

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTATÍSTICA E MODELAGEM
QUANTITATIVA**

Aldiara Fernanda Pavão Garcia

**ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) Kuntze NO MUNICÍPIO DE TAPERA - RS**

Santa Maria, RS, Brasil.

2016

Aldiara Fernanda Pavão Garcia

**ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze
NO MUNICÍPIO DE TAPERA – RS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa**.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Roselaine Ruviaro Zanini
Co-orientador: Prof^º. Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo (*In Memoriam*)

Santa Maria, RS, Brasil.

2016

Aldiara Fernanda Pavão Garcia

**ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze
NO MUNICÍPIO DE TAPERA - RS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa**.

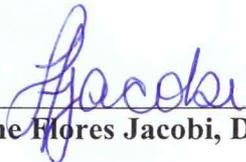
Aprovada em 15 de março de 2016:



Roselaine Ruviaro Zanini, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Ivanor Müller, Dr. (UFSM)



Luciane Flores Jacobi, Dra. (UFSM)

**Santa Maria, RS.
2016**

AGRADECIMENTOS

Talvez singelas palavras não sejam suficientes para traduzir minha gratidão. Mesmo assim, não posso deixar de registrar meus agradecimentos:

Agradeço a Deus, meu pai, por este propósito em minha vida.

A minha família, pelo apoio e pela confiança depositada, em especial minha mãe Rosa, minhas irmãs, Carina e Cátia e meu sobrinho Alisson.

Aos meus amigos do grupo caseiro por todo apoio, atenção e carinho. Ao meu grande amigo Ezequiel pelas ajudas e carinho. Aos meus colegas da Estatística, em especial a Bárbara, pela convivência, amizade e momentos de descontração onde trocamos ideias e conhecimentos que ampliaram nossos horizontes.

A UFSM e ao curso que me possibilitaram a oportunidade de aprofundar o meu conhecimento sobre o assunto e fornecer as bases para o desenvolvimento do meu trabalho.

Ao INPE/CRS (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro Regional Sul), pelo espaço utilizado no laboratório, pelos dados fornecidos através do professor Nivaor (*In Memoriam*) e da professora Damaris e pelo apoio e pela confiança depositada em minha pessoa.

Aos docentes da Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa por suas contribuições, dedicação, sugestões, críticas e incentivos carregados de compreensão e confiança que possibilitaram a concretização deste trabalho.

Por fim, agradeço de coração a todos os queridos (as) professores (as), em especial aos que me orientaram de uma forma ou outra: Adriano Mendonça Souza, Damaris Kirsch Pinheiro, Nivaor Rodolfo Rigozo (*In Memoriam*) e minha orientadora Roselaine pelo conhecimento, sugestões, palavras de sabedoria, apoio recebido e disponibilidade que dedicaram para que este trabalho chegasse até aqui, em especial a imensa sabedoria repassada sempre em nossas conversas ajudando a desenvolver e a elucidar as ideias que muitas vezes estavam ali no meu caminho, mas eu não conseguia ver, motivando meu trabalho e minha vontade de mudar as coisas.

Aos membros da Banca Examinadora, Dr. Ivanor Müller e a Dra. Luciane Flores Jacobi, pelas críticas, sugestões, imensa atenção e sabedoria repassada em todas as aulas explanadas e que contribuíram para a conclusão do meu trabalho.

A todas as pessoas que, de alguma maneira, contribuíram neste processo e que eu talvez tenha me esquecido de mencionar.

Muito obrigada!

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao professor Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo (*In Memoriam*) que infelizmente veio a falecer no dia 05/02/2016 e não presenciará este momento. Com toda a minha gratidão pela dedicação e confiança depositada em minha pessoa para que este trabalho chegasse até aqui.

“Eu guardei muitas coisas em minhas mãos, e perdi todas; mas todas que coloquei nas mãos de Deus, essas eu ainda possuo.”

Martin Luther King, Jr.

