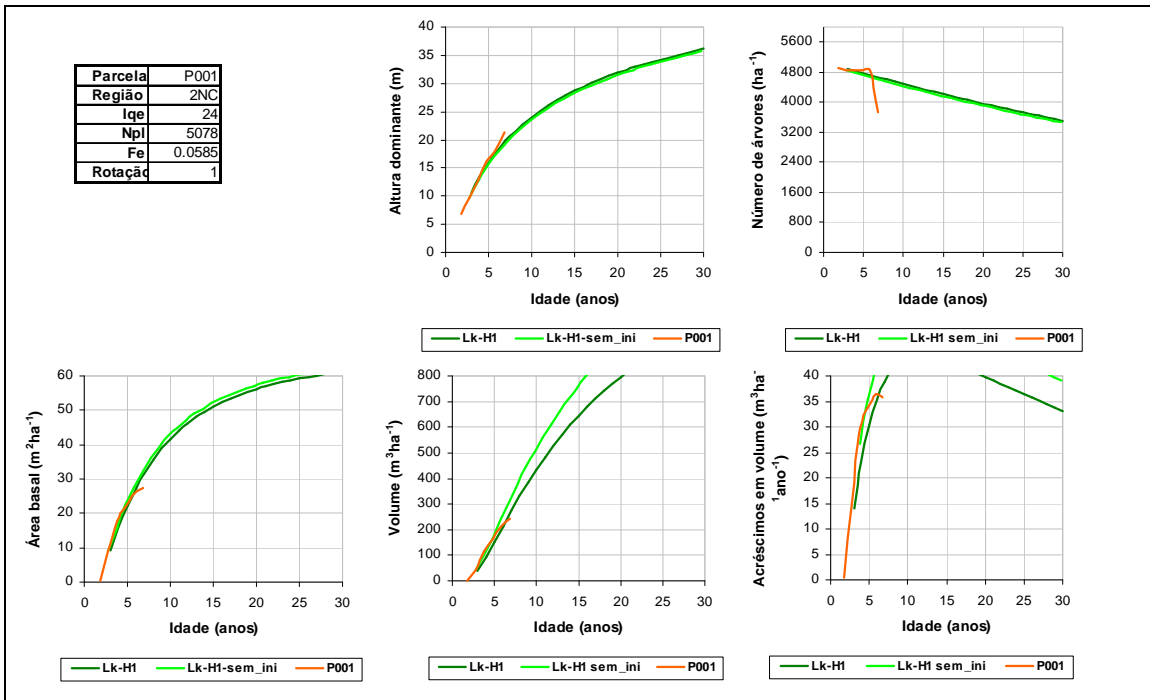


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação.

