

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DOIS VIZINHOS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ISADORA TOZZO BUENO DE LIMA

**CRESCIMENTO DE *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze CORRELACIONADO A  
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE DOIS VIZINHOS - PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso

DOIS VIZINHOS – PR

2020

ISADORA TOZZO BUENO DE LIMA

**CRESCIMENTO DE *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze CORRELACIONADO  
A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE DOIS VIZINHOS – PARANÁ**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Florestal, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para obtenção da aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Veridiana Padoin Weber.

**DOIS VIZINHOS – PR**

2020



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título **CRESCIMENTO DE DE *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze**  
**CORRELACIONADO A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE DOIS**  
**VIZINHOS – PARANÁ**

por

ISADORA TOZZO BUENO DE LIMA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 30 de novembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Veridiana Padoin Weber  
Orientador(a)

---

Prof. Dr. Edgar de Souza Vismara  
Membro titular (UTFPR)

---

Prof. Dr. Mauricio Gorenstein  
Membro titular (UTFPR)

## AGRADECIMENTOS

A Deus e aos Seres de luz, pela vida, força, equilíbrio e amparo, para conseguir superar as dificuldades durante esta etapa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade de estudar em uma universidade pública de qualidade que me proporcionou conhecimento e vivência.

A minha orientadora Veridiana Padoin Weber, agradeço infinitamente pela oportunidade concedida, conhecimento compartilhado, paciência e tempo disponibilizado além de toda inspiração.

Ao professor Edgar de Souza Vismara e ao professor Mauricio Gorenstein pelas considerações preciosas para o desenvolvimento do trabalho.

Aos meus pais Angelica Tozzo e Cezar Bueno de Lima, as minhas irmãs Catarina Tozzo e Sofia Tozzo, agradeço imensamente pelo apoio e incentivo. Também agradeço especialmente a minha tia Ana Paula Tozzo e meus avós Agostinho Tozzo e Lia Tozzo.

Agradeço aos meus amigos, Alessandra Silva, Isabela Laterza, Ademir de Holanda, Helen Correia e Gabriel Neiva (*in memoriam*), pela aprendizagem, pela força, e por todos os momentos de alegria proporcionados. Também agradeço as minhas amigas Girlaine Glenda e Leticia Parlott por sempre estarem ao meu lado, me aconselhando e apoiando.

Por me auxiliarem nas coletas agradeço meus amigos Rodrigo Voltani e Lucas Gorgulho.

A minha banca examinadora pelo tempo concedido e a todos que me ajudaram nessa caminhada, muito obrigada!

## RESUMO

**LIMA de, Isadora Tozzo Bueno. CRESCIMENTO DE *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze CORRELACIONADO A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE DOIS VIZINHOS – PARANÁ. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2020.**

O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento de 6 árvores isoladas de *C. legalis*, em um plantio no Arboreto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Dois Vizinhos, PR, em resposta a variáveis de temperatura e precipitação na formação dos anéis de crescimento. Além da resposta do crescimento a estas variáveis, avaliou-se a diferença estatística ( $\alpha = 5\%$ ), entre realizar a análise de tronco parcial com 1, 2, 3 e 4 verrumas. Foram realizadas análises dendrocronológicas para averiguar a qualidade das datações e a sensibilidade média dos anéis de crescimento da espécie. Para a estimativa dos incrementos médio e corrente anual, e para a confecção da curva de produção para análise do crescimento, utilizou-se o modelo de Backman Modificado, o qual proporcionou um bom ajuste aos dados de crescimento observados. A resposta do crescimento em relação a variáveis climáticas foi realizada através de uma correlação linear de Pearson e para a comparação entre as médias dos raios de incrementos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis. Os resultados demonstraram que a *C. legalis* possui anéis de crescimento distintos, passíveis a análises de tronco parcial, a dendrocronologia constatou uma idade de 39 anos para a série master e uma sensibilidade média de .227. Os incrementos médio e corrente encontrados foram bastante satisfatórios tanto em diâmetro quanto em área basal, sendo 1.462 e 1.393 cm/ano de IMA e ICA respectivamente, e 0.00327 e 0.00595 m<sup>2</sup>/ano. A partir dos resultados foi possível observar um bom desenvolvimento das árvores amostradas no município de Dois Vizinhos, em que o crescimento da espécie apresentou respostas positivas em meses de maior precipitação e temperaturas mais amenas, concluindo-se ainda que não se faz necessário a retirada de mais de duas verrumas por árvore para análises dendrocronológicas.

**Palavras-chave:** Análise de tronco parcial; Crescimento; Dendroclimatologia.

## ABSTRACT

**LIMA de, Isadora Tozzo Bueno. GROWTH OF *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze RELATED TO CLIMATE VARIABLES IN THE MUNICIPALITY OF DOIS VIZINHOS - PARANÁ.** 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2020.

The aim of this study was evaluate the growth of 6 individual trees of *C. legalis*, planted in the Arboreto of the Federal Technological University of Paraná, in Dois Vizinhos, PR, in response to variables of temperature and precipitation in the formation of growth rings. In addition to the growth response to these variables the statistical difference ( $\alpha=5\%$ ) was evaluated between performing partial stem analysis with 1, 2 3 and 4 cores. Dendrochronological analyses were performed to verify the quality of the dates and the average sensitivity of the growth rings of the species. To estimate the mean annual increment (MAI), current annual incremente (CAI) and the growth curve to analysis, was used the Backman Modificado model, which provided a good fit to the observed growth datas. The growth response to climatic variables was held by a Pearson linear correlation, and the comparison between the means of the increment rays by a Kruskal-Wallis test. The results showed that *C. legalis* has distinct growth rings, passive to partial trunk analyses, dendrochronology demonstrated an age of 39 years for the master series and an average sensitivity of .227. The MAI and the CAI, were quite satisfactory, in diameter and basal area, 1,462 and 1,393 cm/year of MAI and CAI, respectively, and 0.00327 and 0.00595 m<sup>2</sup>/year, demonstrating a good adaptation of the species in Dois Vizinhos, PR. Was possible to observe a good development of the trees sampled in Dois Vizinhos, which the growth of the species showed positive responses in months of greater precipitation and milder temperatures, was also possible conclude that it is not necessary to remove more than two cores per tree for dendrochronological analysis.

**Keywords:** tree ring analysis; growth; dendroclimatology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados de precipitação acumulada e temperatura média no intervalo de 2007-2018, em Dois Vizinhos, PR.....	23
Figura 2. Série de crescimento radial de para as árvores amostradas de <i>C. legalis</i> , Dois Vizinhos, PR.....	35
Figura 3. Dispersão dos resíduos (%) para os modelos de crescimento diamétrico testados em amostras de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	37
Figura 4. Ajustes dos modelos testados em função da idade, para <i>C. legalis</i> , Dois Vizinhos, PR.....	39
Figura 5. Valores de DAP (cm) observados em relação ao valor estimado pelo modelo de crescimento em diâmetro (cm) para as árvores amostradas de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	40
Figura 6. Incremento Médio Anual e Incremento Corrente Anual em diâmetro (cm/ano) para árvores de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	41
Figura 7. Incremento Médio Anual e Incremento Corrente Anual em área basal (m <sup>2</sup> /ano) para árvores de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	42
Figura 8. Índice residual da cronologia master e crescimento estimado para as amostras de <i>C. legalis</i> .....	43
Figura 9. Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice residual da cronologia de <i>C. legalis</i> e a temperatura média mensal (2007-2018) em Dois Vizinhos, PR.....	44
Figura 10. Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice residual da cronologia de <i>C. legalis</i> e a precipitação acumulada mensal média (2007-2018) em Dois Vizinhos, PR.....	45
Figura 11. Resposta da média dos raios de incremento em relação aos 4 tratamentos adotados para a comparação das médias de crescimento de <i>C. legalis</i> Dois Vizinhos, PR.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de crescimento e produção ajustados para as árvores de <i>C. legalis</i> , Dois Vizinhos, PR.....	25
Tabela 2. Estatística descritiva em relação ao crescimento radial e valores de DAP (cm) e altura total (m) das árvores amostradas de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	30
Tabela 3. Temperatura média mensal (°C), no município de Dois Vizinhos, PR, no intervalo de 2007-2018 .....	31
Tabela 4. Precipitação acumulada mensal (mm), no município de Dois Vizinhos, PR, no intervalo de 2007-2018 .....	31
Tabela 5. Controle de qualidade e datação cruzada dos anéis de crescimento da <i>C. legalis</i> , Dois Vizinhos, PR.....	33
Tabela 6. Coeficientes e estatísticas de ajuste para os modelos de crescimento testados para as árvores de <i>C. legalis</i> , Dois Vizinhos, PR.....	37
Tabela 7. Resumo estatístico dos tratamentos de mensuração dos anéis de crescimento de <i>C. legalis</i> em Dois Vizinhos, PR.....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVO</b> .....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE .....	13
3.2 ESTUDO DO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS .....	15
3.3 FORMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	16
3.3.1 Análise de crescimento baseada na formação de anéis de crescimento anuais.....	18
3.3.2 Análise de tronco parcial na estimativa do crescimento e produção .....	19
3.4 INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES TROPICAIS .....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	22
4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS DE <i>C. legalis</i> .....	23
4.4 DATAÇÃO DAS SÉRIES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO .....	24
4.5 ESTIMATIVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	25
4.6 OBTENÇÃO DAS SÉRIES CRONOLÓGICAS.....	27
4.7 RELAÇÕES COM O CLIMA .....	27
4.8 TESTE DE MÉDIAS .....	28
4.8.1 Delineamento Experimental .....	28
<b>5 RESULTADOS</b> .....	30
5.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES .....	30
5.2 ANÁLISE DENDROCRONOLÓGICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	33
5.3 CRESCIMENTO E INCREMENTO EM DIÂMETRO E ÁREA BASAL.....	36

## SUMÁRIO

5.4 INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE <i>C. legalis</i> .....	43
5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DE MENSURAÇÃO.....	47
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1960, as florestas nativas eram a principal fonte de madeira para suprir o mercado florestal, entretanto a alta no consumo do setor tornou a exploração dessas florestas insustentável (PEREIRA, 2003). O desequilíbrio entre o consumo e oferta de espécies nativas, fez que com que se buscasse alternativas para suprir este mercado, o que abriu espaço para o cultivo de espécies exóticas. Para atender esta demanda, o poder público, por meio de investimentos em pesquisas e desenvolvimento tecnológico, além de incentivos fiscais, facilitou plantio de espécies exóticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012).

Atualmente, há uma crescente valorização comercial de espécies nativas com potencial madeireiro, o que leva a uma conseqüente valorização nos preços de mercado das mesmas. Todavia, o cultivo destas espécies para fins comerciais é raro, principalmente devido à falta de informações silviculturais acerca de espécies tropicais. A falta de melhoramento genético destas espécies também representa um fator limitante ao plantio comercial uma vez que, de acordo com Erskine, Lamb e Borschmann (2005), a tendência é buscar homogeneidade e simplificação nos plantios florestais.

Para o sucesso em um plantio composto por espécies tropicais, é imprescindível considerar o local de ocorrência natural da espécie. A escolha de um sítio inadequado, ou seja, em condições diferentes das de abrangência da espécie de interesse, leva a prejuízos no plantio, como a diminuição da produtividade e o aumento na suscetibilidade ao ataque de pragas. Ferreira (1990), destaca como um fator importante a ser considerado na escolha da espécie, ter conhecimento acerca de possíveis problemas fitossanitários em seu local de ocorrência, uma vez que espécies valiosas como *Cedrela fissilis* e *Swietenia macrophylla*, por exemplo, são extremamente suscetíveis ao ataque de insetos, o que pode inviabilizar o plantio.

Para otimizar o potencial de produção de espécies nativas, é essencial que se conheça seu comportamento silvicultural, além de sua relação com características ambientais, uma vez que a adaptação e conseqüente

crescimento destas espécies em um sítio, é muito dependente de condições edafoclimáticas favoráveis para seu desenvolvimento. O entendimento da relação de uma espécie com o ambiente torna viável o desenvolvimento de programas mais amplos para o cultivo de espécies nativas (MENDONÇA, et al. 2017).

Neste contexto, avaliar o potencial produtivo de espécies nativas para fins comerciais é de suma importância, tendo em vista que em condições de plantio o desenvolvimento destas espécies pode ser diferente de seu crescimento no local de ocorrência natural. Dentre as espécies que constam na lista de espécies madeireiras promissoras da Mata Atlântica, ou seja, as que apresentam valor econômico comprovado e produção madeireira valiosa está a *Cariniana legalis* (EMBRAPA, 2003).

Escolheu-se a *C. legalis* para o estudo pelo fato da espécie apresentar uma boa resposta a tratamentos silviculturais, além de uma madeira de elevado valor comercial, podendo ser cultivada em plantios mistos ou puros, em alguns casos superando o crescimento de 21 m<sup>3</sup>/ha/ano (REMADE, 2007). Embora a espécie não ocorra naturalmente na região de Dois Vizinhos, em um estudo realizado por Carvalho (2003), a *C. estrellensis*, em condições de plantio no município de Dois Vizinhos em Latossolo Vermelho distroférico, aos onze anos apresentou um Incremento Médio Anual de 21,6 m<sup>3</sup>/ha/ano, demonstrando um bom desenvolvimento na região.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento de árvores individuais de *C. legalis* em resposta a variáveis climáticas, a partir de análise de tronco parcial.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o incremento médio e corrente em área basal e diâmetro, e avaliar o crescimento o dos indivíduos amostrados.

