

O Potencial do Pinheiro Bravo (*Pinus pinaster* Ait.) para a Produção de Peças Sólidas de Madeira de Cerne

Isabel Pinto¹, Arto Usenius¹ e Helena Pereira²

¹ VTT Technical Research Centre of Finland - Building and Transport, P.O. Box 1806, 02044 VTT (Finland).

² Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, 1349-017 LISBOA, Portugal,

Resumo. Os produtos de madeira de cerne têm durabilidade natural e constituem por isso uma alternativa ecológica ao uso de preservação química, contribuindo para o aumento da sua competitividade em relação a materiais concorrentes. O estudo do desenvolvimento de cerne na árvore permite a exploração do potencial para a produção de peças serradas desta zona. No presente trabalho o estudo do cerne no pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) foi desenvolvido com base em modelos de reconstrução tridimensional do tronco que foram posteriormente utilizados para avaliar os rendimentos potenciais em serração de produtos de cerne utilizando sistemas de simulação de serração.

O estudo foi baseado numa amostragem de 35 árvores seleccionadas aleatoriamente em 4 estações em Portugal. A reconstrução matemática do tronco foi feita com base na análise de imagens obtidas pelo varrimento visual de superfícies longitudinais de tábuas. A reconstrução do volume de cerne baseou-se na sua identificação visual nestas imagens. Este foi integrado no modelo 3D anteriormente desenvolvido para a representação da geometria do tronco e nós internos. Os troncos 3D constituem a matéria prima para o programa de simulação de serração com os quais foi estudado o impacto das características da matéria prima e produtos finais nos rendimentos em peças de cerne.

A evolução do diâmetro de cerne com a altura da árvore apresenta dois padrões distintos: seguindo o perfil do tronco, ou apresentando um máximo a cerca de 3,8 m de altura, em média. O cerne representa 17% do volume de 50% da altura em árvores com 83 anos, enquanto que em árvores mais jovens (42-55 anos) esta proporção é de cerca de 12-13%. O diâmetro mínimo do topo do toro para a produção de produtos de cerne é de 350 mm (100 mm de diâmetro de cerne). Os maiores rendimentos em produtos de cerne (13% do volume total do toro) foram encontrados nos toros com origem entre 3 e 9 m da altura do tronco, de árvores com 83 anos.

A integração do cerne no modelo 3D do tronco forneceu uma descrição rigorosa do seu desenvolvimento na árvore. Demonstrou-se que existe potencial para a produção de produtos de cerne de pinheiro bravo desde que se desenvolvam esforços na selecção da qualidade da matéria prima e na selecção dos produtos serrados. Esta produção de produtos de cerne terá sempre de ser integrada com os restantes produtos serrados do borne.

Palavras chave: cerne, *Pinus pinaster* Ait., pinheiro bravo, modelos do tronco, simulação da serração

INTRODUÇÃO

No xilema da maioria das espécies lenhosas existem duas zonas diferentes: o cerne, zona mais interior e o borne, zona mais exterior. Estas duas zonas são histologicamente semelhantes mas fisiologicamente diferentes.

O desenvolvimento de cerne e a sua quantidade variam, dentro da árvore e entre árvores, com a espécie, genética e condições de crescimento. Revisões dos principais estudos sobre os mecanismos de formação do cerne e factores que a afectam foram publicadas por Taylor et al. (2002), Hillis (1987) e Bamber and Fukazawa (1985)

Produtos de madeira de cerne ou de borne apresentam características diferentes quanto a cor, densidade, teor de humidade, composição química e propriedades como a durabilidade natural e susceptibilidade para tratamentos químicos. Os volumes de borne e cerne presentes na matéria prima para conversão têm assim diferentes impactos na utilização da madeira. Para a produção de pastas químicas para papel os extractivos presentes no cerne são uma desvantagem para o processo e as propriedades dos produtos finais. Na conversão em produtos sólidos de madeira as quantidades destas duas zonas afectam operações como a secagem, adesão a colas e revestimentos e também valores qualitativos como a estética do producto e preocupações ecológicas. Os produtos de madeira de cerne têm durabilidade natural e constituem por isso uma alternativa ecológica ao uso de preservação química. Por outro lado, quando existe uma acentuada diferença de cor entre o borne e o cerne, como é o caso da madeira de Pinheiro bravo, é também importante uma separação dos componentes serrados com base nestas diferenças. O interesse em produtos de cerne tem vindo a crescer e alguns produtos, como componentes para soalhos/parquet e para janelas, têm sido comercializados com sucesso. A possibilidade da aplicação de técnicas de reconstrução e colagem (por exemplo finger joint) para eliminação de defeitos e heterogenidade do material aumenta a competitividade destes produtos em relação a materiais concorrentes. O estudo do desenvolvimento do cerne na árvore permite assim a exploração do potencial para a produção de peças serradas desta zona

A aplicação de técnicas de reconstrução virtual de troncos permite a obtenção de modelos tridimensionais da matéria prima e suas características externas, tais como a forma do tronco, e internas como os nós e também o volume de cerne. Estes troncos virtuais são a base de estudo para as características da matéria prima e são posteriormente usados como input em programas de simulação da conversão. Nos últimos anos vários sistemas de simulação têm sido desenvolvidos dentro da cadeia de conversão da madeira (Usenius 1999, Schmoldt et al. 1996, Todoroki 1996, Leban and Duchanois 1990, Hallock et al. 1978). Estes programas permitem uma optimização da produção através de ligações entre as propriedades da matéria prima e do producto final e destas ao planeamento industrial.