RESUMO

ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NO MUNICÍPIO DE TAPERA – RS

AUTORA: Aldiara Fernanda Pavão Garcia

ORIENTADORA: Dra. Roselaine Ruviaro Zanini

CO-ORIENTADOR: Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo (*In Memoriam*)

O presente trabalho teve como objetivo analisar o crescimento das espessuras dos anéis de crescimento de árvores da *Araucaria angustifolia*, presentes no município de Tapera, Rio Grande do Sul. Nessa pesquisa, foram utilizadas 44 amostras da *Araucaria angustifolia*, analisadas nas últimas seis décadas, para encontrar uma equação, por meio de modelos de regressão que descrevessem o desenvolvimento dos anéis de crescimento das árvores. Assim, realizou-se uma análise descritiva das medidas coletadas (espessura dos anéis), para onze árvores, por década, considerando-se o período entre 1950 a 2009, apresentando-se os valores da média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação, para caracterizar a amostra estudada. Posteriormente, realizou-se uma análise de regressão, por quinquênio, na qual se procurou, entre os vários tipos de modelos disponíveis, aquele que melhor estimasse a espessura dos anéis médios das árvores analisadas. O melhor modelo que se ajustou aos dados foi o *Compound*, do qual não se encontrou material disponível que viesse a detalhar este tipo de modelo encontrado. Dessa forma, analisou-se que a espessura dos anéis total (lenhos de início e fim de estação) dos anéis de crescimento para cada uma das onze amostras de árvores, as quais cresceram e decresceram ao longo das últimas décadas. Essa variação pode ser explicada pelos fatores ambientais que agiram neste quinquênio e resultaram na formação da espessura dos anéis.

Palavras-chaves: Crescimento de árvores. Evolução Temporal. Análise de regressão.

ABSTRACT

STUDY OF THE GROWTH RINGS IN THE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze IN TAPERÁ CITY – RS

AUTHOR: Aldiara Fernanda Pavão Garcia

ADVISER: Dr. Roselaine Ruviano Zanini

CO-ADVISER: Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo (*In Memoriam*)

This study had as objective to analyze the growth of thickness of growth rings of trees of *Araucaria angustifolia*, present in Tapera city, Rio Grande do Sul. In this study, it was used 44 *Araucaria angustifolia* samples, analyzed in the past six decades, to find an equation, using regression models that describe the development of the growth rings of trees. Thus, it was done a descriptive analysis of the collected measurements (thickness of the rings), for the eleven trees, per a decade, considering the period from 1950 to 2009, presenting the average values, median, minimum, maximum, standard deviation and coefficient of variation, to characterize the analyzed sample. After, it was performed a regression analysis, for five years, in which it was searched, among the various types of models available that one that best estimated the thickness of the average tree ring analyzed. The best model which fit to the data was the *Compound*, which was not found available material that detailed this type of found model. This way, it was considered that the thickness of the full rings (beginning logs and end of season) the growth rings to each of the eleven samples of trees, which ones have grown and declined over the past decades. This variation can be explained by environmental factors that acted in this five-year period and resulted in the formation of the thickness of the rings.

Keywords: Tree growth. Time evolution. Regression analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	<i>Araucaria angustifolia</i> , Pinheiro-do Paraná ou Pinheiro-Brasileiro (A, B e C) e fruto e inflorescência (A). <i>Araucaria angustifolia</i> do município de Tapera – RS (B e C).....	20
FIGURA 2 -	Mapa dos locais de ocorrência natural da <i>Araucaria angustifolia</i> no Brasil.....	21
FIGURA 3 -	Seção transversal do tronco de <i>Araucaria angustifolia</i> destacando os anéis de crescimento caracterizados pelo lenho inicial (LI) e tardio (LT).....	22
FIGURA 4 -	Seção de um tronco típico (A). Estrutura interna do tronco de uma árvore, nas regiões de clima temperado (B), Corte transversal no tronco de uma conífera expondo seus anéis de crescimento (C).....	24
FIGURA 5 -	Reações da árvore ao tipo de solo (A), Reações da árvore à luz (B) e Reações da árvore ao vento (C).....	26
FIGURA 6 -	Mapa de localização do município de Tapera – RS (B) e (B) e localização do local de coleta (C).....	36
FIGURA 7 -	Técnica de retirada da amostra não destrutiva com o Trado de Pressler no município de Tapera - RS (A), Remoção da amostra (B), Imagem logo após a retirada da amostra (C) e Amostra retirada com o Trado de Pressler pronta para ser acondicionada (D).....	38
FIGURA 8 -	Preparação das canaletas de madeira contendo as amostras dos anéis de árvore. Identificação das amostras (A) Cola para assegurar a amostra nas canaletas de madeira (B), Acondicionamento da amostra nas canaletas de madeira (C), Início de barbante para fixar a amostra na cola (D), Barbante pronto em volta da caneleta de madeira para secagem (E) e Amostras fixas sem o barbante nas canaletas de madeira prontas para serem lixadas (F).....	40
FIGURA 9 -	Sequência decrescente de lixas com diferentes granulações (A) e lixadeira orbital manual (B).....	41
FIGURA 10-	Amostra das canaletas de madeira do município de Tapera, árvore 5 e raio B depois de lixada, pronta para ser digitalizada e analisada no estéreo-microscópio.....	42
FIGURA 11-	Mensuração dos anéis de crescimento através do estéreo-microscópio do Laboratório de Análise Digital de dados do Centro regional Sul de pesquisas Espaciais/INPE.....	43
FIGURA 12-	Cronologia das amostras da árvore que representa TP 5.....	44
FIGURA 13-	Média da cronologia de TP 5.....	44
FIGURA 14-	Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 1, 2 e 3 do município de Tapera – RS.....	60
FIGURA 15-	Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 4, 5 e 6 do município de Tapera – RS.....	61
FIGURA 16-	Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 7, 8 e 9 do município de Tapera – RS.....	61
FIGURA 17-	Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 10 e 11 do município de Tapera – RS.....	62

