

Comparação de Metodologias para Medição de  
Anéis de Crescimento de *Mimosa scabrella* e *Pinus taeda*Comparison of different procedures for growth ring  
measurement of *Mimosa scabrella* and *Pinus taeda*Leif Nutto<sup>1</sup>, Sebastião do Amaral Machado<sup>2</sup>,  
Ricardo Cavalheiro<sup>3</sup> e Luís César Rodrigues da Silva<sup>4</sup>**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar três diferentes metodologias para medir anéis de crescimento em árvores submetidas à técnica da análise de tronco. Foram usadas 12 árvores sendo 6 de *Pinus taeda* L. e 6 de *Mimosa scabrella* Benth. Nos discos já secos e lixados os anéis foram medidos primeiro manualmente com régua milimetrada; depois os discos foram fotografados com resolução de aproximadamente 6,0 MP e os anéis foram medidos diretamente nas imagens, com ferramentas e procedimentos do programa ArcView e depois com as ferramentas e procedimentos do programa WinDENDRO. As duas medições digitais foram avaliadas em função da diferença que apresentaram em relação à medição manual, considerada padrão. Os resultados apontaram que na espécie *P. taeda* o menor desvio relativo médio foi encontrado através do método WinDENDRO em relação ao manual (0,46%). Nas árvores de *M. scabrella* o menor desvio relativo médio foi encontrado através do método ArcView em relação ao manual (0,06%). O teste de Komolgorov-Smirnov com  $\alpha = 0,01$  não identificou diferença significativa entre as distribuições de larguras de raios, geradas pelos métodos digitais e as gerada pelo método manual. O método mais rápido para obtenção dos raios médios nas duas espécies foi o método WinDENDRO. Houveram evidências que permitiram considerar que a medição dos anéis de crescimento com o uso de softwares se apresentou como uma alternativa viável para substituir a metodologia manual.

**Palavras chave:** Sistemas de informações geográficas; dendrocronologia; estudo do crescimento; manejo Florestal.

**Abstract**

The objective of this paper was to evaluate three different methods for measuring tree growth rings. Six *Pinus taeda* L. trees and six of *Mimosa scabrella* Benth. were felled and stem analysis was performed. On sanded cross-cut discs three different methods were applied: manual tree ring measurements with a millimeter ruler, digital measurements with WinDENDRO software and a digital one with the ArcView software. Four ring widths for each growth ring in each section were measured. With ArcView and WinDENDRO methods, digital six-mega-pixels photos of the cross-cut faces were taken and imported into the softwares. Afterwards the software tools and procedures were used to measure the growth rings. The results showed that using WinDENDRO *P.taeda* had the lowest deviation (0.46%) when compared to the manual method. For *M. scabrella* ArcView had the lowest (0.06%). Komolgorov-Smirnov test at  $\alpha = 0,01$  showed that there were no significant differences among tree growth ring width distribution obtained by manual procedures and those obtained by the two digital methods. The fastest method for measuring tree rings was the utilization of WinDENDRO. It became evident that the methods based on software aided the digital image analysis and this turned out to be a good alternative to replace the manual method.

**Keywords:** Geographic information systems; dendrochronology, image analysis, growth analysis; forest management

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Dr., I Universidade Albert-Ludwigs Freiburg - Instituto Utilização Universidade Albert-Ludwigs Freiburg - Rua Werthmann, 6 - 79085 - Freiburg i.Br - Alemanha - E-mail: [leif.nutto@fobawi.uni-freiburg.de](mailto:leif.nutto@fobawi.uni-freiburg.de)

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Ph.D. Universidade Federal do Paraná - Departamento de Ciências Florestais - Rua Lothário Meissner, 632 - Jd. Botânico - 80210-170 - Curitiba, PR - Brasil - E-mail: [samachado@ufpr.br](mailto:samachado@ufpr.br)

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Paraná - Departamento de Ciências Florestais - Rua Lothário Meissner, 632 - Jd. Botânico - 80210-170 - Curitiba, PR - Brasil E-mail: [cavalheiro1@hotmail.com](mailto:cavalheiro1@hotmail.com)

<sup>4</sup>Mestrando em Ciências Florestais - Universidade Federal do Paraná - Departamento de Ciências Florestais - Rua Lothário Meissner, 632 - Jd. Botânico - 80210-170 - Curitiba, PR - Brasil - E-mail: [luisnabravo@hotmail.com](mailto:luisnabravo@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

O estudo do crescimento e produção e o entendimento desse processo na floresta são ferramentas básicas para um posterior planejamento do manejo florestal, devido à necessidade de se obter predições da produção futura baseados em poucas medições Prodan *et al.* (1997). Para o manejo florestal apropriado são necessários dados em forma de séries temporais sobre a produção da floresta em termos de área basal, volume e biomassa. Esses dados podem ser resultados de medições periódicas de parcelas permanentes num inventário florestal contínuo, análise de tronco parcial, ou ainda, por análise de tronco completa (ROSOT, 2002).

Dentre esses métodos, a análise de tronco completa (Anatro) tem uma importância singular, pois em qualquer época pode-se reconstruir o crescimento passado de uma árvore desde o estado de plântula até o momento de abate (FINGER, 1992). Husch *et al.* (1982) definem a Anatro como uma técnica que possibilita o registro do crescimento passado de uma árvore por meio da medição dos anéis de crescimento de seções retiradas a diferentes alturas. Tradicionalmente esse método de estudo do crescimento tem sido utilizado para desenvolver curvas de altura sobre idade na classificação de sítio (BAILEY *et al.* 1985), na elaboração de tabelas de produção (ROSOT *et al.* 1995), para se estudar o crescimento em situações onde não há remediações extensivas de parcelas permanentes (BIGING; WENSEL, 1984), e ainda, em estudos nas áreas de dendrocronologia que se baseiam na análise retrospectiva do crescimento (FRITTS 1976, HUGHES 2002). A grande limitação dessa técnica é que a espécie na qual ela será aplicada precisa apresentar um registro que evidencie o fim e o início de um período de crescimento. Isso é o que visualizamos nos discos da anatro como os anéis de crescimento. Quanto mais evidentes forem os anéis, mais facilmente se define o fim e o início de um período de crescimento. Sabe-se que a maioria das espécies folhosas não apresenta esse comportamento que é mais comum nas coníferas.

