

**Influência de variáveis ambientais no incremento radial dos anéis de crescimento de  
*Pinus taeda* L.**

**Influence of climatic variables on the radial increment of *Pinus taeda* L. growth rings.**

**Influencia de las variables ambientales en el incremento radial de los anillos de  
crecimiento de *Pinus taeda* L.**

Recebido: 21/12/2019 | Revisado: 21/01/2020 | Aceito: 12/02/2020 | Publicado: 19/02/2020

**Michael Rogers Bernert**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6017-1042>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [mbflorestal@yahoo.com.br](mailto:mbflorestal@yahoo.com.br)

**Sidnei Osmar Jadoski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6064-2767>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [sjadoski@unicentro.br](mailto:sjadoski@unicentro.br)

**Luciano Farinha Watzlawick**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9944-7408>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: [farinha@unicentro.br](mailto:farinha@unicentro.br)

**Vanderlei Aparecido de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1569-8723>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: [valima66@gmail.com](mailto:valima66@gmail.com)

**Luiz Carlos Zerbieli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9813-0417>

Centro Universitario Campo Real, Brasil

E-mail: [lzerbielli57@gmail.com](mailto:lzerbielli57@gmail.com)

**Resumo**

A espécie *Pinus taeda* é cultivada nas diferentes regiões do mundo, sob variadas condições climáticas. A pesquisa foi conduzida visando avaliar a influência de variáveis climáticas sobre o incremento radial de anéis de crescimento em árvores de *Pinus taeda* L. As avaliações foram realizadas em árvores de floresta cultivada em Guarapuava, região centro sul do estado

do Paraná, Brasil. Os incrementos semestrais dos anéis de crescimento foram medidos separadamente no outono e primavera. Foram consideradas nove variáveis climáticas e utilizada análise fatorial a fim de identificar possíveis influências no desenvolvimento de anéis de crescimento. Aplicou-se análise de componentes principais (PCA) para avaliar dados de incremento em períodos semestrais e análise estatística longitudinal visando avaliar o incremento dos anéis ao longo de diferentes anos. Verificou-se que esta espécie apresenta incremento radial dos anéis de crescimento beneficiado por índices de temperatura e precipitação pluvial mais elevados na própria estação de crescimento ou em períodos que a antecedem imediatamente.

**Palavras-chave:** Variáveis climáticas; Análise longitudinal; Estatística multivariada; Dendrocronologia; Incremento florestal.

### **Abstract**

*Pinus taeda* is cultivated in different regions of the world under different climatic conditions. The research was carried out aimed to evaluate the influence of climatic variables on the radial increment of growth rings in *Pinus taeda* L. trees. The evaluations were carried out on trees grown in Guarapuava, southern central region of Paraná state, Brazil. The half-yearly increments of growth rings were measured separately in autumn and spring. Nine climatic variables were considered and used factorial analysis to identify possible influences on the development of growth rings. Principal component analysis (PCA) was applied to evaluate increment data in semiannual periods and longitudinal statistical analysis to evaluate the increment of the rings over different years. It has been found that this species presents radial increment of growth rings benefited by higher temperature and rainfall indices in the growing season itself or in period immediately preceding.

**Keywords:** Climate variables; Longitudinal analysis; Multivariate statistics; Dendrochronology; Forest increment.

### **Resumen**

*Pinus taeda* se cultiva en diferentes regiones del mundo bajo distintas condiciones climáticas. El reto de la investigación fue evaluar la influencia de las variables climáticas en el incremento radial de los anillos de crecimiento de *Pinus taeda* L. Las evaluaciones se llevaron a cabo en árboles cultivados en Guarapuava, región centro sur del estado de Paraná, Brasil. Los incrementos semestrales de los anillos de crecimiento fueran evaluados por separado en otoño y primavera. Se consideraron nueve variables climáticas evaluadas por análisis factorial

para identificar posibles influencias en el desarrollo de los anillos de crecimiento. Se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) para evaluar los datos de incremento en períodos semestrales y el análisis estadístico longitudinal para evaluar el incremento de los anillos en diferentes años. Se ha encontrado que esta especie presenta incremento radial de los anillos de crecimiento beneficiado por índices más altos de temperatura y precipitación en la estación de crecimiento o en períodos inmediatamente anteriores.

**Palabras clave:** Variables climáticas; Análisis longitudinal; Estadística multivariable; Dendrocronología; Incremento forestal.

## 1. Introdução

O gênero *Pinus* é formado por importantes componentes da vegetação sobre grande parte do hemisfério norte, possui expressivo valor econômico como fonte de madeira, pasta, nozes, resinas e outros produtos. No Brasil a principal aplicação de *P. taeda* tem sido em indústrias madeireira e de celulose e papel (Oliveira, Lima, Garcia & Florshem, 2006). Segundo o relatório anual IBÁ (2017) no ano de 2016, os plantios com *Pinus* no Brasil ocuparam 1,6 milhão de hectares. Existe grande necessidade de expandir o conhecimento a respeito da influência das variáveis ambientais sobre o crescimento de árvores de valor comercial (Machado, Zamin, Nascimento & Santos, 2014), tendo em vista a crescente demanda na determinação de modelos de crescimento que incluam fatores ambientais como variáveis independentes (Barichivich, Sauchyn & Lara, 2009). Borsato (2011) mostra o potencial de várias espécies arbóreas tropicais que podem ser estudadas detalhadamente com uso da técnica da dendrocronologia, destacadamente o gênero *Pinus*.

Em uma área de Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Araucária, Paraná, Kanieski et al. (2012) concluíram que a temperatura média foi a variável climática que mais influenciou o crescimento das espécies. Para *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, Zanon & Finger (2010) concluíram que os aumentos nas variáveis temperatura e precipitação influenciaram positivamente no incremento de crescimento desta espécie.

Dentre os métodos estatísticos de múltiplas variáveis a Análise dos Componentes Principais (PCA) é amplamente utilizada para o reconhecimento de padrões (Nascimento, Reis, Roeser & Fonseca, 2019), inclusive para estudos ambientais com grande número de variáveis incluídas (Khaledian et al., 2018), e conforme salientam Reis et al. (2019), em inúmeros casos destacada como ferramenta de extrema relevância para a análise, compreensão e entendimento dos resultados.

Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar a influência de variáveis climáticas sobre o incremento radial de anéis de crescimento em árvores de *Pinus taeda* L., utilizando Análise Longitudinal em série temporal e aplicação de Análise de Componentes Principais.

## 2. Material e métodos

O experimento foi realizado em área experimental do campus CEDETEG (Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava) da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO no município de Guarapuava-PR. O ponto central teve coordenadas geográficas 25°23'06,3" S; 51°29'45,8" O, com elevação média de 1023 metros, classificação climática de Köppen-Geiger como Cfb subtropical úmido mesotérmico (IAPAR 2017) e classificação de solo como sendo Latossolo Vermelho ácrico típico, textura muito argilosa, com pH (em H<sub>2</sub>O) médio de 5,5 na faixa que compreende os horizontes A e B.