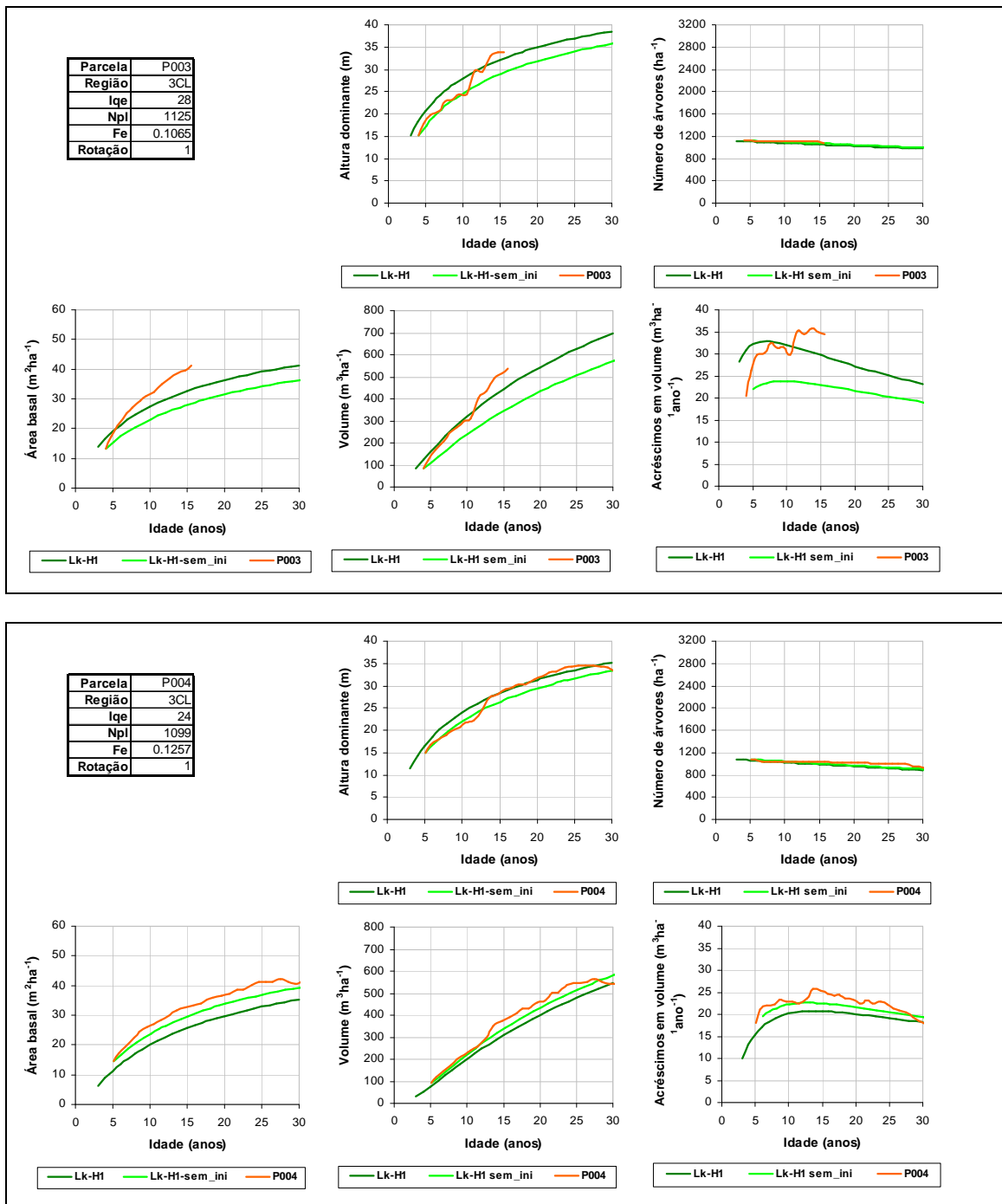


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

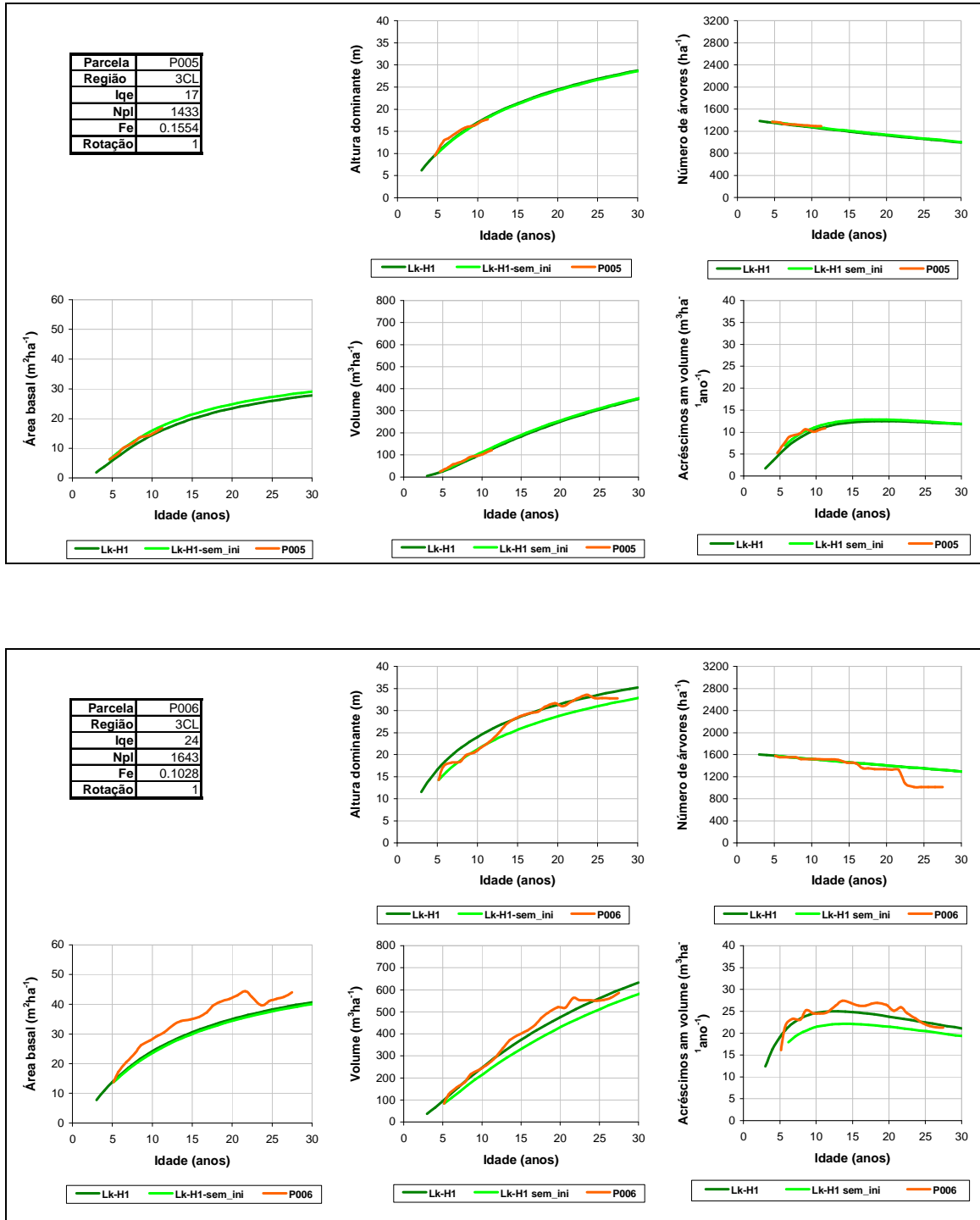


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

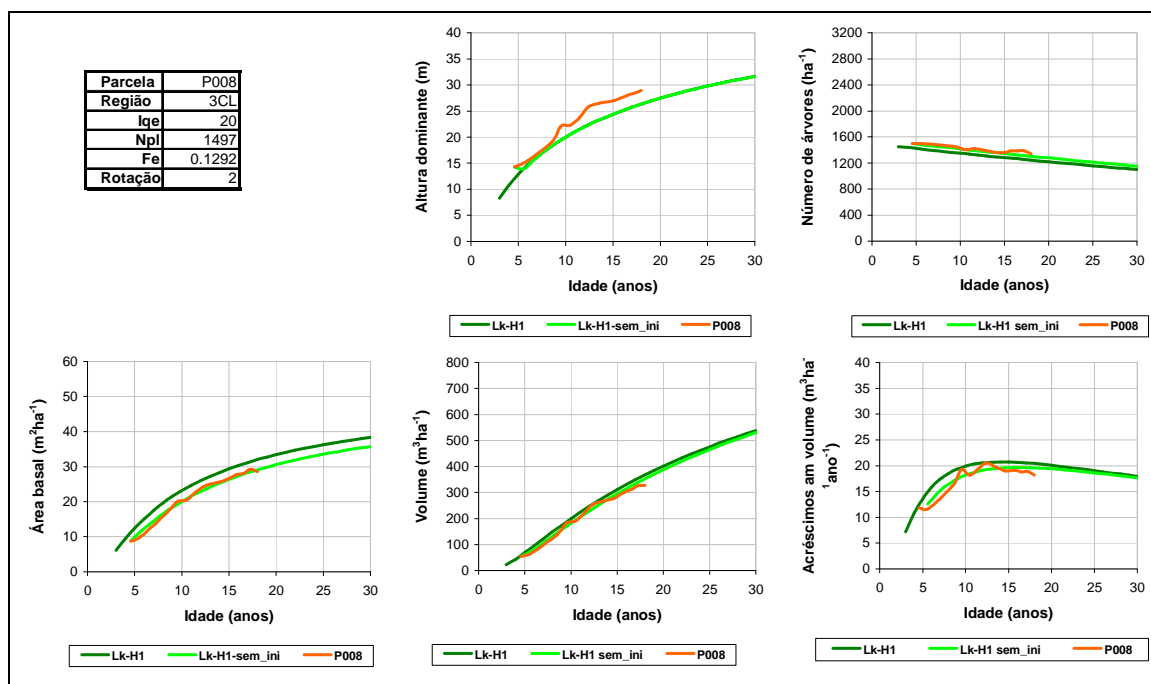
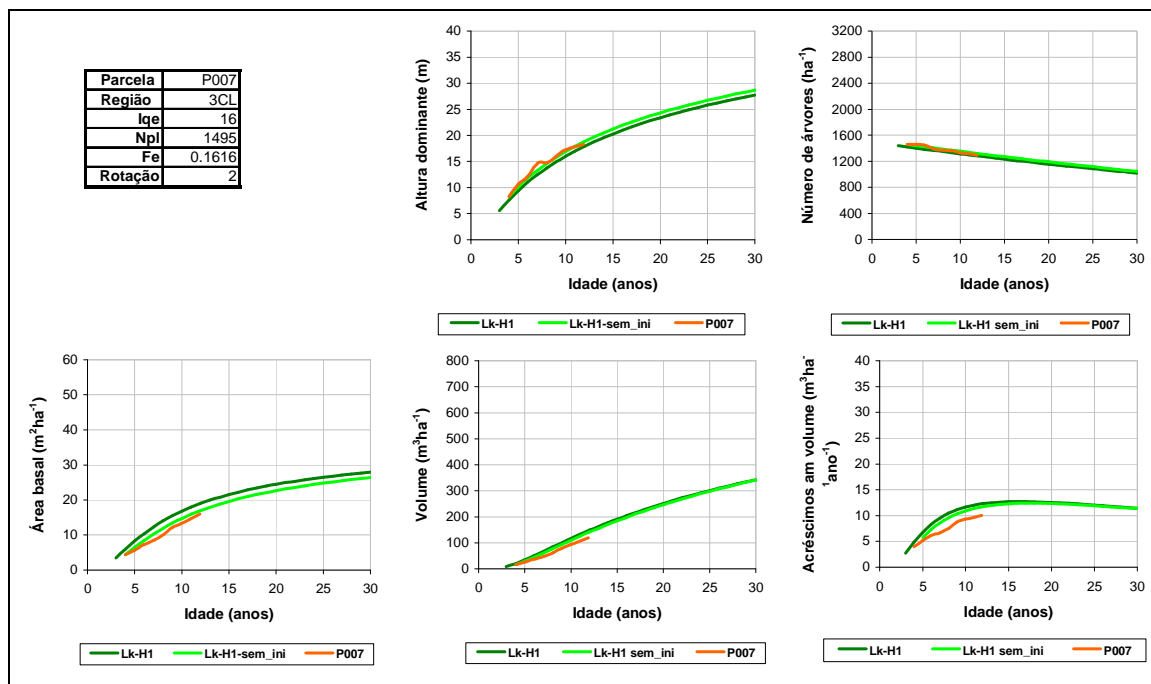