Considerando todas as etapas na realização da Anatro, Prodan *et al.* (1997) citaram que os procedimentos para a medição de anéis de crescimento constituem a parte mais dispendiosa. O método de medição mais utilizado e conhecido é o manual. Neste método as fatias

são transportadas ao laboratório, secas em estufa com temperatura controlada, lixadas e a medição dos anéis pode ser efetuada utilizando qualquer sistema que seja suficientemente acurado (PILCHER, 1989). Normalmente consiste em utilizar uma régua transparente, graduada em milímetrose uma lupa. Colocando-se a seção sob a lupa e fazendo-se coincidir o "zero" da régua com a medula (BARUSSO, 1977; HUSCH *et al.*, 1982), lê-se diretamente o(s) comprimento(s) do(s) raio(s) para cada anel considerado. Alguns fatores como períodos de seca, períodos de frio, doenças, ataque de pragas ou incêndios podem fazer com que a planta reaja produzindo anéis fora do seu período de ocorrência natural. Esses são conhecidos como falsos-anéis e tornam a delimitação dos diferentes períodos de crescimento mais demorada por que muitas vezes esses falsos anéis se confundem com os verdadeiros, demandando mais tempo para serem efetivamente identificados.

Outra opção para medição dos anéis de crescimento é o uso de técnicas de sensoriamento remoto e de processamento digital de imagens, no sentido de se aumentar a rapidez e a precisão na obtenção e processamento de dados, especialmente com o emprego de geotecnologias (ROSOT *et al.*, 2003). Rosot (2002) evidenciou que a viabilidade do uso de imagens de discos para avaliar os anéis de crescimento em ambiente de geoprocessamento vem desde 1986. Rosot *et al.* (2001) utilizaram a imagem escaneada de uma fatia de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. para testar a viabilidade do uso de técnicas de análise de imagem na estimativa de áreas transversais usando o programa SPRING. As áreas "reais" correspondentes aos anéis foram obtidas por planimetria eletrônica, com precisão de 1 mm<sup>2</sup>. Esses autores não encontraram diferenças significativas entre as áreas transversais obtidas por planimetria e as áreas transversais obtidas por técnicas de análise de imagem com o programa SPRING.

Como o uso dos programas de geoprocessamento para obtenção dos dados da Anatro mostrou-se eficaz, iniciou-se uma demanda por programas específicos que se dedicam a pesquisas no ramo da dendrocronologia. Dentre trabalhos encontrados na literatura, pode-se citar, Rosot (2002) que comparou a acuracidade de áreas transversais medidas com o uso do programa DendroScan com as áreas "reais" obtidas pelo programa ArcView tendo como resultados dife-

renças médias percentuais absolutas inferiores a 1,5% em relação às áreas “reais” obtidas pelo software ArcView. A Embrapa Instrumentação Agropecuária já disponibiliza gratuitamente o programa Anatro Livre, dedicado exclusivamente a extrair informações de imagens de discos como diâmetro e área transversal e, com isso, se chegar a estimativas de volume e forma da árvore. Percebe-se então que a tendência agora é baratear o processamento das imagens já que os programas inicialmente utilizados para este fim são complexos e caros.

Tendo em vista que a anatro, feita com imagens de discos já é testada e comprovadamente eficiente, o presente trabalho teve como foco os novos programas que estão surgindo para medições em imagens de discos de anatro. Assim o objetivo deste trabalho foi comparar se as medições feitas com o programa WinDendro apresentam diferença significativa quando comparadas com as medições feitas de forma manual e com as medições feitas com um dos programas de geoprocessamento inicialmente utilizados para este fim. Assim foram estabelecidas e comparadas três metodologias para medição de anéis de crescimento de *Mimosa scabrella* e *Pinus taeda*. Essas espécies apresentam anéis de crescimento facilmente distinguíveis e são cultivadas de forma expressiva no Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Origem dos dados

Neste estudo, as seções retiradas das árvores de *M. scabrella* foram coletadas em propriedades rurais localizadas na região metropolitana de Curitiba e as seções de *P. taeda* foram coletadas em um povoamento de regeneração natural localizado no Campus III da Universidade Federal do Paraná na cidade de Curitiba. Segundo classificação de Koeppen, a região da coleta das seções apresenta clima predominantemente Cfb, temperatura média anual de 16,5 °C, precipitação média anual de 1500 mm e altitude de aproximadamente 950 m acima do nível do mar.

Foram ao todo selecionadas 6 árvores de *P. taeda* com idade média de 13,5 anos e altura média de 14,36 metros, e 6 árvores de *M. scabrella* com idade média de 10,8 anos e altura média de 15,10 metros. Para cada árvore foi marcado e medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e posteriormente realizada a derrubada. Sobre a árvore no chão foi esticada uma trena para se medir o comprimento total e em seguida foram

retiradas seções nas alturas 0,1 m; 0,7 m; 1,30 m e de 1 em 1 metro, até a altura final. No presente estudo foram retiradas 90 seções das árvores de *P. taeda* e 92 seções das árvores de *M. scabrella*. Os discos foram identificados com placas metálicas e levados para secagem em estufa ventilada a 60 °C, por 4 dias. Após a secagem, foi realizado o lixamento da face de medição de cada disco, a fim de facilitar a visualização dos anéis no processo de obtenção dos raios.

Para a medição dos anéis nas metodologias digitais, após lixamento, cada disco foi colocado numa superfície plana, e um tripé foi posicionado sobre o disco, a uma distância de 60 a 70 cm. Sobre o tripé foi fixada uma câmera digital, de forma que esta ficasse voltada para a seção. Um escalímetro foi posicionado no mesmo nível da seção para servir de escala de referência no posterior processamento da imagem, procedimento semelhante ao sugerido por Rosot (2002). Finalmente a imagem de cada seção foi capturada com resolução de 2816 x 2112 pixels, a 314 dpi o que equivale a aproximadamente 6.0 Megapixel.