No presente trabalho o estudo do cerne no Pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) foi desenvolvido com base em modelos de reconstrução tridimensional do tronco que foram posteriormente utilizados para avaliar os rendimentos potenciais em serração de produtos de cerne utilizando sistemas de simulação de serração. Para isso adaptaram-se a esta espécie alguns dos módulos (reconstrução virtual dos troncos, toragem e simulação de serração) do sistema integrado de optimização da cadeia de conversão WoodCIM[®], desenvolvido no VTT - Technical Research Center of Finland (Forestec 2005, figura 1). Este programa tem sido desenvolvido nos últimos 20 anos pelo VTT e é composto de módulos de apoio ao planeamento da produção, de aplicação industrial directa e também de módulos de investigação científica e apoio a consultadoria. A introdução do volume de cerne nos modelos da matéria prima e como parâmetro de classificação da qualidade dos produtos finais constitui de momento uma nova característica em desenvolvimento no programa.

Os resultados aqui apresentados são um resumo de estudos mais aprofundados sobre o desenvolvimento de cerne no Pinheiro bravo e seu potencial para produtos serrados, que poderão ser encontrados em Pinto et al (2003 e 2005).

Error!

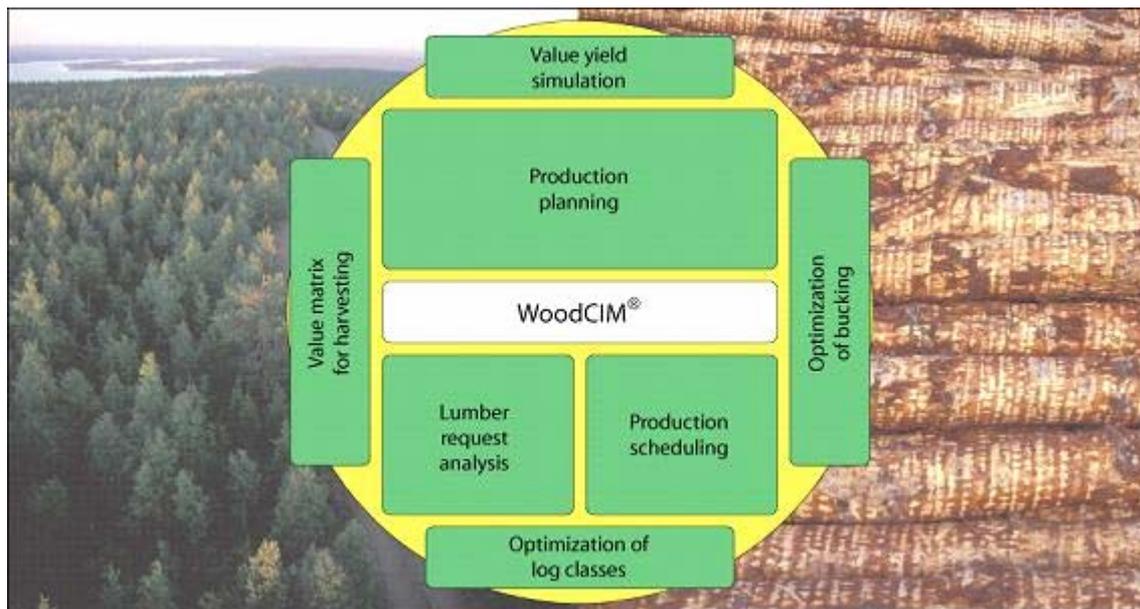


Figura 1: WoodCIM[®], sistema integrado de optimização da cadeia de conversão da madeira (Forestec 2005)

MATERIAL E MÉTODOS

Modelos de troncos e toros virtuais representando a sua forma externa, os nós internos e o cerne foram desenvolvidos para o Pinheiro bravo (Pinto et al. 2003, Pinto et al. 2004). Estes troncos virtuais foram depois torados com diferentes comprimentos e utilizados como matéria prima para serração nos módulos WoodCIM[®] de simulação da toragem e da conversão. Estes foram previamente adaptados a esta espécie (Pinto et al. 2002). Os dados sobre os produtos serrados foram fornecidos pela indústria para dois grupos: components para painéis e para janelas.

Reconstrução tridimensional do tronco

O estudo foi baseado numa amostragem de 35 árvores seleccionadas aleatoriamente em 4 estações em Portugal: 20 em Leiria (S1) e 5 em Mação (S2), Alpiarça (S3) e Marco de

Canaveses (S4). O estudo do desenvolvimento do borne e cerne teve como base as 35 árvores amostradas. No entanto, a amostra de S2 não apresentou volume de cerne suficiente para ser serrado pelo que foi eliminada do estudo da simulação de serração. Dados relativos á estação, povoamento e biometria das árvores encontram-se pormenorizados em Pinto (2004). As árvores de Leiria tinham 83 anos de idade e um DAP médio de 47,8 cm. Nas outras estações, a idade das árvores variava entre 42 e 55 anos e tinham um DAP médio entre 38,9 e 42,7 cm. Os troncos amostrados foram convertidos em toros e estes em tábuas serradas perpendicularmente a uma linha na direção Norte-Sul (registados antes do abate da árvore). A reconstrução matemática do tronco foi feita com base na análise de imagens obtidas pelo varrimento visual de superfícies longitudinais das tábuas (Song 1998). A reconstrução do volume de cerne baseou-se na sua identificação visual nestas imagens. Através do programa de análise de imagem Puupilot são registadas na superfície serrada as coordenadas da medula, da bordadura da tábua e do cerne, e todos os defeitos (nós, inclusões de casca, bolsas de resina, etc). Todas as tábuas, e respectivas coordenadas, pertencentes a um mesmo toro são então ordenadas matematicamente com a ajuda da linha de referência N-S que fornece a terceira coordenada. A figura 2 mostra um exemplo das representações 3D e 2D para um toro de Pinheiro bravo. Os troncos 3D constituem a matéria prima para o programa de simulação de serração com os quais foi estudado o impacto das características da matéria prima e produtos finais nos rendimentos em peças de cerne.

