

# UTILIZAÇÃO DA MICRODENSITOMETRIA POR RAIOS-X NA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA MADEIRA DE CHOUPO (*POPULUS X EURAMERICANA.CVI.214*)

Maria Emília C.M. Silva; José Luis P.C. Louzada  
UTAD, Dep. Florestal, Quinta dos Prados 5000 911 Vila Real - Portugal

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es explorar la posibilidad de utilizar la microdensitometria por rayos-x, para evaluar la calidad de la madera de *Populus híbrido* I.214, procurando estudiar fundamentalmente, cual será la orientación mejor de la radiación, en las muestras radiales de la madera y, relativamente al microdensitómetro cual la anchura de abertura de lectura a utilizar.

Com este fin, fueron efectuadas radiografías a 4 muestras de esta especie, 2 en sentido axial y 2 en sentido tangencial. Cada una de estas fué posteriormente leída com aberturas de lectura variables, a 50 $\mu$ , 100 $\mu$  y 200 $\mu$ , que corresponden a 20, 10 y 5 lecturas/mm, respectivamente.

Com base en los resultados de este trabajo concluimos que, la abertura de lectura del microdensitómetro más ajustada a la madera de *Populus híbrido* I.214, es la de 100 $\mu$ , en la medida de que fornece valores de densidad muy similares a los de 50 $\mu$ , con la ventaja de ser la lectura de la radiografía mucho mas rápida. La abertura de 200 $\mu$  resultó excesiva, provocando una homogenización de los valores de densidad. Relativamente a la orientación de la radiación, la tangencial parece ser, en principio, la más indicada, aunque una conclusión definitiva sólo podrá ser tomada después de realizar un mayor número de muestras.

**PALABRAS CLAVE:** Microdensitometria, Rayos-x, Madera, *Populus híbrido* I.214

## SUMMARY

The main objective of this work is to analyse the possibility in using the microdensitometry by ray-x in order to evaluate qualitatively the wood of the hybrid *Populus* I.214, fundamentally, to study which the best orientation of the radiation in the radial samples of wood and the slit width of the microdensitometric to be used.

Then 4 radial samples of this specie were x-rayed, two of then in the axial direction and the others in the tangential direction. Each radial samples was scanned with variable slit width of 50 $\mu$ , 100 $\mu$  and 200 $\mu$ , corresponding to 20, 10 and 5 step/mm, respectively.

Based on the results of this work we concluded, that the slit width of the microdensitometric which is more adjusted to the wood of hybrid *Populus* I.214 is 100 $\mu$ , because this one points out very identical density values to the 50 $\mu$  one, with the advantage of being much faster. The 200 $\mu$  slit is already too large, making an excessive homogenisation of the density values. Regarding to the orientation of the radiation, in beginning the tangential radiation seems to be better than the axial radiation, although a definitive conclusion can only be taken after new analyses with a larger number of samples.

**WORDS KEY:** Microdensitometry, Ray-x, Wood, hybrid *Populus* I.214

## INTRODUÇÃO

Existem poucos domínios no âmbito da ciência das madeiras que tenham mais interesse global para a qualidade da madeira do que a densidade. Esta, que para a maioria dos outros materiais corresponde a uma característica relativamente simples e constante definida pelo peso ou massa, por unidade de volume, assume, no caso particular da madeira, valores extremamente flutuantes já que pode variar, não só

duma espécie para outra numa proporção considerável, mas também na mesma espécie em função do local, da árvore, do nível de altura e da idade da árvore, das características do ano de formação do anel de crescimento e, mesmo dentro deste, da época da sua formação.

Todavia, apesar da enorme variabilidade dos valores da densidade da madeira, a densidade da matéria prima lenhosa (parede celular) tem um valor constante de 1.50 (SKAAR, 1984) ou de 1.53 (TSOUMIS & PASSIALIS, 1977). Desta forma, as diferenças de densidade verificadas não podem ser atribuídas a presumíveis diferenças na densidade da matéria prima lenhosa, mas sim à diferente proporção de parede/espacos vazios existente na madeira. Por este motivo é que para PANSKIN & DE ZEEUW (1970) "*a densidade da madeira não é mais do que a quantidade de matéria prima lenhosa presente num dado volume de madeira*".