Nesse estudo, a retificação da distorção encontrada normalmente em fotografias foi desconsiderada pois, observou-se que Fink (2004) quantificou o erro das medições feitas em fotografias, em função da distorção, em aproximadamente 0,01mm e, como no método manual utilizou-se uma régua graduada em milímetros, o anel que ficasse entre um milímetro e outro qualquer, sua medida seria arredondada para o milímetro mais próximo. Então proveniente da distorção da imagem seria menor que o cometido no arredondamento do método manual.

### Medição dos anéis de crescimento

#### Metodologia manual

Foi seguida a metodologia proposta de Barusso (1977) que consiste em se traçar quatro raios nos discos, sobre os quais se mediu a largura de cada anel de crescimento, com régua milimetrada. A média dos quatro raios medidos em cada anel do disco é assumida como raio representativo do anel em questão. Tal metodologia vem sendo adotada na maioria absoluta dos trabalhos de análise de tronco (FINGER, 1992; MACHADO *et al*, 2010).

Todas as medidas foram armazenadas em uma planilha eletrônica, onde calculou-se a média aritmética dos quatro raios medidos em cada anel, possibilitando assim uma posterior análise desses dados.

**Metodologia digital 1: com uso do programa ArcView**

Nessa metodologia para se obter os raios médios de cada seção foi necessário primeiramente, obter as áreas transversais referentes a cada anel de crescimento. Para isso utilizou-se o programa ArcView versão 9.2 desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI). As imagens de cada seção foram inseridas no programa ArcView e cada anel de crescimento foi digitalizado (Figura 1). Esse processo de digitalização resultou em uma tabela de atributos que apresentava o valor das áreas transversais ainda não “reais”, pois as imagens não tinham referência métrica. Para encontrar o valor “real” aplicou-se um fator de correção nas áreas transversais por meio de uma fórmula obtida em Rosot (2002) sendo:

$$g = \left( \frac{1}{(FT)^2} \right) * g$$

Em que:  $g$  = área transversal em  $cm^2$ ,  $g_{sh}$  = área sem unidade definida, gerada pelo comando “returnarea”,  $FT$  = fator de transformação, correspondente a relação tamanho na imagem e tamanho real, obtido com auxílio do escalímetro fotografado junto a seção.

Finalmente os dados já corrigidos na tabela de atributos foram exportados para uma planilha eletrônica, para posterior análise dos raios médios obtidos em cada metodologia.

**Metodologia digital 2: com uso do programa WinDENDRO**

Nessa metodologia digital adotou-se o programa de medições em discos WinDENDRO. Ele foi desenvolvido pela empresa canadense Régent

Instruments com intuito de auxiliar dendrocronologistas que buscam resultados rápidos e precisos na medição dos anéis de crescimento.

As imagens das seções foram inseridas no programa WinDENDRO para primeiro proceder-se a calibração. O método escolhido foi o “Known Dimensions” que é utilizado para calibrar imagens adquiridas por uma câmera digital que contenham um objeto com dimensões conhecidas. Com o uso do mouse clicou-se em dois pontos do escalímetro criando-se assim um segmento que em seguida teve o seu comprimento conhecido inserido via teclado na janela “Target length in mm”. Em seguida iniciou-se a medição dos anéis de crescimento. Com um clique do mouse na medula e no final de cada raio criou-se quatro “Path’s”. O “Path” (Figura 2) é a área da imagem na qual os anéis são detectados, editados e medidos. Após a medição dos raios, o programa gerou um arquivo com extensão txt. que foi transportado para a mesma planilha com os demais dados para os cálculos comparativos.

**Análise dos dados**

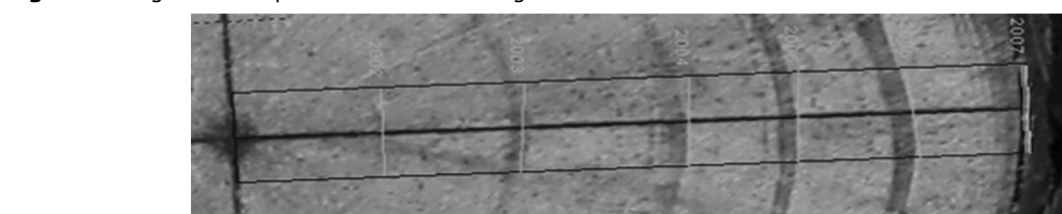
Considerou-se a metodologia manual, que é a mais difundida, como sendo a referência para se avaliar os resultados das duas metodologias digitais. Foram calculados os desvios das metodologias digitais em relação a manual através da expressão matemática.

$$D_x = \frac{r_m - r_x}{r_m} * 100$$

Em que:  $D_x\%$ : desvio percentual relativo do método x em relação ao método manual (m),  $r_x$ : raio médio medido no método x e  $r_m$ : raio médio medido no método manual.



**Figura 1.** Processo de digitalização dos anéis de crescimento no programa ArcView.



**Figura 2.** Ilustração de um “Path” criado ao longo de um raio no programa WinDENDRO.

Em seguida os raios medidos foram agrupados em classes de tamanho, com 1 cm de amplitude cada e a distribuição do número de raios ao longo das classes, observada na metodologia manual, foi comparada com as distribuições geradas pelas duas metodologias digitais, através do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha = 0,01$ ). Partiu-se da suposição de que, como serão aplicadas as metodologias digitais na medição dos mesmos raios antes medidos manualmente então, bastaria avaliar se a distribuição em classes de tamanho de raio, geradas pelas metodologias digitais são próximas da distribuição gerada pela medição manual.