Simulação da toragem e serração

O programa de simulação pode usar como matéria prima input o tronco/toro virtual bem como apenas o volume de cerne. Isto é possível porque foram usados os mesmos algoritmos de reconstrução para a forma do tronco e do cerne (Pinto et al. 2004). O volume de cerne pode ser serrado independente do toro obtendo-se assim os rendimentos e distribuição de qualidade dos produtos serrados desta zona do xilema. Permitindo valores de descaio nas especificações dos produtos finais, é possível obter componentes serrados inteiramente de cerne, bem como peças com apenas uma face nesta zona estando o restante incluído no borne (Figura 3). Os componentes serrados contendo cerne serão aqui referidos como "produtos de cerne".

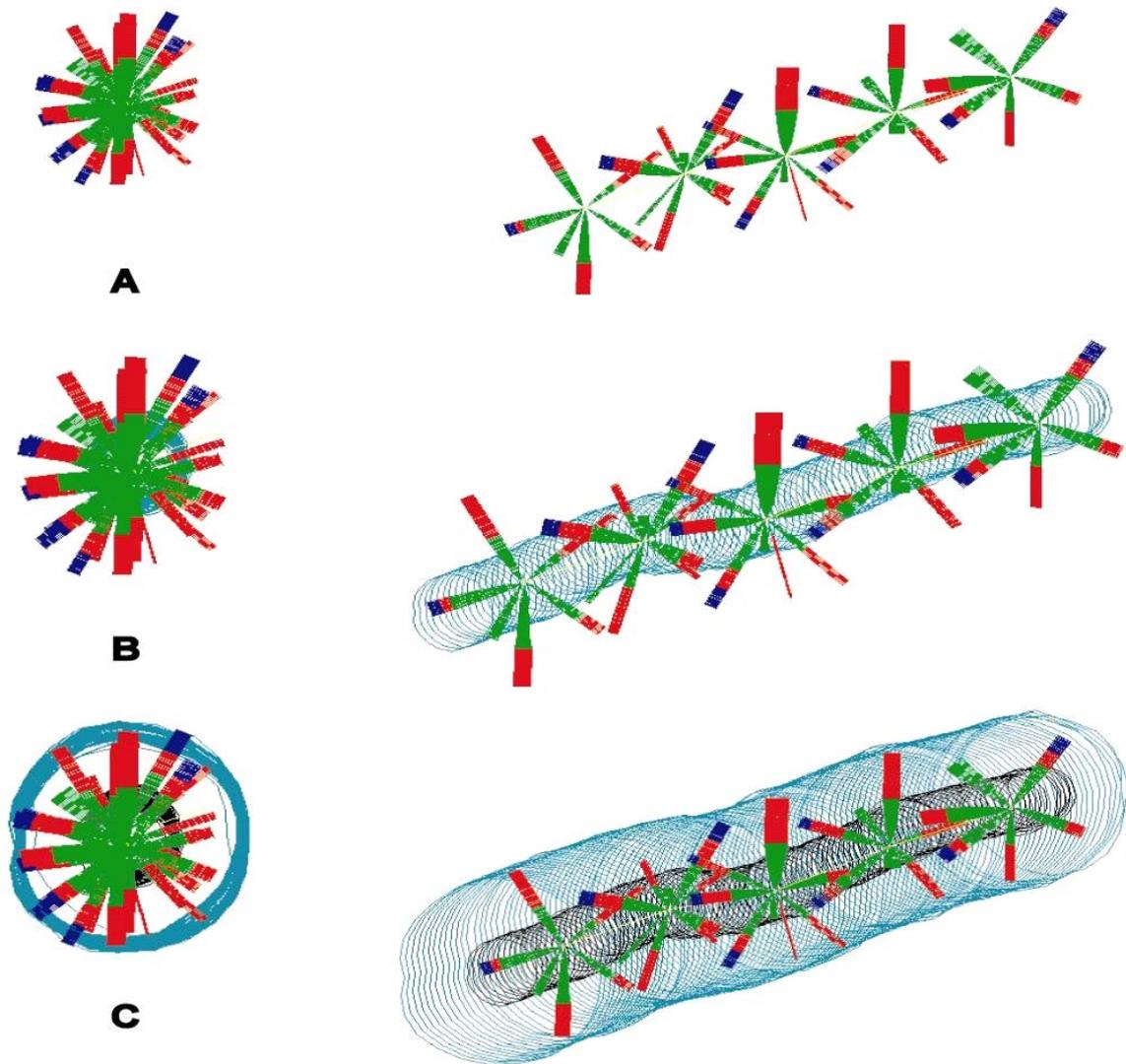


Figura 2: Reconstrução matemática de um toro de Pinheiro bravo mostrando a 2 e 3 dimensões: a arquitectura interna dos nós (A), estes e o volume de cerne (B), e o modelo completo com a geometria do toro (C).