Assim, pelo facto da densidade da madeira traduzir uma quantificação directa da matéria lenhosa por unidade de volume e de se encontrar intimamente relacionada com muitas das suas mais importantes propriedades e características tecnológicas, constitui o índice que mais informação fornece sobre as características gerais da madeira, qualquer que seja a sua utilização final (ZOBEL & VAN BUIJTENEN, 1989; FERNANDEZ-GOLFIN & DIEZ, 1994).

Os métodos tradicionais de determinação da densidade da madeira, baseados na razão entre peso e volume, estão condicionados, quase exclusivamente, a amostras de dimensão mensurável pelos processos normais. Quando estes são utilizados em amostras muito pequenas acarretam, para além duma excessiva morosidade, erros de avaliação consideráveis, nomeadamente do seu volume. Além disso, com o decorrer dos anos sentiu-se a necessidade de obter informação mais detalhada sobre a variação da densidade, não só entre os diferentes anéis de crescimento, mas também dentro dos anéis, nomeadamente sobre a densidade do lenho inicial (DLI) e final (DLF) e o tipo de transição entre eles.

Deste modo, desde a década de 60 que se têm desenvolvido vários métodos de determinação da densidade da madeira através de técnicas que recorrem à permeabilidade da madeira às radiações (POLGE, 1966; HUGHES & SARDINHA, 1975). Com estes métodos é possível estimar, para além da densidade média do anel (Dmed) e da percentagem de lenho final (%LF), outras componentes tais como a densidade mínima (Dmin), densidade máxima (Dmax), densidades do lenho inicial (DLI) e final (DLF), largura do anel (LA) e a heterogeneidade dentro dos anéis (IH), componentes estas muito importantes para o aprofundamento do conhecimento das potencialidades da madeira. Estas curvas de variação da densidade fornecem, ainda, "*uma síntese das transformações que ocorrem na estrutura anatómica da madeira, e que, por seu lado, interpretam a resposta da árvore a qualquer modificação no seu equilíbrio fisiológico*" (POLGE 1965).

O método por nós seguido recorre à utilização de raios-x. Esta técnica desenvolvida em França por POLGE (1966) e aperfeiçoada no Reino Unido por HUGHES & SARDINHA (1975), envolve basicamente duas etapas: a radiação com raios-x dos provetes de madeira por forma a obter-se uma imagem negativa dos mesmos impressa numa película de raios-x e; a leitura da densidade óptica dessa película por um microdensitómetro, que, por sua vez, será posteriormente correlacionada e convertida em densidade real da madeira. Uma descrição mais pormenorizada desta técnica pode ser consultada em LOUZADA (2000).

Como principais vantagens deste método podemos referir a elevada sensibilidade do fotomultiplicador do microdensitómetro, a excelente resolução (10 a 20 leituras/mm, em trabalhos normais, mas até 200 se necessário), a velocidade de processamento (3cm/min.), o facto de não ser muito limitativo em termos de espessura dos provetes (é perfeitamente compatível com provetes de 2mm de espessura, ou menos – permite a utilização de material proveniente de verrumadas de 5mm), para além de, sendo a película de raios-x um registo permanente das amostras de madeira, poderá voltar a ser lida quantas vezes for necessário. Porém, serão necessários alguns cuidados na regulação do microdensitómetro. O operador ao fixar os parâmetros, como por exemplo as dimensões da janela de leitura, pode influenciar significativamente o resultado das componentes da densidade, nomeadamente as densidades máxima e mínima dos anéis de crescimento.

Assim sendo, o principal objectivo deste trabalho será o de verificar a exequibilidade desta técnica na avaliação qualitativa da madeira de *Populus* híbrido I.214, tendo como principal objecto de estudo determinar qual a melhor orientação de radiação dos provetes e qual a largura da janela de leitura a utilizar. Nas resinosas, é prática corrente orientarem-se as amostras a radiografar de modo a que o feixe de radiação incida na madeira paralelamente ao eixo longitudinal dos traqueídeos (axialmente), na medida em que esta é a orientação que propicia melhor definição dos anéis de crescimento. No entanto, esta nem sempre tem sido a regra seguida para as folhosas. Dada a presença dos vasos (estruturas de grande dimensão e com densidade reduzida), a sua radiação axial pode provocar uma excessiva oscilação dos valores da densidade nos anéis (“ruído”) que se poderá repercutir, não só numa maior dificuldade na identificação dos limites dos anéis de crescimento, como também numa avaliação incorrecta de algumas componentes da densidade (SARDINHA, 1974). Neste caso, alguns autores aconselham que as amostras sejam radiografadas tangencialmente, por forma a tentar reduzir ao máximo o “ruído” provocado pela presença dos vasos.