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

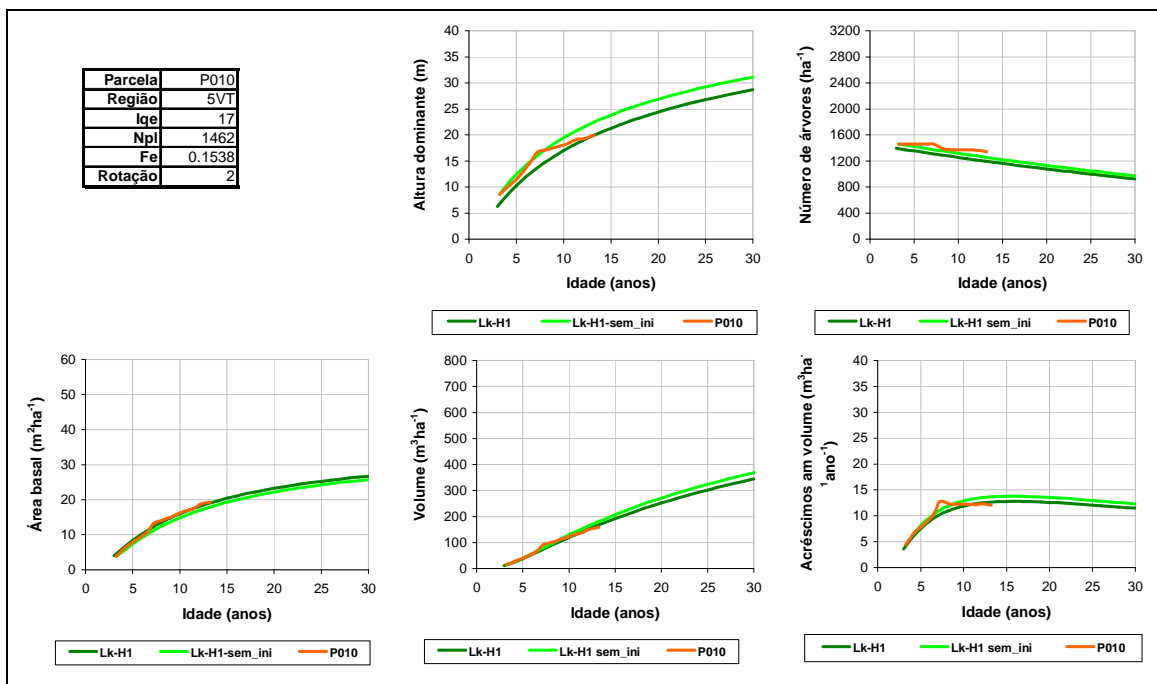
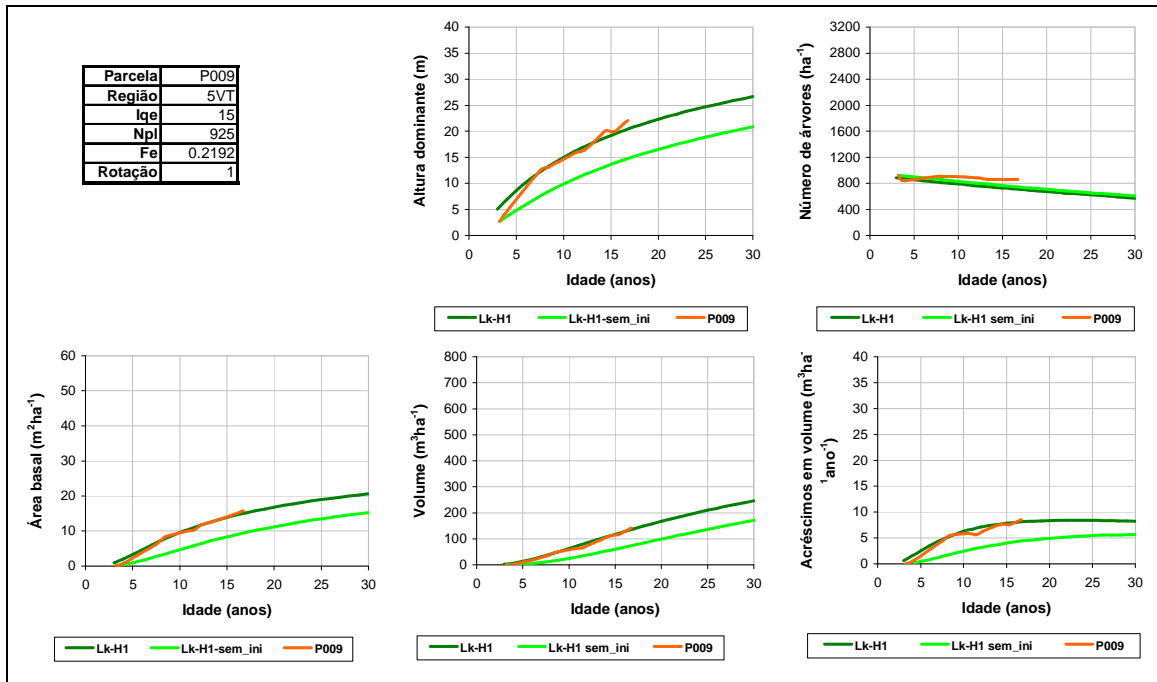


Figura 20. Avaliação global do modelo por comparação com um conjunto de parcelas permanentes da STORACELBI sorteadas dentre as 43 parcelas que foram objecto deste tipo de avaliação (continuação).

7 Referências bibliográficas

- Amaro, A., 1997. Modelação do Crescimento de Povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. em 1ª Rotação. Tese de Doutoramento, IST, Lisboa.
- Amaro, A., Themido, I., e Tomé, M., 1994. A definição de unidades de gestão de informação num sistema de apoio à decisão para a gestão florestal. III Congresso Florestal Nacional, Figueira da Foz, Actas 1, pp. 74-82 (poster).
- Amaro, A. e Tomé, M., 1996. The use of GLOBUS and EUSOP stand models in Portugal. Some preliminary results. In: R. Paivinen, L. Roihuvuo e M. Siitonen (eds.), *Large scale forestry models: experiences and requirements*. EFI Proceedings nº 5, pp. 193-204.
- Amateis, R., Burkhart, H. e Burk, T., 1986. A ratio approach to predicting merchantable yields of unthinned Loblolly pine plantations. *For. Sci.*, 32:2 87-296.
- Borges, J. e Falcão, A., 1999. SagFlor, um simulador de alternativas de gestão em ecossistemas florestais. *Revista Florestal*, 12(1): 37-42.
- Fabião, A., 1986. Contribuição para o Estudo da Dinâmica da Biomassa e da Produtividade Primária Líquida em Eucaliptais. Região Litoral do Centro de Portugal. Tese de Doutoramento, ISA, Lisboa.
- Falcão, A., 1998. Estruturação e Implementação de uma Base de Dados de Informação Biométrica Floresta. Tese de Mestrado, ISA, Lisboa.
- Myers, R., 1986. *Classical and Modern Regression With Applications*. Duxbury Press, Boston, Massachusetts,.
- Oliveira, J., 1997. Definição de Zonas Homogéneas na Produção Florestal em Portugal Continental, Exemplo de Aplicação à *Eucalyptus globulus*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Pereira, H., 1988. Variability in the chemical composition of plantation eucalypts (*Eucalyptus globulus* Labill). *Wood and Fiber Science*, 20(1): 82 - 90.
- Ribeiro, F. e Tomé, M., 2000. Classificação climática de Portugal Continental, baseada em informação do Atlas do Ambiente. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. XXIII, nº 2: 23-38.
- SAS/STAT, 1989. *User's Guide*. versão 6, 4ª ed., vol. 2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 846 pp.
- Shiver, B. e Brister, G., 1992. Tree and stand volume functions for *Eucalyptus saligna*. *For. Ecol. Manag.*, 47: 211-223.
- Soares, P., Pinheiro, A. e Tomé, M., 2000. Relatório de Progresso do Projecto LCA – do Eucalipto ao Papel, PRAXIS/3/3.2/PAPEL/2323/95. ISA, Lisboa.
- Tomé, M. e Ribeiro, F., 2000. GLOBULUS 2.0, Um Modelo de Aplicação Nacional Para a Simulação da Produção e Crescimento do Eucalipto em Portugal. Relatórios Técnico – Científicos do GIMREF, nº1/2000, Dep. Engenharia Florestal, ISA, Lisboa.

ANEXO 1

**Listagem dos concelhos e respectiva correspondência com as regiões do
modelo GLOBULUS 2.1**

Concelho	Cod_INE	Região
ABRANTES	1401	3CL
AGUEDA	101	3CL
AGUIAR DA BEIRA	901	6NI
ALANDROAL	701	7SI
ALBERGARIA-A-VELHA	102	3CL
ALBUFEIRA	801	4SL
ALCACER DO SAL	1501	5VT
ALCANENA	1402	3CL
ALCOBACA	1001	3CL
ALCOCHETE	1502	5VT
ALCOUTIM	802	7SI
ALENQUER	1101	3CL
ALFANDEGA DA FE	401	8VD
ALIJO	1701	8VD
ALJEZUR	803	4SL
ALJUSTREL	201	7SI
ALMADA	1503	4SL
ALMEIDA	902	5VT
ALMEIRIM	1403	3CL
ALMODOVAR	202	7SI
ALPIARCA	1404	3CL
ALTER DO CHAO	1201	5VT
ALVAIAZERE	1002	2NC
ALVITO	203	5VT
AMADORA	1115	4SL
AMARANTE	1301	2NC
AMARES	301	1NL
ANADIA	103	3CL
ANSIAO	1003	2NC
ARCOS DE VALDEVEZ	1601	1NL
ARGANIL	601	2NC
ARMAMAR	1801	6NI
AROUCA	104	2NC
ARRAIOS	702	5VT
ARRONCHES	1202	5VT
ARRUDA DOS VINHOS	1102	5VT
AVEIRO	105	3CL
AVIS	1203	5VT
AZAMBUJA	1103	3CL
BAIAO	1302	2NC
BARCELOS	302	2NC
BARRANCOS	204	7SI
BARREIRO	1504	7SI
BATALHA	1004	3CL
BEJA	205	7SI
BELMONTE	501	6NI
BENAVENTE	1405	5VT
BOMBARRAL	1005	3CL
BORBA	703	5VT
BOTICAS	1702	6NI
BRAGA	303	2NC