A área experimental com cultivo de *P. taeda* foi plantada em 2007, com superfície de 5400 m<sup>2</sup>, tendo uma densidade de plantio de 1666 árvores por hectare. Até o ano de 2014 não havia sido realizado desbaste na floresta, tendo sido realizada uma desrama nas árvores até a altura de um terço da altura das copas.

O diâmetro à altura do peito médio de cada classe foi obtido no censo realizado na floresta no ano de 2016. Após a obtenção da média de diâmetro à altura do Peito (DAP) das árvores, foram estabelecidas as classes de diâmetro da floresta, baseadas na média e desvio padrão (DP) obtidos no censo.

Os dados climáticos para o período de estudo foram obtidos do banco de dados históricos da estação meteorológica da UNICENTRO, localizada a aproximadamente 200m da área experimental.

Foi utilizado a técnica de dendrocronologia para avaliar o incremento dos anéis de crescimento das árvores. Sendo realizadas avaliações de crescimento de primavera e de outono, separadamente com determinação do crescimento (cm) de cada anel componente no tronco. Os dados dos anéis de crescimento foram correlacionados com dados climáticos de um período de seis anos, compreendendo temperaturas máxima, média e mínima (°C), umidade relativa (gH<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> de ar), precipitação acumulada (mm), radiação solar incidente (Mj m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), evaporação (mm dia<sup>-1</sup>), insolação (horas dia<sup>-1</sup>), vento a dez metros (m s<sup>-1</sup>).

Para análise temporal, o intervalo de tempo compreendido entre os meses de outubro a março de cada ano foi considerado como o período de formação dos anéis de crescimento

primaveril, e o intervalo de tempo compreendido entre os meses de abril a setembro de cada ano considerado como o período de formação dos anéis de crescimento outonal.

Os anos em que a análise longitudinal indicou diferença estatística para mais ou para menos na espessura dos anéis de crescimento, foram comparados com anos de ocorrência dos efeitos climáticos "*El Niño*" e "*La Niña*".

O delineamento experimental foi amostragem em blocos inteiramente casualizados (DIC). Foram considerados o intervalo entre um DP e dois DP abaixo da média de DAP como a classe 1 (tratamento 1), o intervalo entre a média e um DP abaixo e acima de DAP como a classe 2 (tratamento 2) e o intervalo entre um DP e dois DP acima da média de DAP como a classe 3 (tratamento 3), ficando assim o experimento com 3 tratamentos.

Foram abatidas 24 árvores, sendo oito árvores em cada classe de diâmetro e extraídos os discos à altura de 1,3m do solo. Para o sorteio das árvores, foram sorteadas a linha e a coluna respectivamente, sendo então verificado o DAP da árvore e alocada a parcela dentro do intervalo de classe pertinente (classes 1, 2 ou 3).

Os dados de espessura dos anéis de crescimento das árvores foram analisados por meio de análise longitudinal (AL), com teste post hoc de Bonferroni a 5% de probabilidade visando comparações múltiplas de grupos de dados. A normalidade dos dados foi avaliada com teste de Shapiro-Wilk.

Em cada um dos anos o intervalo de tempo entre os meses de outubro a março foi considerado como o período de formação dos anéis de crescimento primaveris e, de abril a setembro, como o período de formação dos anéis de crescimento outonais.

Os discos coletados foram lixados com lixas abrasivas com gramatura máxima de 160, visualizadas ao microscópio com ampliação de 80 vezes, e medidos com o equipamento LINTAB®, em que nos discos coletados foram medidas as distâncias em milésimo de milímetros entre os anéis de crescimento, sendo os dados transformados em centímetros, partindo do centro do disco até a borda em quatro direções, anguladas entre si em 90°.

Foram medidas as espessuras dos anéis de crescimento primaveris e outonais, sendo a medição iniciada no primeiro anel central, seguindo para o sentido da casca. Na correlação temporal, o primeiro anel formado foi o do período outonal de 2009, e o último o do período primaveril do ano de 2014, portanto a dendrocronologia abrangeu os anos de 2009 a 2014.

Foram feitos dois tipos de análise estatística multivariada, a análise fatorial (AF), com o objetivo de excluir fatores que não tiveram influência nos resultados, posteriormente foram realizadas análises de componentes principais (ACP), sendo utilizadas nove variáveis climáticas: climáticas temperaturas máxima, média e mínima (°C), umidade relativa

(gH<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> de ar), precipitação acumulada (mm), radiação solar incidente (Mj m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), evaporação (mm dia<sup>-1</sup>) insolação (horas dia<sup>-1</sup>), vento a dez metros de altura (m s<sup>-1</sup>). Estas análises foram realizadas considerando o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) como critério de identificação da adequação do ajuste do modelo da análise fatorial e consistência geral dos dados, conforme Maroco (2011).

### 3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados dados da estatística descritiva para o censo inicial realizado. Pode ser observado que com o aumento da classe diamétrica as árvores apresentam também valores mais elevados de altura total, altura comercial e altura dominante. Com as avaliações obteve-se um DAP médio de 20,50 cm.

**Tabela 1:** Dados de DAP, altura total (HT), altura comercial (HC) e altura dominante (Hd).

Valores médios					
Classes	Nº árvores	DAP	HT	HC	Hd
1	8	13,72 (1,22)	15,29 (1,79)	11,76 (2,27)	16,63 (0,86)
2	8	20,13 (1,66)	17,55 (0,62)	14,76 (0,64)	18,04 (0,45)
3	8	27,01 (1,92)	17,68 (1,18)	15,13 (0,76)	18,52 (0,40)
Média geral	24	20,29 (5,75)	16,84 (1,66)	13,88 (2,06)	18,52 (0,40)

Número entre parêntese = desvio padrão da média. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na Tabela 2 são apresentados resultados da avaliação entre as espessuras dos anéis de crescimento nas diferentes classes diamétricas para a série temporal 2009 a 2014 considerada no estudo. Com aplicação de estatística com Análise Longitudinal foram identificadas diferenças na espessura dos anéis de crescimento entre as classes de diâmetro, entre os anos de crescimento e na interação classe de diâmetro/tempo.

**Tabela 2.** Comparação entre espessuras dos anéis de crescimento, levando em conta as classes diamétricas, os anos e a interação entre as classes diamétricas e os anos. Tempo: anos (série temporal de 2009 a 2014); classe: classes diamétricas; tempo\*classe: interação.