Em relação à largura da janela de leitura, admitindo que a densidade da parede celular é constante e aproximadamente igual a  $1,5\text{g/cm}^3$  e que a densidade do lúmen é igual a  $0\text{g/cm}^3$ , a densidade da madeira num ponto infinitamente pequeno poderá ser de  $1,5\text{g/cm}^3$  ou de  $0\text{g/cm}^3$ , se esse ponto coincidir com a parede ou com o lúmen, respectivamente. Se a determinação da densidade não se restringir a um único ponto infinitamente pequeno, mas a uma porção de lenho mais abrangente que inclua simultaneamente parede e lúmen, então a densidade traduzirá a porção do volume da madeira que é ocupado por parede celular.

Deste modo, não convém utilizar janelas de leitura muito pequenas, senão, os valores de densidade assumem, no limite, o valor mínimo de  $0\text{g/cm}^3$  e máximo de  $1,5\text{g/cm}^3$ , dando um aspecto errático à variação da densidade (excessivas oscilações dos valores), para além de difundir o ruído de fundo devido, entre outros, ao grão do filme radiográfico. Com uma dimensão maior da janela, as variações da densidade são mais regulares e representam melhor o fenómeno físico.

É evidente que uma janela excessivamente grande, provoca uma excessiva homogeneização dos valores da densidade dentro dos anéis. Normalmente, as leituras no microdensitómetro são feitas com janelas de leitura de 0.10mm ou 0.20mm correspondendo a 10 ou 5 leituras/mm, respectivamente. Porém, atendendo a que a madeira de choupo apresenta reduzidíssimo lenho final (muitas vezes circunscrito a

apenas a 1 ou 2 fiadas de células), há o risco de que, utilizando janelas tão largas, a marcação do lenho final não seja suficientemente notória ao ponto de não só não permitir uma avaliação correcta da DLF como, inclusivamente, não permitir uma identificação fácil dos limites dos anéis de crescimento. Assim sendo, para além destas 2 janelas, testaremos uma 3ª com apenas 0.05mm (o que corresponde a 20 leituras/mm), por forma a determinar qual a que propicia melhores resultados.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi colhido ao nível do DAP e consistia em 4 provetes radiais (da medula ao câmbio), com uma espessura constante de 3mm, mas com diferente orientação. Dois orientados de modo a que o feixe de radiação atravessasse a madeira paralelamente ao eixo longitudinal dos traqueídeos (axialmente), e os outros dois tangencialmente (FIG. 1).

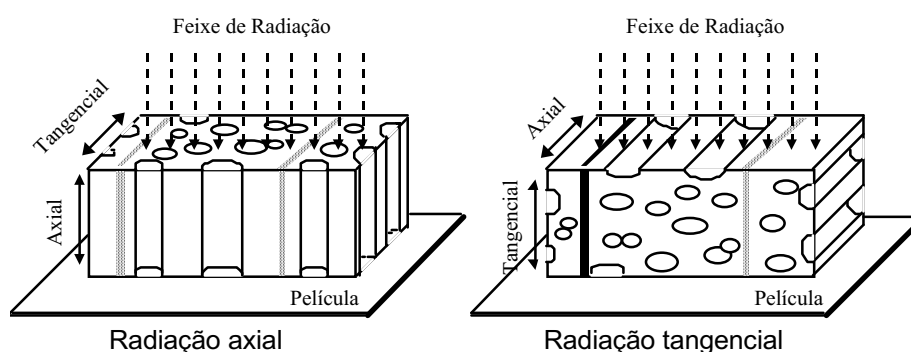


FIG 1 – Esquema da radiação dum provete de madeira de folhosa.

Estes provetes foram expostos a uma radiação de raios-x e a sua imagem foi lida por análise microdensitométrica, por forma a determinar as componentes da densidade segundo o processo descrito por LOUZADA (2000). Como critério de demarcação entre lenho inicial e final utilizou-se o valor fixo de densidade de  $0,450\text{g/cm}^3$  e a heterogeneidade dentro dos anéis quantificada por um índice (IH), proposto por FERRAND (1982), traduzido pelo desvio padrão de todos os valores individuais de densidade em cada anel.

