

Crescimento de *Acer negundo* na arborização urbana de Curitiba – PR por meio de análise dos anéis de crescimento

Jaçanan Eloisa de Freitas Milani¹ Jorge Danilo Zea-Camaño^{2*} Daniela Biondi²

¹Universidade Estadual do Centro - Oeste, Setor de Ciências Agrárias e Ambientais. PR 153 Km 7 - Irati, PR, Irati –PR, CEP: 84.500-000.

² Universidade Federal do Paraná, Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Curitiba-PR, CEP: 80.210-170.

* Integrante grupo SocioEcosistemas y Clima Sostenible (Colciencias)

*Author for correspondence: jdzeaca@gmail.com

Received: 16 March 2017 / Accepted: 31 October 2017 / Published: 31 December 2017

Resumo

A dendrocronologia é uma ciência que estuda os anéis de crescimento das árvores e fornece respostas a respeito não só da sua idade, mas também de eventuais perturbações no seu desenvolvimento ao longo do tempo. O presente estudo objetivou-se conhecer a idade de árvores de *Acer negundo*, bem como reconstruir a influência de variáveis climáticas na trajetória do seu desenvolvimento por meio de estudo dendrocronológico na arborização urbana de Curitiba. Foram amostradas aleatoriamente dez indivíduos de *A. negundo* dos quais foram coletadas amostras radiais pelo método não destrutivo (trado Pressler). As amostras foram processadas em laboratório, secas em temperatura ambiente e tiveram suas superfícies polidas com lixas de diferentes granulometrias para facilitar a identificação das camadas de crescimento. Posteriormente foram digitalizadas em resolução de 1200 ppp, e as imagens processadas por meio do software Image Pro Plus® 4.0 e analisadas com o auxílio do software COFECHA®. A relação do crescimento com as variáveis meteorológicas foi testada utilizando a correlação de Pearson com nível de probabilidade de 95%. A análise dendrocronológica revelou que as árvores de *Acer negundo* apresentam anéis anuais e distintos, com idades variando entre 13-46 anos. A cronologia estabelecida compreendeu um período de 42 anos (1974-2015) com correlação entre árvores de 0,401. A análise de correlação entre a largura dos anéis de *A. negundo* e a precipitação indicou uma tendência positiva de correlação, em que a medida que aumentam os valores de precipitação o crescimento radial da espécie é favorecido.

Palavras-chave: Dendrocronologia; Silvicultura Urbana; Variáveis climáticas

Abstract

Dendrochronology is a science that studies the growth rings of trees and provides answers regarding not only their age, but also any disturbances in their development over time. The present study aimed to know the age of *Acer negundo* trees, as well as to reconstruct the influence of climatic variables in the trajectory of its development through a dendrochronological study in the urban forest of Curitiba. Ten individuals of *A. negundo* were sampled randomly from which radial samples were collected by the non-destructive method (core drill Pressler). The samples were processed in the laboratory, dried at room temperature and had their surfaces polished with sandpaper of different granulometries to facilitate the identification of growth layers. Subsequently, the samples were scanned in 1200 dpi resolution, the images were processed using Image Pro Plus® 4.0 software and analyzed with the help of COFECHA® software. The relationship of the growth and the meteorological variables was tested using the Pearson correlation with a probability level of 95%. The dendrochronological analysis revealed that *Acer negundo* trees are present annual and distinct rings, in

varying ages between 13-46 years. The established chronology comprised a period of 42 years (1974-2015) with correlation among trees of 0.401. The correlation analysis between *A. negundo* ring and precipitation indicated a positive correlation tendency, as the precipitation values increase the radial growth of the species is favored.

Keywords: Dendrochronology, Urban Forestry, Climate Variables.

Introdução

O crescimento e desenvolvimento das árvores, de uma forma geral, são regulados por características individuais de cada espécie (fatores endógenos) e pelas condições impostas pelo meio (fatores exógenos), destes principalmente a disponibilidade de água e luz (Calfapietra et al. 2015; Gillner et al. 2014; Moser et al. 2016). Conforme os supracitados autores, quando se trata de ambientes urbanos essas condições são mais restritivas, não apenas pelo estresse típico destes ambientes, como também pelas limitações inerentes ao local de plantio, que pode resultar em uma alta variabilidade na taxa de crescimento, sendo que essa variação pode ser um indicativo de sua adaptabilidade nesses ambientes antropizados.