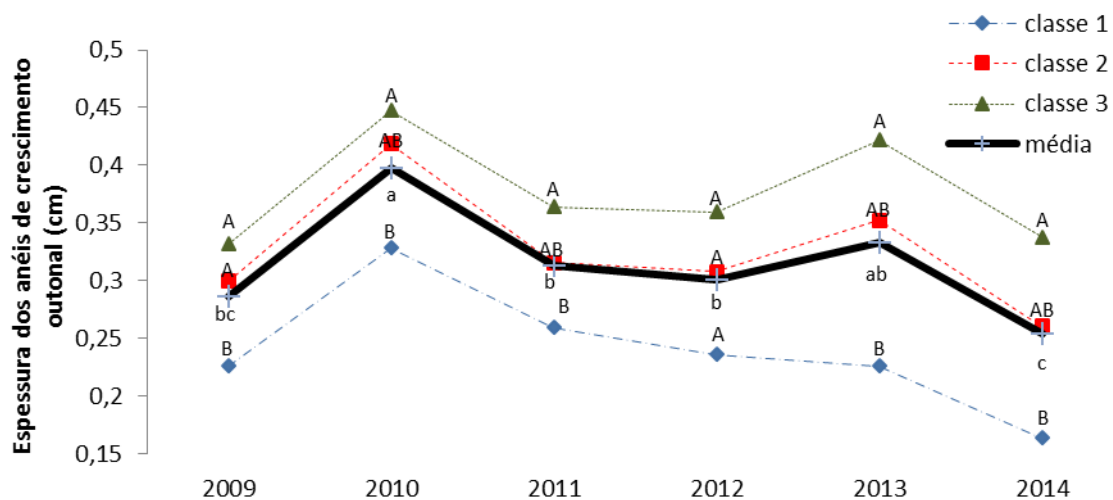
Fonte	Qui-quadrado (Wald)	Gl	P
(Intercept)	858,41	1	0,0003
Tempo	1551,8	11	0,0001
Classe	25,856	2	0,0005
tempo * classe	214,42	21	0,0002

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A diferença significativa entre as classes de diâmetro é decorrência das médias e desvios padrões de cada classe, portanto, já esperadas, contudo, a diferença significativa tanto para o tempo, quanto para a interação tempo/classe podem ser indicativos de que existe influência de variáveis climáticas no crescimento das árvores.

Na Figura 1 é apresentado o Incremento outonal das árvores em diâmetro, indicando influência do tempo (anos) até o ano de 2012, porém sem interação entre as classes de diâmetro. Com os resultados foi observado que o incremento nos anéis de crescimento aumentou no ano de 2013. em comparação com o ano de 2012, para as árvores das classes 2 e 3, enquanto para as árvores da classe 1 diminuiu. Nos anos de 2010 e 2013 ocorreram os maiores incrementos nas classes de diâmetro 2 e 3.

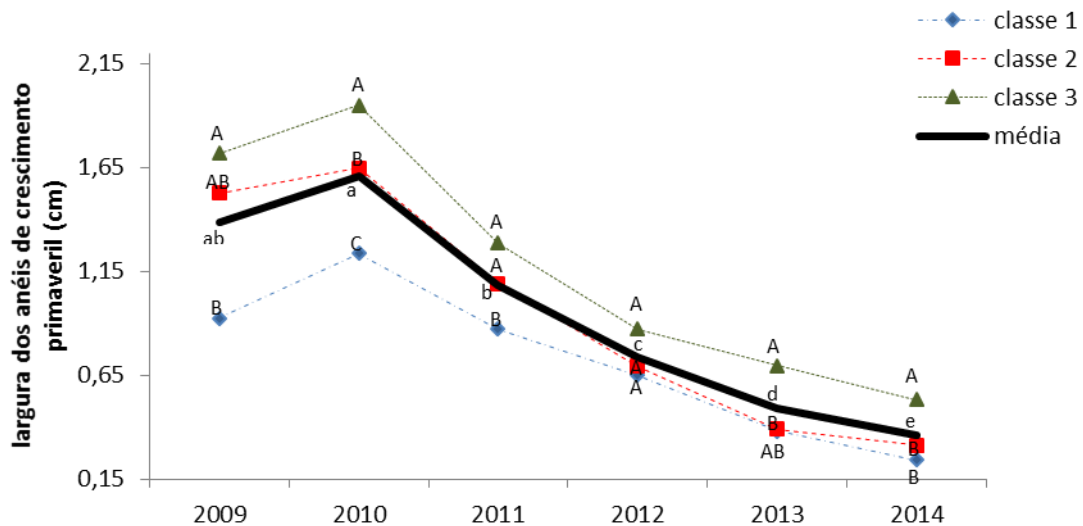
**Figura 1.** Incremento outonal em diâmetro das árvores para cada classe e média entre as classes, ao longo dos anos (letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre as classes dentro dos anos, letras minúsculas iguais não diferem na média de incremento em diâmetro outonal,  $p > 0,05$ ).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na Figura 2 são apresentados resultados de espessuras médias nos anéis de crescimento primaveril nas diferentes classes de diâmetro. No ano de 2014, quando as árvores apresentavam sete anos de idade, observa-se novamente diminuição significativa na espessura dos anéis de crescimento, tanto outonais quanto primaveris, porém a classe 3 permanece com os maiores incrementos. Considerando relatos de Inoue, Figueiredo Filho & Lima (2011), estes resultados evidenciam que a partir do sétimo ano de idade, as árvores de Pinus passam a exercer concorrência por espaço, o que resultou em menores incrementos nas classes 1 e 2.

**Figura 2.** Incremento primaveril em diâmetro das árvores para cada classe e média entre as classes ao longo dos anos (letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre as classes dentro dos anos, letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente na média de incremento entre os anos, 5% de probabilidade).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Figura 2, que no período de avaliação, no ano de 2010 ocorreu um destacado incremento dos anéis de crescimento primaveril. Além disso, os resultados das Figuras 1 e 2 evidenciam que o crescimento primaveril é amplamente superior ao crescimento outonal, independente da classe de diâmetro considerada.

Os resultados da análise fatorial (AF) demonstraram que as correlações entre as variáveis climáticas em geral apresentaram valores superiores a 0,3, medida de adequação de amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (teste KMO) obteve valor de 0,67 e o teste de esfericidade de Bartlett obteve valor de significância  $p=0,0004$ , indicando que os dados foram adequados a utilização de análise multivariada e que as variáveis são correlacionadas.

Nesta primeira análise fatorial (AF1), verificou-se que o vento a 10 metros de altura não teve influência para o conjunto de dados, apresentando comunalidade de 0,255, e por este motivo esta variável foi excluída, sendo a análise reprocessada (AF 2), levando-se em conta as demais variáveis climáticas.

Na tabela 3 são apresentados os resultados da AF2 considerando as diferentes variáveis. Estes resultados demonstram que nesta análise todas as variáveis climáticas utilizadas obtiveram comunalidades acima de 0,5, sendo continuado então o processo de análise fatorial sem a necessidade de nova exclusão de variáveis.