- Estudar a influência de variáveis climáticas (precipitação acumulada e temperatura média), na formação dos anéis de crescimento.

- Comparar se há diferença, entre realizar a análise de tronco parcial, com duas, três ou quatro verrumas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, popularmente conhecida como jequitibá-rosa, é uma espécie arbórea da família Lecythidaceae, que ocorre nos estratos superiores da Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, e das formações de Baixo- Montana, entre as latitudes 08°Sul (PE) a 23°Sul (SP), e altitudes de 30 a 1000m (SEBBEN et al., 2000; CARVALHO, 1998). É uma das espécies arbóreas que consta na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, na categoria vulnerável, principalmente em decorrência a exploração desordenada e a falta de plantios de reposição (CARVALHO, 1998).

Peixoto et al. (1995), descrevem a ocorrência da espécie, além das formações já mencionadas, em formação Submontana, ocorrendo em baixadas e encostas úmidas com baixa densidade populacional. A espécie é conhecida como uma das árvores gigantes da Floresta Atlântica, podendo chegar a 60 metros de altura e 4m de DAP, todavia a maioria dos indivíduos possui de 25 a 35m de altura, e DAP entre 60 a 100cm (SEBBEN et al., 2000). Também é considerada uma das mais longevas dentre as que integram a Mata Atlântica, podendo ultrapassar 500 anos de idade, com o fuste reto e cilíndrico (LORENZI 2008).

*C. legalis* está presente nos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, tanto em floresta pluvial atlântica como na latifoliada semidecídua da bacia do Paraná (LORENZI, 2008). Ainda de acordo com o autor, são árvores semi-heliófitas, com tolerância moderada a luz direta durante os primeiros anos, com o crescimento podendo variar de moderado a rápido. Carvalho (1998), classifica *C. legalis* com características de secundária tardia, não habitando pastagens em seu estágio sucessional. Pode ser considerada como uma espécie valiosa para plantios, devido a sua excelente forma, boa madeira e

crescimento rápido, principalmente, se plantada em solos de baixada, (frescos, férteis e bem drenados) (CARVALHO, 1998).

As folhas são simples, alternas, glabras, ovado-oblongas a elíptica, base cuneada com dobras para página inferior, variando de 4 e 8cm de comprimento e de 2 a 4 cm de largura. As flores são brancas, cremes ou amarelo pálidas, dispostas em panículas axilares e apicais (RODRIGUES et al., 2012). São plantas monóicas, de reprodução mista, predominantemente alógama (SEBBEN et al., 2000).

Os frutos são do tipo pixídio alongado, cilíndrico, lenhoso, deiscente e trilocular. Apresentam uma abertura transversal íntegra e espessada de borda lisa. Possuem em média 5,6 cm de comprimento, 2,37 cm de largura e 2,39 cm de espessura, pesando cerca de 331,82 g, podendo conter de 8 a 16 sementes (RIBEIRO, et al., 2015). As sementes são classificadas como estenospérmicas, semicirculares ou triangulares com tegumento rijo e coloração marrom escura (RIBEIRO et al., 2015). É uma espécie perenifólia, semicaducifólia, com flores hermafroditas, polinizadas por abelhas, sendo a dispersão das sementes anemocórica (CARVALHO, 1998).

O tronco da *C. legalis* é reto, colunar, com sapopemas baixas e grossas. A casca muito espessa, parda a marrom escura, rígida fissurada, profundamente sulcada, com cristas mais ou menos planas e casca interna de coloração avermelhada (RODRIGUES et al., 2012). Os autores ainda classificaram a madeira com cerne de coloração castanho, com superfície moderadamente lustrosa, sendo macia ao corte manual no plano transversal, odor e gosto imperceptível e moderadamente pesada, com densidade aparente de 0,59 g/cm<sup>3</sup>. A espécie apresenta anéis de crescimento indistintos, ou distintos individualizados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras, e/ou pelo afastamento das linhas de parênquima (SANTINI JUNIOR, 2013).

Quando exposta a condições adversas, a madeira de *C. legalis* apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos. Apresenta fácil trabalhabilidade podendo ser empregada, quando corretamente manejada, em contraplacados, folhas faqueadas, móveis e armação, acabamentos internos, brinquedos, lápis, entre outros (RODRIGUES et al., 2012). Segundo Lorenzi

(2008), a madeira ainda pode ser empregada nas indústrias de celulose e papel, produzindo papel de excelente qualidade.

O crescimento da *C. legalis* varia de moderado a rápido, em alguns casos podendo superar 21m<sup>3</sup>/ha/ano, como demonstrado em plantios experimentais em Dionísio – MG, Lorena – SP, Rio Claro – SP, Paranaguá – PR e Campo Mourão – PR, entretanto deve-se ressaltar que em todos os plantios notou-se a desuniformidade no crescimento dos exemplares (CARVALHO, 1998).

### 3.2 ESTUDO DO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS

O sucesso do manejo florestal e do uso da terra dependem primeiramente, de uma produção de madeira sustentável (BRIENEN e ZUIDEMA, 2006b). A produção de madeira futura, por sua vez, requer informações acerca das análises de crescimento das espécies de interesse (BOOT e GULLISON, 1995). Estudos acerca da idade, crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores, fornecem inúmeras informações que podem ser empregadas na determinação de ciclos de corte, regime de desbastes, e volumes admissíveis para uma exploração sustentável (BOTOSSO e MATOS, 2002).

Para Ridder et al. (2013), o ciclo de corte deve ser baseado na idade de rotação biológica da árvore, conseqüentemente fornecendo um diâmetro mínimo de corte (DMC). Legalmente, o governo define um DMC igual para o corte de espécies diferentes, o que significa que o DMC não é calculado, mas fixado por regulamentações nacionais e/ou em valores fixos que coincidem com volumes de espécies já comercializadas (SHÖNGART, 2008). Do ponto de vista científico, o DMC deve ser baseado no crescimento da árvore (RIDDER et al., 2013). Por exemplo, de acordo com Junk et al. (2011), o DMC deve ser definido com base na idade em que o diâmetro atinge seu máximo incremento corrente em volume. Rondeux (1999) define o DMC ótimo na idade em que a árvore atinge seu máximo incremento médio, em volume ou área basal.

É importante que se conheça o comportamento biológico de cada espécie, uma vez que o crescimento e as estratégias de uma árvore para alcançar o

dossel, variam conforme a espécie (POUSON e PLATT, 1989). Brien e Zuidema (2006a) salientam que informações acerca do crescimento e estratégias utilizadas pela árvore para seu estabelecimento, incluindo a presença e frequência de períodos de rápido crescimento (liberação), e baixo crescimento (supressões), são essenciais para entender a diferença na trajetória de vida das diferentes espécies. Os autores ainda ressaltam que a variação no comportamento dos indivíduos de uma mesma espécie, pode estar relacionada a esses períodos, sendo este, um fator importante na definição da idade de estruturação de uma população.

Até agora, as parcelas permanentes tem sido o recurso mais importante utilizado na avaliação de dados de crescimento das espécies tropicais. Estes dados são utilizados para projetar o crescimento das árvores ao longo do tempo e calcular a produção de madeira através de modelos de crescimento (ARETS, 2005). Entretanto, a obtenção de dados nessas parcelas é de médio a longo prazo, sendo assim, a dendrocronologia (estudo dos anéis de crescimento) é uma alternativa rápida e confiável, para espécies que apresentam anéis de crescimento anuais, para obtenção de dados de crescimento (FIGUEREDO FILHO et al., 2017).

### 3.3 FORMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Os anéis de crescimento são uma expressão da atividade cambial da árvore em dois períodos, o vegetativo, relacionado a períodos favoráveis de crescimento, e os períodos de estresse fisiológico, inadequados ao crescimento. Sendo assim a formação dos anéis de crescimento, ocorre perante um período de estresse fisiológico durante o ano (ENCINAS, et al. 2005).

Nem todos os anéis possuem um incremento anual distinto, algumas vezes quando há presença de algum fator extremamente limitante, o crescimento pode não acontecer, não ocorrendo assim a formação de anel. Outra situação diz respeito ao período de estresse que ocorre no meio da estação de crescimento, podendo acarretar na formação de uma ou mais

camadas de crescimento, em um ano particular, levando a formação de falsos anéis (FRITTS, 1976).

Para as Gimnospermas, ou espécies de clima temperado, a atividade cambial é induzida pela temperatura e/ou fotoperíodo. Quando essas variáveis são favoráveis ao crescimento, as células produzidas pelo câmbio são mais curtas, maiores e com paredes mais finas, devido a alta atividade cambial (lenho inicial). Já quando estas condições são desfavoráveis ao crescimento, a divisão e expansão das células cambiais entra em declínio, formando células com parede mais espessas e densas (lenho tardio). A alternância entre estes dois tipos de células resulta na formação dos anéis de crescimento (LUZ, 2011). Os anéis de crescimentos anuais são delimitados a partir do começo do lenho inicial até o final do lenho tardio, sendo a largura desses anéis dependente de condições genéticas, idade, edafoclimáticas, intervenções humanas e injúrias (LAGGOUNE et al., 2015).

A transição de lenho de início de estação para lenho de fim de estação nem sempre é clara. A mudança abrupta ocorre apenas em algumas espécies (BOWYER, et al., 2003). Segundo IAWA (1989), os limites dos anéis de crescimento podem ser demarcados através de uma ou mais mudanças estruturais da célula, como: células das fibras com paredes espessadas e achatadas no sentido radial; diferenças de diâmetro dos vasos entre o lenho inicial e tardio; presença de parênquima marginal; elementos de vasos os traqueídeos vasculares muito estreitos e numerosos, presentes no lenho tardio e ausentes no inicial; e alargamento dos raios.

O grupo das Angiospermas, possui a madeira formada por vasos, vários tipos de fibras e parênquima orientado longitudinalmente, denominados de raios de xilema. Uma das características específica do grupo são os vasos, formados por células tabulares dispostas verticalmente, nos quais as paredes finas desapareceram (FRITTS, 1976). A madeira das Angiospermas apresenta anel poroso ou difuso poroso. Em exemplares com anel poroso, os vasos que compõe o lenho inicial são mais largos do que os do lenho tardio, facilitando a identificação, já em madeiras com porosidade difusa tais vasos possuem tamanho semelhante a identificação é mais difícil. A porção que representa o

lenho tardio do grupo, apresenta fibras de madeira menores ou mais densas (FRITTS, 1976).

Por muito tempo, assumia-se que a atividade cambial em árvores tropicais permanecia mais ou menos inalterada, crescendo continuamente durante todo seu ciclo de vida, devido ao clima destas regiões apresentar-se mais uniforme em comparação às regiões temperadas (TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Botosso e Mattos (2002), citam que espécies que crescem em condições climáticas mais uniformes, possuem normalmente os anéis de crescimento indistinto ou pouco evidentes, os quais correspondem a períodos de chuva, seca, queda de folhas e/ou simplesmente dormência, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano.

### 3.3.1 Análise de crescimento baseada na formação de anéis de crescimento anuais

A obtenção de dados de crescimento de forma precisa, a partir da leitura dos anéis, é possível devido ao crescimento de uma árvore ser frequentemente afetado por variações em seu habitat. As sequências anuais de climas interferem de forma favorável ou desfavorável para isto, sendo marcadas em sequências de largura e estreitamento dos anéis da maioria das espécies (FRITTS, 1976).

A aquisição de informações a partir dos anéis de crescimento, tanto nas idades de interesse, quanto a longo prazo, podem ser diretamente aplicadas a estimativas de produção florestal, a partir de modelos relativamente simples, sendo assim uma ferramenta valiosa e realista para avaliar a sustentabilidade de regimes de corte (WORBES, 1999). Novaes et al. (2017), afirmam que a eficiência do ajuste de modelos para projetar o diâmetro para árvores individuais, pode ser eficiente a partir de análise de tronco, entretanto a aplicação desta metodologia ainda é limitada por não considerar o componente mortalidade.

Para obtenção destes dados de crescimento, uma das alternativas é a análise de tronco, que consiste na medição equidistante ou não de um

determinado número de discos ou secções transversais do tronco de uma árvore, determinando o crescimento e desenvolvimento em seus diferentes períodos de vida (ENCIÑAS et al., 2005). Ainda de acordo com os autores, este método permite que em qualquer época do ano seja possível a reconstrução do passado de uma árvore, sintetizando seu comportamento da fase juvenil até o momento em que é realizada a análise.

### 3.3.2 Análise de tronco parcial na estimativa de crescimento e produção

A análise de tronco pode ser completa, a partir de discos de cortes de árvores derrubadas, ou realizada a partir da retirada de um pequeno cilindro de madeira na altura do DAP (1,30m do solo), por meio de um instrumento conhecido como “incremente borer” ou Trado de Pressler, com a vantagem de não ser necessário o abatimento da árvore (ENCIÑAS et al., 2005). O trado consiste em uma broca oca com extremidade afiada, a qual penetra na árvore até a profundidade conveniente, retirando assim uma amostra do lenho (verruma) sem danificar os anéis de crescimento. Pelo fato da retirada da amostra ser realizada na altura do DAP, deve-se acrescentar a leitura o número de anos que a árvore levou para atingir essa altura (SILVA e PAULA NETO, 1979).