O programa calcula os rendimentos (em valor e em volume) em produtos serrados usando diferentes condições iniciais e escolhendo, para cada toro, a melhor combinação de padrão de serração, dimensões e qualidades do producto final. Como parâmetros input são incluídas as dimensões (verde e nominal) dos produtos finais a serrar, as especificações de qualidade para cada face destes produtos, o seu preço, bem como preços de serradura e estilha a a espessura da serra. Os resultados são obtidos para um toro individual ou para todo o conjunto de toros serrados.

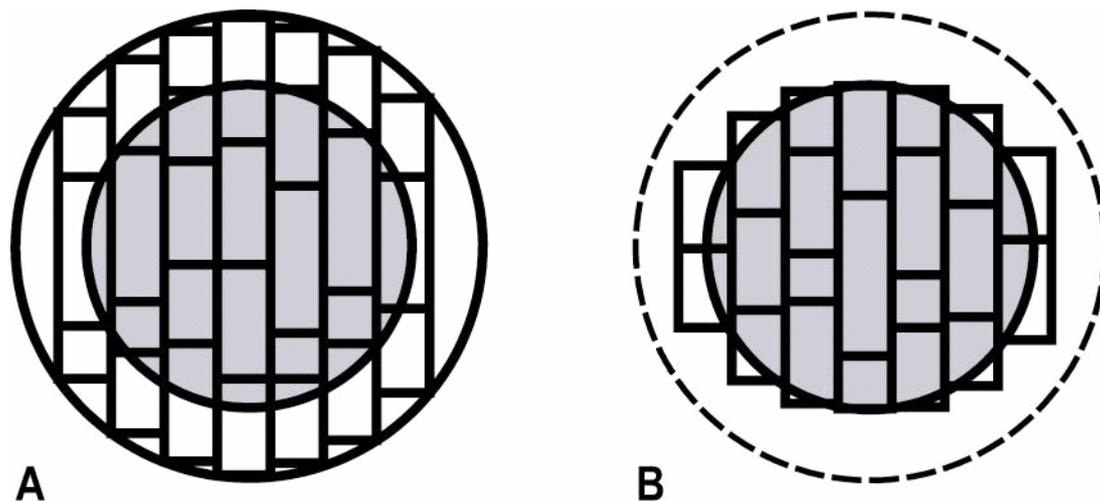


Figura 3: Representação esquemática da simulação da serração de todo o toro (A) e do volume de cerne (B).

No presente estudo os troncos virtuais de Pinheiro bravo foram torados com comprimentos de 2, 3, 4 e 5 m. Os toros foram agrupados, pelo diâmetro de topo, em 9 classes de 50 mm de amplitude. As operações de serração foram simuladas para o volume de toro e para o volume de cerne. Os rendimentos obtidos serão referidos como: rendimento total do toro (Y), rendimento de produtos de cerne no toro (Ylog) e no volume de cerne (Yhtw). Foram considerados dois tipos de produtos finais para serrar: componentes para painéis e para janelas. As suas especificações de dimensões e qualidades foram fornecidas pela indústria Portuguesa. Para os componentes de cerne foi permitido descaio em 95% da espessura e em 100% da largura e comprimento. O mesmo preço foi definido para todos os produtos visto que o objectivo aqui era comparar rendimentos em volume.

Os resultados das simulações da produção de componentes para painéis foram analisados de forma a estudar o impacto das características da matéria prima no rendimento em produtos finais de cerne. Para o estudo da influência das especificações dos produtos finais foi simulada a serração de uma sub-amostra (30 toros de S1, 3m de comprimento, cortados entre 3 e 9 m da altura da árvore) para a produção de componentes para janelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento do volume de cerne na árvore

O cerne aumenta com a idade da árvore e em vários estudos têm mostrado que após determinada idade de iniciação esta zona do xilema forma-se a uma taxa de transformação constante (Hazenberg and Yang 1991; Wilkes 1991; Sellin 1994; Bjorklung 1999; Gjerdrum 2002). Neste estudo, através da análise dos anéis de crescimento incluídos nesta zona a idade de formação do cerne para o Pinheiro bravo foi estimada em 13 anos, com uma taxa de transformação do borne em cerne de 0,5 e 0,7 anéis por ano para árvores com, respectivamente, idades inferiores ou superiores a 55 anos.

Ao adicionar o volume de cerne ao módulo de reconstrução de troncos do WoodCIM[®], criou-se um modelo 3D que permite uma visualização clara de todo o tronco, seus nós internos e cerne (Figura 2). Este modelo permite gerar dados sobre o volume, distribuição e desenvolvimento de cerne em todo o tronco reconstruído.

A variabilidade registada para os conteúdos de cerne foi elevada quer entre árvores, bem como entre povoamento, ao contrário do borne onde foi registado uma menor variabilidade

entre árvores no mesmo povoamento. O cerne representa 17% do volume de 50% da altura em árvores com 83 anos, enquanto que em árvores mais jovens (42-55 anos) esta proporção é de cerca de 12-13%. A evolução do diâmetro de cerne com a altura da árvore apresenta dois padrões distintos: ou seguindo o perfil do tronco, ou apresentando um máximo a cerca de 3,8 m de altura, em média (Figura 4). Esta tendência tem sido registada por diversos autores para espécies do género *pinus* (Wilkes 1991, Björklund 1999, Mörling and Valinger 1999, Stokes and Berthier 2000; Esteves 2000; Berthier et al. 2001; Ezquerro and Gil 2001; Ferreira 2002 e Climent et al. 2003). Climent et al. (2003) registou a ocorrência destes dois padrões para o *Pinus canariensis* e classificou-os em "padrão uniforme" e "padrão irregular", respectivamente.