Verificou-se que as variáveis temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e evaporação possuíram pesos fatoriais mais altos com a componente 1 (0,968; 0,970; 0,971 e 0,828 respectivamente), indicando a existência de uma componente relacionada com a temperatura do ar, que, conseqüentemente, está relacionada com a evaporação. A componente 1 explicou 51,89% da variância dos dados e conforme Teixeira, Jadoski, Faggian, Sposito & Mrázová (2018) a temperatura do ar é uma variável que apresenta elevada correlação com as demais variáveis climáticas.

**Tabela 3.** Valores das comunalidades na Análise Fatorial, variância explicada e pesos fatoriais dos componentes no modelo após a rotação pelo algoritmo Varimax para os dados climáticos estudados.

Variáveis	Comunalidades	F 1	F 2
tmed	0,987	0,968	0,187
tmin	0,978	0,970	-0,193
tmax	0,971	0,993	-0,016
rad	0,914	-0,065	-0,905
urel	0,823	0,360	0,816
ins	0,799	0,046	0,893
eva	0,795	0,828	0,478
pre	0,573	0,122	-0,747
Autovalor		4,15	2,69
Variância explicada %		51,89	33,61
Variância acumulada %		51,89	85,50

tmax: temperatura máxima; tmín: temperatura mínima; tméd: temperatura média; urel: umidade relativa; eva: evaporação; insol: insolação; rad: radiação solar global; pre: precipitação. F1: fator 1; F2: fator 2. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Já a componente 2 foi positivamente correlacionada com as variáveis umidade relativa e insolação, com pesos fatoriais de 0,816 e 0,893 e negativamente correlacionada com as variáveis radiação e precipitação, com pesos fatoriais de -0,905 e -0,747 respectivamente, sendo a precipitação a variável que obteve a menor comunalidade (0,573). A componente 2 explicou 33,61% da variância dos dados.

Na Tabela 4 são apresentados resultados da Análise de Componentes Principais dos dados climáticos nos meses de outono e inverno (ACP1). Esta análise demonstrou que os dados climáticos da série outono/inverno obtiveram distribuição normal (teste de Skiness,  $p > 0,05$ ). Pelo critério de Kaiser, extraindo-se duas componentes principais com autovalores maiores do que 1, obteve-se 86,15% de explicação da variância dos dados.

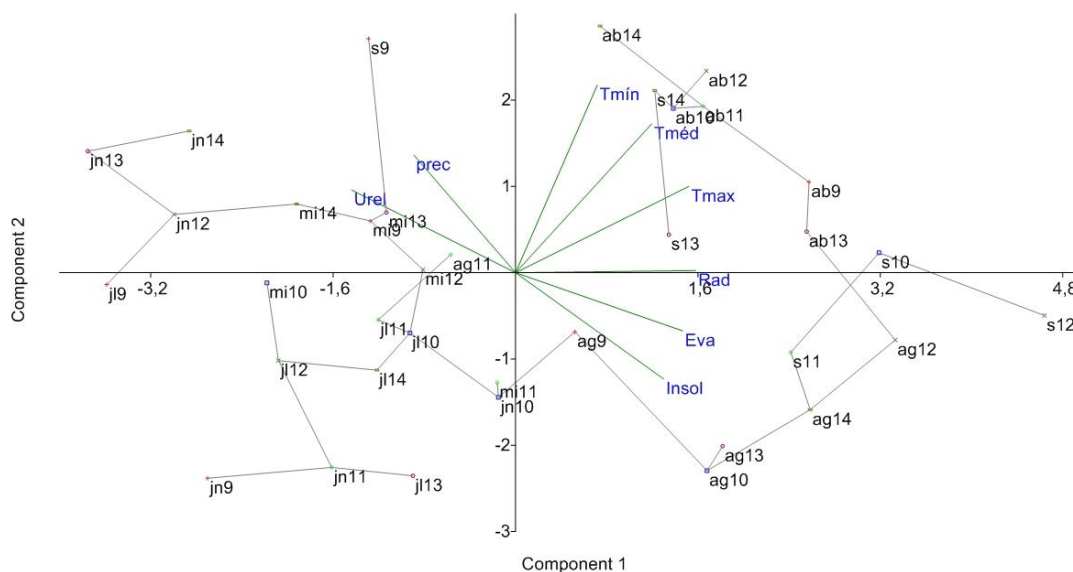
**Tabela 4.** Auto-valores, variância explicada e peso das variáveis nas componentes do modelo.

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Tmax	0,895	0,407
Tmín	0,422	0,886
Tméd	0,703	0,703
Urel	-0,845	0,39
Eva	0,863	-0,275
Insol	0,765	-0,501
Rad	0,931	0,01
Prec	-0,525	0,556
Autovalor	4,66	2,23
Variância Explicada (%)	58,24	27,91
Variância Acumulada (%)	58,24	86,15

(tmax: temperatura máxima; tmín: temperatura mínima; tméd: temperatura média; urel: umidade relativa; eva: evaporação; insol: insolação; rad: radiação solar global; pre: precipitação).  
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na Figura 3 é apresentado o agrupamento conforme o comportamento das diferentes variáveis climáticas em cada ano da série estudada, em correlação as eixos de componentes principais 1 e 2. Nesta figura pode ser observado a ocorrência de agrupamento por similaridade considerando as variáveis e o tempo na série estudada.

**Figura 3.** Gráfico de escores de CP1 e CP2 para as variáveis climáticas nos períodos de outono e inverno de 2009 a 2014. (ab; mi; jn; jl; ag; s representam os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, e os números 9; 10; 11; 12; 13 e 14 representam os anos de 2009; 2010; 2011; 2012; 2013 e 2014, respectivamente. Linhas interligando os pontos representam as distâncias mínimas entre eles).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Com a análise da Figura 3 foram formados grupos por similaridade para avaliação dos meses em sub períodos dentro do componentes do outono/inverno a partir da ACP, este agrupamento foi apresentado na Tabela 5 visando interpretação e compreensão dos resultados.

Na Tabela 5 verifica-se que abril foi o mês que esteve sob maior influência das variáveis temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média ao longo da série estudada. Tal agrupamento aliado às influências da variável temperatura é explicado pelo fato de que por estar no início da estação precedida pelo verão, o mês de abril ainda possui temperaturas mais em relação aos demais meses do outono.

**Tabela 5.** Agrupamento dos meses em que as variáveis ambientais apresentaram comportamentos similares no período outonal segundo a análise de componentes principais (ACP).