Em cada árvore analisada, deve-se retirar uma ou duas verrumas, Prodan (1965) *apud* Silva e Paula Neto (1979) recomenda a retirada de duas verrumas por indivíduo, com um ângulo de 90° entre os pontos de amostragem. Fritts (1976), salienta que, para efeito de amostragem, devem ser retirados no mínimo duas verrumas por árvore, sendo esta uma quantidade suficiente para permitir a análise de variações dentro e entre as árvores. O autor cita que para fins de cronologias, e fatores específicos de sítio correlacionados ao crescimento, a retirada de mais de duas verrumas, não compensa devido a pequena diferença amostral (FRITTS, 1976).

Newbould (1970), diz que a partir da leitura de verrumas de incremento dos últimos 5-10 anos, de um indivíduo, é possível a obtenção de dados que permitem calcular a área basal da árvore, com casca ou não, além do volume sustentável de exploração, caso haja uma tabela base de volumes sustentáveis de exploração. O autor cita que caso não haja uma tabela preliminar para tal comparação, o volume sustentável pode ser obtido através de Spurr's (1952), assumindo-se que o tronco se assemelha a uma parabolóide de rotações.

### 3.4 INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES TROPICAIS

Espécies tropicais frequentemente apresentam uma grande variação em seu comportamento, conforme a variação de sítio, neste sentido fatores climáticos podem se comportar como limitantes para seu crescimento. O princípio do fator limitante para uma espécie pode ser entendido como um processo biológico, que quando atuante, não permite o crescimento da árvore de maneira ideal. Um mesmo fator pode atuar durante todo o período de vida ou mudar de um ano para o outro, no momento em que este não atuar mais como limitante para o crescimento. Por exemplo, em um período de chuva, o crescimento irá aumentar, até que seja limitado por algum outro fator (FRITTS, 1996).

Fritts (1996), diz que a atividade do meristema apical e do cambio vascular varia durante o ano, sendo durante o inverno o período de dormência dos tecidos, a qual é quebrada na primavera, tornando-se mais ativa. Esta atividade, diminui conforme o tempo, até que o crescimento cesse e entre em dormência novamente (FRITTS, 1996).

Em relação as espécies tropicais, estudos demonstraram que a estratégia de crescimento das espécies para atingir o dossel varia em diferentes sentidos. Espécies heliófitas, por exemplo, tipicamente se estabelecem em clareiras. Quando estas encontram-se em locais de pouca luz, seu crescimento é retardado, observando-se um aumento na taxa de mortalidade, exceto se houver

uma mudança nessa relação de competição. Em contrapartida, espécies com tolerância a sombra são capazes de se estabelecer em locais com clareiras menores, devido a sua capacidade de sobreviver a períodos de supressão, mantendo ainda a habilidade de crescer durante os mesmos. (BAKER e BUNYAVEJCHEWIN, 2006).

Algumas espécies tolerantes à sombra crescem devagar em situações de supressão intensa, contudo respondem vigorosamente quando ocorre um pequeno aumento na disponibilidade de luz, enquanto outras crescem de forma mais consistente e moderada independentes da oferta de luz (CANHAM, 1990). Brienen e Zuidema (2007), demonstraram uma intensa relação do crescimento de árvores tropicais secundárias com longos períodos de chuva. De acordo com os autores, a largura dos anéis apresentou grande variação ao longo da vida das árvores, apresentando padrões de idade-diâmetro para todas as espécies. Os autores atribuem as diferenças, provavelmente, às variações de disponibilidade de luz e água, área de copa, defeitos, patógenos e infestação de lianas.

Baker e Bunyavejchewin (2006) obtiveram como resultado da análise dos anéis de crescimento de árvores tropicais, padrões de anos definidos como lento ou rápido crescimento. Em relação à espécie de mais rápido crescimento, heliófita, obteve a maior sequência de anos de crescimento lento, enquanto a espécie mais tolerante a sombra teve a maior sequência de anos de crescimento rápido. Em contrapartida, Dong et al., (2012), relata, acerca das espécies tropicais, que a maioria apresenta em sua dinâmica de crescimento uma correlação negativa entre o crescimento e a tolerância a luz.

De acordo com Worbes (1999), em geral, as espécies tropicais apresentam uma relação positiva entre o valor da precipitação e a largura dos anéis, podendo este, ser considerado um fator limitante para o crescimento de várias espécies. Vários processos ocorrem na região cambial, os quais estão intrinsecamente relacionados a fatores como macroclima, temperatura e precipitação. Assim, existe uma possível relação positiva ou negativa desses fatores com o crescimento, a qual pode ser estabelecida por modelos (FRITTS, 1976).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As amostras foram coletadas, nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos. Dois Vizinhos, encontra-se no 3° Planalto Paranaense, entre as coordenadas geográficas, latitude de 25°44'03' a 25°46'05' Sul, longitude de 53°03'01' a 53°03'10' Oeste. O relevo da região, é formado por planaltos com altitudes médias de 509m, sendo possível observar encostas relativamente íngremes, com declividades superiores a 20% (PREFEITURA MUNICIPAL DE DOIS VIZINHOS).

De acordo com a classificação de Koppën, o clima da região é o Cfa, subtropical, com temperatura média no mês mais frio, inferior a 18°C (mesotérmico), e temperatura média no mês mais quente, acima de 22°C, sem estação seca definida (IAPAR). A precipitação média anual de Dois Vizinhos situa-se entre 1.800-2.000 mm, sendo bem distribuída ao longo do ano. Na maior parte do município, o solo é o Latossolo Vermelho Distroférico típico, de textura argilosa (SANTOS et al. 2013). A formação florestal predominante na região é um ecótono entre a Floresta Estacional Semidecidual Montana e a Floresta Ombrófila Mista Montana (GORENSTEIN et al. 2010; ITCG, 2009).

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

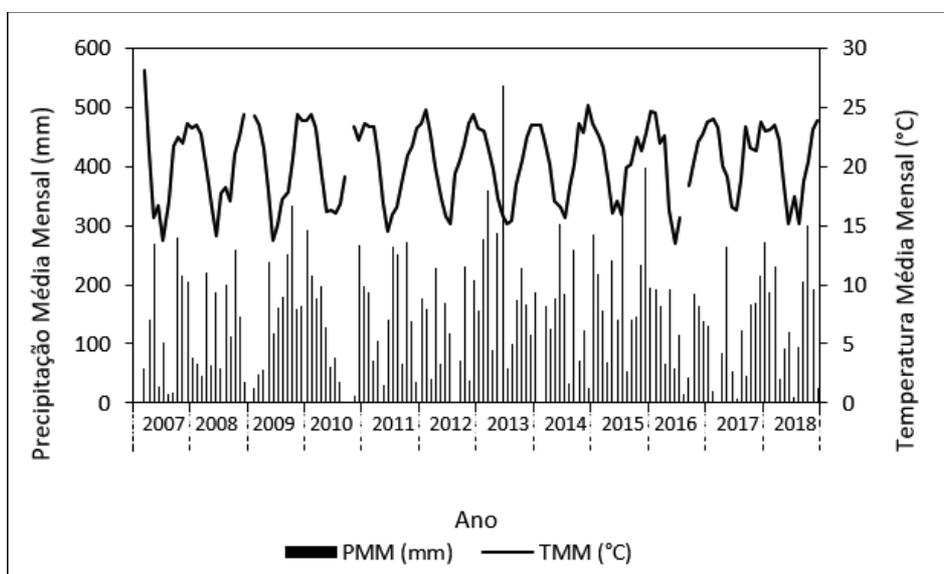
Foram amostradas 6 árvores de *C. legalis*, todas provenientes de plantio que compõe a arborização do campus, em que de cada árvore amostrada retirou-se 4 rolos de incremento. Também mediu-se as variáveis dendrométricas

de altura total (m), utilizando-se o Hipsômetro Vertex e circunferência a 1,30 m do solo (CAP), empregando-se a fita métrica.

Os rolos de incremento foram retirados nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste, na posição do CAP, com o auxílio do Trado de Pressler. Aspectos qualitativos das árvores, como retidão do fuste, presença de plantas parasitas e pregas também foram observados visualmente. Os resultados em relação ao diâmetro (cm) e altura (m) observados para cada árvore foram tabelados em planilha Excel.

Os dados de temperatura média e precipitação foram provenientes da Estação Meteorológica da UTFPR, câmpus Dois Vizinhos, os quais estão disponíveis no endereço eletrônico do Grupo de Estudos em Biometeorologia (GEBIOMET) diariamente.

**Figura 1** – Dados de precipitação acumulada e temperatura média no intervalo de 2007-2018, em Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

#### 4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS DE *C. legalis* E DEMARCAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

As amostras radiais de incremento retiradas dos indivíduos, foram fixadas em suportes de madeira, com os elementos anatômicos dispostos no sentido transversal para possibilitar a correta visualização dos anéis de crescimento. Após a secagem das amostras em temperatura ambiente, estas foram lixadas com lixas de diferentes gramaturas, primeiramente de 80, 100 e 120 grãos.polegada<sup>-2</sup>, realizando ainda o polimento das amostras com granulometrias de 180, 280, 360, 400 e 800 grãos.polegada<sup>-2</sup>.

A demarcação dos limites dos anéis de crescimento foi realizada manualmente, com o auxílio de uma lupa. Após a delimitação dos anéis, as amostras foram digitalizadas em scanner de mesa com 600ppp (pontos por polegada) de resolução. A partir das imagens obtidas, a largura dos anéis foi medida através do software de análise de imagens Image Pro Plus®, onde os dados contendo a largura dos anéis de cada amostra foram exportados diretamente para planilha Excel.

#### 4.4 DATAÇÃO DAS SÉRIES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Os valores de largura de largura dos anéis de crescimento medidos para as 4 verrumas amostradas por árvore foram processados pelo software COFECHA, a fim de averiguar a qualidade da datação dos anéis. Esse software correlaciona os coeficientes obtidos através da sobreposição de segmentos de cada série cronológica dos anéis, gerando uma série master.

O nível crítico ajustado para a correlação do coeficiente usado quando o COFECHA testa seguimentos em relação a uma série master da cronologia, é o r-valor da correlação de Pearson, o qual varia de -1 a +1. Neste sentido, este coeficiente foi utilizado para testar esta relação entre as séries avaliadas, na qual o nível crítico do r-valor varia de acordo com a largura dos segmentos analisados, o que gerou a diferença no valor de correlação crítica para cada árvore analisada. Para determinar a largura dos segmentos analisados utilizou-se a metodologia de Grissino-Mayer (2001), onde o autor recomenda selecionar

aproximadamente a metade da média da série testada, ou seja, para uma amostra na qual contabilizou-se 30 anos, a largura dos segmentos analisados, a sobreposição seria de 15 anos.

Através do COFECHA também foi possível obter a sensibilidade média das séries. Quanto maior a resposta de uma árvore a um fator ambiental limitante, maior será a variação na largura entre os anéis de crescimento. A dendrocronologia denomina esta variabilidade como sensibilidade, sendo a falta de variabilidade conhecida como complacência (SCHONS et al., 2018). Estas flutuações na largura dos anéis são calculadas através da sensibilidade média (Equação 1), a qual é uma medida das diferenças relativas na largura entre os anéis adjacentes, ou seja, é a variação percentual média de cada valor de anel medido para o próximo (SCHONS et al., 2018).

(1)

$$M_{sx} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{(x_{t+1} + x_t)} \right|$$

Onde:  $M_{sx}$  = sensibilidade média;  $x_t$  = observação no tempo; e  $n$  = número de anos.

#### 4.5 ESTIMATIVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Com o resultado da medição da largura dos anéis de crescimento, foi possível estimar o DAP (cm), considerando-se que o diâmetro é duas vezes a largura do raio, em cada idade fornecida pela análise. A partir dos valores de diâmetro sem casca, foram ajustados modelos de crescimento acumulado, para confecção de curvas de crescimento em diâmetro em função da idade, através do Excel, utilizando-se para o ajuste das equações a ferramenta Solver.

**Tabela 1.** Modelos de crescimento e produção ajustados para as árvores de *C. legalis*, Dois Vizinhos, PR.

Autor	Modelo
Chapman-Richards	$d = \beta_0 (1 - e^{(-\beta_1 * t)})^{\beta_2}$

Gompertz	$d = \beta_0 * e(-\beta_1 * e(-\beta_2 * I))$
Logística	$d = \beta_0 / (1 - \beta_1 * e(-\beta_2 * I))$
Mitcherlich	$d = \beta_0 * (1 - e(-\beta_1 * I))$
Backman Modificado	$d = \beta_0 + (\beta_1 * I) + (\beta_2 * I^2)$
Korf	$d = \beta_0 * e(-\beta_1 * I^{\beta_2})$

Em que:  $d$  = diâmetro sem casca 1,30 m do solo (cm);  $e$  = número de Euler (2,71828...);  $I$  = idade (anos);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = coeficientes de regressão.

A avaliação do desempenho dos modelos, foi analisada de acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), e erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ). O  $R^2$ , pode ser entendido como uma medida do grau de ajustamento da equação de regressão múltipla aos dados amostrais, sendo em um ajuste perfeito  $R^2 = 1$ .