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 -	Análise de variância para testar a significância da regressão.....	30
Quadro 2 -	Características da amostragem da espécie analisada.....	37
Tabela 1 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1950 – 1959).....	47
Tabela 2 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1960 – 1969).....	49
Tabela 3 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1970 – 1979).....	51
Tabela 4 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1980 – 1989).....	53
Tabela 5 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1990 – 1999).....	55
Tabela 6 -	Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (2000 – 2009).....	57
Tabela 7 -	Modelos das médias dos anéis de crescimento de cada árvore do município de Tapera - RS.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Akaike (critério de informação Akaike)
ANOVA	Análise da Variância
DAP	Diâmetro à altura do peito, medido a 1,30m do solo
DW	Durbin-Watson
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GL	Graus de Liberdade
INPE/CRS	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional Sul
LI	Lenho Inicial
LT	Lenho Tardio
MEASURE	<i>Tree Ring Measuring Program</i>
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
PVA	Poliacetato de Vinila
QM	Quadrado Médio
SOI	Índice de Oscilação Sul – El Niño e La Niña
SQ	Soma de Quadrados
SQE	Soma de Quadrados do Erro
SQR	Soma de Quadrados de Regressão
SQT	Soma de Quadrados Totais
TP	Tapera
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
UNIVAP	Universidade do Vale do Paraíba
VE	Varição Explicada
VR	Varição Residual
VT	Varição Total

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A	Média por raio dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera -RS	67
------------	---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	DENDROCRONOLOGIA.....	17
2.2	ARAUCÁRIA ANGUSTIFÓLIA.....	19
2.3	ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	22
2.4	FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM O CRESCIMENTO E AS CARACTERÍSTICAS DOS ANÉIS.....	24
2.5	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES.....	26
2.5.1	Coefficiente de correlação de Pearson	27
2.5.2	O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	28
2.5.3	Análise da Variância (ANOVA)	29
2.5.4	Coefficiente de Determinação ou de Explicação (R^2)	30
2.6	REGRESSÃO NÃO LINEAR	31
2.6.1	Pressupostos	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	34
3.1.1	Caracterização do local de coleta	35
3.1.2	Material e Amostragem	36
3.1.3	Análise da mensuração das amostras	41
4	RESULTADOS	46
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES.....	46
4.1.1	Análise da média das espessuras dos anéis das árvores por quinquênio	59

5	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE A – Média do crescimento dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera - RS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos terrestres e solares estão atingindo as regiões brasileiras, especificamente a região Sul. Devido a isso, observam-se invernos longos, chuvas intensas na primavera e no verão, com grandes destruições devido às enchentes e aos deslizamentos, que tem influenciado fatores climáticos sobre o meio ambiente.

O estudo de relações Sol-Terra-Clima tem concentrado no entendimento de tais acontecimentos. Nos conhecimentos estatísticos, o trabalho desenvolvido sobre as relações Sol-Terra-Clima, é realizado principalmente pela aquisição e análise de dados observacionais numa escala de tempo, partindo do passado recente ao presente (PRESTES, 2006). Entre os dados observacionais recorrentes, podem ser citados: as manchas solares, dados geomagnéticos e ionosféricos, dados meteorológicos, climáticos e hidrológicos.