Mês	Ano					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Abril</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Mai</b>	4	3	3	3	4	4
<b>Junho</b>	3	3	3	4	4	4
<b>Julho</b>	4	3	3	3	3	3
<b>Agosto</b>	2	2	3	2	2	2
<b>Setembro</b>	4	2	2	2	1	1

\*1: Meses que estiveram relacionados com as variáveis temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) e temperatura média (Tméd); 2: Meses que estiveram relacionados com as variáveis evaporação (Eva) e insolação (Insol); 3: Meses que não estiveram relacionados com nenhuma das variáveis estudadas; 4: Meses que estiveram relacionados com as variáveis umidade relativa (Urel) e precipitação (Prec). **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Ainda na Tabela 5 pode ser observado que o mês de maio, nos anos de 2009, 2013 e 2014 esteve sob maior influência das variáveis umidade relativa e precipitação, assim como o mês de Junho nos anos de 2012, 2013 e 2014 e o mês de julho no ano de 2009. No mês de agosto, nos anos de 2009, 2010, 2012, 2013 e 2014 esteve sob maior influência da evaporação e insolação. Setembro em 2009 esteve sob maior influência das variáveis umidade relativa e precipitação, em 2010, 2011 e 2012 das variáveis evaporação e insolação e os anos de 2013 e 2014 apresentou-se sob maior influência da temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média.

Para a análise de componentes principais nos meses de primavera e verão (ACP 2) as variáveis climáticas remanescentes da análise de fatores (AF) foram consideradas entre os

meses de Outubro de um ano e Março do ano seguinte. Os dados climáticos da série primavera/verão apresentaram distribuição normal (teste de Skewness,  $p > 0,05$ ).

Na Tabela 6 são apresentados os autovalores encontrados das componentes, bem como a porcentagem da variância e a porcentagem acumulada da variância explicadas pelas componentes. Pelo critério de Kaiser, obteve-se 82,49% de explicação da variância dos dados.

**Tabela 6.** Autovalores, % da variância, peso das variáveis em cada componente e % da variância acumulada explicada pelas componentes principais.

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Tmax	0,167	0,959
Tmín	0,754	0,632
Tméd	0,513	0,855
Urel	0,871	-0,18
Eva	-0,857	0,096
Insol	-0,853	0,244
Rad	-0,712	0,543
Prec	0,653	-0,373
Autovalor	4,01	2,59
Variância Explicada (%)	50,17	32,32
Variância Acumulada (%)	50,17	82,49

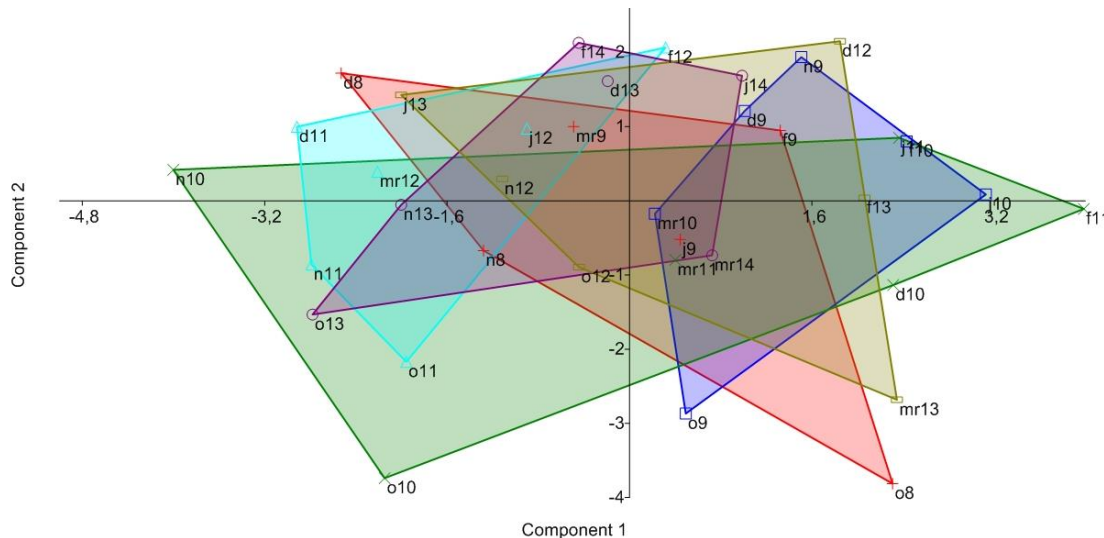
(tmax: temperatura máxima; tmín: temperatura mínima; tméd: temperatura média; urel: umidade relativa; eva: evaporação; insol: insolação; rad: radiação solar global; pre: precipitação).

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O agrupamento das variáveis climáticas para o período primavera e verão para os anos da série avaliada em correlação entre os eixos de componentes principais (CP) 1 e 2 é apresentado na Figura 4. Verifica-se a formação de duas épocas em que os períodos de incremento primaveril apresentaram comportamentos distintos entre as variáveis consideradas neste estudo.

O agrupamento demonstra que as variáveis estudadas apresentaram oscilações com menor similaridade entre si no período de primavera/verão de 2009 e 2011 (Figura 4 - áreas hachuradas em azul escuro e azul claro, respectivamente), sendo que estes períodos coincidem com os de formação dos anéis de crescimento primaveril das árvores nos anos de 2010 e 2012. Com estes resultados, foi realizada em sequência uma nova Análise de Componentes Principais, (ACP 3), levando em consideração os mesmos períodos, porém inserindo na avaliação apenas os anos de 2009 e 2011.

**Figura 4.** Escores de CP1 e CP2 para as variáveis climáticas nos períodos de primavera/verão (o; n; d; j; f; mr representam os meses de outubro; novembro; dezembro; janeiro; fevereiro e março e os números 9; 10; 11; 12; 13 e 14 representam os anos de 2009; 2010; 2011; 2012; 2013 e 2014 respectivamente. Linhas interligando os pontos e áreas hachuradas representam os grupos formados).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na Tabela 7 são apresentados os autovalores das componentes encontrados na ACP3, a porcentagem da variância e a porcentagem acumulada da variância explicadas pelas componentes. Pelo critério de Kaiser, obteve-se 87,29% de explicação da variância dos dados.

**Tabela 7.** Autovalores, % da variância, peso das variáveis dos componentes e % da variância acumulada explicada pelas componentes principais na comparação dos anos de 2009 e 2011.