Para avaliar a precisão dos modelos sobre as estimativas, deve-se considerar a dispersão das estimativas, sendo quanto menor a dispersão maior a precisão das estimativas. O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), quantifica a dispersão das observações amostrais em relação aos dados estimados.

Soares, et al., (2011), diz que o erro padrão da estimativa em % ( $S_{yx} \%$ ), informa o erro médio ocasionado pelo modelo utilizado para a predição.

Após o ajuste dos modelos, selecionou-se o modelo que apresentou o maior coeficiente de determinação, e o menor erro padrão da estimativa. A partir deste plotou-se os gráficos de IMA e ICA em diâmetro e área basal para os indivíduos amostrados, através do diâmetro estimado pelo modelo de crescimento.

$$IMA = \frac{di}{n} \quad (2)$$

$$ICA = d - d_{-1} \quad (3)$$

Em que:

$d$  = diâmetro no ano  $x$ ;  $d_{-1}$  = diâmetro no ano anterior;  $n$  = intervalo de tempo.

#### 4.6 OBTENÇÃO DAS SÉRIES CRONOLÓGICAS

Após a correta datação das séries dos anéis de crescimento utilizou-se a extensão “dplR” para análises dendrocronológicas disponível no software R, a fim de retirar as tendências de crescimento relacionadas a sinais não climáticos e outras flutuações relacionadas ao incremento dos anéis de crescimento. De acordo com MEDEIROS (2006), esta padronização tem dois objetivos, remover as tendências não climáticas relacionadas a idade, e permitir que os valores padronizados de árvores individuais, com taxas distintas de crescimento anuais, sejam calculados juntos em uma função média. Este processo também corrige a heterogeneidade da variância dos dados de largura dos anéis.

A normatização dos valores de incremento radial medidos nas amostras, foi realizada a partir do método de Friedman super smoother (Friedman, 1984), o qual tem objetivo de remover a autotorrelação de anéis de árvores individuais e identificar padrões de autocorrelação comuns a população amostral (Baker et. al, 2008). Os valores do crescimento são estimados a partir de uma função spline, com o propósito de estabilizar as variâncias nas séries de crescimento, maximizando as maiores tendências de crescimento (Helama, et. al, 2003). A normatização das séries de crescimento gera um índice residual comum para as séries amostradas o qual foi utilizado para averiguar a resposta do crescimento em relação as variáveis climáticas avaliadas. A janela utilizada para o ajuste da função foi 32-anos para o ajuste da curva spline, conforme proposto por Cook (1985), para analisar respostas a fatores climáticos, em que 32 anos corresponde aproximadamente ao tempo que padrões climáticos são mantidos.

#### 4.7 RELAÇÕES COM O CLIMA

Para avaliar a resposta do crescimento em relação a precipitação e temperatura, o índice residual gerado a partir da série master contendo a largura dos anéis de crescimento, foi correlacionado através de uma correlação linear de Pearson com a média mensal de temperatura e a precipitação acumulada

mensal do município de Dois Vizinhos, no intervalo de tempo estudado (2007-2018).

Considerou-se um intervalo de 19 meses para o cálculo, isso porque, pela atividade do meristema cambial da espécie o início da formação dos anéis de crescimento ocorre no mês de setembro (ano de formação corrente do anel), porém o crescimento sofre influências do início do ano anterior a sua formação (janeiro prévio a formação do anel) (OLIVEIRA, 2015).

## 4.8 TESTE DE MÉDIAS

### 4.8.1 Delineamento Experimental

O modelo linear (Fórmula 4), utilizado para verificar a significância da mensuração dos anéis de crescimento entre, 1, 2, 3 e 4 verrumas, foi composto por quatro tratamentos, em que T1 equivale a média de crescimento de 1 raio (A), T2 a média de 2 raios (AB), T3 de 3 raios (ABC) e T4 de 4 raios (ABCD), contendo 6 repetições, onde cada árvore amostrada representou uma repetição.

(4)

$$Y = \mu + \tau + \varepsilon$$

Em que:

Y = medida;  $\mu$  = média;  $\tau$  = efeito do tratamento;  $\varepsilon$  = erro.

Foram avaliadas duas condicionantes necessárias para a realização da ANOVA, sendo a normalidade dos erros ( $e_{ij}$ ), e homogeneidade da variância. Os testes realizados para verificar tais condicionantes foram respectivamente, Bartlett (B) (Fórmula 5) e Shapiro-Wilk (W) (Fórmula 6).

(5)

$$B = \frac{(\sum v_i) \ln (\sum v_i S_i^2) - \sum v_i \ln S_i^2}{\frac{1}{\sum v_i} - \frac{1}{3(k-1)}}$$

Em que:

$S_i = \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}^2) / (n_i - 1)$ ; k = número de amostras;  $v_i = n_i - 1$ ;  $n_i$  = número de observações no  $i^{\circ}$  nível de fator.

(6)

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Em que:

$b = \left\{ \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} a_{n-i} + 1 * ((x_{n-i} + 1) - x_i) \right\}$  se n é par;

$b = \left\{ \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i} + 1 * ((x_{n-i} + 1) - x_i) \right\}$  se n é ímpar;  $x_i$  = valores da amostra ordenados;  $a_{n-i+1}$  = constantes geradas pelas médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de uma amostra tamanho n.

As hipóteses formuladas pelo teste de Bartlett são hipótese nula ( $H_0$ ), as variâncias são homogêneas, e hipótese alternativa ( $H_1$ ) de que as variâncias não são homogêneas, tendo em vista estas hipóteses um p-valor menor que o nível de significância estabelecido para o teste (0.05), determina a rejeição da hipótese nula, ou seja as variâncias não são homogêneas. Para este conjunto de dados o p-valor encontrado através do teste de Bartlett foi 0.9503, aceitando-se a hipótese ( $H_0$ ) de que as variâncias são homogêneas.

O teste de Shapiro-Wilk tem como hipótese nula ( $H_0$ ), uma amostra proveniente de uma população com distribuição normal, sendo a hipótese alternativa ( $H_1$ ), a distribuição não normal dos erros de uma população. Neste contexto um p-valor menor que o nível de significância estabelecido para o teste (0.05), significa a aceitação da hipótese alternativa, a de que os dados possuem uma distribuição não normal dos erros. O p-valor obtido através do teste foi 0.002088, sendo menor que o nível de significância rejeitando-se assim a hipótese ( $H_0$ ), de que os dados apresentam uma distribuição normal.

Pelo fato dos dados amostrados, não cumprirem os dois pressupostos para a realização da ANOVA, optou-se por utilizar um teste de comparação de não paramétrico, o de Kruskal-Wallis, o qual permite a comparação de medianas provenientes de uma distribuição não normal.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES

Os valores de DAP e altura total, e as estatísticas descritivas em relação ao crescimento radial das árvores amostradas de *C. legalis* são apresentados da Tabela 2.

**Tabela 2** – Estatística descritiva em relação ao crescimento radial e valores de DAP (cm) e altura total (m) das árvores amostradas de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR.

RAIO (cm)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA
<b>Máx.</b>	1.0242	0.9892	0.8981	1.0914	0.9102	1.0005	
<b>Med.</b>	0.7253	0.6792	0.6064	0.7348	0.6171	0.7465	
<b>Mín.</b>	0.1137	0.1137	0.1364	0.1256	0.1478	0.205	
<b>Desvio Padrão</b>	0.159535	0.151069	0.146338	0.18858	0.169131	0.152088	
<b>Variância</b>	0.025451	0.022822	0.021415	0.035562	0.028605	0.023131	
<b>CV%</b>	21.99574	22.24218	24.13227	25.66414	27.40731	20.37343	
<b>DAP (cm)</b>	51.4	62.4	53.4	52.6	32.7	59.9	52.1
<b>Altura (m)</b>	21.5	23.1	22.6	20.6	18.9	22.9	21.6

Fonte: A autora.

O maior diâmetro observado foi para A2, de 62.4 cm, a qual apresentou idade de 39 anos pela contagem dos anéis de crescimento, representando a árvore mais velha das amostras estudadas. O menor diâmetro observado foi na A5, de 32.7 cm, com uma idade de 19 anos, sendo a árvore mais jovem das amostras.

A altura total média das árvores foi de 21.6 metros, onde a árvore mais jovem (A5) apresentou a menor altura 18.9 metros, sendo a única árvore que ficou abaixo dos 20 metros. A árvore mais alta foi a A2 com 23.1 metros. Todas as amostras estudadas são provenientes de plantio que compõe a arborização do campus, não apresentando competição com outras árvores por espaço, o que favorece seu crescimento.

Observa-se que o maior raio foi na A1, (1.0242 cm). Este anel, pela datação cruzada, corresponde ao ano de 2010, que apresentou temperatura média anual de 20.14 °C e precipitação acumulada igual a 1464.6 mm. Considerando o intervalo de tempo para os dados climáticos utilizados (2007-2018), no ano de 2010 o mês de janeiro apresentou a maior precipitação dentre os anos analisados 293.2 mm, e o mês de setembro a menor 0.8 mm. Em 2010 através da datação chegou-se a uma idade de 21 anos para a A1. A A6 também teve o maior incremento radial no ano de 2010 (1.0005 cm), em que neste ano a amostra apresentava 26 anos.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a média mensal de temperatura (°C) e precipitação acumulada mensal (mm), no intervalo de 2007-2018.

**Tabela 3** – Temperatura média mensal (°C), no município de Dois Vizinhos, PR, no intervalo de 2007-2018.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUN	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2007			28,1	21,4	15,7	16,6	13,8	17,1	21,7	22,5	22,0	23,6
2008	23,2	23,4	22,7	19,4	16,5	14,1	17,7	18,3	17,0	21,0	22,5	24,3
2009		24,2	23,5	21,6	17,9	13,7	15,0	17,2	17,8	20,7	24,4	23,8
2010	23,9	24,4	23,2	20,1	16,1	16,4	16,0	16,8	19,1		23,3	22,2
2011	23,6	23,3	23,3	20,6	17,0	14,5	15,9	16,6	19,2	20,9	21,6	23,2
2012	23,6	24,8	22,7	20,0	17,3	15,7	15,2	19,3	20,4	21,8	23,6	24,3
2013	23,2	23,0	21,4	19,8	17,3	15,9	15,1	15,4	18,5	20,5	22,4	23,5
2014	23,5	23,5	22,0	20,1	17,1	16,6	15,6	18,3	20,1	23,6	22,9	25,2
2015	23,6	22,6	21,5	18,9	16,0	17,1	15,9	19,9	20,1	22,5	21,3	22,8
2016	24,6	24,5	21,9	22,6	16,3	13,5	15,7		18,4	20,3	22,1	22,8
2017	23,8	24,0	23,2	20,0	19,1	16,5	16,3	18,9	23,4	21,6	21,4	23,8
2018	22,9	23,1	23,5	22,2	18,5	15,1	17,4	15,2	18,8	20,3	23,1	23,8

Fonte: A autora.

**Tabela 4** – Precipitação acumulada mensal (mm), no município de Dois Vizinhos, PR, no intervalo de 2007-2018.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

<b>2007</b>			58,6	141,8	269,2	28,2	101,4	16,2	18,2	279,4	214,6	205,2
<b>2008</b>	77,8	66,6	45,6	219,4	65	188,2	57,8	199,8	112,6	259,2	145,8	36,2
<b>2009</b>		24,8	49	56,2	237,6	119,2	162,2	178,6	250,6	334,8	158,4	163,2
<b>2010</b>	293,2	216	178	198,6	127,4	60,2	76,6	34,8	0,8		11,4	267,6
<b>2011</b>	198,8	186	70,8	104,8	31	142,2	263	251	66,2	271,8	139	36,8
<b>2012</b>	177,4	159	41,6	228,2	67,6	169	118,6	1,4	72,6	230,4	39	207
<b>2013</b>	156	278	358,2	89,8	286,4	535,6	58	99,2	174	228,6	167,4	116,6
<b>2014</b>	187,6	0,8	163,6	125,2	176,6	303	185,6	32,2	258,4	72,6	122,4	25,8
<b>2015</b>	284,2	217,4	156,4	68,4	241,6	140,2	329	53,2	142	145,8	233,4	396,6
<b>2016</b>	195,2	191,2	165	66	192	59,6	114,6	14,2	42,8	185,6	163,6	139,6
<b>2017</b>	131,2	20,6	0	85,8	263	54,2	7,2	123,8	45,2	167,8	169,6	216
<b>2018</b>	271,8	186,2	232	41,8	91,4	121,6	9,8	94,4	205	299,2	192,6	25,8

Fonte: A autora.

O maior raio medido para a A2 (0.9892 cm), foi correspondente ao ano de 2007, em que pela datação a árvore tinha 27 anos de idade neste ano. Em 2007 a temperatura média anual foi 20.2°C, onde o mês de março apresentou a maior temperatura média (28.1°C) e os meses de maio e julho as menores, 15.6°C e 13.8°C respectivamente. A precipitação acumulada foi a menor para o intervalo de tempo estudado (1332.8 mm).