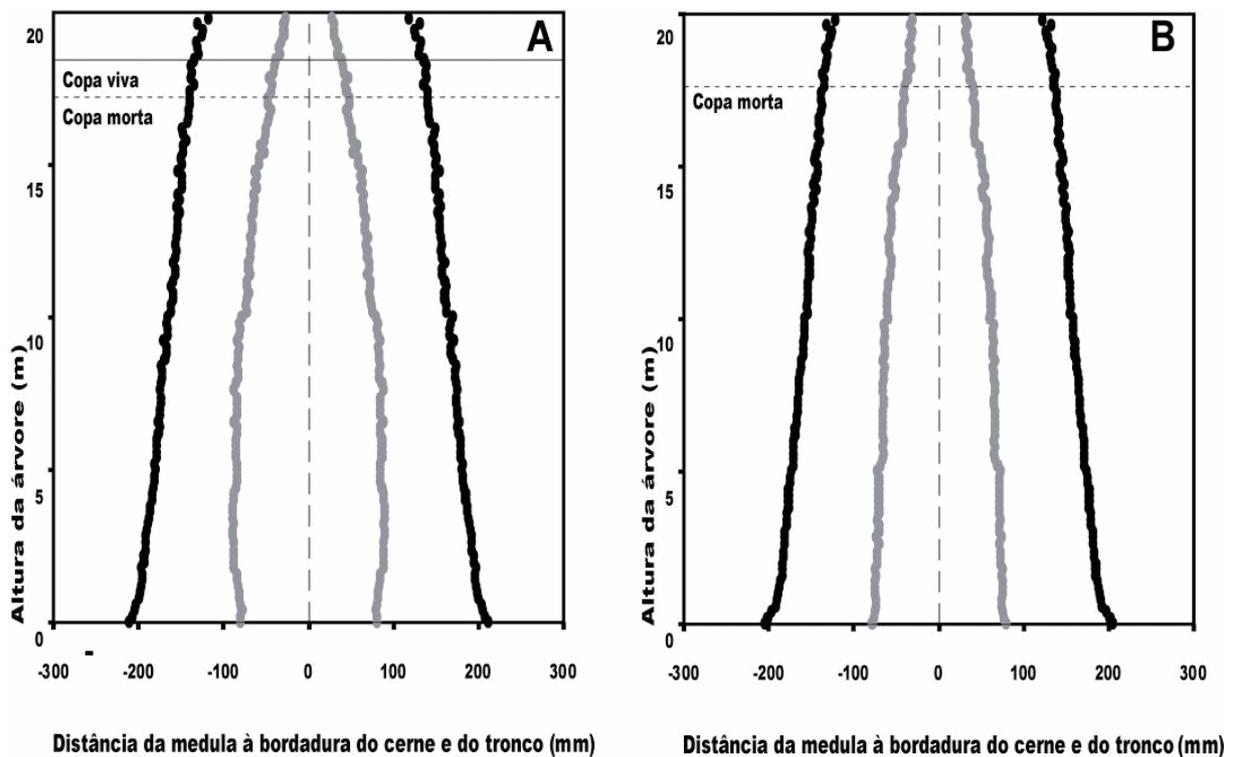


Figura 4: Perfis do tronco e do cerne, para duas árvores mostrando os dois padrões de variação da distribuição longitudinal de cerne: (a) cerne com um máximo de diâmetro a um determinado nível de altura; e (b) diâmetro de cerne que decrescer ao longo do tronco.

Estudo do potencial para a produção de produtos de cerne

A simulação da serração do volume de cerne feita neste estudo é um conceito virtual. Numa situação industrial o processo seria o de serrar todo o toro e posteriormente o de seleccionar as peças em função dos conteúdos em borne/cerne. Para uma análise em termos económicos, todo este conjunto teria de ser contabilizado dado que são obtidos produtos de borne juntamente com os de cerne. Estas diferenças têm de estar presentes na análise dos rendimentos de serração aqui obtidos. No entanto, não afectam o estudo do impacto das

características da matéria prima e dos produtos finais nos rendimentos em serração. Com base neste trabalho está neste momento a ser desenvolvido um novo módulo para o programa WoodCIM[®], incluindo o cerne como variável na serração. Em trabalhos futuros as questões aqui expostas poderão ser analisadas em mais detalhe e numa simulação mais próxima da realidade.

Os produtos estudados neste trabalho, componentes para a fabricação de painéis e de janelas, foram escolhidos com base no potencial de aumentarem o seu valor e quota de mercado caso sejam fabricados com madeira de cerne. As propriedades do cerne permitem o aumento da durabilidade natural destes produtos bem como uma maior estabilidade dimensional e valor estético para o consumidor. Em particular, no caso das janelas, expostas ao exterior, uma melhoria da sua durabilidade e estabilidade é necessária para recuperar a perda de mercado, principalmente em favorecimento das janelas de PVC, que se tem registado nos últimos anos (Eastin et al, 2001).