Nas áreas urbanas, a vegetação é imposta a condições que por vezes podem ser prejudiciais para seu crescimento como estresse térmico, baixa umidade do ar e solos secos (Chen et al. 2014; Gillner et al. 2014; Marion et al. 2007). Embora existam distintas maneiras de verificar os fatores que influenciam o crescimento da vegetação, a dendroecologia surge como um apoio não apenas para conhecer a idade das árvores, mas também entender de que forma elas acabam por se desenvolver nos ambientes em que estão inseridas. Entende-se por dendroecologia a ciência que trata de estudar os processos ambientais e autoecológicos de uma planta ou população em função dos anéis de crescimento (Longhi – Santos 2013).

Diversos trabalhos ressaltam a relação existente entre os anéis de crescimento e os fatores ambientais (Boşel'a et al. 2014; Fritts 1976, Gillner et al. 2014; Malik et al. 2012; Šimatonytė e Vencloviėnė 2009), possibilitando assim um melhor entendimento da sensibilidade das espécies em um determinado local com as mudanças ambientais e os riscos dessas mudanças.

A dendroecologia possibilita avaliar diversos efeitos globais e locais como mudanças climáticas, a incidências dos ventos, incêndios, operações silviculturais e impactos de ações antropogênicas (Oliveira 2010). No entanto, trabalhos que utilizam a dendroecologia para estudar as árvores plantadas nas áreas urbanas são escassos, devendo ser aprimorada para que o silvicultor urbano, órgãos administrativos (prefeituras) possam usá-la como uma ferramenta para subsidiar planos de gestão. No Brasil por exemplo, se tem apenas registro de alguns estudos realizados

em área urbana na região Sul e Sudeste (Canetti 2015; Chagas 2013; Geraldo et al. 2014).

No caso da cidade de Curitiba que se caracteriza por apresentar ruas bem arborizadas (Biondi e Althaus 2005), recontar a história da arborização urbana sob ponto de vista da dendroecologia torna-se interessante para compreender localmente a evolução de sua arborização e os fatores que influenciaram ou estão influenciando seu desenvolvimento.

Entre as espécies implantadas na arborização em Curitiba encontra-se *Acer negundo* L. Sua característica de caducifólia durante a estação do inverno, como acontece na região Sul do Brasil, faz com que o lenho apresente anéis de crescimento distintos (Tucker, 1969) e, ainda, eventos extremos caso ocorridos, tendo potencial para estudos dendroecológicos que permitam medir a influência direta das atividades antropogênicas e dos fatores bióticos e abióticos no crescimento das árvores, que apenas por um acompanhamento visual não represente a verdadeira trajetória de desenvolvimento. Há relatos históricos que esta espécie tem sido introduzida nas ruas da cidade por volta de 1923, porém seu plantio mais efetivo ocorreu na década de 70 (Biondi e Althaus 2005).

Acer negundo L. é uma espécie da família Sapindaceae, de 12 a 15 metros de altura, possui tronco ereto, a copa é globosa, com folhas imparipinadas que ficam amarelas no outono. As flores são conspícuas verde-amareladas que surgem na primavera. Os frutos são do tipo sâmara, aos pares, com asa encurvada e aparecem no verão entre os meses de janeiro e março (Biondi e Althaus 2005; Lorenzi e Souza 2003).

Esta espécie, nativa dos Estados Unidos e Canadá, tem uma ampla distribuição em diferentes ambientes, desde locais hidromórficos, sujeitos a perturbações provocadas por inundações, como em condições de boa drenagem, sendo amplamente encontrada ao longo de estradas, terrenos baldios e em ambientes com condições limitadas de água e nutrientes (Erfmeier et al. 2011). A plasticidade atribuída a esta espécie ter contribuído para que a mesma fosse utilizada na arborização urbana.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou-se analisar as camadas de crescimento de árvores de *Acer negundo* L. presentes na arborização urbana de Curitiba por meio de estudo dendroecológico, visando conhecer sua idade e reconstruir a influência da precipitação e das temperaturas (mínima, média e máxima) na trajetória do seu desenvolvimento.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido na cidade de Curitiba, 25° 25' 42" Sul, 49° 16' 24" Oeste. O clima nessa região, de acordo com a classificação de Köppen, é o Cfb, com temperatura média anual de 16,5°C, temperatura média do mês mais quente de 20,4°C e do mês mais frio de 12,7°C e a precipitação anual em torno de 1.500 mm.ano⁻¹ (Maack, 2012).