Concelho	Cod_INE	Região
BRAGANCA	402	6NI
CABEZEIRAS DE BASTO	304	2NC
CADAVAL	1104	3CL
CALDAS DA RAINHA	1006	3CL
CAMINHA	1602	1NL
CAMPO MAIOR	1204	7SI
CANTANHEDE	602	3CL
CARRAZEDA DE ANSIAES	403	8VD
CARREGAL DO SAL	1802	3CL
CARTAXO	1406	3CL
CASCAIS	1105	4SL
CASTANHEIRA DE PERA	1007	2NC
CASTELO BRANCO	502	5VT
CASTELO DE PAIVA	106	3CL
CASTELO DE VIDE	1205	5VT
CASTRO D'AIRES	1803	2NC
CASTRO MARIM	804	4SL
CASTRO VERDE	206	7SI
CELORICO DA BEIRA	903	6NI
CELORICO DE BASTO	305	2NC
CHAMUSCA	1407	3CL
CHAVES	1703	6NI
CINFAES	1804	2NC
COIMBRA	603	3CL
CONDEIXA-A-NOVA	604	3CL
CONSTANCIA	1408	3CL
CORUCHE	1409	5VT
COVILHA	503	6NI
CRATO	1206	5VT
CUBA	207	5VT
ELVAS	1207	7SI
ENTRONCAMENTO	1410	3CL
ESPINHO	107	3CL
ESPOSENDE	306	2NC
ESTARREJA	108	3CL
ESTREMOZ	704	5VT
EVORA	705	5VT
FAFE	307	2NC
FARO	805	4SL
FEIRA	109	3CL
FELGUEIRAS	1303	2NC
FERREIRA DO ALENTEJO	208	7SI
FERREIRA DO ZEZERE	1411	3CL
FIGUEIRA DA FOZ	605	3CL
FIGUEIRA DE CASTELO RODR	904	6NI
FIGUEIRO DOS VINHOS	1008	2NC
FORNOS DE ALGODRES	905	6NI
FREIXO DE ESPADA A CINTA	404	8VD
FRONTEIRA	1208	5VT
FUNDAO	504	6NI
GAVIAO	1209	5VT

Concelho	Cod_INE	Região
GOIS	606	2NC
GOLEGA	1412	3CL
GONDOMAR	1304	3CL
GOUVEIA	906	6NI
GRANDOLA	1505	4SL
GUARDA	907	6NI
GUIMARAES	308	2NC
IDANHA-A-NOVA	505	5VT
ILHAVO	110	3CL
LAGOA	806	4SL
LAGOS	807	4SL
LAMEGO	1805	2NC
LEIRIA	1009	3CL
LISBOA	1106	7SI
LOULE	808	7SI
LOURES	1107	7SI
LOURINHA	1108	3CL
LOUSA	607	2NC
LOUSADA	1305	2NC
MACAO	1413	3CL
MACEDO DE CAVALEIROS	405	8VD
MAFRA	1109	3CL
MAIA	1306	3CL
MANGUALDE	1806	6NI
MANTEIGAS	908	6NI
MARCO DE CANAVEZES	1307	3CL
MARINHA GRANDE	1010	3CL
MARVAO	1210	5VT
MATOSINHOS	1308	3CL
MEALHADA	111	3CL
MEDA	909	6NI
MELGACO	1603	2NC
MERTOLA	209	7SI
MESAO FRIO	1704	3CL
MIRA	608	3CL
MIRANDA DO CORVO	609	2NC
MIRANDA DO DOURO	406	5VT
MIRANDELA	407	8VD
MOGADOURO	408	8VD
MOIMENTA DA BEIRA	1807	6NI
MOITA	1506	7SI
MONCAO	1604	1NL
MONCHIQUE	809	3CL
MONDIM DE BASTO	1705	2NC
MONFORTE	1211	5VT
MONTALEGRE	1706	6NI
MONTEMOR-O-NOVO	706	5VT
MONTEMOR-O-VELHO	610	3CL
MONTIJO	1507	5VT
MORA	707	5VT
MORTAGUA	1808	2NC

Concelho	Cod_INE	Região
MOURA	210	7SI
MOURAO	708	7SI
MURCA	1707	6NI
MURTOSA	112	3CL
NAZARE	1011	3CL
NELAS	1809	2NC
NISA	1212	5VT
OBIDOS	1012	3CL
ODEMIRA	211	4SL
OEIRAS	1110	4SL
OLEIROS	506	6NI
OLHAO	810	4SL
OLIVEIRA DE AZEMEIS	113	3CL
OLIVEIRA DE FRADES	1810	2NC
OLIVEIRA DO BAIRRO	114	3CL
OLIVEIRA DO HOSPITAL	611	2NC
OURIQUE	212	7SI
OVAR	115	3CL
PACOS DE FERREIRA	1309	2NC
PALMELA	1508	5VT
PAMPILHOSA DA SERRA	612	2NC
PAREDES	1310	3CL
PAREDES DE COURA	1605	1NL
PEDROGAO GRANDE	1013	2NC
PENACOVA	613	3CL
PENAFIEL	1311	3CL
PENALVA DO CASTELO	1811	6NI
PENAMACOR	507	6NI
PENEDONO	1812	6NI
PENELA	614	2NC
PENICHE	1014	3CL
PESO DA REGUA	1708	3CL
PINHEL	910	6NI
POMBAL	1015	3CL
PONTE DA BARCA	1606	1NL
PONTE DE LIMA	1607	1NL
PONTE DE SOR	1213	5VT
PORTALEGRE	1214	5VT
PORTEL	709	7SI
PORTIMAO	811	4SL
PORTO	1312	3CL
PORTO DE MOS	1016	3CL
POVOA DE VARZIM	1313	3CL
POVOA DO LANHOSO	309	2NC
PROENCA-A-NOVA	508	5VT
REDONDO	710	5VT
REGUENGOS DE MONSARAZ	711	7SI
RESENDE	1813	2NC
RIBEIRA DE PENA	1709	2NC
RIO MAIOR	1414	3CL
SABROSA	1710	8VD

Concelho	Cod_INE	Região
SABUGAL	911	6NI
SALVATERRA DE MAGOS	1415	5VT
SANTA COMBA DAO	1814	3CL
SANTA MARTA DE PENAGUIA	1711	3CL
SANTAREM	1416	3CL
SANTIAGO DO CACEM	1509	4SL
SANTO TIRSO	1314	2NC
SAO BRAS DE ALPORTEL	812	7SI
SAO JOAO DA MADEIRA	116	3CL
SAO JOAO DA PESQUEIRA	1815	8VD
SAO PEDRO DO SUL	1816	2NC
SARDOAL	1417	3CL
SATAO	1817	6NI
SEIA	912	6NI
SEIXAL	1510	7SI
SERNANCELHE	1818	6NI
SERPA	213	7SI
SERTA	509	2NC
SESIMBRA	1511	7SI
SETUBAL	1512	7SI
SEVER DO VOUGA	117	3CL
SILVES	813	7SI
SINES	1513	4SL
SINTRA	1111	3CL
SOBRAL DE MONTE AGRACO	1112	3CL
SOURE	615	3CL
SOUSEL	1215	5VT
TABUA	616	3CL
TABUACO	1819	6NI
TAROUCA	1820	6NI
TAVIRA	814	7SI
TERRAS DE BOURO	310	1NL
TOMAR	1418	3CL
TONDELA	1821	2NC
TORRE DE MONCORVO	409	8VD
TORRES NOVAS	1419	3CL

Concelho	Cod_INE	Região
TORRES VEDRAS	1113	3CL
TRANCOSO	913	6NI
VAGOS	118	3CL
VALE DE CAMBRA	119	2NC
VALENCA	1608	1NL
VALONGO	1315	3CL
VALPACOS	1712	6NI
VENDAS NOVAS	712	5VT
VIANA DO ALENTEJO	713	5VT
VIANA DO CASTELO	1609	1NL
VIDIGUEIRA	214	7SI
VIEIRA DO MINHO	311	2NC
VILA DE REI	510	3CL
VILA DO BISPO	815	4SL
VILA DO CONDE	1316	3CL
VILA FLOR	410	8VD
VILA FRANCA DE XIRA	1114	5VT
VILA NOVA DA BARQUINHA	1420	3CL
VILA NOVA DE CERVEIRA	1610	1NL
VILA NOVA DE FAMALICAO	312	2NC
VILA NOVA DE FOZ COA	914	8VD
VILA NOVA DE GAIA	1317	3CL
VILA NOVA DE OUREM	1421	3CL
VILA NOVA DE PAIVA	1822	6NI
VILA NOVA POIARES	617	3CL
VILA POUCA DE AGUIAR	1713	2NC
VILA REAL	1714	3CL
VILA REAL DE SANTO ANTONI	816	4SL
VILA VELHA DE RODAO	511	5VT
VILA VERDE	313	1NL
VILA VICOSA	714	5VT
VIMIOSO	411	5VT
VINHAI	412	6NI
UISEU	1823	2NC
VOUZELA	1824	2NC