Neste estudo, as simulações mostraram que os rendimentos em produtos de cerne poderão ir até aos 13% e 16% do volume do toro, respectivamente para componentes para painéis e janelas. Estes rendimentos variaram muito em função das características dos toros tais como a sua dimensão, posição original na árvore e também em função das variáveis do cerne. Assim, os rendimentos de toros individuais mostraram grandes variações mesmo quando agrupados em classes de diâmetro. Para as maiores classes de diâmetro (>350 mm) o rendimento em produtos de cerne, para o conjunto dos toros, esteve entre 7-8%. Na simulação da serragem de componentes para painéis, rendimentos em produtos de cerne superiores a 10% ocorreram apenas para toros do povoamento S1 (mata de Leiria). Isto sublinha a importância de se criar uma selecção especial de matéria prima quando os objectivos forem a produção de produtos de cerne.

As variáveis que mais influenciaram os rendimentos de serração foram o diâmetro do topo do toro e correspondente diâmetro de cerne, e a posição do toro na árvore. Os maiores rendimentos em produtos de cerne (13% do volume total do toro) foram encontrados nos toros com origem entre 3 e 9 m da altura do tronco, de árvores com 83 anos (S1). A influência do comprimento (de 2 a 5 m) do toro foi mínima quando não se impuseram restrições de qualidade nos produtos finais. Este resultado é uma consequência do conjunto das especificações dos produtos finais cuja serração foi simulada, visto que foi permitido serrar uma grande quantidade de comprimentos.

O diâmetro mínimo do topo do toro para a produção de produtos de cerne é de 350 mm (100 mm de diâmetro de cerne, figura 5). Apesar de este diâmetro ter resultado como a variável de maior influência nos rendimentos em produtos de cerne, a selecção de matéria prima para a produção destes produtos não deve ser baseada apenas neste critério. Há que considerar também as influências do diâmetro de cerne e da posição na árvore. Assim, uma classificação de toros em que o objectivo será maximizar os rendimentos em produtos de cerne terá de se basear num bom sistema para a detecção de cerne, como por exemplo raio-x (Oja et al. 2001, Grundberg 1999). No entanto também será possível a adaptação dos sistemas tradicionais de classificação de toros através da medição dos diâmetros dos toros e de cerne. Os diâmetros de toros são usualmente medidos através de sistemas de scan óptico e o diâmetro de cerne poderá ser detectado com, por exemplo, um sistema de infra-vermelhos (Gjerdrum, 2002).

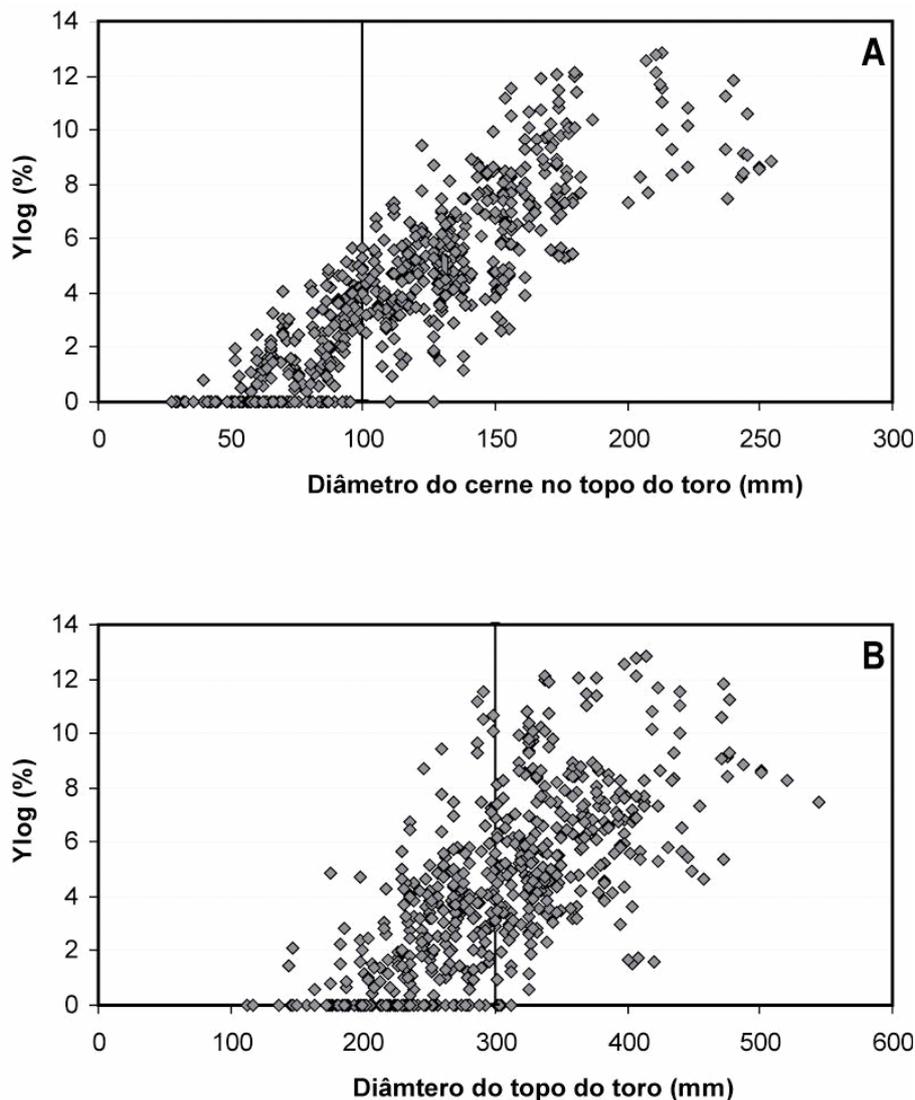


Figura 5: Rendimento em produtos de cerne para a produção de painéis em função do diâmetro do cerne no topo do toro (a) e do diâmetro do topo do toro (b).