Amostragem

As coletas de campo foram realizadas no mês de setembro de 2016 no bairro Juvevê de Curitiba. Foram coletados 10 indivíduos de *Acer negundo*, sendo amostrado um raio (série temporal) de cada árvore com auxílio de um trado Pressler (5mm) à altura de 1,30 m do solo, buscando atingir a medula. No laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, as amostras coletadas foram secas em temperatura ambiente e coladas sobre suportes de madeira, para posteriormente serem polidas com lixas de granulometrias variando entre 80 a 600 grãos/cm², a fim de evidenciar macroscopicamente os anéis de crescimento (Chagas 2013; Malik et al. 2012).

Nas amostras foram realizadas as demarcações dos limites dos anéis, que posteriormente foram digitalizadas em uma resolução de 1200 ppp (pontos por polegada). Por meio das imagens obtidas, as larguras dos anéis de crescimento foram mensuradas com auxílio do software Image Pro Plus® 4.5.0.29. Os dados coletados foram repassados para as planilhas digitais processadas em Microsoft Office Excel 2013® para posterior análise. A padronização e sincronização das séries temporais foram realizadas pelo software COFECHA® (Holmes, 1983). Para a construção da cronologia, procedeu-se à transformação dos valores das larguras em índices, por meio do software ARSTAN, que remove a tendência biológica de crescimento não dependente de sinais climáticos, e que, em geral, tem uma tendência não linear (Cook e Holmes 1984; Fritts 1976). Com base nesses índices, a cronologia foi correlacionada com as variáveis meteorológicas das temperaturas máxima, média, mínima e da precipitação, de 1970 até 2015 (INMET, 2015). Os dados foram testados utilizando correlação de Spearman ao nível de 0,05 significância para o ano anterior e corrente, uma vez que o crescimento pode ser afetado por condições ambientais pretéritas. As análises foram executadas no software Statgraphics® Centurion XVI 2009.

Resultados

A sincronização dos dados foi realizada nas 10 séries temporais, provenientes das 10 árvores amostradas (Tabela 1), gerando um valor de intercorrelação de 0,401, não significativa ($p < 0,01$), considerando o valor crítico para a janela de intercorrelação utilizado ($r = 0,5155$ e $p < 0,01$). O valor de sensibilidade média foi de 0,386, acima do valor crítico de 0,3 (GRISSINO-MAYER, 2001), indicando que a variabilidade anual pode estar relacionada à sensibilidade climática (Longhi-Santos 2013). A cronologia estabelecida compreendeu um período de 42 anos (1974-2015).

Tabela 1. Estatística descritiva da sincronização das séries temporais dos anéis de crescimento de *Acer negundo*.

Parâmetros	Dados
Número de árvores (de um total de)	10 (10)
Número de séries (de um total de)	10 (10)
Anos (Período considerado)	42 (1974-2015)
Número de anéis analisados	280
Intercorrelação das séries	0,401
Ponto crítico * (segmento em anos)	0,5155 (20/10)
Sensibilidade média	0,386
Comprimento médio das séries (DP)	33,3 ($\pm 27,3$)

A análise da dendrocronologia para as árvores de *Acer negundo* revelou que estas apresentam idade variando entre 13-46 anos e largura média dos anéis de crescimento entre 2,889 mm e 8,998 mm (Tabela 2). O incremento médio anual foi de 4,913 mm.ano⁻¹.

Tabela 2. Idade e largura média dos anéis de crescimento em árvores de *Acer negundo* plantadas em ruas da cidade de Curitiba – PR.

Árvore	Idade (anos)	Largura média dos anéis (mm)
ac01	28	4,874
ac02	13	7,054
ac03	44	3,400

Árvore	Idade (anos)	Largura média dos anéis (mm)
ac04	18	8,998
ac05	38	4,159
ac06	46	4,642
ac07	31	6,306
ac08	42	2,889
ac09	43	3,120
ac10	30	3,685

A Figura 1 apresenta os valores brutos das larguras dos anéis de crescimento (A), a cronologia final estabelecida (B) e o número de amostras (C) utilizada para cada ano avaliado. Nota-se um elevado índice de crescimento no início da década de 1980, com uma forte queda na década subsequente (mais precisamente no ano de 1994). A cronologia final, com os valores brutos transformados em índices torna a série mais sensível às correlações com as variáveis climáticas, conforme Figura 2.