Como um dos objectivos deste trabalho era estudar qual a dimensão da janela mais apropriada para a madeira de choupo, cada provete foi lido com uma largura da janela de 0.20mm, 0.10mm e 0.05 mm e com igual valor para o intervalo entre duas leituras, de modo a que todos os pontos do anel fossem medidos sem sobreposição das áreas de leitura.

As componentes da densidade estimadas para cada anel foram as seguintes:

DMED - Densidade média do anel de crescimento  
 DMAX - Densidade máxima do anel de crescimento  
 DLF - Densidade média do lenho final  
 LA - Largura do anel de crescimento

DMIN - Densidade mínima do anel de crescimento  
 DLI - Densidade média do lenho inicial  
 %LF - Percentagem de lenho final  
 IH - Índice de heterogeneidade do anel de crescimento

## RESULTADOS

### Largura janela leitura

Como os provetes foram radiografados várias vezes com diferentes valores de largura da janela de leitura (50 $\mu$ , 100 $\mu$  e 200 $\mu$ , a que correspondem 20, 10 e 5 leituras/mm, respectivamente), foi possível verificar qual a largura da janela mais apropriada para a estimativa das componentes da densidade desta madeira.

Dado o enorme volume de resultados obtidos, apenas serão apresentados alguns deles que traduzem, de certa forma, o comportamento geral de todos. Assim, a título de exemplo no QUADRO 1 estão representados os valores das componentes da densidade estimadas para os 4 anéis do provete 2, radiografado tangencialmente, no qual é notório que, embora em termos da DMED, %LF e LA os valores obtidos não são muito afectados pela maior ou menor largura da janela de leitura do microdensitómetro, o mesmo já não acontece com algumas das restantes componentes da densidade.

QUADRO 1 – Componentes da densidade dos 4 anéis do provete 2 obtidas a partir da película tangencial para as diferentes larguras da janela de leitura do microdensitómetro.

Largura janela	Anel	DMED (g/cm <sup>3</sup> )	DMIN (g/cm <sup>3</sup> )	DMAX (g/cm <sup>3</sup> )	DLI (g/cm <sup>3</sup> )	DLF (g/cm <sup>3</sup> )	%LF	LA (mm)	IH (g/cm <sup>3</sup> )
50 $\mu$ (20leit/mm)	1	0.356	0.302	0.497	0.354	0.474	1.53	16.3	0.034
	2	0.303	0.255	0.550	0.300	0.508	1.25	35.9	0.037
	3	0.297	0.226	0.608	0.284	0.508	5.47	16.5	0.064
	4	0.304	0.247	0.526	0.293	0.477	6.12	12.3	0.061
100 $\mu$ (10leit/mm)	1	0.358	0.301	0.481	0.355	0.469	1.84	16.3	0.034
	2	0.303	0.254	0.528	0.301	0.507	1.11	35.9	0.036
	3	0.296	0.223	0.616	0.284	0.506	5.45	16.5	0.064
	4	0.303	0.246	0.523	0.292	0.481	5.74	12.2	0.061
200 $\mu$ (5 leit/mm)	1	0.364	0.321	0.456	0.361	0.455	2.41	16.6	0.031
	2	0.308	0.260	0.490	0.306	0.473	1.12	35.8	0.033
	3	0.306	0.242	0.554	0.293	0.501	6.02	16.6	0.062
	4	0.307	0.257	0.484	0.299	0.468	4.92	12.2	0.055

As diferenças dos valores obtidos com as janelas de 50 $\mu$  e 100 $\mu$  não se mostaram muito pronunciadas, enquanto que relativamente à janela de 200 $\mu$  eles diferenciaram-se mais. De facto, utilizando a janela mais larga (200 $\mu$ ) verifica-se um substancial acréscimo dos valores das componentes do lenho inicial (DMIN e DLI) e uma diminuição das do lenho final (DMAX e DLF), facto este também notório na representação gráfica da FIG. 2, de que resulta uma inevitável redução da heterogeneidade dos anéis (IH).