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Tmax	0,3714	0,9095
Tmín	0,8542	0,4806
Tméd	0,6864	0,7163
Urel	0,9047	-0,3317
Eva	-0,8881	0,2342
Insol	-0,908	0,1244
Rad	-0,7789	0,3769
Prec	0,4599	-0,7075
Autovalor	4,59	2,39
Variância Explicada (%)	57,36	29,93
Variância Acumulada (%)	57,36	87,29

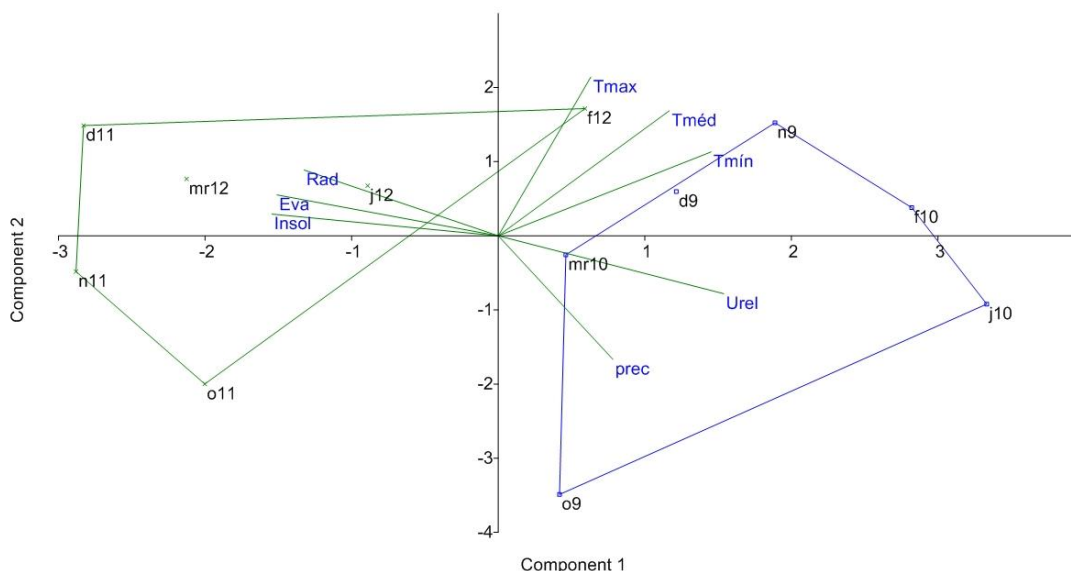
(tmax: temperatura máxima; tmín: temperatura mínima; tméd: temperatura média; urel: umidade relativa; eva: evaporação; insol: insolação; rad: radiação solar global; pre: precipitação).

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na Figura 5 é apresentada a influência das variáveis climáticas entre os meses de outubro de um ano a março do ano seguinte para os anos de 2009 e 2011, em correlação entre os eixos das CP 1 e 2, a partir dos escores para variáveis climáticas. Percebe-se que para o período de primavera/verão dos anos de 2009/2010, as variáveis que exerceram maior influência no desenvolvimento das árvores foram temperatura mínima (Tmín), precipitação (prec) e umidade relativa (Urel).

Para o período de primavera/verão dos anos de 2011/2012, as variáveis de maior influência foram insolação (Insol), evaporação (Eva) e radiação solar (Rad). Nota-se que houve maior influência da variável temperatura máxima (Tmax) para o mês de fevereiro de 2012. As temperaturas mínima e média (Tmín e Tméd) não exerceram influência significativa neste período.

**Figura 5.** Escores de CP1 e CP2 para variáveis climáticas nos períodos de primavera/verão para anos de 2009 e 2011. o; n; d; j; f; mr representam os meses de outubro; novembro; dezembro; janeiro; fevereiro e março respectivamente, e os números 9; 10; 11 e 12 representam os anos de 2009; 2010; 2011 e 2012 respectivamente. Linhas interligando os pontos representam os grupos formados. Linhas verdes representam a influência de cada variável em cada grupo de meses.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A análise gráfica do comportamento das variáveis climáticas para os anos em que foram agrupadas, demonstrou que dois anos da série de estudos apresentaram comportamentos diferenciados conforme as ACPs 2 e 3, sendo o período de primavera/verão de 2009/2010 e de 2011/2012, compreendendo a formação dos anéis de crescimento primaveris dos anos de 2010 e 2012 respectivamente.

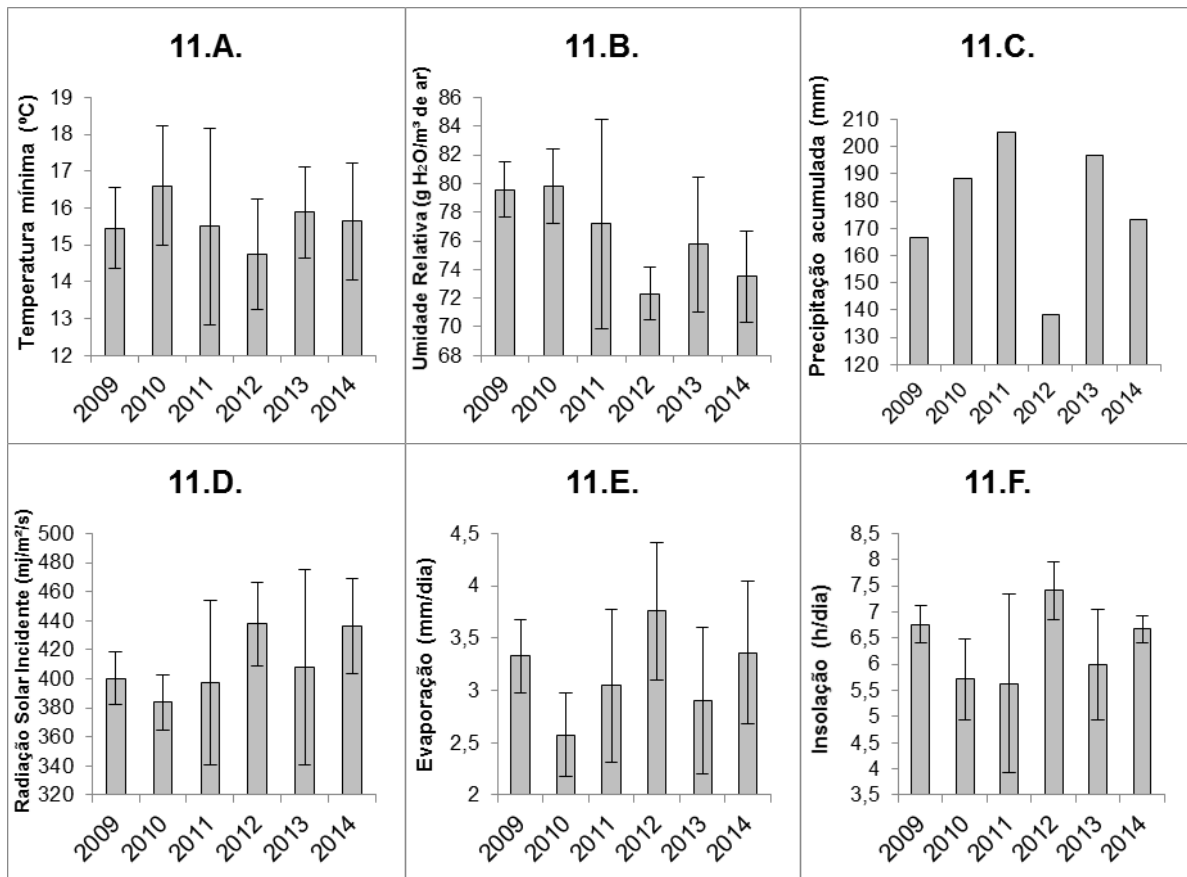
O ano de 2010 foi o ano em que as árvores apresentaram os maiores incrementos na espessura dos anéis de crescimento, havendo diferença significativa no período da série estudada, tanto no lenho outonal como no lenho primaveril. Segundo NOAA (2017) o período entre a primavera e verão do ano de 2010 esteve sob influência do fenômeno climático *El Niño*, sendo mais chuvoso e quente, já o mesmo período do ano de 2012 esteve sob influência do fenômeno climático *La Niña*, sendo mais frio e seco.