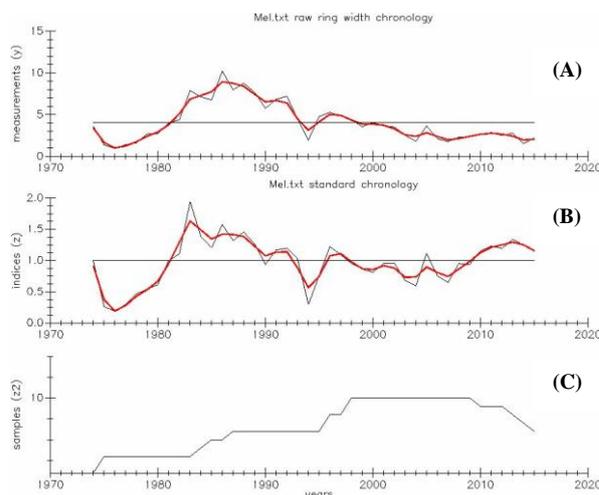


Figura 1. (A) Valores brutos das larguras dos anéis de crescimento; (B) cronologia estabelecida para o conjunto de dados; e (C) número de amostras utilizadas por período. Nota: As linhas em vermelho indicam as médias para os dados brutos e cronologias

A análise de correlação entre a largura dos anéis de *A. negundo* e a precipitação indicou uma tendência positiva de correlação, em que a medida que aumentam os valores de precipitação o crescimento radial da espécie é favorecido, sendo significativo ($p < 0,05$) nos meses de dezembro e junho do ano anterior (Figura 2). Também foram detectadas correlações significativas ($p < 0,05$) entre o crescimento e as temperaturas médias e máximas no mês de fevereiro assim como nos meses de janeiro e fevereiro do ano corrente, respectivamente, no auge da estação de crescimento (verão). Já com relação a temperatura mínima, não houve correlação significativa ($p < 0,05$).

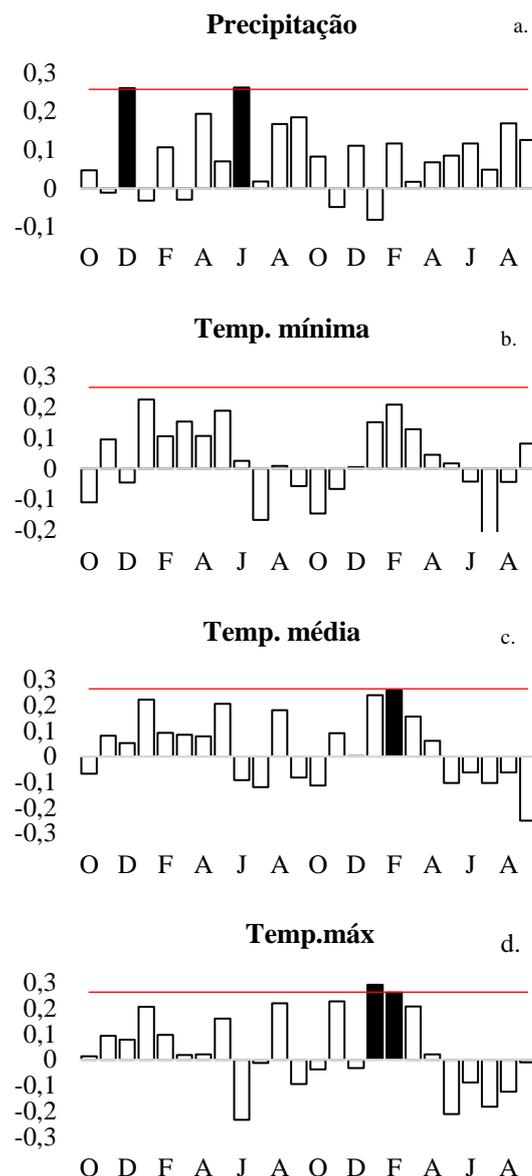


Figura 2. Correlação entre a cronologia desenvolvida de *Acer negundo* e as variáveis climatológicas: a. Precipitação; b. Temperatura mínima; c. Temperatura média; d. Temperatura máxima.