Isto permite-nos concluir que a janela de 200 $\mu$  é excessiva para a madeira de *Populus*, na medida em que provoca uma notória homogeneização dos valores de densidade dentro dos anéis. Entre a janela de 50 $\mu$  e 100 $\mu$ , e atendendo ao facto de que ambas fornecem valores de densidade muito idênticos, somos da opinião que a mais adequada para este tipo de madeira será a de 100 $\mu$ , uma vez que esta necessita de apenas metade das leituras/mm do que a de 50 $\mu$ . De referir ainda que qualquer das larguras da janela testadas permitiram identificar bem a zona do anel cor-

respondente ao lenho final, diferenciando nitidamente os anéis de crescimento.

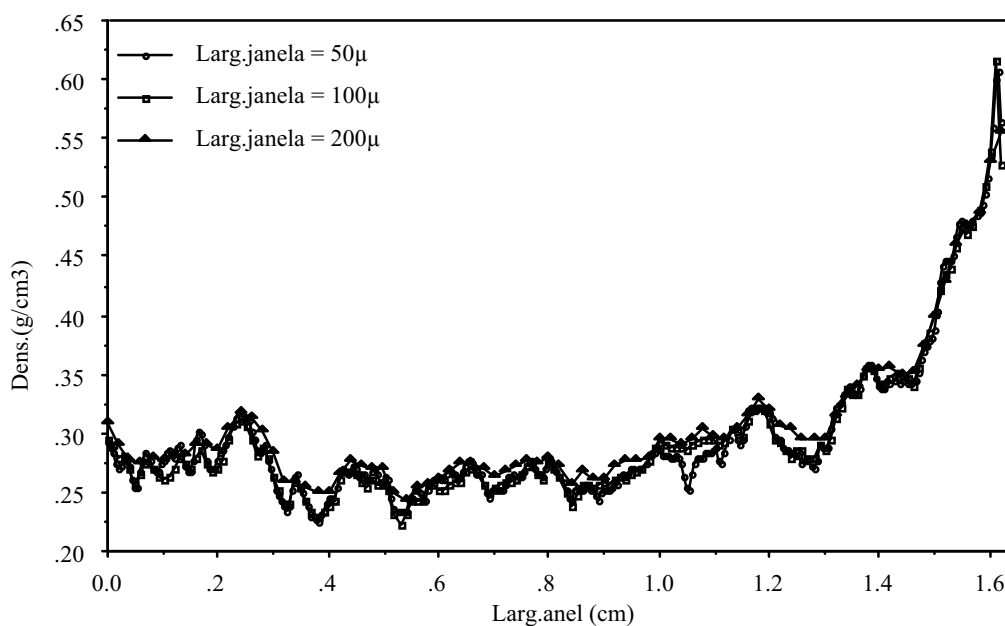


FIG. 2 – Representação gráfica da variação da densidade do 3º anel do provete 2 radiografado tangencial e com a largura da janela de leitura do microdensitômetro de 50µ, 100µ e 200µ.

### Radiação Axial vs Tangencial

No QUADRO 2 são apresentados os valores das componentes da densidade dos 4 anéis do provete 1 (os quais, por sua vez, também não diferem muito dos do provete 2) obtidos com a radiação axial e tangencial.

QUADRO 2 – Componentes da densidade dos 4 anéis do provete 1 obtidos por leitura das películas com a radiação tangencial e axial.

Largura janela	Anel	DMED (g/cm <sup>3</sup> )	DMIN (g/cm <sup>3</sup> )	DMAX (g/cm <sup>3</sup> )	DLI (g/cm <sup>3</sup> )	DLF (g/cm <sup>3</sup> )	%LF	LA (mm)	IH (g/cm <sup>3</sup> )
Tangencial 50µ (20leit/mm)	1	0.398	0.297	0.623*	0.381	0.514	12.32	16.0	0.056
	2	0.316	0.253	0.560	0.313	0.504	1.75	37.2	0.041
	3	0.289	0.221	0.566	0.282	0.516	2.94	20.4	0.059
	4	0.335	0.240	0.683	0.300	0.500	17.41	15.8	0.093
Tangencial 100µ (10leit/mm)	1	0.403	0.298	0.819*	0.382	0.563*	11.59	16.4	0.078*
	2	0.315	0.248	0.550	0.311	0.508	1.61	37.2	0.042
	3	0.287	0.218	0.554	0.281	0.501	2.94	20.4	0.057