Num segundo conjunto de simulações foi estudada a influência dos atributos dos produtos finais de cerne no rendimento em serração. Foram obtidos rendimentos mais elevados para os componentes de menores dimensões visto que estas se ajustam melhor às dimensões reduzidas do cerne nos toros. No entanto, foram as especificações de qualidade, relativamente à presença e características dos nós, que mais influenciaram os rendimentos finais em produtos de cerne e também o conjunto das dimensões finais obtidas. Os rendimentos são drasticamente reduzidos com o aumento da exigência do número de faces do produto limpas de defeitos. A produção de componentes de cerne limpos de defeitos é possível mas neste caso 38% dos componentes apresentaram as menores dimensões de largura e comprimento especificadas (75 e 400 mm respectivamente, figura 6). Estes resultados são uma consequência da arquitectura interna dos nós do Pinheiro bravo. Um estudo sobre os conteúdos em nós nas árvores de S1 (Pinto et al., 2003) indicou que o núcleo enodado varia de 28% do raio do tronco na sua base até 83% a 70% da altura total da árvore. Para as mesmas árvores a proporção de cerne varia de 34% do diâmetro do tronco na sua base até 24% no topo. Assim, a maioria do volume de cerne está incluído no volume do núcleo

enodado e por isso a proporção de componentes limpos de defeitos está, principalmente, dependente do comprimento dos entrenós.

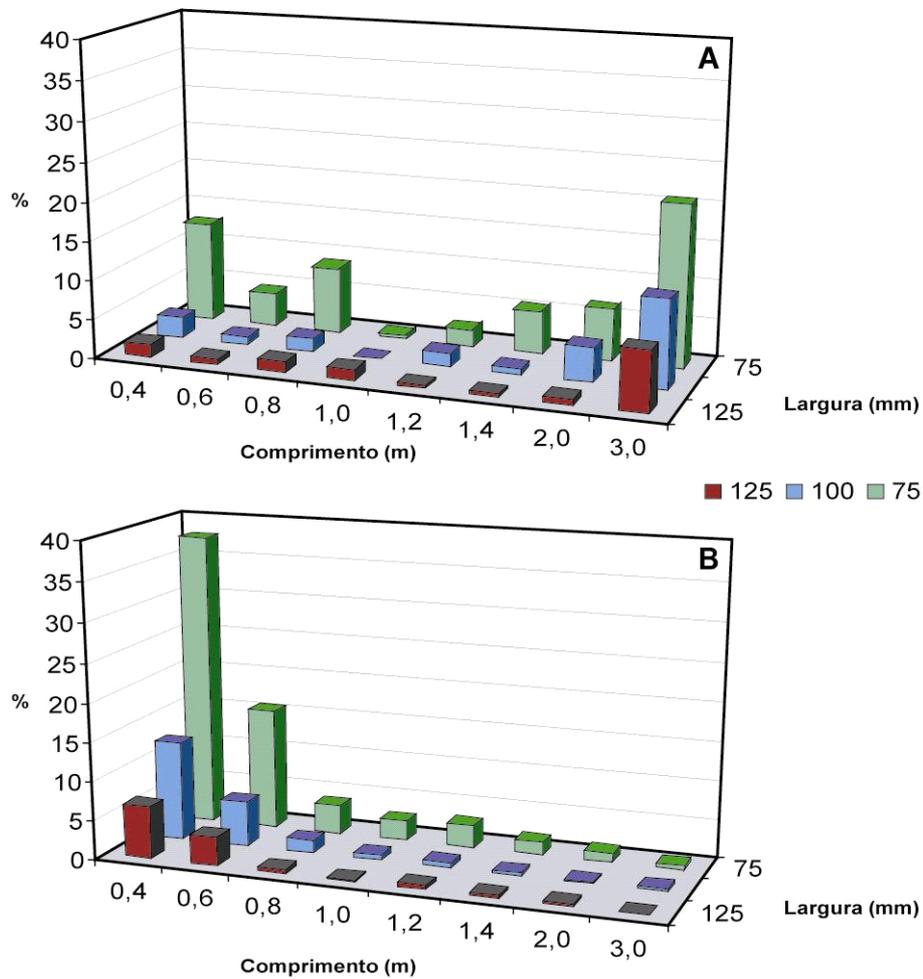


Figura 6: Frequência das dimensões dos produtos de cerne (comprimento e largura) quando serrados sem restrições de qualidade relativamente à presença de nós (A) e no caso dos nós não serem permitidos em nenhuma das faces do produto (B).

CONCLUSÕES

A integração do cerne no modelo 3D do tronco forneceu uma descrição rigorosa do seu desenvolvimento na árvore. Demonstrou-se que existe potencial para a produção de produtos de cerne de pinheiro bravo desde que se desenvolvam esforços na selecção da qualidade da matéria prima e na selecção dos produtos serrados. Esta produção de produtos de cerne terá sempre de ser integrada com os restantes produtos serrados do borne.