Nota: A linha determina o valor de significância estatística à 95% de probabilidade. O eixo vertical corresponde aos valores de correlação, positivos e negativos. Barras em preto significam valores acima do valor de significância estatística ($p < 0,05$)

Ao inferir a respeito dos dados históricos de precipitação para a região e a cronologia gerada (curva master), a correlação encontrada ($r = 0,30$; $p < 0,05$), embora não significativa, demonstra uma tendência geral de crescimento em períodos de maiores taxas de precipitação, enquanto períodos com baixas taxas de precipitação (ou com a redução da precipitação em relação a anos anteriores) são compatíveis com redução do crescimento, de acordo com a Figura 3.

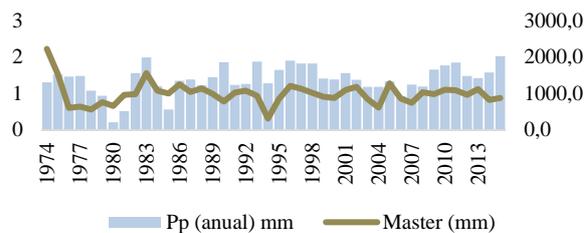


Figura 3. Histórico da precipitação média mensal (mm) da cidade de Curitiba entre os anos 1970 e 2015 e a cronologia avaliada de *Acer negundo*

Pp: precipitação anual (mm); Master: cronologia estabelecida para o conjunto de dados com a largura dos anéis (mm)

Discussão

Os resultados da tabela 2 revelam que árvores de *Acer negundo* amostradas apresentam diferentes idades e confirmam que a maioria delas foram implantadas em Curitiba na década de 1970, conforme indicado por Biondi e Althaus (2005).

No que diz respeito ao incremento médio anual, a taxa de 4,913 mm.ano⁻¹ obtida para *Acer negundo* (Tabela 2) foi semelhante com outros trabalhos em que foram estudadas espécies com densidade parecida variando entre 0,4 e 0,6 g/cm³. Venegas-González et al. (2016), em estudo dendroecológico realizado em área de transição urbano-rural na cidade de Piracicaba – SP, encontrou incremento médio anual de 4,95 mm.ano⁻¹ e 6,46 mm.ano⁻¹ para *Tectona grandis* e *Pinus caribaea var. hondurensis*, respectivamente. Já em estudo conduzido por Canetti (2015) em área urbana da cidade de Araucária - PR, a mesma encontrou incrementos superiores para *Araucaria angustifolia*, espécie nativa da Floresta Ombrófila Mista.

As diferenças nas taxas de crescimento podem ser justificadas pela influência de fatores externos, principalmente as alterações nos regimes climáticos em nível local/regional e global, modificações nos regimes de manejo e aqueles inerentes a atividades antropogênicas como crescimento da cidade; por fatores internos como o metabolismo da planta que envolve, por exemplo, a taxa de captura de carbono e a forma em que ele é alocado ao longo da estrutura da árvore, e a autoecologia da espécie que condiciona a resposta/sensibilidade da planta frente a esses estímulos endógenos e exógenos (Moser et al. 2016; Gillner et al. 2014).

Fica evidente mediante a análise dos períodos de redução do crescimento (Figura 1B) que a *A. negundo* responde com a influência de fatores exógenos impostos pelo ambiente urbano da cidade de Curitiba, estando de acordo com o demonstrado em outros estudos (Calfapietra et al. 2015; Chagas 2013; Šimatonytė e Vencloviėnė 2009).

O déficit hídrico, o método de plantio, o tipo de substrato/solo utilizado, a compactação do mesmo, assim como podas mal conduzidas, injúrias mecânicas e pragas são exemplos de fatores exógenos ou filtros abióticos próprios do meio urbano que influenciam no desenvolvimento da planta (Calfapietra et al. 2015; Rahman et al. 2011; Zaharah e Razi, 2009), cujo efeito é refletido na variação considerável das taxas de crescimento, afetando a correlação com as cronologias (Canetti 2015; Bartens et al. 2012). Esses efeitos mencionados podem ter responsabilidade nas diferenças de crescimento encontradas entre árvores de *A. negundo*.

É importante considerar que os padrões de crescimento e as respostas com fatores externos mudam ao longo da vida das árvores, conforme Canetti (2015), de modo que o fator idade poderia ter grande responsabilidade pelas diferenças de crescimento obtidas entre as distintas árvores avaliadas de *A. negundo* (Figura 1).