As árvores revelam informações sobre o ambiente devido ao fato de suas propriedades armazenarem informações da sua formação. Tais atributos, como a densidade e a largura dos anéis, são fatores importantes para os estudos dendrocronológicos, baseados em correlações de fenômenos climáticos e ambientais. Dessa forma, tem sido amplo o desenvolvimento na ciência com trabalhos que trazem as pesquisas baseadas no estudo dos anéis de crescimento. Nesse contexto, vários testes nas amostras com as espessuras dos anéis de crescimento podem ser realizados, a fim de analisar a relação de parâmetros como a precipitação pluviométrica e temperatura. Nesse sentido, fenômenos naturais tais como SOI (Índice de Oscilação Sul- El Niño e La Niña) e ciclo solar, são observados para entender a conexão com o desenvolvimento da espessura dos anéis de crescimento das árvores da espécie *Araucaria angustifolia*, típica da região Sul.

A dendrocronologia é uma metodologia aplicada a arqueologia para desvendar acontecimentos do passado, em anéis presentes em artefatos arqueológicos, da qual o ramo denomina-se dendroarqueologia. Na dendroclimatologia, os registros climáticos se acumulam nos anéis sob a forma da sua espessura, densidade, compostos, etc, e são utilizados para reconstruir climas e fatores ambientais presentes no passado. Entretanto, na dendrohidrologia, os anéis de crescimento são utilizados para identificar alterações nos cursos dos rios, nascentes de águas e níveis de lagos e lagoas, até a subvida dos níveis do mar. Dessa forma, trabalhos de dendrocronologia permitem analisar as alterações e evoluções de paisagens de determinadas localidades, bem como trabalhos realizados no Alto de S. Bento, em Évora.

Trabalhos para desvendar o passado Triássico nas amostras de árvores petrificadas, também já foram realizados com amostras dendrocronológicas. Assim, como trabalhos para

desvendar a análise química presentes nos anéis de crescimento, objetivando estudar os reais efeitos antropogênicos sobre o meio ambiente. Outros trabalhos para registrar os fenômenos da atividade solar e outros fenômenos geofísicos nos anéis de crescimento das árvores.

1.1 PROBLEMA

Este estudo apresenta uma abordagem relacionada ao incremento dos anéis de crescimento da *Araucaria angustifolia* no município de Tapera – RS.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os incrementos dos anéis de crescimento do município de Tapera do Rio Grande do Sul.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os incrementos dos anéis de crescimento nas últimas seis décadas no RS;
- Avaliar os resultados obtidos com o intuito de encontrar um modelo de regressão apropriado para descrever o incremento dos anéis de crescimento do município de Tapera no RS.

1.3 JUSTIFICATIVA

Vários fatores climáticos influenciam os curtos e longos períodos dos fenômenos terrestres e solares. A região Sul do Brasil vem passando por um período climático atípico, em que se faz necessário o estudo de algumas décadas passadas para saber como estes fenômenos agiam. Dessa forma, através de uma análise dendrocronológica da espécie *Araucaria angustifolia* da localidade do município de Tapera, RS, procurou-se modelos de regressão que descrevessem o desenvolvimento das espessuras dos anéis de crescimento. Os vários fatores climáticos são os responsáveis pela alteração da espessura dos anéis de crescimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão apresentados alguns conceitos importantes que embasaram a realização deste trabalho.

2.1 DENDROCRONOLOGIA

A dendrocronologia é uma ciência que analisa e interpreta o crescimento das árvores através do estudo de seus anéis de crescimento. O termo, que provém do grego *dendron* ou árvore, *kronos* ou tempo, e *logos* ou conhecimento, representa um dos métodos científicos mais utilizados nas datações aplicadas a madeiras (GONÇALVES, 2007-2008). Em outras palavras, dendrocronologia é um conjunto de métodos que tem como objetivo principal a identificação dos anéis de crescimento anual das árvores e a alocação de cada um, de forma precisa e inequívoca, há um ano concreto no calendário gregoriano, em que o último ano corresponde ao ano de recolha da amostra (LAUW, 2011).