Formulou-se a seguinte hipótese:  $H_0: F(x) = S(x_1) = S(x_2)$  contra  $H_1: F(x) \neq S(x_1) \neq S(x_2)$ . Sendo  $F(x)$  a frequência acumulativa dos dados observada, gerada pelo método manual;  $S(x_1)$  a frequência acumulativa dos dados, gerada pelo método digital com uso do programa ArcView e  $S(x_2)$  a frequência acumulativa dos dados, gerada pelo método digital com uso do programa WinDENDRO. O teste de Komolgorov-Smirnov avalia se o maior ponto de divergência ( $D = \max[F(x) - (S_{x_i}, i = 1, 2)]$ ) entre as curvas de distribuições que estão sendo comparadas é significativo. A magnitude da diferença é estabelecida probabilisticamente, segundo a lei de probabilidade dessa estatística, que se encontra tabelada. Se os dados experimentais se afastam significativamente do que é observado no método manual, então as curvas geradas com os dados obtidos com as metodologias digitais devem encontrar-se igualmente afastadas, e por um raciocínio análogo, se o ajustamento à curva gerada com os dados da metodologia manual é admissível, as curvas têm um delineamento próximo.

Sabe-se que haverá diferenças pois, o fato de aproximar a medida do anel de crescimento para o milímetro mais próximo na metodologia manual já é uma fonte de diferença entre a metodologia manual e as digitais, já que na medição digital pode-se aplicar uma aproximação da imagem (zoom) até no ponto exato onde termina o anel e obter uma medida com mais pre-

cisão. O fato é, que se o erro resultante não for suficientemente grande para provocar um afastamento significativo das curvas, pode-se assumir que medir o anel de crescimento com uma régua ou com um programa de computador gera resultados próximos, então pode-se preferir o método digital por ser mais prático.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de medições de raio de anéis de crescimento foi de 724 na espécie *P. taeda* e 775 na espécie *M. scabrella*. Na Tabela 1 pode-se observar que na espécie *P. taeda*, a menor diferença média dos desvios percentuais foi encontrada na relação manual vs WinDENDRO (-0,46%), indicando que os raios medidos no método WinDENDRO são em média 0,46% menores que os raios medidos no método manual. Já o maior desvio percentual médio foi encontrado na relação manual vs ArcView (-1,61%). Para as árvores de *M. scabrella* o menor desvio relativo percentual foi encontrado na relação manual vs ArcView (0,06) embora os desvios gerados pela comparação manual vs WinDENDRO não tenham sido muito diferentes disso.

Pela avaliação dos resíduos, ficou evidente que as metodologias digitais geraram medições de raios bem próximas das geradas pelo método manual, sem uma vantagem significativa para o programa ArcView ou o WinDENDRO. Isso pode ser constatado na figura 3 onde observa-se que a distribuição dos resíduos é semelhante para as duas metodologias digitais. Constata-se também que os desvios são bem maiores para os raios pequenos. Isso é explicado pelo fato de que, na medição manual, se o limite de um raio ficar entre um milímetro ou outro na régua usada, este é arredondado para o milímetro mais próximo ao passo que, nas metodologias digitais, obtém-se a medida no ponto exato do fim do anel que está sendo medido. Essa diferença, num raio que já é pequeno, representa uma porcentagem bem maior que em um raio maior.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas dos desvios percentuais relativos entre os métodos de medição em *P. taeda* e *M. scabrella*.

**Table 1.** Descriptive statistics of the percentual relative deviations among the three compared methods (*P. taeda* and *M. scabrella*).

Espécie	Desvio	n	Intervalo de confiança ( $\alpha: 0,05$ )			Mín	Max	s
			Inf	Med	Sup			
D%								
<i>P. taeda</i>	manual vs ArcView	724	-1.61	-1.27	-0.93	-39.13	27.67	4.68
	manual vs WinDENDRO	724	-0.78	-0.46	-0.14	-34.96	27.33	4.44
<i>M. scabrella</i>	manual vs ArcView	775	-0.319	0.0591	0.4369	-36.40	22.90	5.40
	manual vs WinDENDRO	775	-0.107	0.1594	0.4256	-39.50	16.90	3.80

Em que: D = diferença relativa entre métodos; n = número de observações; s = desvio padrão;

Outro fato importante é que os métodos apresentaram a distribuição dos desvios relativos semelhantes, independentemente da espécie e não foram observados desvios relativos percentuais maiores que 10 % em raios maiores que 3 cm nas duas espécies. Na figura 3 os desvios maiores que 20% na espécie *P. taeda* foram observados em raios menores que 2 cm somando 31 observações, representando 4,28% deste número total. Desvios maiores que 20% na espécie *M. scabrella* foram observados em raios menores que 1,5 cm, totalizando 27 observações que representaram 3,48% do número total de observações.

A espécie *M. scabrella* apresentou melhores resultados com relação aos desvios relativos por que em seus discos houve uma melhor visibilidade dos anéis mais próximos da medula. Como em raios menores os desvios tendem a ser maiores, uma melhor visibilidade contribuiu muito para uma interpretação acertada na medição dos anéis, resultando em um desvio menor entre os métodos.

Como apenas uma análise de resíduos foi insuficiente para avaliar se as diferenças entre os métodos digitais e o manual eram significativas, procurou-se por outra avaliação estatística que permitisse dizer se os métodos diferem significativamente. Primeiro optou-se por um teste de  $t(0,05)$  para dados pareados que foi descartado porque os dados, mesmo após transformações, não atenderam a prerrogativa do teste de que a distribuição dos dados observados deveria seguir aproximadamente a distribuição normal. Buscou-se então por um teste não-paramétrico e o teste de Kolmogorov-Smirnov foi o escolhido.