A A3 apresentou o maior raio (0.8981 cm) no ano de 1986, sendo o menor raio máximo dentre as amostras. Em 1986 através da datação chegou-se a uma idade de 2 anos para a amostra. As árvores A4 e A5 tiveram os maiores raios (1.0914 e 0.9102), nos anos de 1995 e 2005, chegando a uma idade através da datação de 6 e 5 anos respectivamente. Para essas amostras não foi possível descrever os eventos climáticos referentes as variáveis de temperatura e precipitação, pois os anos em que se deu o máximo incremento radial estavam fora do intervalo de tempo de dados climáticos disponíveis para o estudo (2007-2018).

As amostras apresentaram um comportamento diferente no que diz respeito ao máximo raio observado, em que a metade apresentou o máximo raio na fase de crescimento inicial (2, 5 e 6 anos), e a outra metade na fase adulta (21, 26 e 27 anos).

Isto pode ser explicado pelo fato de o crescimento ser influenciado por questões biológicas inerentes as árvores. Cook (1985), denomina esses tipos de influências como “tendência-idade” das séries de anéis de crescimento, onde a

curva de incremento tende a decair com o tempo. Além da idade, tendências de crescimento relacionadas a fatores como disponibilidade de água, nutrientes e limitação de espaço para o desenvolvimento, também influenciam no incremento radial (COOK, 1985).

A medida de raio mínimo para todas as amostras ocorreu no ano de 2019. Isto porque foi o ano de coleta das verrumas e, neste período, entre os meses de fevereiro e março, o crescimento do anel ainda não havia findado.

## 5.2 ANÁLISE DENDROCRONOLÓGICA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Os resultados referentes ao controle de qualidade da datação e sincronização do crescimento radial das amostras de *C. legalis*, estão descritos na Tabela 5.

**Tabela 5** – Controle de qualidade e datação cruzada dos anéis de crescimento da *C. legalis*, Dois Vizinhos, PR obtidas através do COFECHA.

Dentre Árvores	Idade (anos)	Nº de amostras	Correlação crítica	Intercorrelação das séries	Média de sensibilidade	Comprimento médio da série (anos)
A1	30	4	.4716	.729	.225	24.5
A2	39	4	.3760	.895	.196	37.5
A3	35	4	.4327	.925	.273	29.0
A4	30	4	.4226	.858	.268	30.0
A5	19	4	.5155	.967	.231	19.0
A6	35	4	.4093	.939	.187	33.8
Entre Árvores	Idade (anos)	Nº de amostras	Correlação crítica	Intercorrelação das séries	Média de sensibilidade	Comprimento médio da série (anos)
	39	24	.3760	.587	.227	29.0

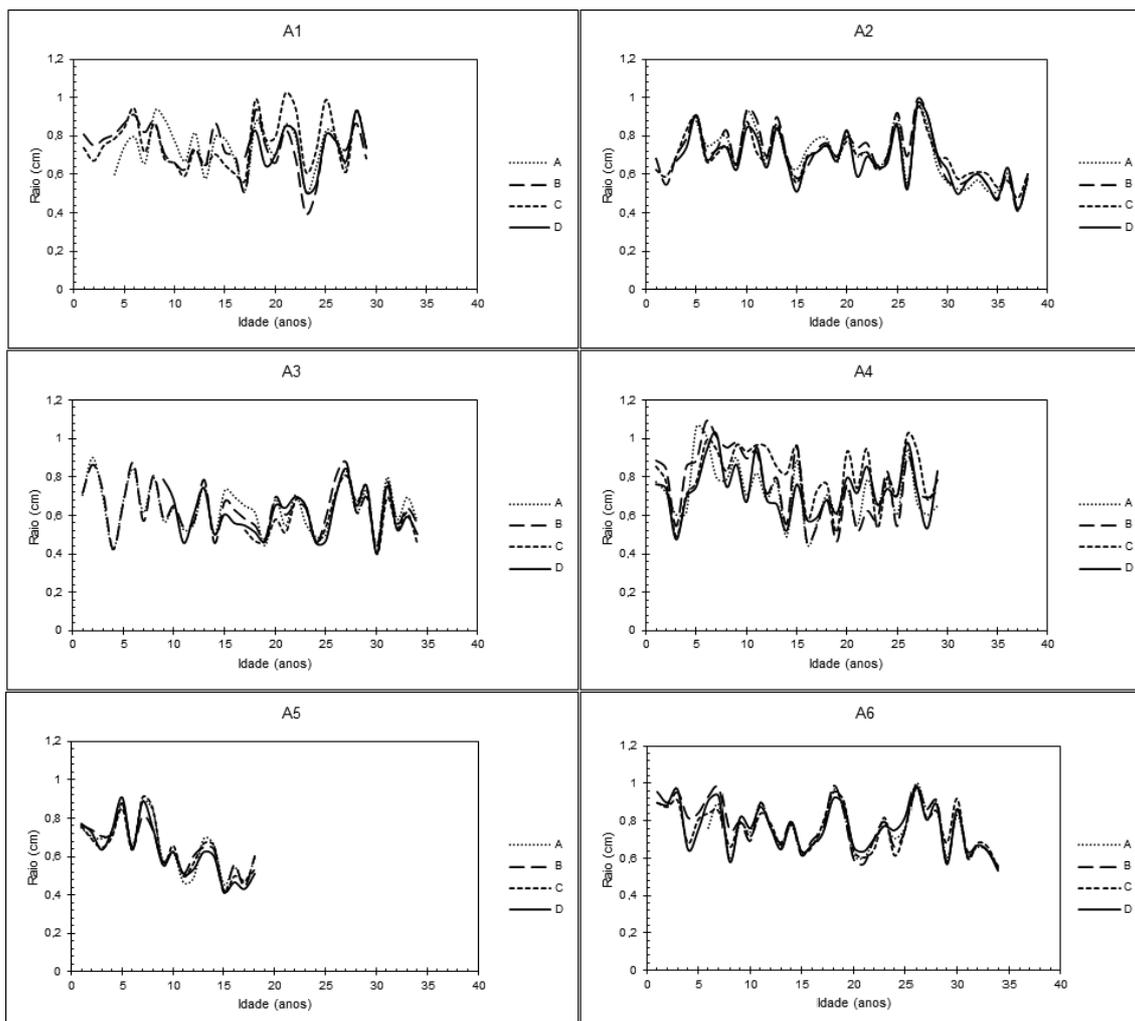
Fonte: A autora.

Sobre a intercorrelação das séries, tanto dentre árvores quanto entre árvores, apresentou-se maior que o coeficiente de correlação crítica mínimo estabelecido pelo programa em ambas as comparações.

De acordo com Grissino-Mayer (2001), ao longo do tempo as árvores podem sofrer diferentes quantidades de estresse devido a competição com outras árvores por luz, umidade, espaço, além de distúrbios devido a ataques de pragas, acarretando em uma anomalia dos padrões dos anéis de crescimento. Sendo assim o COFECHA não fornece um critério preciso de aceitar ou rejeitar a correta datação das séries, isso porque o programa não identifica anomalias no padrão de crescimento causadas por períodos de estresse, por exemplo, podendo interpretar estas anomalias nos padrões como anéis falsos ou ausentes, por este motivo o programa não deve ser substituído pela datação visual nas amostras (GRISSINO-MAYER 2001).

Por isso para complementar as intercorrelações das séries de crescimento, a Figura 2 apresenta a sincronização gráfica do incremento radial das 6 árvores analisadas, corroborando com os resultados do programa.

**Figura 2** - Série de crescimento radial de para as árvores amostradas de *C. legalis*, Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

Ao analisar a Figura 2, é possível observar um comportamento padrão e síncrono nas amostras das 6 árvores, definido principalmente em dois intervalos de tempo, no período entre 15 a 20 anos, onde todas as amostras apresentam uma queda no crescimento sendo este entre 0,4 a 0,6 centímetros, seguido de um crescimento bastante acentuado entre 0,7 e 1 centímetro. Outro intervalo de tempo em que o padrão de crescimento radial das amostras é bastante visível, é entre os 25 e 30 anos, onde as amostras exceto a A5, por não ter atingido esta idade, apresentaram o pico de seu crescimento, próximo a 1 centímetro.

A sensibilidade média analisa a variação na largura dos anéis de crescimento, sendo a variação média da largura de um anel em relação ao próximo. Os valores de sensibilidade encontrados, de .227 (Tabela 5), considerando-se a série master entre árvores, assim como os valores

encontrados para as árvores individuais, foram consideravelmente menores que os encontrados por Oliveira (2015) para *C. legalis*, o qual obteve um valor médio de .488.

Os valores para sensibilidade média encontrados por Figueiredo Filho et al. (2017), para espécies nativas tropicais como, *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, e *Ocotea puberula*, de .305, .365, .328, respectivamente, também foram superiores aos encontrados neste trabalho.

Segundo Figueiredo Filho et al. (2017), esta é uma medida diretamente ligada as condições do sítio, o que pode explicar o valor mais baixo encontrado para esta estatística, uma vez que o estudo dos autores baseia-se na sensibilidade dos anéis em florestas nativas, e o de Oliveira (2015), baseia-se em diferentes espaçamentos entre árvores, situações em que possivelmente as limitações de crescimento foram maiores do as que para este estudo, em que as condições do crescimento foram mais constantes uma vez que não há limitações de espaço para o crescimento das árvores em nenhuma fase, o que gerou uma menor sensibilidade dos anéis.

O comprimento médio das séries diz respeito a média do número de anéis datados entre as verrumas analisadas. Observa-se na Tabela 5 que o comprimento médio foi menor que a idade encontrada na maioria das séries masters estudadas, isto porque somente para as amostras A4 e A5 datou-se o mesmo número de anéis nas quatro verrumas estudadas. Quando consideramos as demais amostras individuais, isto não foi possível devido as amostras que não atingiram a medula ou saírem enviesadas.

Com relação a série master obtida entre todas as amostras o comprimento médio da série foi significativamente menor que a idade datada da série master, pela comparação entre amostras ter sido realizada entre árvores de diferentes idades.

### 5.3 CRESCIMENTO E INCREMENTO EM DIÂMETRO E ÁREA BASAL

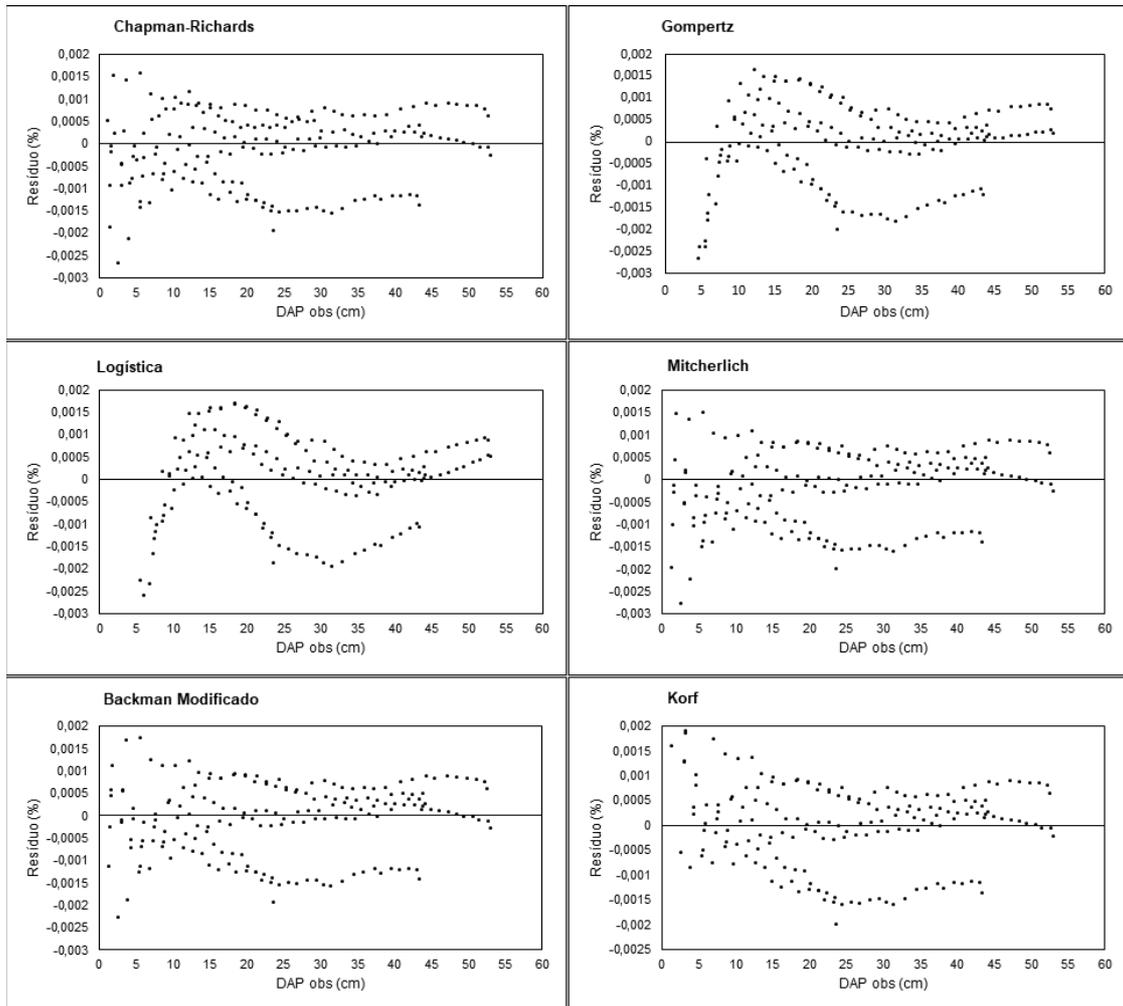
A Tabela 6 apresenta os coeficientes encontrados para cada modelo de crescimento testado, e as estatísticas de ajuste avaliadas para os modelos. Todos os modelos testados apresentaram valores muito próximos tanto para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) quanto para erro padrão da estimativa percentual (Syx%). Com base nestas estatísticas o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o Backman Modificado, apresentando o menor Syx(%), e o maior  $R^2$ . Além das estatísticas de ajuste considerou-se também a distribuição dos resíduos % para a escolha do melhor modelo (Figura 3).