O princípio da dendrocronologia, segundo Fritts (1976), baseia-se que os anéis de crescimento formados em mesmo local e lugares próximos, devem apresentar características comuns, ou seja, os anéis de crescimento das árvores devem apresentar uma sincronia ao longo de sua vida. Outros princípios, segundo este mesmo autor, podem ser considerados como: uniformidade, fatores limitantes, crescimento agregado da árvore, amplitude ecológica, seleção do local, datação cruzada (*crossdating*) e replicação.

Historicamente, na primeira década do século XX, a dendrocronologia e os métodos dendrocronológicos foram atribuídos aos estudos do astrônomo norte-americano Andrew Ellicott Douglass (1867-1962). Em seus estudos, no Sul dos Estados Unidos da América, enquanto ele procurava uma maneira de obter registros climáticos para poder estudar a relação entre as manchas solares e o clima da Terra ao longo do tempo, ele observou como as mudanças climáticas influenciavam a largura dos anéis de crescimento (LAUW, 2011). Ainda, de acordo com este autor, em 1914, Douglass conseguiu construir uma cronologia de quase 500 anos a partir de anéis da espécie *Pinus*, demonstrando, através dos registros climáticos disponíveis, que a largura dos anéis estava diretamente relacionada com a

precipitação do inverno anterior (LAUW, 2011). As amostras coletadas por Douglass eram originárias de suas viagens pelas florestas no Norte do Arizona. Dessa forma, os estudos dendrocronológicos começaram a ter suas aplicações na Europa e nos E.U.A., ressaltando que as espécies amostradas eram típicas das regiões onde os estudos estavam acontecendo. A evolução da dendrocronologia tem permitido abrir novas áreas de investigação, tais como: dendroarqueologia, dendroecologia, dendrogeomorfologia, dendroglaciologia, dendrohidrologia e dendropirocronologia.

A *Araucaria angustifolia*, por ser uma espécie sensível às variações ambientais, permite que alterações do clima, como temperatura, precipitação, umidade, radiações solares, eventos de El Niño e La Niña, e de outros fenômenos físicos e geofísicos, como a atividade solar, cosmonuclídeos atmosféricos, entre outros, fiquem registradas nos seus anéis de crescimento.

Os registros destes fenômenos nos anéis de crescimento, também foram documentados por Rigozo et al. (2008) e Prestes (2006) em seus estudos. Inúmeras são as informações contidas nos anéis de crescimento, além da identificação e reconstrução das condições climáticas do passado, é possível conhecer as alterações ambientais naturais, avaliar o efeito dos ventos, a ocorrência de ataques de insetos e microrganismos, os processos tectônicos, as atividades vulcânicas, os incêndios, as operações silviculturais, a presença de metais pesados no ambiente e de ações antropogênicas (BOTOSSO e MATTOS, 2002).

A dendrocronologia permite determinar a idade e a taxa de incremento das árvores e o efeito das variações ecológicas e ambientais na formação dos anéis de crescimento sejam naturais ou oriundas de ações antrópicas (TOMAZELLO FILHO, BOTOSSO e LISI, 2001a). A *Araucaria angustifolia* forma anéis de crescimento anuais com nítidos lenho inicial e tardio, identificados macroscopicamente, no xilema, o que permite a determinação da idade da árvore. Cada anel corresponde à quantidade de madeira produzida e formada em um ano, destacando as variações de temperatura, chuvas, exposições ao sol, e outros fatores climáticos e ambientais.

A influência do ambiente nas propriedades da madeira permite uma análise nas informações que a madeira traz em suas propriedades. Sendo a região sul do Brasil muito afetada por eventos climáticos extremos torna o estudo dendrocronológico de suprema importância para entender tais eventos (RIGOZO et al., 2008). Assim, o estudo dos anéis de crescimento da espécie *Araucaria angustifolia*, produz séries eficazes para a confecção de vários estudos.