Observações

A informação por freguesia está disponível. Para a obter contacte: gimref@isa.utl.pt
--

ANEXO 2

Ajustamento do modelo da altura dominante

MODELO GLOBULUS 2.1 - ALTURA DOMINANTE

Restrições aos dados (n=11371):

```
if hdom2<hdom1 then hdom2=hdom1;
```

Modelo (Lundqvist-k):

```
A=a0;
nh=nh0+nhr*rot+nh1*reg1+nh3*reg3+nh6*reg6+nh7*reg7+nhr1*reg1*rot;
model hdom2=A*(hdom1/A)**((t1/t2)**nh);
```

Método de Huber:

```
if abs(rstud) <= 2 then w=rstud;
  else if rstud > 2 then w=2;
  else if rstud < -2 then w=-2;
w=w/rstud;
```

Ajustamento:

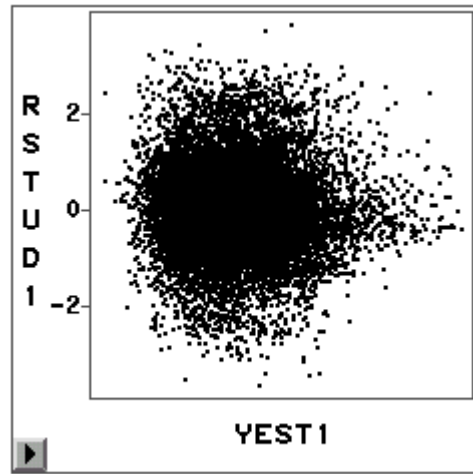
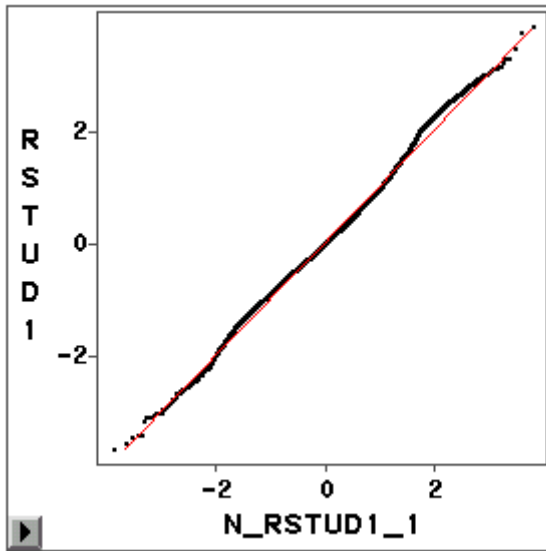
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	8	3062729	382841	346286	<.0001
Residual	11363	12562.5	1.1056		
Uncorrected Total	11371	3075291			
Corrected Total	11370	276403			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
A0	61.1372	1.8426	57.5253	64.7491
nh0	0.3955	0.00796	0.3799	0.4111
nhr	-0.1581	0.0101	-0.1778	-0.1383
nh1	0.0850	0.00610	0.0730	0.0969
nhr1	0.0740	0.0160	0.0426	0.1055
nh3	0.0420	0.00652	0.0292	0.0548
nh6	0.0825	0.00576	0.0712	0.0938
nh7	0.0452	0.00849	0.0286	0.0619

Validação:

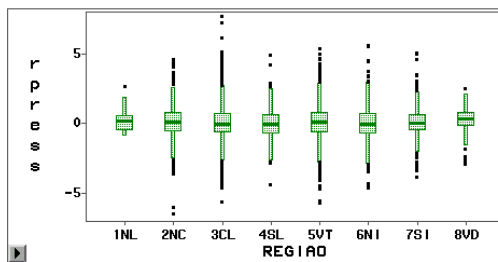
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11371	0.085662	0.83664	1.95962	-1.55726	0.94894

Propriedades estatísticas do modelo:

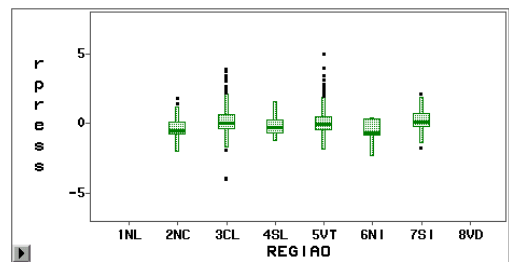


Caracterização do erro do modelo:

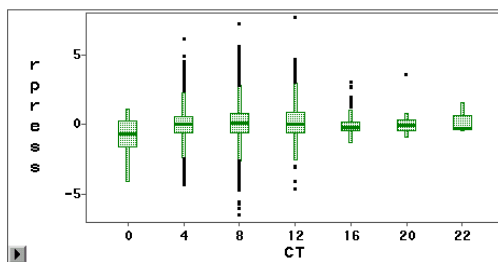
▶ ROT = 0



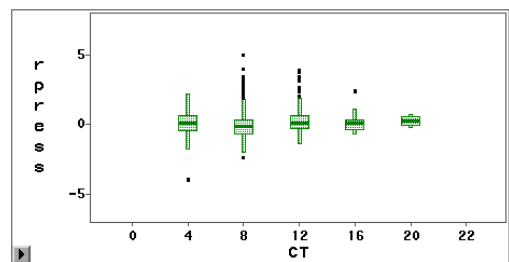
▶ ROT = 1



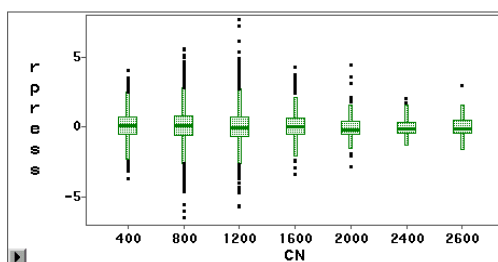
▶ ROT = 0



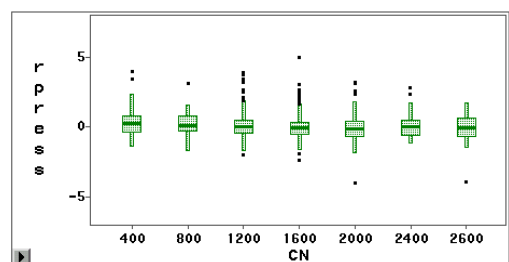
▶ ROT = 1

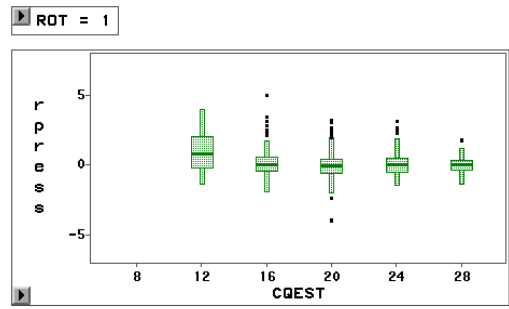
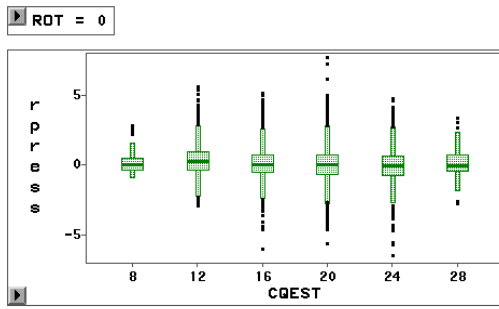


▶ ROT = 0



▶ ROT = 1





ANEXO 3

Ajustamento dos modelos da área basal: projecção e inicialização

MODELO GLOBULUS 2.1 - ÁREA BASAL

PROJEÇÃO

Restrições aos dados (n=11363):

```
if g2<g1 then g2=g1;
if g1*g2=0 then delete;
```