Os fatores endógenos também apresentam um papel importante. Nesse sentido, Costa et al. (2015) em estudo dendroecológico realizado por na Floresta Estacional Semidecidual com espécies leguminosas nativas localizadas no Estado de Espírito Santo, encontraram que as árvores, mesmo crescendo em ambientes homogêneos e sendo da mesma espécie, apresentam disparidade nas taxas de crescimento.

Mesmo que uma contribuição de fatores endógenos não possa ser impedida, os fatores climáticos são vistos como principais fatores determinantes para o crescimento radial das árvores (Gillner et al. 2014). Nesse sentido, a sazonalidade do clima em Curitiba com temperaturas extremas durante as estações de inverno e o verão e seu regime de precipitação, são fatores climáticos que podem determinar o crescimento de *A. negundo* na cidade.

A análise de correlação entre a largura dos anéis de *Acer negundo* e os registros de precipitação e temperatura (Figuras 2 e 3), sugere que as variações de crescimento encontradas podem ter relação com esses fatores climáticos, embora isso não seja uma regra. Observa-se ainda na figura 3, que os anos 1980 e 1981 apresentam precipitação acumulada mensal com valores abaixo da média anual registrada para Curitiba (1.500 mm.ano⁻¹) e esse período coincide com a redução do crescimento de algumas árvores (Figura 1).

Em ambientes urbanos, a multiplicidade e heterogeneidade dos fatores já mencionados fazem com que a correlação entre os incrementos correntes, representada pela largura dos anéis de crescimento, e os fatores climáticos de precipitação e temperatura seja comumente baixa e altamente variável em períodos de tempo curtos (meses ou anos) como já tem sido demonstrado em outros estudos (Bartens et al. 2012; Chen et al. 2011; Gillner et al. 2014; Moser et al. 2016; Venegas-González et al. 2016).

Fica evidente que a variação da temperatura e da precipitação influenciam no padrão de crescimento de *A. negundo*, uma vez que são fatores que tem relação direta com a disponibilidade de água para a planta, sendo este um recurso indispensável ao desenvolvimento das espécies e a limitação ou excesso desse recurso pode comprometer processos metabólicos fundamentais ao crescimento (Calfapietra et al. 2015; Venegas-González et al. 2016).

Assim, durante os períodos sob condições extremas, as árvores reduzem as taxas de incremento, e após disso, ocorre a retomada do crescimento, como foi demonstrado por Moser et al. (2016) por meio de análise dendrocronológica, estudando a influência do estresse hídrico no desenvolvimento de árvores das espécies *Tilia cordata* e *Robinia pseudoacacia* localizadas em cidades do sudeste da Alemanha. Em trabalho semelhante realizado por Gillner et al. (2014) na cidade de Dresden - Alemanha estudando as espécies *Acer platanooides* e *Acer pseudoplatanus* demonstraram que as variações na temperatura e eventos de calor e seca frequentes, intensificaram o nível de estresse das árvores e alteraram o seu crescimento.

De forma geral, a complexidade que o meio urbano oferece ao crescimento das árvores e a influência específica desses fatores climáticos e de outros fatores inerentes a espécie, atrelados a expansão industrial moderna, podem restringir a coleta e interpretação dos dados (Chen et al. 2011). No entanto, essas limitações podem representar um valor agregado, pois podem proporcionar oportunidades para realizar experimentos multifatoriais de longo prazo sob condições reais que permitam desvelar a influência de fatores adversos individuais do entorno urbano sobre a dinâmica de crescimento das árvores (Calfapietra et al. 2015; Marion et al. 2007).

Conclusões

As árvores de *Acer negundo* na arborização de ruas da cidade de Curitiba avaliadas neste estudo apresentam idade média de 33 anos, variando entre 13-46 anos. A taxa de crescimento diamétrico média foi de 4,913 mm ano⁻¹.

A precipitação e a temperatura apresentaram correlações na estação de crescimento (verão) com a espessura das camadas de crescimento de *Acer negundo*, embora nos demais períodos sejam não significativas.