REFERÊNCIAS

- Bamber R.K. and Fukazawa K** (1985). Sapwood and heartwood: a review. *For. Abstr.* 46(9):567-580
- Berthier S, Kokutse Ad and Stokes A** (2001). Irregular heartwood formation in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.): consequences for biomechanical and hydraulic tree functioning. *Ann. Bot.* 87:10-25
- Björklund, L** (1999) Identifying heartwood-rich stands or stems of *Pinus sylvestris* by using inventory data. *Silva Fenn.* 33 (2), 119-129.
- Climent J, Chambel M.R., Gil L and Pardos J.A.** (2003). Vertical heartwood variation patterns and prediction of heartwood volume in *Pinus canariensis* SM. *For. Ecol. Manage* 174: 203-211
- Eastin, I.L., S.R. Shook and Fleishman S.J.** (2001). Material substitution in the US residential construction industry, 1994 versus 1998. *Forest Prod. J.*, 51(9), 30-37.
- Esteves B** (2000) Influência do cerne na composição química e na deslenhificação para o Pinheiro (*Pinus pinaster* Ait.). Masters degree thesis. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa pp 88
- Ezquerria F and Gil L** (2001) Wood anatomy and stress distribution in the stem of *Pinus pinaster* Ait. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 10 (1), 165-209.
- Ferreira S K S** (2002) Análise de rendimentos mássicos da indústria de serração do pinheiro bravo. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia
- FORESTEC** (2005). VTT helps companies to improve their competitiveness. Ed Publico Ltd. Helsinki
- Gjerdrum P** (2002) Sawlog quality of nordic softwood - measurable properties and quantitative models for heartwood, spiral grain and log geometry. Doctoral thesis. Dept. of Forest Sciences, Agri. Univ. of Norway, Ås, pp21
- Grundberg, S.** (1999). An X-ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process. Doctoral thesis. Division of Wood Technology, Luleå Univ. Techn., pp30
- Hallock, H., A.R. Stern and Lewis D.W.** (1978). Is there a "best" sawing method?. Res. Pap. FPL-280. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab. 11 pp.
- Hazenberg G and Yang K C** (1991) The relationship of tree age with sapwood and heartwood width in black spruce, *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. *Holzforschung* 45: 417 - 320
- Hillis, W E** (1987) Heartwood and tree exudates. Berlin: Springer Verlag. pp 268
- Leban, J.M. and Duchanois G.** (1990). SIMQUA: A simulation software for wood quality. *Annales des Sciences Forestiere* (47):483-493.
- Mörling T and Valinger E** (1999). Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots pine. *Scand. J. For. Res.* 14: 462-469
- Oja, J., Grundberg, S. and Grönlund, A.** (2001). Predicting the stiffness of sawn products by X-ray scanning of Norway spruce saw logs. *Scand. J. For. Res.* 16: 88-96.
- Pinto, I.** (2004). Raw material characteristics of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) and their influence on simulated sawing yield. Doctoral thesis. Espoo VTT Publications 533. 51p. + 69p.

- Pinto I, H. Pereira and Usenius A. (2002).** Sawing simulation of *Pinus pinaster* Ait. in Proceedings of Fourth workshop in "Connection between Silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares". British Columbia. Ed. G. Nepveu, INRA, Nancy.
- Pinto I, H. Pereira and Usenius A. (2003).** Analysis of log shape and internal knots in twenty maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems based on visual scanning and computer aided reconstruction. *Ann. For. Sci.* 60: 137 - 144
- Pinto I, H. Pereira and Usenius A. (2004).** Heartwood and Sapwood development in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) stems. *Trees, in press.*
- Pinto, I., A. Usenius, T. Song, and Pereira H. (2005).** Sawing simulation of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) stems for production of heartwood containing components. *Forest Prod. J.* 55(4):88-96.
- Schmoldt D., P. Li and Araman P. (1996).** Interactive simulation of hardwood log veneer slicing using CT images. *Forest Prod. J.* 46(4):41-47.
- Sellin A (1994).** Sapwood-heartwood proportion related to tree diameter, age, and growth rate in *Picea abies*. *Can. J. Bot.* 51, 737-741
- Song T (1998)** Tree stem construction model for "Improved spruce timber utilisation" project. VTTs Building Technology internal report. Helsinki pp 20
- Stokes A and Berthier S (2000)** Irregular heartwood formation in *Pinus pinaster* Ait. is related to eccentric, radial, stem growth. *For. Ecol. Manage.* 135: 115-121
- Taylor A M, Gartner B L and Morrell J J (2002)** Heartwood formation and natural durability - a review. *Wood Fiber Sci.* 34(4): 587-611
- Todoroki, C.L. (1996).** Developments of the sawing simulation software AUTOSAW - linking wood properties, sawing and lumber end-use. In: Proceedings of the Second Workshop on Connection Between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares, South Africa, Ed. G. Nepveu, INRA, Nancy, pp 241-247
- Usenius A (1999)** Wood conversion chain optimisation. in Proceedings of Third workshop in "Connection between Silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares". La Londe-Les-Maures. Ed. G. Nepveu, INRA, Nancy, pp 542-548.
- Wilkes J (1991)** Heartwood development and its relationship to growth in *Pinus radiata*. *Wood Sci. Technol.* 25, 85-90