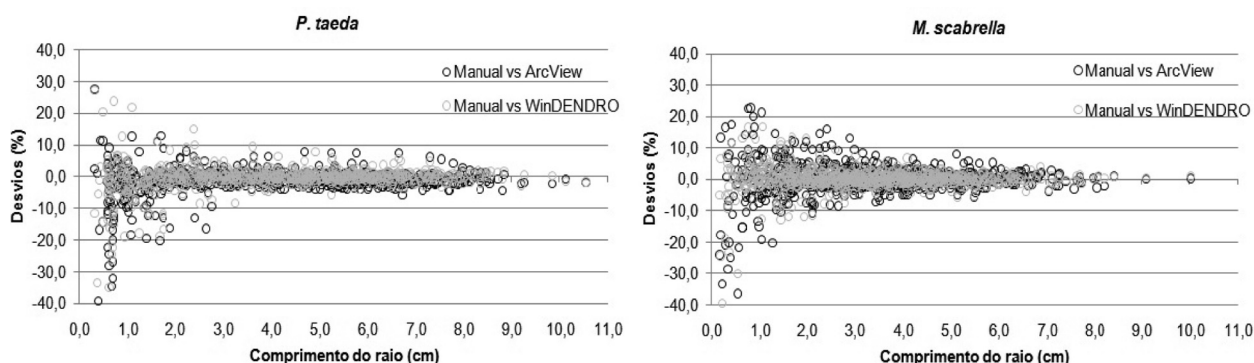
Nas Tabelas 2 e 3, assim como na Figura 4, observa-se que o número de raios em cada classe ( $f_o$ ), gerados pelas medições digitais, foi semelhante ao gerado pela medição manual. Isso indica que as diferenças que ocorreram entre os métodos digitais e manual não foram grandes o suficiente para fazer com que um número

significativo de raios que, na medição manual foram classificados em uma determinada classe, passassem para outra quando medidos com procedimentos digitais, o que alteraria a forma de distribuição desses raios. Então, a maior diferença ( $D$ ) entre as frequências acumuladas, geradas pelos métodos digitais ( $S(X_i)$ ) e o método manual ( $F(X)$ ) não foi significativa ao nível de significância de 0,01, tanto para a espécie *P. taeda*, quanto para a *M. scabrella*, já que a diferença máxima do teste Kolmogorov-Smirnov aceitável para a espécie *P. taeda* era  $D(724;0,01) = 0,0602$  e para a *M. scabrella* era  $D(775;0,01) = 0,058$ . Com isso, não rejeitou-se a hipótese nula de que não há diferença significativa entre as distribuições geradas pelos três métodos avaliados ou, que as diferenças significativas ocorrem no máximo na proporção de uma a cada cem avaliadas.

### Eficiência das três metodologias

Houve dificuldades na identificação dos anéis mais próximos a medula, nas árvores de *P. taeda*, e dos anéis mais próximos a casca nas árvores de *M. scabrella*. A maior dificuldade de visibilidade dos anéis de crescimento foi notada no método manual, mesmo com o uso de uma lupa. Esse problema pode ser diminuído nas metodologias digitais, pois, a análise com as imagens de 6,0 megapixels de tamanho permitiram melhor visualização dos detalhes. Outro recurso importante foi o uso da ferramenta de ampliação (zoom) disponível nos programas utilizados ArcView e WinDENDRO.

Outro ponto a ser considerado é a eliminação de erros sistemáticos que podem ocorrer no método manual quando se usa metodologias digitais. Segundo Pilcher (1989) é de fundamental importância que seja utilizado um sistema onde o operador não necessite escrever as medições efetuadas, de forma a reduzir os erros provenientes da transcrição de dados durante a digitação de formulários via teclado. Rosot



**Figura 3.** Gráfico dos desvios percentuais relativos entre os métodos manual e digitais para *P. taeda* e *M. scabrella*.  
**Figure 3.** Graphic of percentage relative deviation among manual and digital methods for *P. taeda* and *M. scabrella*.

**Tabela 2.** Distribuição do número de raios, gerados pelas diferentes metodologias, em classe de tamanho, sua frequência acumulativa e teste de Kolmogorov-Smirnov para a espécie *P. taeda*.

**Table 2.** Distribution of the growth rings width, generated by different methodologies and distributed by size class, its cumulative frequency and the Kolmogorov-Smirnov test for *P. taeda* species.

Classe de raio (cm)	manual		ArcView			WinDENDRO		
	fo	F(x)	fo	S(x1)	[F(X)-S(x1)]	fo	S(x2)	[F(X)-S(x2)]
1 (0 - 0,99)	64,0	0,088	61,0	0,084	0,00414	63,0	0,087	0,00138
2 (1,00 - 1,99)	93,0	0,217	95,0	0,215	0,00138	93,0	0,215	0,00138
3 (2,00 - 2,99)	91,0	0,343	93,0	0,344	0,00138	93,0	0,344	0,00138
4 (3,00 - 3,99)	103,0	0,485	98,0	0,479	0,00552	101,0	0,483	0,00138
5 (4,00 - 4,99)	101,0	0,624	105,0	0,624	0,00000	105,0	0,628	0,00414
6 (5,00 - 5,99)	117,0	0,786	111,0	0,778	0,00829	113,0	0,785	0,00138
7 (7,00 - 7,99)	82,0	0,899	82,0	0,891	0,00829	82,0	0,898	0,00138
8 (> 7,00)	73,0	1,000	79,0	1,000	0,00000	74,0	1,000	0,00000
<b>D(0,01)</b>					<b>0,00829<sup>ns</sup></b>			<b>0,00414<sup>ns</sup></b>

Onde: fo: frequência observada ou número de raios por classe de tamanho; F(X): frequência acumulativa observada para o método manual; S(Xi) é a frequência acumulativa dos métodos digitais e D: é o maior desvio [F(X)-S(x1)] observado.

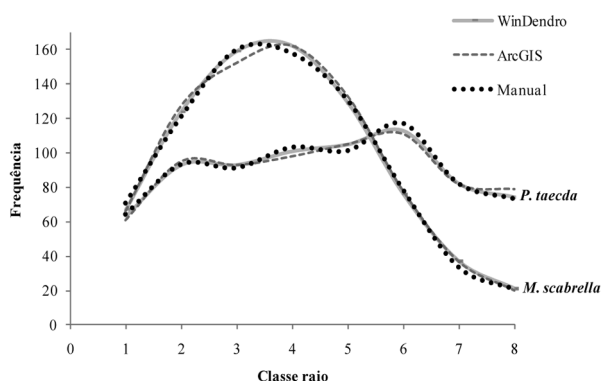
**Tabela 3.** Distribuição do número de raios, gerados pelas diferentes metodologias, em classe de tamanho, sua frequência acumulativa e teste de Kolmogorov-Smirnov para a espécie *M. scabrella*.