**Tabela 6** – Coeficientes e estatísticas de ajuste para os modelos de crescimento testados.

<b>AUTOR</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>Syx (%)</b>
<b>Chapman-Richards</b>	263.666	0.0768	0.0768	0.979	8.4
<b>Gompertz</b>	64.267	2.964	0.0671	0.976	8.9
<b>Logística</b>	53.908	0.126	10.209	0.971	9.9
<b>Mitcherlich</b>	249.696	0.00628	-	0.979	8.4
<b>Backman Modificado</b>	-0.0950	1.553	-0.00403	0.979	8.4
<b>Korf</b>	275188	12.432	-0.103	0.979	8.4

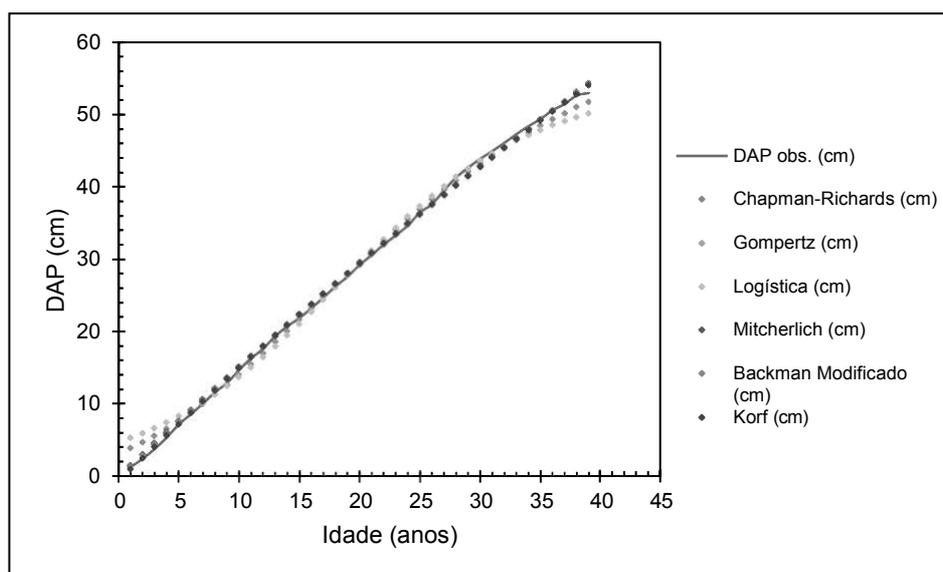
Fonte: A autora.

**Figura 3** - Dispersão dos resíduos (%) para os modelos de crescimento diamétrico testados em amostras de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR



Fonte: A autora.

**Figura 4** – Ajustes dos modelos testados em função da idade, para *C. legalis*, Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

A Figura 3 demonstra que os modelos de Gompertz e Logística apresentaram os piores ajustes, superestimando demasiadamente os diâmetros iniciais, e subestimando os maiores valores, como observa-se nos diâmetros maiores que 40 cm. Esse comportamento também pode ser constatado pela Figura 4, onde é possível visualizar que estes modelos, nas idades iniciais onde o DAP é menor, apresentaram uma curva superior ao DAP observado, demonstrando essa superestimativa dos valores. Para as idades adultas, onde o DAP é maior, observa-se um comportamento contrário, em que a partir dos 35 anos os modelos tiveram a curva de ajuste inferior ao DAP observado.

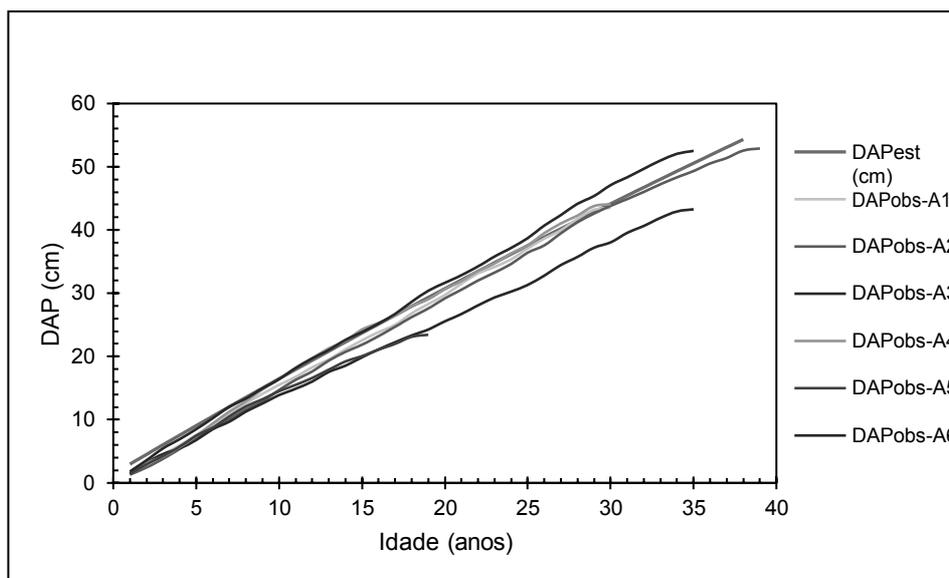
Os demais modelos testados, ajustaram-se de forma bem semelhante, em que os maiores valores de DAP foram subestimados, principalmente a partir dos 40 cm. Os valores menores de DAP apresentaram um bom ajuste para a maioria das amostras. No que diz respeito ao ajuste dos modelos em função da idade, observou-se que estes ficaram bem próximos do DAP observado em todas as idades (Figura 4).

Devido ao comportamento muito próximo destes 4 modelos que apresentaram os melhores ajustes aos dados, optou-se por utilizar o modelo de Backman Modificado, por este ter apresentado o menor valor de  $Syx(\%)$  e maior

$R^2$ , para obter a curva de crescimento para a espécie assim como o incremento médio (IMA) e corrente anual (ICA), para as variáveis de diâmetro e área basal.

A Figura 5 apresenta a curva de crescimento diamétrico observada para as árvores analisadas individualmente e a curva de crescimento estimada através do modelo ajustado. A partir da figura observa-se que as árvores 5 (A5) e 3 (A3), demonstraram o menor crescimento tanto em relação a curva de crescimento estimada pelo modelo, quanto em relação a curva de crescimento observado para as demais amostras. O DAP máximo observado, considerando-se o período entre 30 e 35 anos, foi na A6 com 52.52 cm aos 35 anos, o menor DAP observado considerando-se este mesmo intervalo foi na A3 com 43.27 cm aos 35 anos.

**Figura 5** – Valores de DAP (cm) observados em relação ao valor estimado pelo modelo de crescimento em diâmetro (cm) para as árvores amostradas de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR.

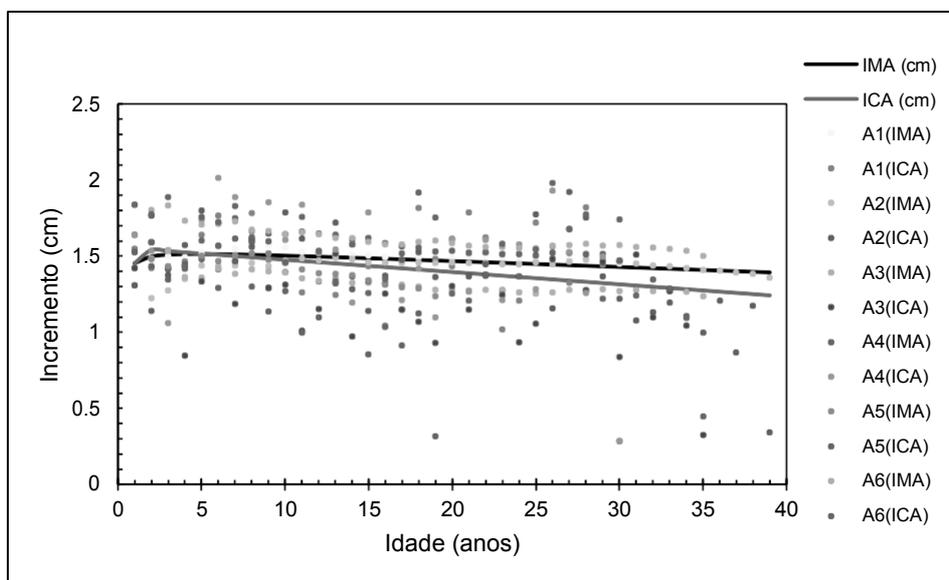


Fonte: A autora.

A Figura 6 apresenta as curvas de IMA e ICA diamétrico, em que o valor máximo de IMA estimado pelo modelo foi de 1.5138 cm/ano aos 5 anos de idade, apresentando a partir dessa idade um leve declínio sendo o menor valor de 1.3932 cm/ano aos 39 anos.

Em relação a curva de ICA, esta apresentou o mesmo comportamento sendo o maior ICA 1.5408 cm/ano, aos 2 anos de idade, o menor 1.3564 cm/ano aos 39 anos. Rolim et al. (2018), encontrou um IMA para a espécie de 0.94 cm/ano aos 35 anos de idade, sendo esse valor menor que o encontrado no presente estudo, onde aos 35 anos o valor estimado de IMA foi 1.409 cm/ano. Uma das possíveis explicações para isso são as condições de sítio das árvores, tendo em vista que o autor cita a ocorrência de déficit hídrico na região por ele, e pela ocorrência de vários meses consecutivos de seca, restringindo o crescimento das árvores.

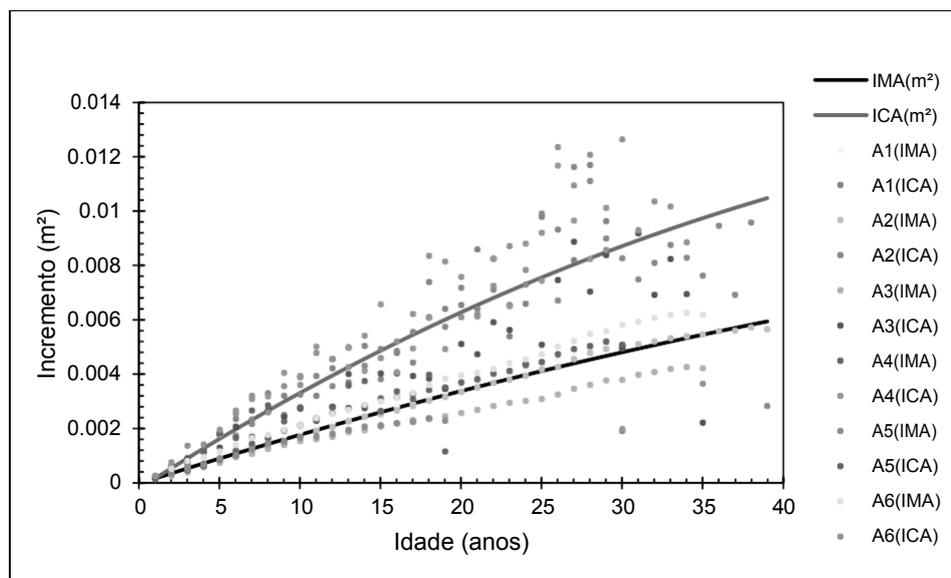
**Figura 6** – Incremento Médio Anual e Incremento Corrente Anual em diâmetro (cm/ano) para árvores de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

Na Figura 7 observa-se as curvas de IMA e ICA estimadas para área basal das árvores avaliadas. Através do gráfico constata-se que ambas as curvas apresentam aumento nos valores ao longo dos anos demonstrando que não há cruzamento entre as curvas para o período estudado, sendo o ICA superior ao IMA, o que é esperado uma vez que as árvores adultas possuem maior área transversal que as jovens.

**Figura 7** – Incremento Médio Anual e Incremento Corrente Anual em área basal ( $m^2$ /ano) para árvores de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

Ao avaliarem o crescimento de espécies nativas na região do Alto Paraná, Paniagua et al. (2013), encontraram uma grande variação nos valores de incremento médio total em área basal. A espécie *Cabralea canjerana* apresentou um incremento médio total de  $0.0402 m^2$  e a *Tabebuia alba*  $0.0077 m^2$  aos 22 anos de idade. Schaaf et al. (2005), ao estudarem o incremento médio total em área basal em uma floresta Ombrófila Mista no sul do Paraná obtiveram  $0.03646 m^2$  aos 21 anos para a floresta. Aos 22 anos de idade o incremento médio total encontrado para as árvores avaliadas de *C. legalis* foi  $0.04378 m^2$ .