2.2 ARAUCÁRIA ANGUSTIFÓLIA

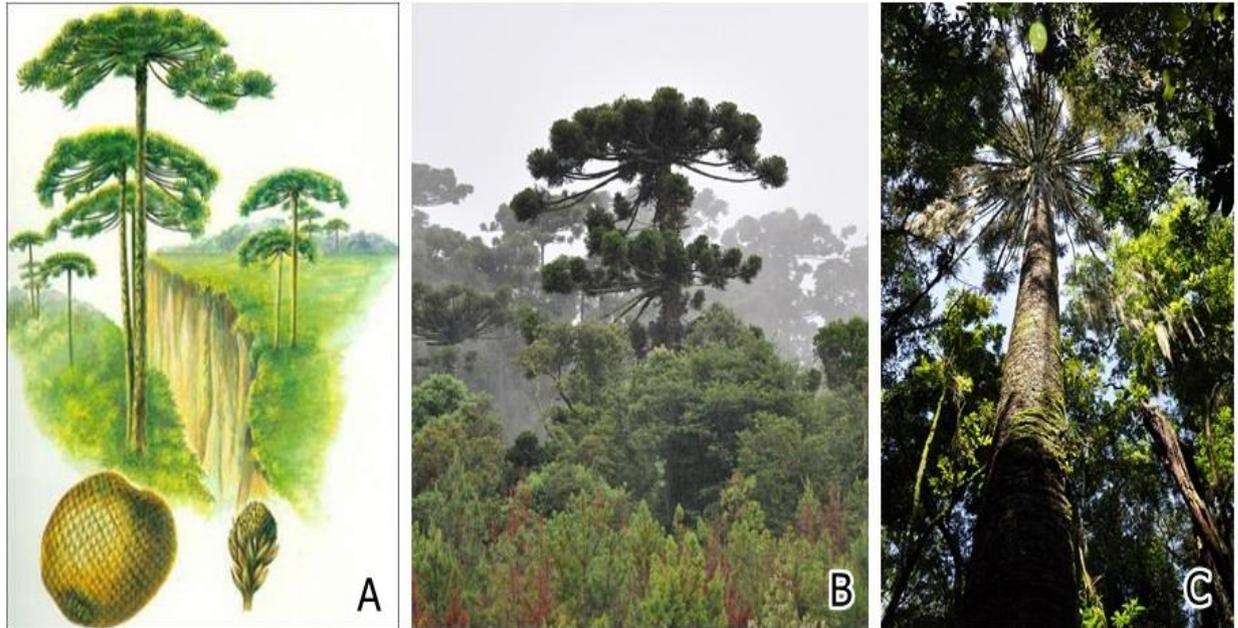
No Brasil, a *Araucaria angustifolia* é uma árvore conhecida como Pinheiro do Paraná. Segundo Carvalho (2003) a Araucária é uma árvore perenifólia, de aspecto original e contrastante com as demais árvores do Sul do Brasil, com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm de DAP, atingindo especialmente 50 m de altura e 250 cm ou mais de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30m do solo), na idade adulta. Seu tronco é reto, colunar e quase cilíndrico. Apresenta copa alta, estratificada e múltipla. Sua casca é grossa, com espessura de até 10 cm, nas árvores adultas. A casca interna é resinosa, esbranquiçada, com tons róseos. Suas folhas são simples, alternas lineares a lanceoladas, coriáceas, com até 6 cm de comprimento por 10 mm de largura. Seus frutos são pseudofrutos reunidos em estróbilo feminino ou pinha (ovário), com 10 a 25 cm de diâmetro, composto de 700 a 1200 escamas, com número variável de sementes (5 a 150) e com até 4700 g de peso. As pinhas são encontradas nos galhos, entre 1 a 2 em cada ramo (CARVALHO, 2003).

No que diz respeito ao fruto, segundo Burger e Richter (1991), a *Araucaria angustifolia* é uma gimnosperma, ou seja, suas sementes são nuas, não abrigadas no interior de frutos, vindo deste fato a denominação do grupo: *gymnos* = nu; *spermae* = semente. E ainda Burger e Richter (1991, pag.24) afirmam:

São também chamadas de coníferas, resinosas, não porosas (ausência de vasos ou poros). Como exemplo de madeiras brasileiras nativas, do grupo das gimnospermas, podemos citar o Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) e o Pinho Bravo.

Na Figura 1 (B e C) tem-se a *Araucaria angustifolia* da localidade do município de Tapera - RS na área nativa de onde foram coletadas as amostras estudadas, destacando algumas características dos fatores que influenciaram o seu desenvolvimento na localidade. Em Figura 1 (A) tem-se a araucária representada com seu fruto e inflorescência.