**Table 3.** Distribution of the growth rings width, generated by different methodologies and distributed by size class, its cumulative frequency and the Kolmogorov-Smirnov test for *M. scabrella* species.

Classe de raio (cm)	manual		ArcView			WinDENDRO		
	fo	F(x)	fo	S(x1)	[F(X)-S(x1)]	fo	S(x2)	[F(X)-S(x2)]
1 (0 - 0,99)	71,0	0,084	66,0	0,085	0,00129	67,0	0,086	0,00258
2 (1,00 - 1,99)	121,0	0,244	127,0	0,249	0,00516	124,0	0,246	0,00258
3 (2,00 - 2,99)	160,0	0,444	152,0	0,445	0,00129	159,0	0,452	0,00774
4 (3,00 - 3,99)	158,0	0,652	162,0	0,654	0,00258	162,0	0,661	0,00903
5 (4,00 - 4,99)	131,0	0,826	133,0	0,826	0,00000	129,0	0,827	0,00129
6 (5,00 - 5,99)	79,0	0,925	78,0	0,926	0,00129	76,0	0,925	0,00000
7 (7,00 - 7,99)	34,0	0,973	37,0	0,974	0,00129	37,0	0,973	0,00000
8 (> 7,00)	21,0	1,000	20,0	1,000	0,00000	21,0	1,000	0,00000
<b>D(0,01)</b>					<b>0,00516<sup>ns</sup></b>			<b>0,00903<sup>ns</sup></b>

Onde: fo: frequência observada ou número de raios por classe de tamanho; F(X): frequência acumulativa observada para o método manual; S(Xi) é a frequência acumulativa dos métodos digitais e D: é o maior desvio [F(X)-S(x1)] observado.

(2002) constatou que outras possíveis causas de imprecisão na medição manual dizem respeito a erros durante o registro no papel dos valores dos raios observados na régua. Esses tipos de erro não existem nos métodos digitais já que os programas transcrevem as medidas automaticamente para uma tabela.



**Figura 4.** Comportamento da distribuição dos raios ao longo das classes de tamanho, gerados pelas diferentes metodologias, para as espécies estudadas.

**Figure 4.** Behavior of the growth ring width distribution along the size classes, generated by different methodologies for the both species.

O uso da metodologia digital possibilitou que as imagens das seções fossem armazenadas em um disco rígido de um computador, fazendo com que a base de dados ficasse protegida por tempo indeterminado. Com isso não há uma preocupação com a possível perda, contração radial e/ou quebra das seções. Além disso, houve também a possibilidade de descarte das amostras, substituindo o uso de um grande espaço físico para o armazenamento por apenas um pequeno espaço digital.

Uma desvantagem da metodologia digital é o alto custo dos programas utilizados nesse trabalho (ArcView e WinDENDRO). Esse fator pode restringir a aquisição e o uso desses programas. Esse problema tende a desaparecer com o surgimento de programas livres como o Anatro Livre que é um programa desenvolvido especificamente para todo o processo da Anatro, além do GvSIG e do SPRING, que são os concorrentes gratuitos do ArcView.

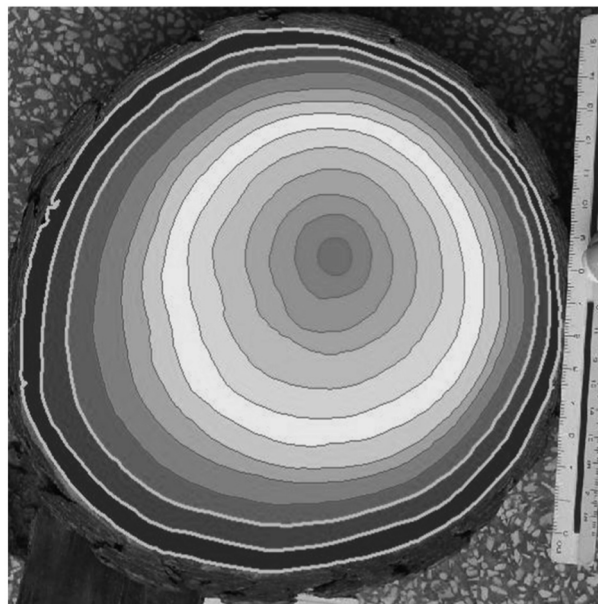
O tempo de medição dos anéis de crescimento foi em média 15% maior nas árvores de *M. scabrella* em relação as árvores de *P. taeda* pois,

a *M. scabrella* apresentou um maior número de falsos anéis tornando assim as medidas mais trabalhosas e demoradas. Em média o processo de medição dos anéis de todos os discos, com o uso do programa ArcView, demorou 10 horas para uma árvore de *P. taeda* e 12,5 horas para uma árvore de *M. scabrella*. O método WinDENDRO teve o mesmo tempo de medição dos anéis apresentado pelo método manual, que foi de 2 a 2,5 horas para a medição dos anéis de todos os discos de uma árvore, tanto de *P. taeda* quanto de *M. scabrella*. No entanto, tem-se que considerar o tempo de transcrição das medidas manuais via teclado e a possibilidade errar na leitura da régua e durante a digitação dos dados. Por isso pode-se afirmar que nesse estudo o método mais rápido para obtenção dos raios médios foi o WinDENDRO e o seu uso possibilitou uma medição cerca de cinco vezes mais rápida nas duas espécies em relação ao programa ArcView, pois trata-se de um programa profissional, específico para análise dos anéis, enquanto que o ArcView foi desenvolvido para outras finalidades. O WinDENDRO é preparado para identificar automaticamente os limites de cada anel de crescimento, ficando a cargo do operador a decisão se o programa indicou corretamente o limite do anel ou não. Então a dificuldade maior será quando a espécie apresentar muitos anéis falsos já que o operador terá que gastar tempo indicando os limites corretos de cada anel. No ArcView as ferramentas disponíveis não são automatizadas então, perde-se tempo tratando as imagens e combinando diferentes procedimentos para medição dos anéis de crescimento.