O fato do incremento médio encontrado para as árvores estudadas ter sido superior aos dos autores citados, pode ter como uma das explicações as condições de espaçamento entre árvores, tendo em vista que ambos autores avaliaram o crescimento em florestas nativas e o crescimento das árvores estudadas foi avaliado no plantio do arboreto da UTFPR-DV, possuindo um espaço maior para as árvores se estabelecerem, uma vez que a área basal é uma das variáveis mais afetadas pela competição (DANIEL E YARED, 1987).

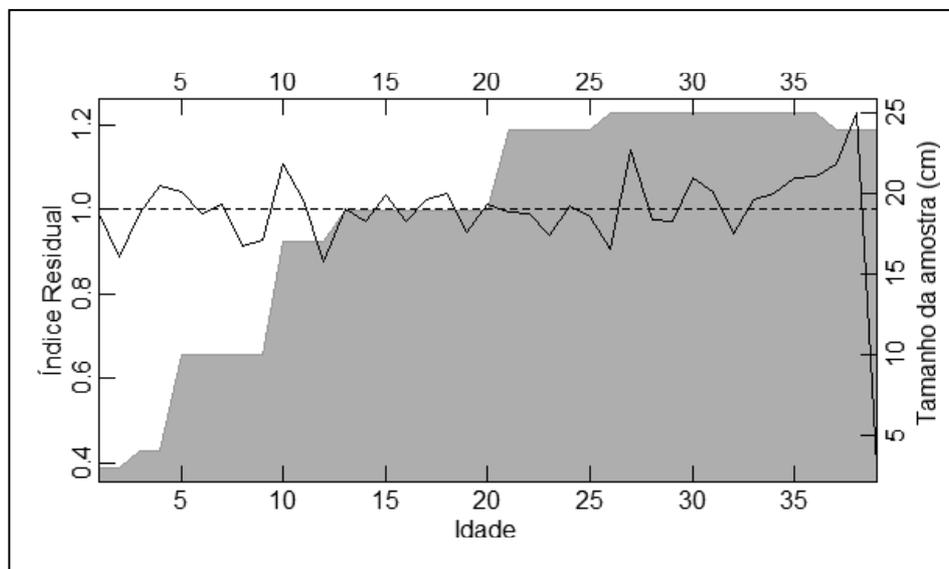
Quando comparado o IMA e ICA em condições de plantio, Daniel e Yared (1987), ao estudarem o crescimento da *Cordia goeldiana* obtiveram um valor de  $0.0028 m^2$ /ano e  $0.0056 m^2$ /ano de IMA e ICA aos 8 anos respectivamente,

superiores aos encontrados para as árvores estudadas que na mesma idade apresentaram  $0.00143 \text{ m}^2/\text{ano}$  e  $0.002655 \text{ m}^2/\text{ano}$  de IMA e ICA.

#### 5.4 INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE *C. legalis*

A Figura 8 apresenta o índice residual da cronologia master gerado a partir das séries dos anéis de crescimento, assim como o tamanho da amostra em relação ao crescimento radial, representado pela área cinza, estimado com base nos dados de incremento radial das amostras, pelo pacote “dplR” disponível no software R.

**Figura 8** – Índice residual da cronologia master e crescimento estimado para as amostras de *C. legalis*



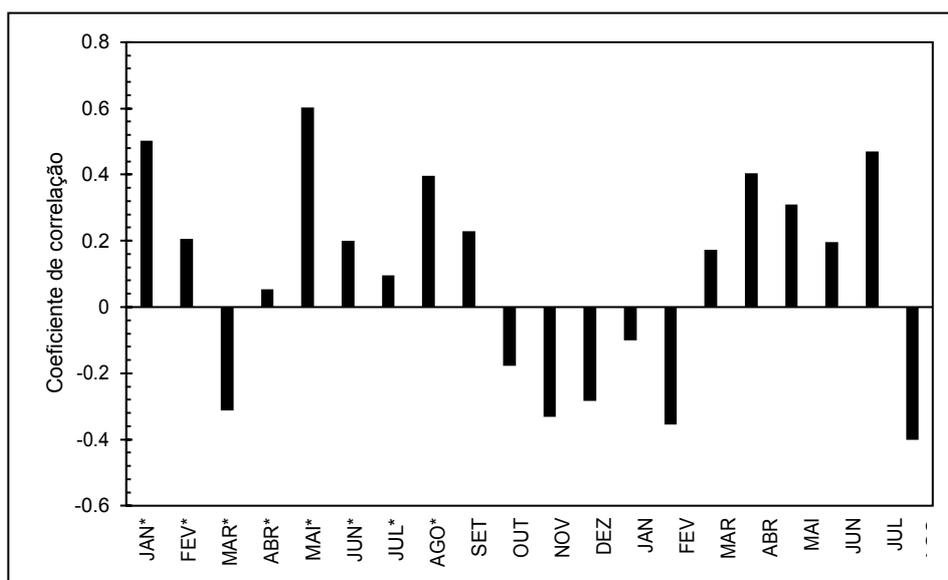
Fonte: A autora.

A área cinza da Figura 8 demonstra o crescimento estimado acumulado das amostras, em que é possível observar que nos anos iniciais as amostras tiveram um incremento muito maior que os anos finais, como observa-se pelo

tamanho dos “degraus”, ao longo do tempo. É possível notar ainda, que após os 20 anos o incremento ficou praticamente estável, esse comportamento está relacionado a “tendência-idade” do crescimento, em que os anos iniciais das árvores apresentam um maior crescimento devido as atividades do meristema serem mais aceleradas (COOK, 1985).

As Figuras 9 e 10 apresentam os coeficientes de correlação de Pearson gerados entre o índice residual de crescimento e as variáveis climáticas de temperatura média mensal e precipitação acumulada mensal média no intervalo de tempo estudado (2007 – 2018). Os meses demarcados com asteriscos representam os meses do ano prévio a formação dos anéis de crescimento.

**Figura 9** – Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice residual da cronologia de *C. legalis* e a temperatura média mensal (2007-2018) em Dois Vizinhos, PR.



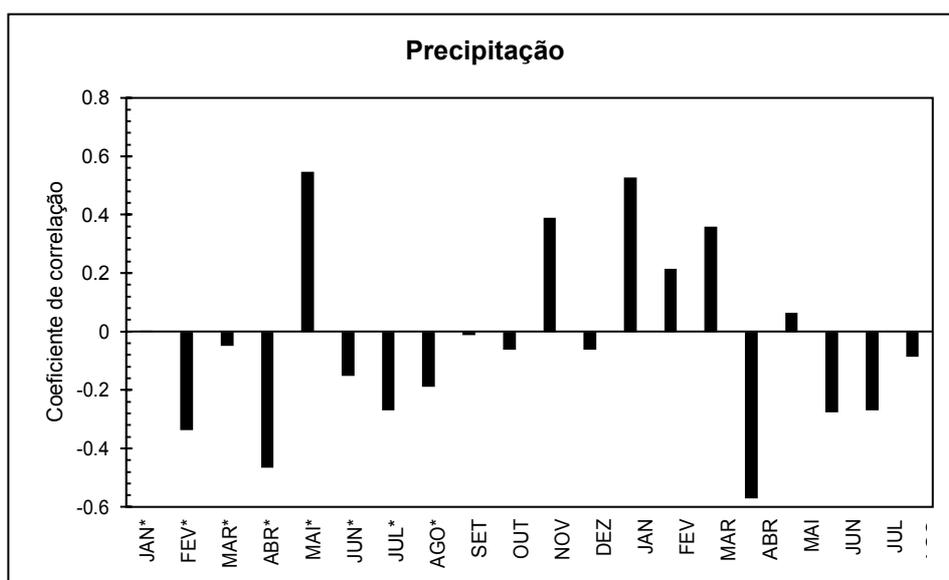
Fonte: A autora.

Em relação a temperatura, para a estação prévia de crescimento, o mês de janeiro, maio e agosto demonstraram uma correlação positiva com o incremento dos anéis. Quando considerado o ano corrente da formação dos anéis os meses que apresentaram uma correlação positiva foram abril e julho, já fevereiro e agosto demonstraram uma correlação negativa.

A influência positiva no incremento nos meses do inverno e da primavera também foi observada por Touchan et al. (2014), ao estudar a influência dos padrões climáticos no crescimento de árvores na região mediterrânea oriental. Na América do Sul, a relação positiva do crescimento dos anéis em meses de temperaturas mais baixas também foi constatada, devido as altas temperaturas aumentarem a evapotranspiração, houve a diminuição da disponibilidade de água para as plantas, acarretando em uma resposta inversa ao crescimento (PAGOTTO et al. 2015).

O mês de maio correspondente ao ano prévio, apresentou a maior correlação positiva com o crescimento, tanto em relação a temperatura quanto a precipitação, todavia o resultado encontrado neste estudo foi contrário ao encontrado por Oliveira (2015), que observou uma queda no crescimento da *C. legalis*, nos meses que coincidem ao início do inverno. Porém deve-se considerar que, na região estudada pela autora, esses meses são considerados como estação seca, ao contrário da presente situação em que os meses de maio e junho apresentam uma das maiores médias de precipitação acumulada.

**Figura 10** – Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice residual da cronologia de *C. legalis* e a precipitação acumulada mensal média (2007-2018) em Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

No que diz respeito a precipitação (Figura 10), os meses de novembro, janeiro e março da estação de crescimento corrente, influenciaram positivamente no incremento dos anéis. O mês de abril, em contrapartida, influenciou negativamente o incremento dos anéis, tanto na estação de crescimento prévia quanto na corrente, sendo que junto com setembro, foram os meses de menor precipitação acumulada no local estudado. Este comportamento também foi descrito por Brienen e Zuidema (2005), que observaram uma correlação positiva entre a precipitação de novembro e janeiro do ano corrente da formação dos anéis para *Amburana cearenses*, *Tachigali vasquezii* e *Cedrelinga catenaeformis*.

Ao avaliarem a influência da precipitação para a *Swietenia macrophylla* no Mato Grosso, Dünisch et al. (2003) encontram uma correlação positiva significativa do incremento da largura dos anéis nos meses de janeiro, maio, novembro e dezembro para a estação de crescimento corrente da espécie. Os autores atribuem a relação entre a disponibilidade de água com o período de atividade cambial da espécie, que é influenciada positivamente pela precipitação de novembro a fevereiro, sendo no mês de maio a maior fase de divisão das células cambiais (Dünisch et al. 2003).

Em um estudo acerca da influência da precipitação no crescimento de espécies tropicais, em uma floresta da Bolívia, Brienen e Zuidema (2005) concluíram que a resposta das árvores em relação a precipitação varia de acordo com a espécie, em que algumas espécies apresentam correlação positiva a precipitação durante todo o ano, e outras somente no começo da estação chuvosa, ou no final da estação chuvosa ou ainda durante toda a estação chuvosa. Neste estudo o clima é configurado por apresentar distribuição de chuva durante o ano inteiro, sendo assim observou-se uma tendência de crescimento positiva durante os meses de maior precipitação durante todo o ano, embora nem todas as correlações apresentaram-se significativas. Observou-se ainda uma tendência negativa nos meses de menor precipitação, como julho, abril e agosto, tanto na estação prévia como na estação corrente do crescimento.

É importante salientar que, embora o clima exerça influências significativas no crescimento das árvores, deve-se considerar o padrão anual de crescimento cambial nas espécies tropicais separadamente antes de se

estabelecer cronologias climáticas (Dünisch et al. 2003). A atividade do meristema cambial da *C. legalis*, de acordo com Oliveira (2015), tem início em janeiro do ano prévio a formação dos anéis de crescimento a setembro do ano corrente, o que pode explicar a correlação positiva do mês de janeiro prévio com a temperatura, uma vez que as temperaturas mais quentes podem estimular a atividade do meristema cambial (OLIVEIRA, 2015).

Avaliando a resposta do crescimento em relação a fatores genéticos e climáticos, King et al. (2013) enfatizam a importância de considerar as diferenças genéticas das espécies entre os sítios estudados, isso porque de acordo com o sítio o potencial de crescimento relacionado a genética dos indivíduos será maior ou menor. Além da manifestação genética desse potencial há questões relacionadas a adaptação das espécies ao sítio, embora os autores concluíssem que as influências climáticas se sobrepõem as genéticas. Sendo assim as influências climáticas e de sítio podem gerar padrões de comportamento no incremento dos anéis de crescimento diferentes para a mesma espécie.

## 5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DE MENSURAÇÃO

A Tabela 7 apresenta o resumo estatístico de cada tratamento onde os dados correspondem aos valores das médias de crescimento em centímetros, obtidas pela medição dos anéis de crescimento de cada raio.

**Tabela 7** – Resumo estatístico dos tratamentos de mensuração dos anéis de crescimento de *C. legalis* em Dois Vizinhos, PR.