A ACP indicou que no período de formação dos anéis de crescimento do ano de 2010, esteve sob maior influência das variáveis climáticas temperatura mínima ( $T_{mín}$ ) e precipitação (prec). Já no período de formação dos anéis de crescimento do ano de 2012, esteve sob maior influência das variáveis climáticas radiação solar incidente (Rad) e evaporação (Eva). Neste ano de 2010 as árvores encontravam-se com 3 anos de idade e as classes 3, 2 e 1 apresentaram incrementos em diâmetro bem distintos, sendo a classe 3 a que obteve o maior incremento (1,95 cm), a classe 2 o segundo maior (1,65 cm) e a classe 3 o menor incremento (1,24 cm). Já no ano de 2012, quando as árvores encontravam-se com 5 anos de idade não houveram diferenças estatísticas entre o incremento em diâmetro para as classes, sugerindo que o desenvolvimento inicial é mais lento em classes de menor diâmetro.

Na Figura 6 são apresentados os valores médios semestrais das variáveis climáticas temperatura mínima, precipitação acumulada, umidade relativa, radiação solar incidente, evaporação e insolação nos períodos entre os meses de outubro a março para os anos estudados, sendo que a variável precipitação acumulada foi computada na forma de somatório para este período.

Avaliando-se os dados apresentados na Figura 6, observa-se que no período de formação dos anéis de crescimento primaveris, do ano de 2010, as variáveis temperatura mínima (11.A.), umidade relativa (11.B.) e precipitação acumulada (11.C.) apresentaram valores mais elevados quando comparados aos valores verificados neste mesmo período no ano de 2012. Já as demais variáveis analisadas, radiação solar incidente (11.D.), evaporação (11.E.) e insolação (11.F.) tiveram valores mais reduzidos em relação ao mesmo período no ano de 2012.

**Figura 6.** Médias semestrais de temperatura mínima em °C (11.A), umidade relativa em gH<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> de ar (11.B.), precipitação acumulada em milímetros (11.C.), radiação solar incidente em Mj m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (11.D.), evaporação em milímetros/dia (11.E.) e insolação em horas dia<sup>-1</sup> (11.F.) para o período entre outubro a março ao longo dos anos.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Oliveira, Santarosa, Roig & Pilar (2007) estudando a formação de lenhos iniciais e primaveris em *Araucaria angustifolia* Bert., encontraram atividade cambial característica de formação de lenho tardio (outonal) entre os meses de maio a setembro e formação de lenho inicial (primaveril) entre outubro a março. Verificaram ainda correlação positiva entre a taxa de incremento radial e a temperatura média. Esta informação corrobora com os resultados deste estudo, ponderando a temperatura como fator de potencialmente influente no incremento diamétrico das árvores, assim como a precipitação acumulada, que esteve significativamente mais elevada durante o período em que as árvores obtiveram os maiores incrementos. Estes resultados estão de acordo com os apresentados por Souza, Ribeiro, Leite, Leite & Minuzzi (2006) para *Eucalyptus* sp. Já Oliveira, Latorraca, Tomazello Filho, Garcia



& Carvalho (2011), avaliando *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, encontraram correlação positiva entre o incremento radial e os totais anuais de precipitação local, corroborando a influência positiva da precipitação acumulada com o crescimento radial de árvores.

Machado, Zamin, Nascimento & Santos (2014) ao construírem curvas de produção e de incremento corrente mensal (ICM), analisando variáveis climáticas no crescimento mensal em diâmetro e altura de *Pinus taeda* L. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em fase juvenil, concluíram que para as duas espécies o ICM em diâmetro e altura apresentaram relação diretamente proporcional com a temperatura. Em estudo com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Caren & Prestes (2016) verificaram que o crescimento desta espécie está diretamente relacionado com o clima do local de crescimento, sendo que baixas temperaturas, especialmente no inverno, tendem a correlações negativas de crescimento, inclusive induzindo a dormência.

Mattos, Santos, Oliveira & Rosot, (2007) trabalhando com seis espécies de árvores da Floresta Ombrófila Mista no município de Candói, no Paraná, concluíram que nos anos em que houve situação extrema de baixa precipitação e umidade relativa no início da primavera e baixas temperaturas no inverno, houve redução no crescimento das árvores no mesmo ano ou no ano seguinte. Os resultados destes autores corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa, onde o incremento do lenho primaveril no ano de 2012 foi significativamente menor do que no ano de 2010, sendo as variáveis umidade relativa e precipitação acumulada também menores no ano de 2012.

Os resultados deste estudo para *Pinus taeda* podem ser melhor interpretados considerando Larson, Kretschmann, & Isebrants (2001). Estes autores descrevem que o início da estação de crescimento primaveril coincide com a eclosão de novos brotos nas gemas apicais com reservas e quebra de dormência provenientes do inverno, apresentando dependência e resposta positiva a temperaturas comparativamente mais elevadas. Desta forma, a planta apresenta resposta direta às condições ambientais ocorrentes na própria estação de crescimento primaveril.

Já a transição para o lenho outonal coincide com o início da dormência dos brotos terminais e no início da estação de crescimento, relativamente poucos compostos oriundos da fotossíntese estão disponíveis para a formação de paredes celulares, sendo assim, as condições climáticas ocorrentes na estação de crescimento outonal não irão resultar em diferenças nos anéis de crescimento desta mesma estação. Estas informações vêm de encontro às discussões apresentadas também por Machado, Zamin, Nascimento & Santos (2014).

Em decorrência dos resultados, é pertinente salientar que em períodos com temperaturas e índices mais elevados de precipitação pluvial, a espécie *P. taeda* tende a desenvolver maior índice de incremento radial dos anéis de crescimento, sendo estes índices apresentados diretamente na estação de crescimento primaveril, ou na estação de crescimento outonal, desde que precedida de condições climáticas de temperatura e precipitação adequadas desde a estação de crescimento anterior.