	4	0.333	0.241	0.666	0.299	0.499	17.20	15.7	0.092
Axial 50 $\mu$ (20leit/mm)	1	0.391	0.313	0.745*	0.375	0.571*	8.13	16.0	0.068*
	2	0.304	0.233	0.596	0.301	0.513	1.52	36.2	0.041
	3	0.289	0.211	0.598	0.282	0.529	3.01	21.6	0.063
	4	0.332	0.235	0.627	0.306	0.510	12.80	14.5	0.081
Axial 100 $\mu$ (10leit/mm)	1	0.400	0.324	0.780*	0.381	0.545	11.95	15.9	0.072*
	2	0.304	0.247	0.594	0.301	0.522	1.10	36.3	0.041
	3	0.292	0.207	0.610	0.283	0.519	3.72	21.5	0.064
	4	0.332	0.245	0.663	0.306	0.516	12.41	14.5	0.082

\* Valores anormalmente elevados devido à presença de cristais no 1ºanel deste provete

Da análise dos resultados não nos é possível retirar qualquer conclusão definitiva sobre a orientação mais correcta a dar aos provetes por forma a melhor estimar as suas componentes da densidade. Não obstante a globalidade dos trabalhos executados para as resinosas ser feito com radiação axial, vários autores têm defendido a ideia que a madeira de folhosas deve ser radiografada tangencialmente, na medida em que esta fica menos dependente de algumas incorrecções de metodologia que se vão repercutir numa excessiva oscilação dos valores da densidade, comparativamente à radiação axial.

Os resultados por nós obtidos parecem confirmar, pelo menos numa primeira análise, esse mesmo ponto de vista. De facto, os valores obtidos com a radiação tangencial parecem evidenciar uma maior estabilidade, ao passo que a radiação axial denuncia uma maior oscilação de valores, nomeadamente nas componentes do lenho final. Todavia, só após a execução de novas análises com mais provetes (amostras) estaremos em condições de emitir uma opinião definitiva sobre qual a orientação de radiação mais correcta para a madeira de *Populus*.

### Caracterização geral da madeira de *Populus*

Embora tenhamos a plena consciência que a nossa unidade amostral é extremamente limitada, mesmo assim, no QUADRO 3 são apresentados os valores médios gerais das diferentes componentes da densidade da madeira de *Populus* e, na FIG. 3, a representação gráfica da variação da densidade dos diferentes provetes, que permitirão, numa primeira análise, identificar algumas das principais características desta madeira.

Assim, ao apresentar uma densidade média de 0.320g/cm<sup>3</sup> confirma estarmos em presença de uma madeira muito leve e muito homogénea, cuja DMIN é normalmente ligeiramente superior a 0.240g/cm<sup>3</sup> e a DMAX ligeiramente inferior a 0.570g/cm<sup>3</sup> e cuja razão entre a DLF (0.508g/cm<sup>3</sup>) e a DLI (0.309g/cm<sup>3</sup>) é de apenas 1.6, (muito inferior aos 3.4 referidos por COWN & PARKER (1978) para a madeira de *Pesudotsuga menziesii*, ou aos 5.0 referidos por PANSWIN & DE ZEEUW (1970) para a *Thuja plicata*, mas idêntico aos 1.6 para o *Populus trichocarpa*, 1.4 para o *Salix babylonica* e 1.3 para a *Betula papyrifera* (COWN & PARKER (1978)), o que se irá repercutir num reduzido Índice de Heterogeneidade (0.056), muito inferior aos 0.185 evidenciados pela madeira de *Pinus pinaster* (LOUZADA, 2000) considerada como uma das resinosas menos heterogéneas (AUBERT, 1984).

Para além disso é uma espécie com elevados crescimentos radiais (LA=21,1mm), constituídos quase exclusivamente por lenho inicial (%LF = 5,28%).

QUADRO 3 – Caracterização geral das componentes da densidade obtidas com base nos 4 anéis de cada um dos provetes analisados com a janela de leitura de 100 $\mu$ .