A possibilidade de exportar os dados gerados pelo ArcView e pelo WinDENDRO para a planilha eletrônica agilizou os cálculos comparativos.

Os SIG's (sistemas de informações geográficas) oferecem inúmeras ferramentas de análise de um *shapefile* como por exemplo a elaboração de um banco de dados que, segundo Rosot (2002), permitem a associação de informações espaciais (localização dos anéis na seção) a atributos alfa-numéricos (identificação e características dos anéis, das fatias, das árvores e do povoamento; valores das áreas transversais; raios médios; incrementos radiais, etc.). Exemplificando esse processo, foi feita uma consulta ao banco de dados de uma seção digitalizada qualquer. Na janela "Select by attributes" foi inserida a equação " $d > 14$ " a qual realçou no *shapefile* os diâmetros maiores que 14 cm como pode ser observado na figura 5. Com essa consulta é possível, por

exemplo, observar em qual idade a árvore atingiu um diâmetro para determinado uso em uma empresa. Com o uso dessa ferramenta também é possível fazer uma análise mais rápida do crescimento da árvore o que pode ajudar na tomada de decisões sobre o planejamento futuro.



**Figura 5.** Ilustração de uma consulta ao banco de dados de uma seção digitalizada no ArcView (anéis com as bordas mais grossas).

**Figure 5.** Illustration of a query to the digitized-cross-section database in ArcView (growth rings with thicker edges).

Outra possibilidade é diferenciar visualmente qualquer valor qualitativo ou quantitativo referentes a um ponto, linha ou polígono. Com tal ilustração foi feita uma classificação das diferentes áreas transversais digitalizadas abrindo-se a janela "layer properties", clicando na guia "Symbolology", selecionando "Categories/Unique values" e escolhendo a opção área transversal do campo "Value Field". Na figura 6 (A) pode se observar que os polígonos apresentam diferentes tons de cinza para diferentes valores de área transversal.

O uso do programa WinDENDRO para medição dos anéis de crescimento foi fácil e rápido, possibilitando analisar várias árvores durante um dia de trabalho. Os "Path's" foram criados e editados de maneira fácil, no entanto sempre houve a necessidade de conferir as medições, pois o programa às vezes contabilizava falsos anéis e deixava de medir alguns anéis existentes. Essa dificuldade pode ser superada com o ajuste da sensibilidade na detecção automática de anéis. Quando o mouse era movido sobre uma "linha de sensibilidade", localizada em "Profile Area", era possível fazer o ajuste da sensibilidade em cada imagem. Buscou-se sempre o equi-



lívrio, pois quando o grau de sensibilidade era baixo, anéis deixavam de ser detectados, e quando era alto, falsos anéis eram medidos.

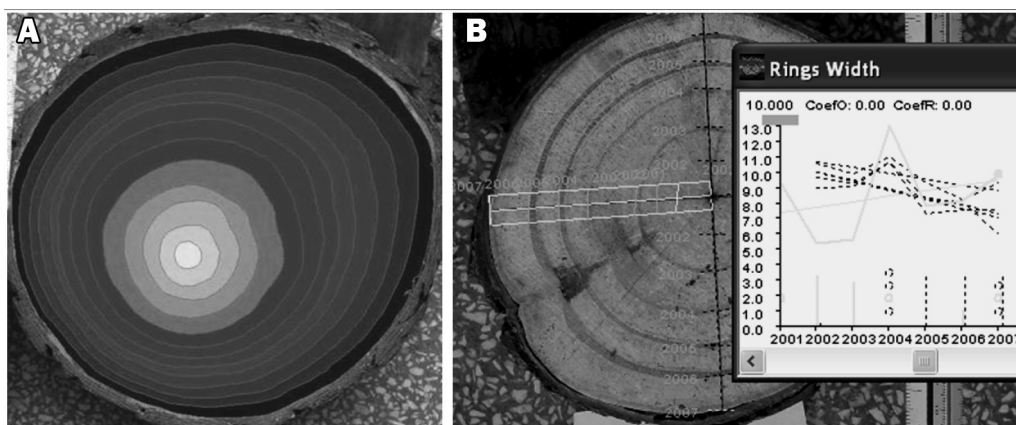
Outro recurso oferecido pelo programa foi a consulta ao gráfico "The ring-width graphic". Com o uso dessa ferramenta houve a possibilidade da visualização gráfica dos raios que tinham a largura dos anéis medidos. O uso desse recurso gráfico acelerou o processo de medição em algumas árvores, pois nele era possível ver quando havia um erro na identificação dos anéis, e ainda, se a seção apresentasse uma relação entre a distância dos anéis de crescimento (forma mais cilíndrica), notava-se facilmente algum erro apenas observando o gráfico. Na figura 6 (B) pode ser observado o gráfico de largura de anéis em função do ano em escala linear. Para ilustrar um possível erro adicionou-se propositalmente um anel inexistente no "Path" de linha contínua na análise de uma seção de *P. taeda* cortada no ano de 2007, e que apresentava seis anéis. Esse erro pode ser notado facilmente no gráfico de linha contínua, pois, além de ser o único raio que tem medidas no ano de 2001, tem a distância dos raios no eixo y muito diferente em relação aos outros raios medidos.