Neste contexto, levando-se em consideração a caracterização dos fenômenos climáticos de macroescala El Niño e La Niña verificada em NOAA (2017), é de se esperar que em estações de crescimento primaveril, com a presença ou precedidas de El Niño, as árvores apresentem maior incremento radial dos anéis de crescimento, em contraposição aos mesmos períodos com presença de La Niña. Sendo esta variação derivada das condições climáticas e não propriamente do fenômeno climático dominante, pois Knutti, Rogelj, Sedláček & Fischer (2016) salientam que períodos quentes e úmidos ou frios e secos, podem também ocorrer em condições de neutralidade atmosférica.

#### 4. Conclusões

Nesta pesquisa foi evidenciado o potencial de interferência do clima no incremento radial de anéis de crescimento de *Pinus taeda*. Ficou evidente que a utilização de série temporal de dados em sistema de Análise Longitudinal com aplicação de métodos estatísticos de múltiplas variáveis, como a Análise dos Componentes Principais (PCA), é uma metodologia potencialmente eficiente para estudos desta natureza.

Com base nos resultados obtidos infere-se que a espécie *Pinus taeda* apresenta potencial de incremento radial dos anéis de crescimento maior na estação de crescimento primaveril em comparação a estação de crescimento outonal.

Esta espécie, apresenta incremento radial dos anéis de crescimento beneficiado por índices de temperatura e precipitação pluvial mais elevados na própria estação de crescimento, ou em períodos que a antecedem imediatamente.

A utilização de análise estatística longitudinal apresenta potencial para contribuição em avaliações de crescimento florestal, baseado em banco de dados climáticos em série histórica.

A partir dos resultados deste estudo, sugere-se que em pesquisas futuras, envolvendo características do ambiente, como o efeito do clima sobre o desenvolvimento florestal, seja considerada a possibilidade de uso de procedimentos de Análise Longitudinal no tempo e

avaliada a predominância de fenômenos climáticos de macroescala no período, inclusive Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), pois estes quando presentes, caracterizam as variações climáticas, reduzindo a dificuldade para a compreensão das interações ambientais.

### **Agradecimento**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 0013, pelo apoio e fomento à pesquisa.

### **Referências**

Barichivich, J., Sauchyn, D. J. & Lara, A. (2009). Climate signals in high elevation tree-rings from the semiarid Andes of north-central Chile: Responses to regional and large-scale variability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Long-term multi-proxy climate reconstructions and dynamics in South America (LOTRED-SA). State of the art and perspectives*, 281(3–4), 320–333.

Borsato, V. A. (2011). A dinâmica atmosférica no centro-sul do Brasil no verão e as influências do El Niño oscilação sul (ENOS). *Revista do Departamento de Geografia*, 22(1), 135–157.

Caren, L. & Prestes, A. G. (2016). Dendroclimatological reconstruction of spring-summer precipitation for Fazenda Rio Grande, PR, with samples of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Revista Árvore*, 40(2), 347–354.

IAPAR-Instituto Agrônomo do Paraná. *Class\_clim* (2017). Acesso em: 26 jan. 2018, em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>.

IBÁ-*Indústria Brasileira de Árvores*. (2016). Relatório anual. São Paulo-SP, 100p.

Inoue, M. T., Figueiredo Filho, A. & Lima, R. (2011). Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 9, n.91, 377-385.

Kanieski, M. R., Santos T. L., Graf Neto, J., Souza, T., Galvão, F. & Roderjan C.V. (2012). Influência da Precipitação e da Temperatura no Incremento Diamétrico de Espécies Florestais Aluviais em Araucária-PR. *Floresta e Ambiente*, 19(1), 17-25.

Khaledian, Y. Ebrahimi, S., Natesan, U. Basatnia, N., Nejad, B. B., Bagmohammadi, H. & Zeraatpisheh, M. (2018). Assessment of water quality using multivariate statistical analysis in the Gharaso River, Northern Iran. *Urban ecology, water quality and climate change*, (84)1, 227-253.

Knutti, R., Rogelj, J., Sedláček, J. & Fischer, E. M. (2016). A scientific critique of the two-degree climate change target. *Nature Geoscience*, 9(1)13–18.

Larson, P.R., Kretschmann, R. E., Isebrants, A. I. K. (2001). *Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis*. Madison: USDA Forest Service, 42p.

Machado, S. A., Zamin, N. T., Nascimento, R. G. M., Santos, A. A. P. dos (2014). Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em Fase Juvenil. *Floresta e Ambiente*, (21)2, 170–181.

Maroco, J. (2011). *Análise estatística com utilização do SPSS*. Edições Sílabo, Lisboa (5ª ed.).

Mattos, P. P., Santos, A. T. dos, Oliveira, Y. M. M. de, & Rosot, M. (2007). Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, (54), 153–156.

Nascimento, L. P. do, Reis, D. A. dos, Roeser, H. M. P. & Fonseca, S. A. da F. (2019). Relationship between land use and water quality in a watershed impacted by iron ore tailings and domestic sewage. *Revista Ambiente & Água*, (14)5, e2383 – 1-11.

NOAA - National Oceanic And Atmospheric Adm. *Climate Pred. Center. U.S.A., 2017.*

Acesso: 19 outubro/17,  
em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>

Oliveira, B. R. U.de, Latorraca, J. V. de F., Tomazello Filho, M., Garcia, R. A., Carvalho, A. A. M. de. (2011). Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Madien na região de Rio Claro, RJ. *Ciência Florestal*, (21)3, 499–508.

Oliveira, F. L. de, Lima, I. L. de, Garcia, J. N. & Florshem, S. M. B. (2006). Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e posição radial na tora. *Instituto Florestal de São Paulo*, (18)1, 59–70.

Oliveira, J. M. de, Santarosa, E., Roig & Pilar, D. (2007). Amostragem Temporal de Anéis de Crescimento: Uma Alternativa para Determinar Ritmo de Atividade Cambial. *Revista Brasileira de Biociências*, (5)1, 615-617.

Reis, D. A. dos, Santiago, A. da F., Nascimento, L. P. do, Oliveira, E. G. de, Marques, L. S. & Roeser, H. M. P. (2017) Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. *Gestão de Águas da América Latina*, (14)2, 2017.

Souza, M. J. H., Ribeiro, A., Leite, H. G., Leite, F. P., Minuzzi, R. B. (2006). Relationship between water availability and eucalyptus productivity at different ages in Guanhões region, Minas Gerais state. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, (10)3, 629–638.

Teixeira, L. A. R., Jadoski, S. O., Faggian, R., Sposito, V. & Mrázová, J. (2018). Estimativa das alterações de temperatura no ciclo de cultivo de trigo e cevada para o ano de 2050 em Guarapuava, Paraná-Brasil. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 11(3), 41-49.

Zanon, M. & Finger, C. (2010). Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. *Ciência Florestal*, (20)3, 467–476.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Michael Rogers Bernert - 30%

Sidnei Osmar Jadoski - 20%

Luciano Farinha Watzlawick - 20%

Vanderlei Aparecido de Lima -15%

Luiz Carlos Zerbieli - 15%