Referências

- Bartens J, Grissino-Mayer HD, Day SD, Wiseman PE (2012) Evaluating the potential for dendrochronological analysis of live oak (*Quercus virginiana* Mill.) from the urban and rural environment—An explorative study. *Dendrochronologia*, 30(1):15-21. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2011.04.002>
- Biondi D, Althaus M (2005) *Árvores de rua de Curitiba: cultivo e manejo*. Curitiba: FUPEF, 182p.
- Bošela M, Petráš R, Sitková Z, Priwitzer T, Pajtk J, Hlavatá H, Tobin B (2014) Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environmental Pollution*, 184:211-221. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.036>
- Canetti, A (2015) *Alteração da floresta urbana, poluição atmosférica e crescimento diamétrico de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em polo industrial*. Dissertação, Universidade Federal do Paraná, 101p.
- Calafapietra C, Peñuelas J, Niinemets Ü (2015) Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress. *Trends in plant science*, 20(2):72-75. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.001>
- Chen Z, He X, Cui M, Davi N, Zhang X, Chen W, Sun Y (2011) The effect of anthropogenic activities on the reduction of urban tree sensitivity to climatic change: dendrochronological evidence from Chinese pine in Shenyang city. *Trees*, 25:393-405. doi: 10.1007/s00468-010-0514-x
- Chagas MP (2013) *Anéis do crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo*. Tese, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo 159p.
- Cook ER, Holmes RL (1984) *Program ARSTAN users manual*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press. 15p.
- Costa MS, Ferreira KE, Botosso PC, Callado CH (2015) Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semideciduous lowland forest in Brazil. *Dendrochronologia*, 36:23-32. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.004>
- Erfmeier A, Böhnke M, Bruelheide H (2011) Secondary invasion of *Acer negundo*: the role of phenotypic responses versus local adaptation. *Biological Invasions*, 13(7):1599-1614. doi: 10.1007/s10530-010-9917-2
- Fritts HC (1976) *Tree rings and climate*. San Diego, California: Academic. 567p.
- Geraldo SM, Canteras FB, Moreira S (2014) Biomonitoring of environmental pollution using growth tree rings of *Tipuana tipu*: Quantification by synchrotron radiation total reflection X-ray fluorescence. *Radiation Physics and Chemistry*, 95:346-348. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.03.012>
- Gillner S, Bräuning A, Roloff A (2014) Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. *Trees*, 28(4):1079-1093. doi: 10.1007/s00468-014-1019-9
- Holmes RL (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin*, 43:69-78.
- Longhi-Santos T (2013) *Dendroecologia de Sebastiania commersoniana (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil*. Dissertação, Universidade Federal do Paraná. 95p.
- Lorenzi H, Souza H (2003) *Plantas exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas*. São Paulo: Nova Odessa, Editora Plantarum, v. 1. 384p.
- Maack R (2012) *Geografia física do Estado do Paraná*. 3. ed. Curitiba: Ed. Olympio.
- Malik I, Danek M, Marchwinska-Wyrwal E, Danek T, Wistuba M, Marek K (2012) Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth suppression and adverse effects on human health due to air pollution in the Upper Silesian Industrial District (USID), southern Poland. *Water Air Soil Pollut*, 223:3345-3364. doi: 10.1007/s11270-012-1114-8
- Marion L, Gričar J, Oven P (2007) Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method. *Dendrochronologia*, 25(2):97-102. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2007.05.001>
- Moser A, Rötzer T, Pauleit S, Pretzsch H (2016) The Urban Environment Can Modify Drought Stress of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests*, 7(3):71-90. doi: 10.3390/f7030071
- Oliveira JM, Roig FA, Pillar VD. (2010) Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. *Austral Ecology*, 35(2):134-147. doi: 10.1111/j.1442-9993.2009.02018.x
- Rahman MA, Smith JG, Stringer P, Ennos AR (2011) Effect of rooting conditions on the growth and cooling ability of *Pyrus calleryana*. *Urban For. Urban Green*, 10(3):185-192. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.003>
- Šimatonyté A, Vencloviénė J (2009) Impact of sulphur and nitrogen dioxide concentration on radial increment dynamics of scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) growing in cities. *Environmental Research, Engineering and Management*, 48(2):25-34. doi: 10.5755/j01.erem.48.2.14
- Tucker CM, Evert RF (1969) Seasonal development of the secondary phloem in *Acer negundo*. *American Journal of Botany*, 56(3):275-284.
- Venegas-González A, Chagas MP, Júnior CRA, Alvares CA, Roig F A, Tomazello Filho M (2016) Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(1):233-245. doi: 10.1007/s00704-014-1351-4
- Zaharah SS, Razi IM (2009) Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root

restriction and water stress. *Scientia Horticulturae*,
123(1):58–67. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.07.022>.