Comp. Dens.	Med.	Desv. Pad.	C.V.(%)	Min.	Max.
DMED	0.320	0.038	12.0	0.280	0.403
DMIN	0.249	0.035	14.0	0.206	0.324
DMAX	0.574	0.065	11.3	0.478	0.669
DLI	0.309	0.035	11.4	0.266	0.382
DLF	0.508	0.020	3.9	0.469	0.545
%LF	5.280	5.190	98.0	0.630	17.20
LA	21.08	9.360	44.0	11.90	37.20
IH	0.056	0.018	33.0	0.034	0.091

De salientar ainda que todos os provetes analisados apresentavam “coração negro” bem visível nos primeiros 2 anéis de crescimento, embora apenas no 1º anel se verificasse um ligeiro aumento da densidade, nomeadamente no lenho inicial. Assim sendo, tudo indica que os limites do “coração negro” não sejam coincidentes com os do cerne, em que neste caso o “coração negro” abrange os primeiros 2 anéis de crescimento, enquanto que o cerne parece estar circunscrito apenas ao 1º anel.

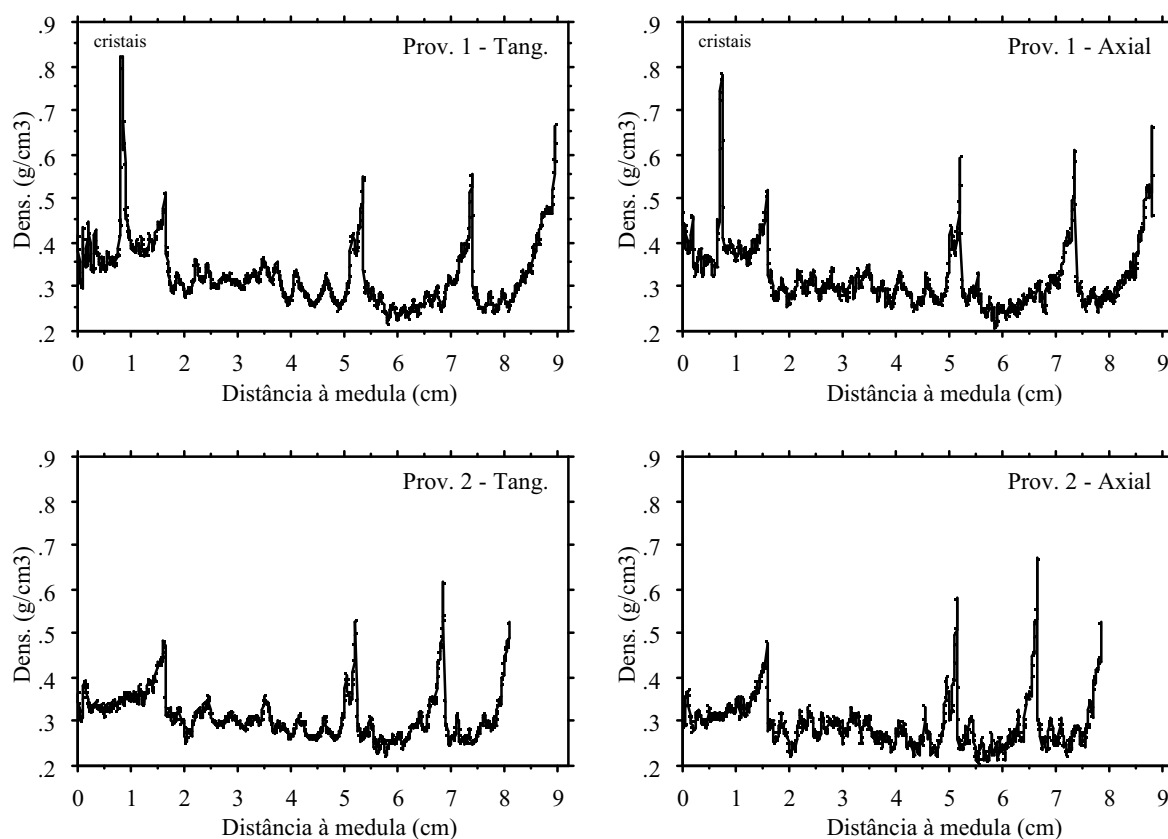


FIG. 3 – Representação gráfica da variação radial da densidade dos provetes 1 e 2 radiografados tangencial e axialmente, com a largura da janela de leitura do microdensitómetro de 100 $\mu$ .