Modelo (Lundqvist-k):

```
Ag=AgQ*Qest**2;
ng=ng0+ngQ*log(Iqe)+(ngr+ngQr*log(Iqe))*rot+
  (ng1+ng1r*rot)*reg1+ng2*reg2+ng3*reg3+ng5*reg5+ng7*reg7;
ngn1=(ngn+ngnr*rot)*n1/1000;
ngn2=(ngn+ngnr*rot)*n2/1000;

model g2=Ag*(g1/Ag)**((t1**ngn1/t2**ngn2)*(t1/t2)**ng);
```

Método de Huber:

```
data huber1;
set reg0;
arstud=abs(rstud);
if arstud <= 2 then huber=rstud;
  else if rstud > 2 then huber=2;
    else if rstud < -2 then huber=-2;
w=huber/rstud;
```

Ajustamento:

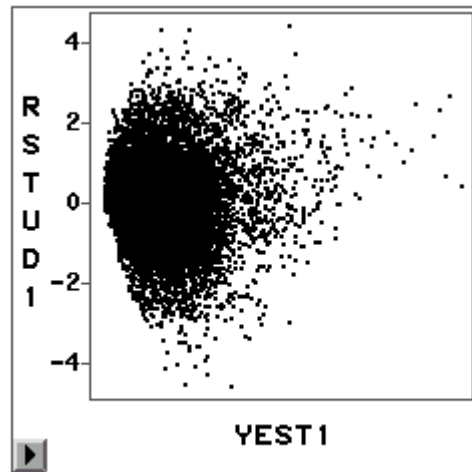
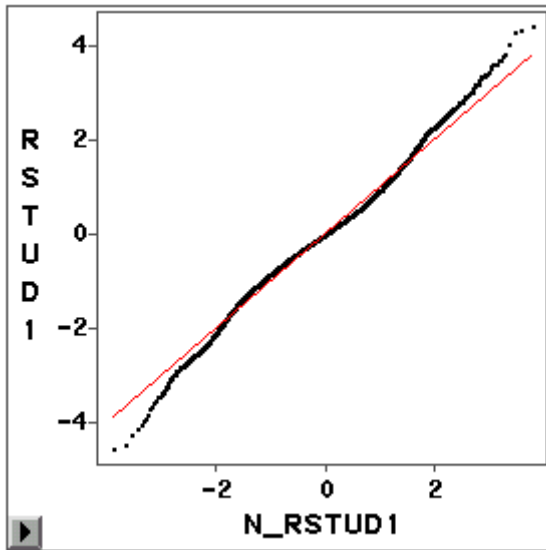
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	13	7084897	544992	280272	<.0001
Residual	11350	22070.2	1.9445		
Uncorrected Total	11363	7106967			
Corrected Total	11362	1794119			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
agQ	0.1586	0.00356	0.1516	0.1656
ng0	3.4571	0.0603	3.3389	3.5753
ngQ	-1.0288	0.0201	-1.0682	-0.9895
ngn	0.1024	0.00462	0.0934	0.1115
ngr	-0.9101	0.1684	-1.2402	-0.5799
ngQr	0.2972	0.0563	0.1868	0.4075
ngnr	-0.0808	0.0134	-0.1072	-0.0545
ng1	0.2322	0.0178	0.1974	0.2670
ng2	-0.0539	0.0160	-0.0853	-0.0226
ng3	0.0996	0.00555	0.0887	0.1105
ng5	0.1105	0.00959	0.0917	0.1293
ng7	0.1520	0.0119	0.1287	0.1754
ng1r	0.0389	0.0159	0.00770	0.0700

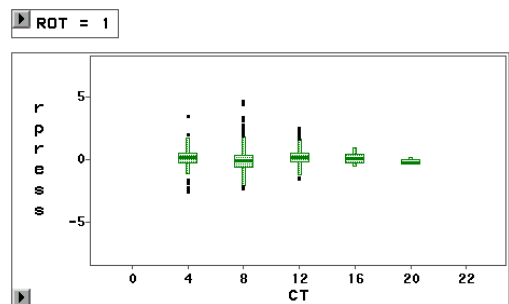
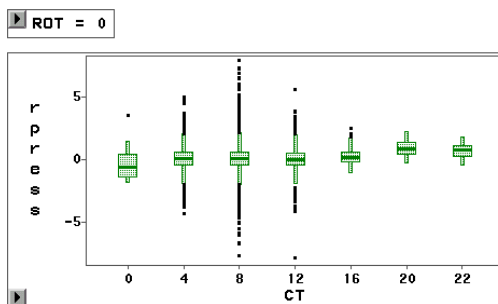
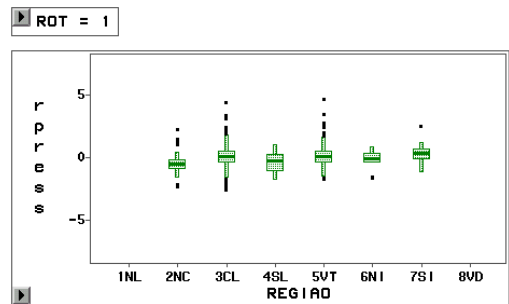
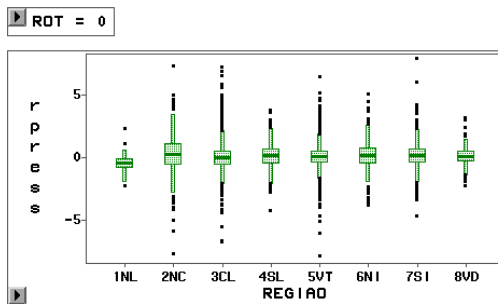
Validação:

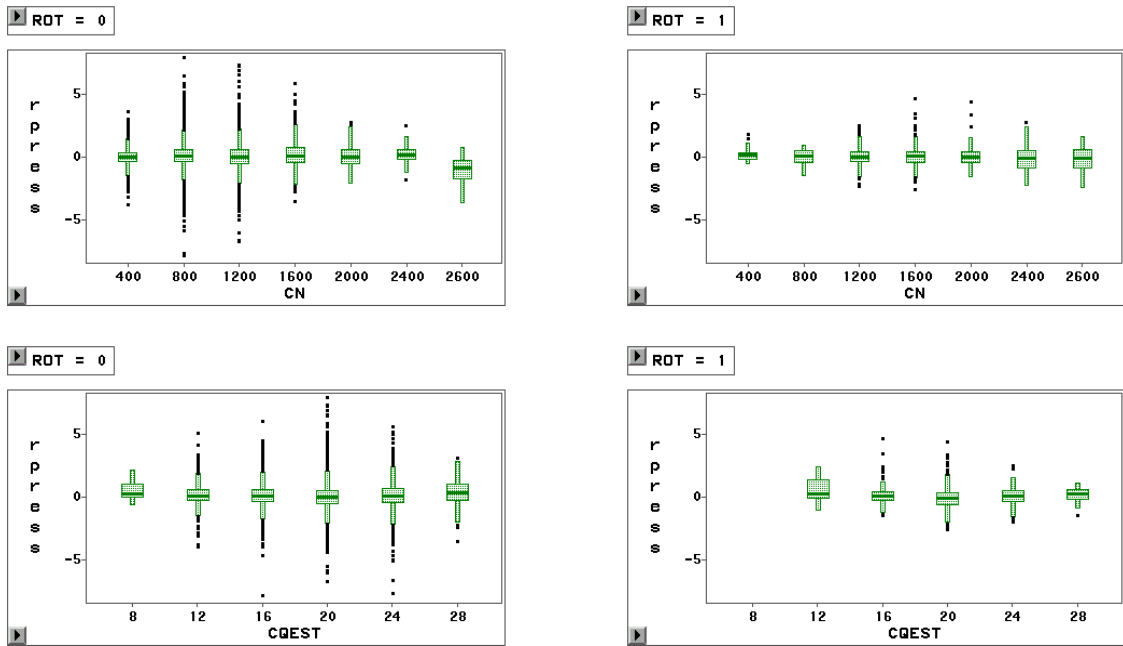
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11363	0.083286	0.69042	1.67221	-1.30761	0.97864

Propriedades estatísticas do modelo:



Caracterização do erro do modelo:





INICIALIZAÇÃO

Restrições aos dados (n=31398):

```
if g2=0 then delete;
truque=1;
```

Modelo (Lundqvist):

```
kg=kg0+kgiQ*1/Qest+kgn*np1/1000+kgf*fe+
(kgr+kgiQr*1/Qest+kgnr*np1/1000+kgfr*fe)*rot+
kg1*reg1+kg2*reg2+kg3*reg3+kg5*reg5+kg6*reg6+kg7*reg7;
```

```
model g2=Ag*exp(-kg*(1/t2)**ng);
```