É importante mencionar que segundo Schweingruber (1988) o uso de seções secas e lixadas é de fundamental importância para as análises dos anéis de crescimento. Em acordo com o pensamento desse autor optou-se por usar seções secas e lixadas neste trabalho porque espera-se que os falsos anéis sejam mais problemáticos e os anéis verdadeiros mais difíceis de serem separados em discos não lixados. Nos discos lixados, as informações são extraídas com maior facilidade e os casos duvidosos são mais fáceis de serem analisados. No entanto tornam-se oportunas pesquisas que

possam eliminar a fase de transporte e secagem das seções. Rosot (2002) realizou uma análise de tronco, utilizando fotografia digital de discos verdes, processamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas. A técnica apresentou como principal vantagem o fato de não ser preciso trazer material do campo, o que elimina os gastos com o tratamento e armazenagem desse material.

A aplicabilidade de se usar discos não lixados ainda necessita de estudos aprofundados, principalmente em espécies diferentes das utilizadas nesse estudo. Mesmo assim os resultados encontrados por Rosot (2002) para pinus são bons. As diferenças entre as alturas totais a cada idade, estimadas a partir de dados de anatro completa, com dados extraídos de imagens de discos não lixados e as obtidas por medição manual não foram significativas. Os volumes, no entanto, diferiram estatisticamente entre si a um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , sendo que a diferença média percentual absoluta foi igual a 7%.

A vantagem observada no WinDENDRO foi que, como sendo um programa específico para medições de anéis de crescimento o uso das suas ferramentas e procedimentos é facilitado, necessitando de pouco treinamento para se dominar o programa então as medições dos anéis acontecem mais rápido. Um limitador pode ser o investimento para se adquirir o programa. Mas a tendência é o barateamento, principalmente com o surgimento de programas gratuitos. O próprio WinDENDRO já é uma opção mais barata ao ArcView, para a finalidade de se medir anéis de crescimento. Quanto a precisão, observou-se que o programa é tão bom quanto o método manual, porém, é mais prático e a tendência é que os métodos digitais substituam o manual.



**Figura 6.** Exemplo do uso da ferramenta de ArcView para diferenciação visual das diferentes áreas transversais em uma seção de *P. taeda* (A) e da observação da largura de anéis em função do ano no programa WinDENDRO (B).  
**Figure 6.** Example of the use of ArcView's tool for visual differentiation of the different cross-section areas values of *P. taeda* (A) and observation of the growth ring width by year with the software WinDENDRO (B).

## CONCLUSÕES

O método manual e WinDENDRO apresentaram o mesmo tempo gasto na medição dos anéis de crescimento, no entanto o método mais rápido para obtenção dos raios médios foi o WinDENDRO. Além disso, o método mais prático para medição dos anéis de crescimento também foi o WinDENDRO.

O programa ArcView ofereceu ferramentas interessantes como a possibilidade de consulta ao banco de dados e cálculos de áreas. O uso deste programa para o procedimento de digitalização dos anéis, foi fácil porém, trabalhoso e demorado, requerendo profissional qualificado.

Os resultados do teste de Komolgorov-Smirnov permitiram considerar que a medição dos anéis de crescimento com o uso do programa ArcView e WinDENDRO se apresentou como uma alternativa para substituir a metodologia manual.

## REFERÊNCIAS

BAILEY, R.L.; GRIDER, G.E.; RHENEY, J.W.; PIENAAR, L.V. **Stand structure and yields for site-prepared loblolly pine plantations in the piedmont and upper coastal plain of Alabama, Georgia and South Carolina.** Athens: The University of Georgia, College of Agriculture Experiment Stations, 1985. 118p. (Research Bulletin, 328).

BARUSSO A.P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco.** 1977. 133p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 1977.

BIGING, G.S.; WENSEL, L.C. **A photographic technique for use with stem analysis.** *Forest Science*, Bethesda, v.30, p.715-729, 1984.

FINGER C.A.G. **Fundamentos da Biometria Florestal.** Santa Maria: EdUFSM, 1992. 269p.

FINK, F. **Foto-optische Erfassung der Dimension von Nadelundholzabschnitten unter Einsatz digitaler, bildverarbeitender Methoden.** 2004. 175p. Tese (Doutorado) – Universidade de Freiburg, Freiburg, 2004.

FRITTS H.C. **Tree Rings and Climate.** New York: Academic Press, 1976. 567p.

HUGHES, M.K.. **Dendrochronology in climatology – the state of the art.** *Dendrochronologia*, Amsterdam, v.20, n.1-2, p.95-116, 2002.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration.** New York: Ronald Press Co., 1982. 410p.

MACHADO, S.A.; SILVA, L.C.R.; FIGURA, M.A.; TÊO, S.J.; NASCIMENTO, R.G.M. **Comparison of methods for estimating heights from completely stem analysis data for *Pinus taeda*.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.20, n.1, p.45-56, 2010.

PILCHER, J.R. **Sample preparation, cross-dating and measurement.** In: COOK, E.R.; KAIRIUKSTIS, L.A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989. p.41-51.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Florestal.** San Jose: IICA, 1997. 561p. (Investigacion y educacion en desarrollo sostenible, 1).

ROSOT, M.A.D. **Processamento de imagens aplicado á medição de anéis de crescimento na análise de tronco.** 2002. 206p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2002.

ROSOT, M.A.D. ; DISPERATI, A.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais.** *Revista Árvore*, Viçosa, v.25, n.1, p.79-88, 2001.

ROSOT, M.A.D.; FIGUEIREDO FILHO A.F.; DISPERATI, A.A.; BAGGIO, D.E. **Análise de Tronco Digital: Uma nova Metodologia para a Medição de Anéis de Crescimento.** *Floresta*, Curitiba, v.33, n.3, p.235– 255, 2003.

ROSOT, N.C.; EMERENCIANO, D.B.; ROSOT, M.A.D. **Tabela de produção para povoamentos de *Pinus patula* através de análise de tronco para a Região de Manica - Moçambique.** *Floresta*, Curitiba, v.22, n.1-2, p.3-12, 1995.

SCHWEINGRUBER, FH. **Tree rings: basics and applications of dendrochronology.** Dordrecht: D.Reidel Publishing Company, 1988. 273p.

Recebido em 11/04/2011

Aceito para publicação em 06/02/2012