## CONCLUSÕES

No que refere à largura da janela de leitura do microdensitómetro, verificou-se que a janela mais larga (200 $\mu$ ) provocava uma excessiva homogeneização dos valores da densidade, pelo que não é aconselhável a sua utilização. Entre as larguras de 50 $\mu$  e 100 $\mu$ , ambas fornecem valores de densidade muito idênticos, pelo que a melhor opção será a de 100 $\mu$ , por apenas necessitar metade das leituras/mm. Assim, terá a



vantagem de ser muito mais rápida a sua execução.

Quanto à melhor orientação de radiação, embora a tangencial pareça ser a mais indicada, não nos foi possível retirar qualquer conclusão definitiva. Só após a execução de novas análises, com mais amostras, será possível emitir uma opinião concreta sobre qual das duas permite uma estimativa mais correcta das componentes da densidade deste tipo de madeira.

Concluimos também que, em princípio, os limites do “coração negro” não devem ser coincidentes com os do cerne, na medida em que este se apresentou circunscrito apenas ao primeiro anel de crescimento, enquanto que o “coração negro” se estendia até ao segundo anel.

## BIBLIOGRAFIA

AUBERT, M. (1984): *Relations entre l'hétérogénéité d'épaisseur des placages de cinq essences résineuses (P. sylvestris, P. strobus, Pseudotsuga menziesii, P. pinaster, Picea excelsa) déroulés en conditions pré-industrielles et les composantes densitométriques de leur bois*. D.E.A. – Sci. du Bois, I.N.P.L., Univ. Nancy I, 67pp.

COWN, D. J., PARKER, M. L. (1978): Comparison of annual ring density profiles in hardwoods and softwoods by X-ray densitometry. *Can. J. For. Res.*, **8**: 442-449.

FERNANDEZ-GOLFIN, J. I., DIEZ, M. R. (1994): Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. *Invest. Agr.: Sist. y Recur. For. Vol.* **3**(2): 211-219.

FERRAND, J. C. (1982): Réflexions sur la Densité du Bois. 2<sup>ème</sup> Partie: Calcul de la densité et de son hétérogénéité. *Holzforschung*, **36**(3): 153-157.

HUGHES, J. F., SARDINHA, R. M. A. (1975): The Application of Optical Densitometry in the Study of Wood Structure and Properties. *J. Microscopy*, **104** (1): 91-103.

LOUZADA, J.L.P.C. (2000): Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait. O comprimento das fibras e a densidade até aos 80 anos de idade das árvores. Parâmetros genéticos na evolução juvenil-adulto das componentes da densidade da madeira. *Série Didáctica – Ciências Aplicadas n.º 143, (UTAD)*, Vila Real, Portugal, 293pp.

PANSHIN, A. J., DE ZEEUW, C. (1970): *Textbook of Wood Technology. Vol. I - Structure, Identification, Uses, and Properties of Commercial Woods of the United States and Canada*, 3<sup>th</sup>. Edition. The American Forestry Series, Ed: Vaux, H. J., McGraw-Hill Book Company, 705pp.

POLGE, H. (1965): The use of curves of density variation for the study of environmental factors and in particular of climatic factors. *IUFRO, Section 41*, 8pp.

POLGE, H. (1966): Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants - Applications dans les domaines technologique et physiologique. *Annales des Sciences Forestières*, Tome **XXIII** - Fascicule 1, 206pp.

SARDINHA, R. M. A. (1974): *Variation in Density and some Structural Features of Wood of Eucalyptus saligna Sm. From Angola*. Ph. D. Thesis, Oxford Univer., 349pp.

SKAAR, C. (1984): Wood-Water Relationships. In: *The Chemistry of Solid Wood*. Ed: Rowell, R. M., Advances in Chemistry Series 207, Series Ed.: Comstock, M. J., American Chemical Society, Washington, p. 127-174.

TSOUMIS, G., PASSIALIS, C. (1977): Effect of Growth Rate and Abnormal Growth on Wood Substance and Cell Wall Density. *Wood Science and Technology*, **11**: 33-38.

ZOBEL, B. J., VAN BUIJTENEN, J. P. (1989): *Wood Variation - Its Causes and Control*. Springer Series in Wood Science, Ed: Timell, T. E., Springer-Verlag, 363pp.