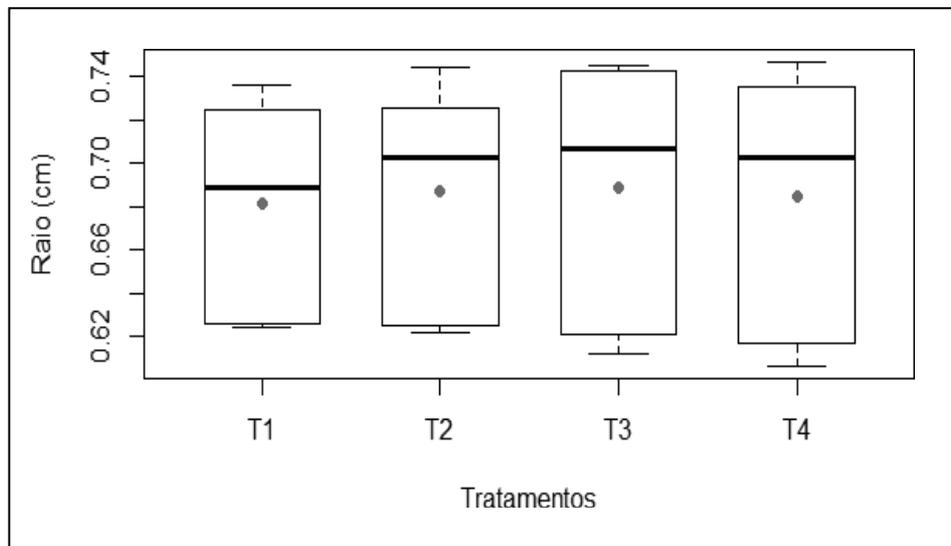
TRATAMENTO	Média	Mín.	Mediana	Máx.	Variância	Desvio Padrão	CV(%)
<b>T1=1 RAIOS</b>	0.6814	0.6243	0.6887	0.7362	0.002335085	0.048323	7.092196
<b>T2=2 RAIOS</b>	0.6868	0.6220	0.7023	0.7439	0.002767874	0.052611	7.659959
<b>T3=3 RAIOS</b>	0.6888	0.6117	0.7066	0.7448	0.003658393	0.060485	8.780717
<b>T4=4 RAIOS</b>	0.6849	0.6064	0.7023	0.7465	0.003740312	0.061158	8.929382

Fonte: A autora

Com base na Tabela 7 observa-se que o crescimento radial médio anual ficou muito próximo em todos os tratamentos, sendo a variância destes menor que 0.01 centímetros. O valor que mais diferiu entre os tratamentos foi o de raio mínimo e mediana, em que a diferença entre a valor máximo e mínimo encontrado foi de 0.0179 para ambas variáveis, sendo o menor valor de raio encontrado no T4 e o maior no T1. Em relação a mediana a maior foi no T3 e a menor no T1. É possível observar que a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação aumentaram gradativamente nos tratamentos 1, 2, 3 e 4. Isso pode ter acontecido devido ao aumento do número de observações para calcular a média em cada tratamento, aumentando também a variância.

A Figura 11 representa a relação entre os tratamentos versus raio médio, onde as linhas horizontais pretas dentro das caixas representam as medianas, e os pontos vermelhos as médias.

**Figura 11** – Resposta da média dos raios de incremento em relação aos 4 tratamentos adotados para a comparação das médias de crescimento de *C. legalis*, Dois Vizinhos, PR.



Fonte: A autora.

A partir da Figura 11 é possível observar que os tratamentos 3 e 4 apresentaram os valores mais extremos entre o raio máximo e mínimo, onde o T4 apresentou maior variância. Podendo-se constatar que a maior quantidade

de raios medidos em todos os tratamentos apresentou a maior parte dos valores inferiores em relação a medida de tendência central da amostragem, configurando uma distribuição negativamente assimétrica, em que o crescimento radial médio avaliado predominante é menor que 0.68 para o T1, e 0.7 para os demais tratamentos.

Quanto ao resultado do teste de comparação de médias de Kruskal-Wallis o valor-p encontrado foi de 0.9876, maior que o nível de significância escolhido para o teste (0.05), aceitando-se assim a hipótese H<sub>0</sub>, de que não há diferença mínima significativa a um nível de significância de 95%, entre as médias dos tratamentos T1, T2, T3, T4.

O resultado obtido através do teste de comparação de médias foi de acordo com o descrito por Fritts (1976), em que o autor cita que a retirada de mais de duas verrumas por árvore, para fins de cronologia, não compensa devido a pequena diferença amostral, o que ficou demonstrado pelo teste de médias considerando-se que a diferença entre a média de crescimento radial com 1, 2, 3 e 4 verrumas não foi significativa.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados por este trabalho permitem concluir que as árvores de *C. legalis* estudadas apresentaram um bom incremento médio (1.462 cm/ano) e corrente anual (1.393 cm/ano), tanto em diâmetro, quanto em área basal (0.00327 e 0.00595 m<sup>2</sup>/ano), demonstrando uma boa adaptação em sítios do município de Dois Vizinhos, PR.

Em relação as influências climáticas no crescimento da espécie observou-se que as maiores respostas positivas foram em meses de temperaturas mais amenas e altas precipitações. É importante considerar que o resultado encontrado neste trabalho foi obtido através de uma cronologia pequena, com poucos indivíduos amostrados e poucos anos analisados, sendo assim a resposta das árvores amostradas não deve ser generalizada.

Para o estudo e análises dendrocronológicas em amostras de *C. Legalis*, não se faz necessário a retirada de mais de 2 verrumas, por árvore amostrada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – **ABRAF** – Anuário Estatístico, 2012.

ANDREACCI, F.; BOTOSSE, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de Florestas Ombrófilas do sul do Brasil. **Rev. Floresta** – Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 323-332, 2014.

ARETS, E. J. M. M.; **Long-term responses of population and communities of trees to selective logging in tropical rain forest in Guyana**. 2005. Tese de Doutorado - Utrecht University, Netherlands.

BAKER, P. J.; BUNYAVEJCHWIN, S. Suppression, release and canopy recruitment in five tree species from a seasonal tropical forest in western Thailand – **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p.521 – 529, 2006.

BOOT, R. G. A., GULLISON, R. E. Approaches to developing sustainable extraction systems for tropical forest products. **Ecological Applications**, v. 5, n. 4, p. 896-903, 1995.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P.; A idade das árvores: importância e aplicação. Colombo: **EMBRAPA Florestas**; 2002. Documentos n. 75. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17085/1/doc75.pdf>.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree rings analysis - **Journal of Ecology**, n. 94, p. 481 – 493, 2006a.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species – **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 256 – 267, 2006b.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield – **Front Ecol Environ**, v.5(6), p. 302 – 306, 2007.

Cartas Climáticas do Paraná – Classificação Climática segundo Köppen – **Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR)**. Acesso em out. de 2018. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597> >

CANHAM, C., et al. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests – **Canadian Journal of Forest Research**. v. 20, n. 5, p. 620-631, 1990.

CARVALHO, P. E.R.; Espécies nativas para fins produtivos – **Seminário sobre espécies não tradicionais**. Curitiba – PR, 1998.

COOK, E. R. **A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization**. 1985. Tese de Doutorado – University of Arizona.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G. Análise de Tronco de Freijó (*Cordia goeldiana*, Huber) – **Informe Técnico – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, n.12, 1987.

Dados Gerais – **Prefeitura Municipal de Dois Vizinhos**. Acesso em: out. de 2018. Disponível em: < <http://doisvizinhos.pr.gov.br/sobre-o-municipio/dados-gerais/> > .

DONG, S. X., et al. Variability in solar radiation and temperature explains observed patterns and trends in tree growth rates across four tropical forests. **Proceedings of The Royal Society**, p. 1-9, 2012.

DÜNISCH, O. MONTÓIA, V. R. BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v. 17, 2003.

ENCINAS, J. I.; SILVA, da G. F.; PINTO, J. R. R.; Idade e crescimento das árvores – **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília – DF, v.7, n. 1, 2005.

ERSKINE, P. D.; LAMB, D.; BORSCMANN, G.; Growth performance and management of a mixed rainforest tree plantation. **New Forest**, n. 29 p. 117 – 134, 2005.

Espécies Seleccionadas – **EMBRAPA**, acesso em: setembro de 2018, disponível em: < <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/especieelec.htm> >

Espécies tropicais promissoras – **Revista da Madeira**, n. 108, 2007. Acesso em: setembro de 2018, disponível em < [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1164&subje](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1164&subje) > .

FERREIRA, M. Escolha de espécies arbóreas para maços florestais – **Departamento de ciências florestais - Documentos florestais**. Piracicaba – SP, n.7 p. 1-15, 1990.

FIGUEREDO FILHO, Afonso. et. al. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná - **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. e00104814, p. 2-9, 2017.

Formações Fitogeográficas – Estado do Paraná. **Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG)**. Acesso em: out de 2018. Disponível em: < [http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Fitogeografico\\_A3.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf) > .

FRITTS, H. C. **Tree rings and Climate** – New York, ACADEMIC PRESS INC., 1976.

GORENSTEIN, M. R. et al. Estrutura e diversidade da comunidade arbórea na trilha ecológica da UTFPR, campus Dois Vizinhos através do método de quadrantes. **SEMINÁRIO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA – CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ANIMAIS E FLORESTAIS** – UTFPR CÂMPUS DOIS

VIZINHOS, 4., 2010, Dois Vizinhos. Anais... Dois Vizinhos: Editora UTFPR, 2010. p. 1-4.

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. **Tree Ring Research**, v. 57, n. 2, 2001.

IAWA - International Association of Wood Anatomy. List of microscopic features for wood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 226-332, 1989.

JUNK, W.J. et al. Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management - **Ecological Studies**, Dordrecht, Netherlands, v. 210, 2011.

KING, G. M. et al. Tree growth Response Along an Elevational Gradient: Climate or Genetics? – **Oecologia**, 2013.

LAGGOUNE, H.; SARIFUDDIN, M; GUESDON, V.; Tree ring analysis – **Conference Paper in Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**, p. 1574 – 1577, 2005.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, 2008. v.1, p.135

LUZ da, A. L. O. M. **Análise da formação dos anéis de crescimento anual das árvores ao longo dum ciclo de actividade cambial**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa.

MARTINS, L. T. **Caracterização dendrométrica e crescimento de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos no estado do espírito santo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo.

MEDEIROS, J. G. S. **Anéis de crescimento de árvores de Araucaria columnaris Hook.: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

NEWBOULD, P. J., **Methods for Estimating the Primary Production of Forests**. 2. ed. Londres: Willmer brothers ltda., 1970.

NOVAES de, D. M. et al., Modelagem do crescimento de árvores e de povoamentos de *Tectona grandis* utilizando dados de análise de tronco e de parcelas permanentes - **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, p. 2-8, 2017.

OLIVEIRA, de I. R. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de Cariniana legalis (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

PAGOTTO, M. A. et al. Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. **Dendrochronologia**, v. 35, 2015.

PANIAGUA, G. A. B.; DOLDAN, M. Q.; ENCISO, M. M. Crecimiento de Especies Forestales Nativas en una Plantación Mixta en el Alto Paraná. **Rev. Investigación Agraria**, vol. 8 n. 2, 2013.

PEIXOTO, A. L.; ROSA, M. M. T.; JOELS, L. C. M. Diagramas de perfil e de cobertura de um trecho de Floresta de Tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santa, Brasil) – **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p.177-194, 1995.

PEREIRA, M. do C. S. Produção e consumo de produtos florestais: Perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina – **Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul – BRDE**. Florianópolis – SC, p.51, 2003.

RIBEIRO, R. de T. M. et al. Morfologia de frutos e sementes de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Lecythidaceae) – **Scientia Amazonia**, n. 2, v. 4, 2015.

RIDDER, de M. et al. Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management – **Forest Ecology and Management**, v. 304, p. 417 – 426, 2013.

RODRIGUES, B. P. et al. *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Lecythidaceae): descrição dendrológica e anatômica – **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia – GO, n. 15, v. 8, p. 419 – 425, 2012.

ROLIM, S. G. et al. Modelos Biométricos para Plantios Silviculturais com Múltiplas Espécies na Mata Atlântica do Norte do Espírito Santo - **Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**. p. 21-29, 2018.

RONDEUX, J., **La Mesure des arbres et des peuplements forestier**. 10. ed. Bélgica: Avant – Propos, 1999.

SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo – Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHAAF, L. B. et al. Incremento Diamétrico e em Área Basal no Período 1979-2000 de Espécies Arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Rev. Floresta**, v. 35, n. 2, 2005.

SEBBENN, et al. Sistema de cruzamento em populações de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze.: implicações para a conservação e o melhoramento genético – **Scientia Florestalis**. n. 58, p. 25-40, 2000.

SCHÖNGART, J., Growth-oriented logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains – **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 46-58, 2008.

SCHONS, C. T. et al. **Dendrocronologia: Princípios e aplicações**. Semana de aperfeiçoamento em engenharia florestal – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SILVA, da J. A. A.; PAULA Neto, de F.; Princípios básicos da dendrometria – **Departamento de Ciência Florestal**, Recife – PE, p.191, 1979.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia: **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações** EDUC/COMPED/INEP, São Paulo - SP, 2001, p. 117-143.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Rev. HCPA**, v. 32, n. 2. 2012.

TOUCHAN, R. et al. Spatial Patterns of Eastern Mediterranean Climate Influence on Tree Growth. **The Holocene**, vol. 24, n. 4, 2014.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela – **Journal of Ecology**, v. 87, p. 391 – 403, 1999.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de Variáveis Meteorológicas com o Crescimento das Árvores de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze em Povoamentos Implantados. **Rev. Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, 2010.