Método de Huber:

```
data huber1;
set reg0;
arstud=abs(rstud);
if arstud <= 2 then huber=rstud;
else if rstud > 2 then huber=2;
else if rstud < -2 then huber=-2;
w=huber/rstud;
```

Ajustamento:

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	---------------

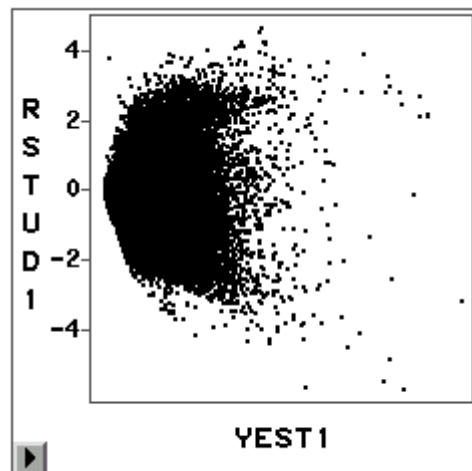
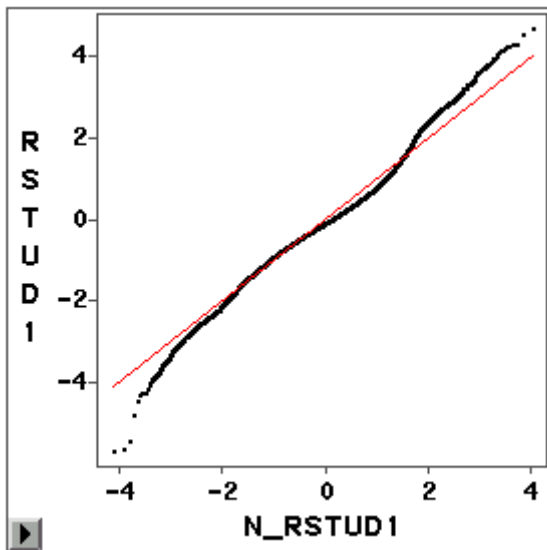
Regression	14	3081596	220114	55159.7	<.0001
Residual	31384	125237	3.9905		
Uncorrected Total	31398	3206834			
Corrected Total	31397	1086204			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
kg0	-7.7941	0.0408	-7.8740	-7.7141
kgiQ	177.9	1.1794	175.6	180.2
kgn	0.5408	0.0135	0.5143	0.5673
kgf	16.0150	0.2912	15.4443	16.5857
kgr	5.2408	0.0768	5.0903	5.3914
kgiQr	-105.6	2.4436	-110.4	-100.8
kgnr	-0.5274	0.0275	-0.5813	-0.4734
kgfr	-1.8252	0.6857	-3.1693	-0.4811
kg1	3.0381	0.0486	2.9428	3.1335
kg2	-0.7751	0.0457	-0.8645	-0.6856
kg3	1.0485	0.0149	1.0194	1.0776
kg5	0.8615	0.1095	0.6468	1.0762
kg6	0.6893	0.1088	0.4760	0.9025
kg7	1.6740	0.0251	1.6248	1.7231

Validação:

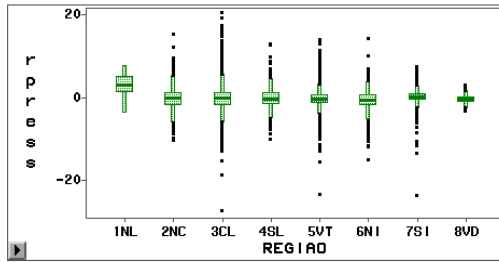
Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	31398	0.013943	1.53867	3.54267	-3.18778	0.87135

Propriedades estatísticas do modelo:

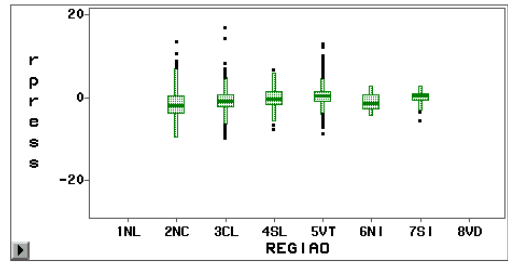


Caracterização do erro do modelo:

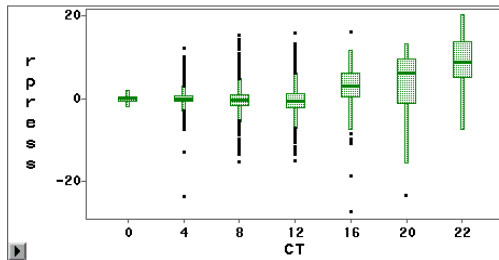
▶ ROT = 0



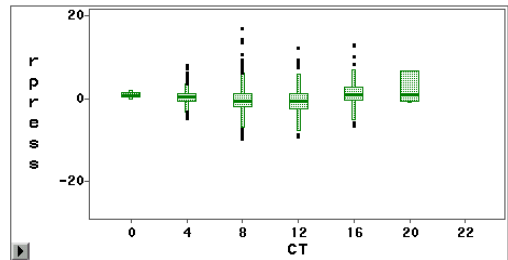
▶ ROT = 1



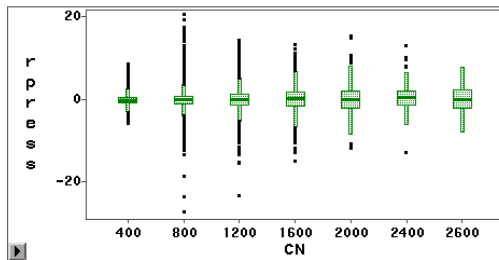
▶ ROT = 0



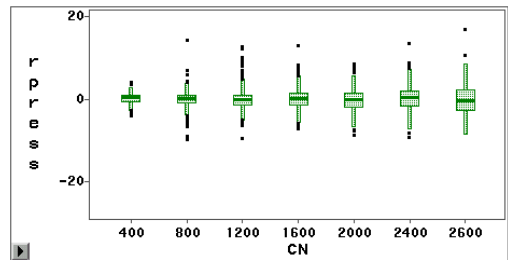
▶ ROT = 1



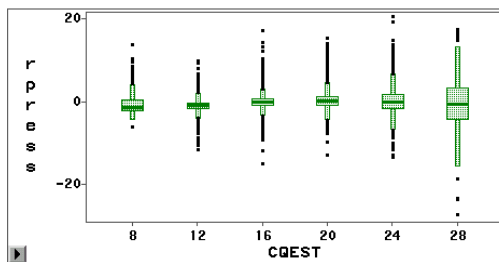
▶ ROT = 0



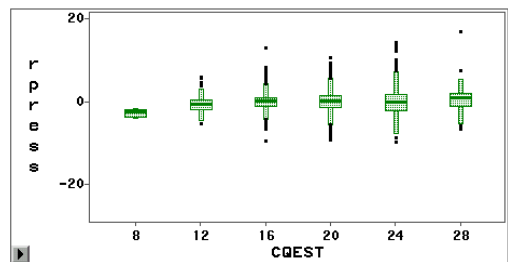
▶ ROT = 1



▶ ROT = 0



▶ ROT = 1



ANEXO 4

Ajustamento do modelo da mortalidade

MODELO GLOBULUS 2.1 - Mortalidade

Restrições aos dados (n=11371):

```
reg17=reg1+reg7;
if n2>n1 then n2=n1;
```

Modelo:

```
am=am0+amQ*Qest+amn*np1/1000+amr*rot+(amQr*Qest)*rot+
am17*reg17+am5*reg5+am175r*rot*(reg17+reg5);
model n2=n1*exp(-am*(t2-t1));
```

Método de Huber:

```
if rstud <= -1 then w=-1/rstud;
else w=1;
```

Ajustamento:

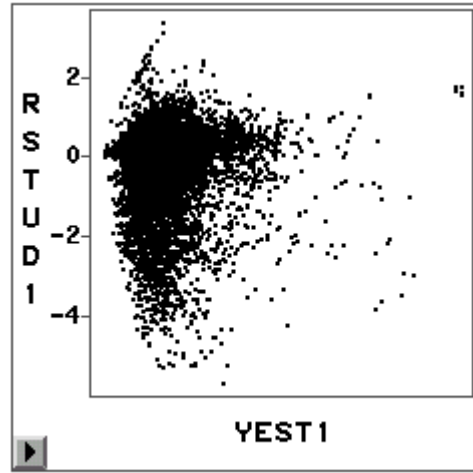
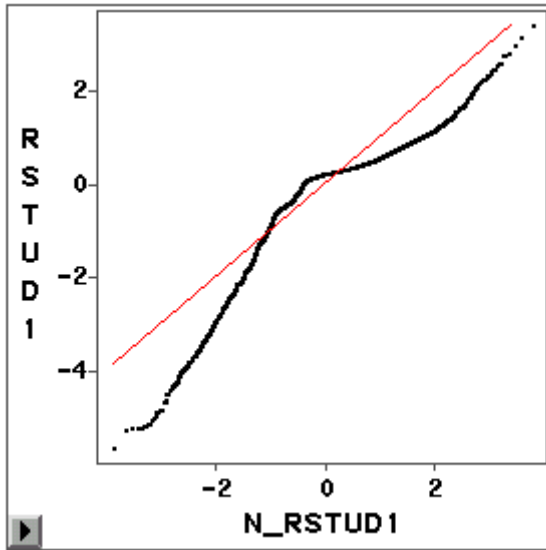
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	8	1.254E10	1.5671E9	1397168	<.0001
Residual	11363	12745346	1121.7		
Uncorrected Total	11371	1.255E10			
Corrected Total	11370	1.7843E9			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
am0	0.0401	0.00140	0.0373	0.0428
amQ	-0.00064	0.000072	-0.00078	-0.00050
amn	0.00131	0.000365	0.000594	0.00203
amr	-0.0311	0.00485	-0.0407	-0.0216
amQr	0.000505	0.000215	0.000083	0.000927
am17	-0.0190	0.000887	-0.0207	-0.0172
am175r	0.0152	0.00377	0.00784	0.0226
am5	-0.0159	0.000882	-0.0176	-0.0141

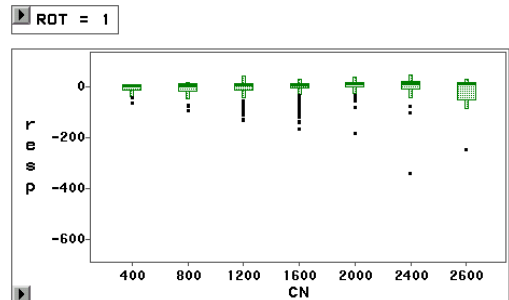
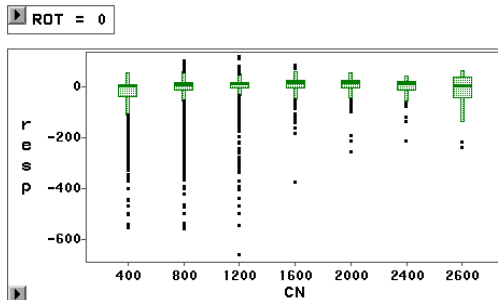
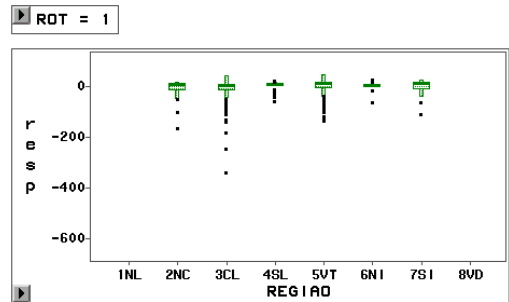
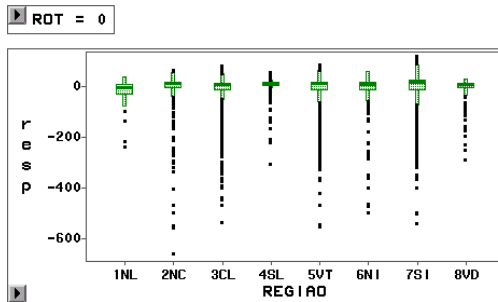
Validação:

Obs	nd	mrpress	marpress	p95	p5	r2p
1	11371	-7.32426	27.9356	32.3501	-94.9945	0.98308

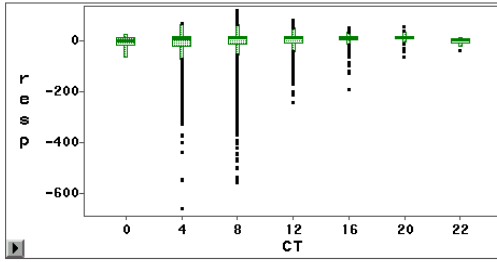
Propriedades estatísticas do modelo:



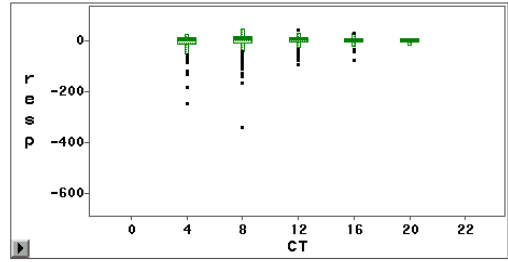
Caracterização do erro do modelo:



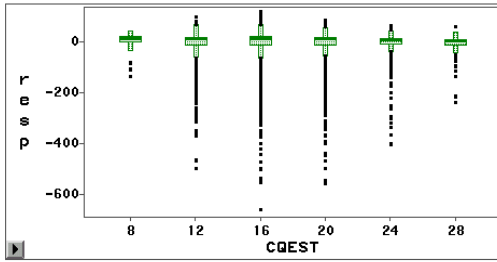
ROT = 0



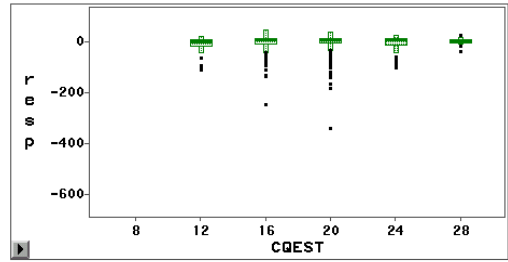
ROT = 1



ROT = 0



ROT = 1



ANEXO 5

Ajustamento do modelo da predição de biomassas

RTC-GIMREF nº 1/2001 - O modelo GLOBULUS 2.1

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
ANO	729	80.5788752	6.5322230	70.0000000	91.0000000
AREA	729	933.0662551	516.1868537	432.0000000	2464.00
T	729	11.9143759	4.5354055	2.0000000	31.5800000
HDOM	729	22.2353498	6.0947855	6.3000000	36.5600000
DDOM	729	22.4762003	5.5014754	6.6000000	38.2800000
N	729	1193.34	503.7512954	481.0000000	2488.00
G	729	22.2121399	10.8386356	1.7700000	64.6200000
DG	729	15.6051578	4.3110371	4.5900000	26.5900000
WTOT	729	145.7284088	88.4275534	5.8300000	394.8700000
WTRONCO	729	130.9310700	83.2530092	2.9500000	342.9700000
WCOPA	729	14.7972016	7.2605776	2.3800000	68.3800000
A	729	43.9519860	0	43.9519860	43.9519860
K	729	0.0357080	0	0.0357080	0.0357080
LN1	729	-1.1382244	0.3465081	-2.6747288	-0.3912523
LN10	729	-1.2030283	0	-1.2030283	-1.2030283
Q	729	21.0274715	4.6177750	1.2953611	33.8857216

Non-Linear Least Squares Iterative Phase
Dependent Variable WTOT Method: Gauss-Newton

Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable WTOT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	21086664.680	3514444.113
Residual	723	87486.660	121.005
Uncorrected Total	729	21174151.341	
(Corrected Total)	728	5692546.648	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
AWO	0.009543588	0.00103004348	0.0075213212	0.0115658543
AWQ	-0.000253175	0.00002633223	-0.0003048722	-0.0002014769
BWO	1.139247993	0.02059038543	1.0988232463	1.1796727407
BWN	-0.042397164	0.00165114964	-0.0456388373	-0.0391554904
BWT	-0.011507174	0.00027503986	-0.0120471546	-0.0109671926
CW	2.404310807	0.04432152375	2.3172951268	2.4913264872

RTC-GIMREF nº 1/2001 - O modelo GLOBULUS 2.1

Non-Linear Least Squares Iterative Phase Dependent Variable Y Method: Gauss-Newton

Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	564.36575940	94.06095990
Residual	1452	0.20373696	0.00014031
Uncorrected Total	1458	564.56949636	
(Corrected Total)	1457	200.06949636	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
AWTO	0.2019167735	0.00212233380	0.19775353308	0.20608001391
BWTO	0.1612511749	0.00263173620	0.15608867386	0.16641367601
BWTN	0.0046114126	0.00027233291	0.00407719533	0.00514562989
BWTT	-.0037368911	0.00004136478	-.00381803357	-.00365574854
BWTQ	-.0035471014	0.00004916613	-.00364354731	-.00345065547
CWTO	0.4301107905	0.00508591019	0.42013410027	0.44008748068