Figura 1 – *Araucaria angustifolia*, Pinheiro do Paraná ou Pinheiro Brasileiro (A, B e C) e fruto e inflorescência (A). *Araucaria angustifolia* do município de Tapera – RS (B e C).

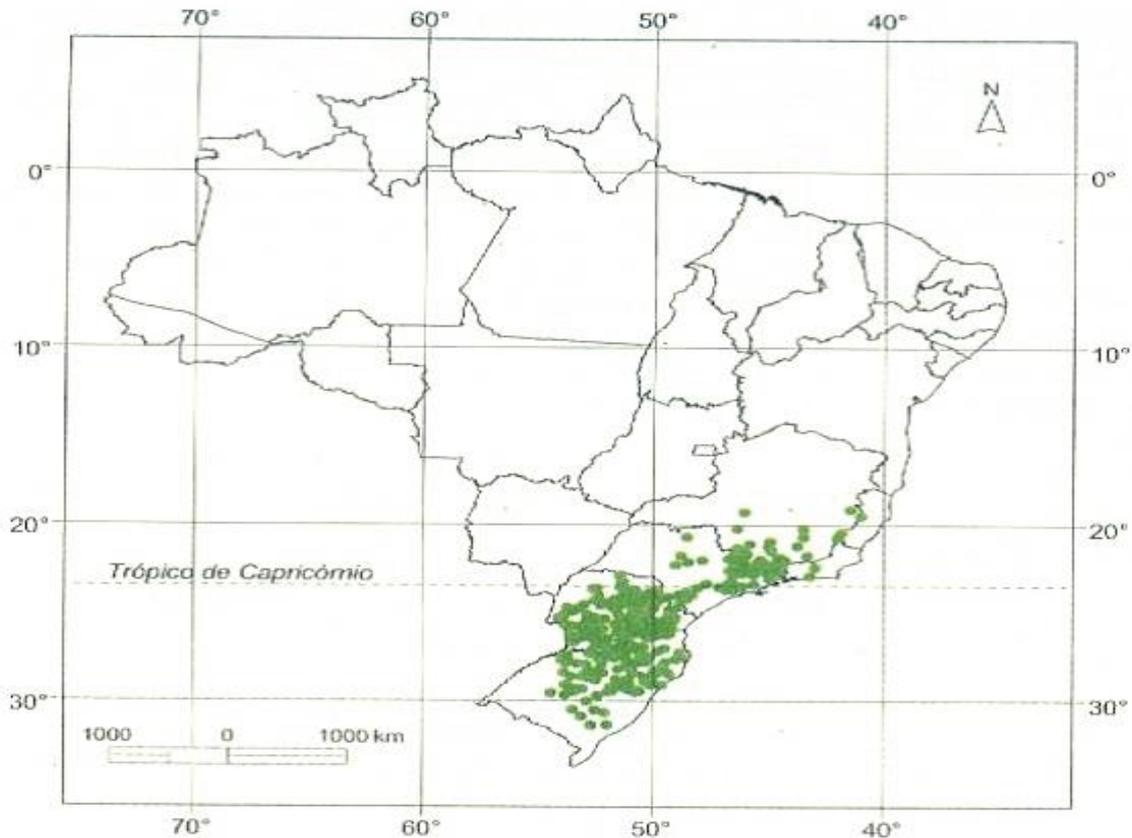


Fonte: (Adaptada de SANTOS, 1987) (A). Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS (B e C).

A ocorrência natural da Araucária se dá em latitude de 22° e 28°S, numa longitude que se estende de 41°W e 54°E, sua variação de altitude vai de 500 a 2300 m, sendo encontrada, em cotas de altitudes que variam de 500 a 1800 m. Abaixo dessa altitude, o pinheiro-do-paraná ocorre apenas nas linhas de escoamento de ar frio.

Na Figura 2, observa-se que no Brasil, a *Araucaria angustifolia* ocorre de forma natural nas localidades do Paraná (40% de sua superfície) ocupando uma área de 73780 Km², em Santa Catarina (31%) ocupando uma área de 56693 Km², no Rio Grande do Sul (25%) ocupando uma área de 46483 Km², uma área com manchas esparsas no sul do Estado de São Paulo, perfazendo 5340 Km² (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais, chegando até nas proximidades do Rio Doce, e Estado do Rio de Janeiro, em áreas de altitudes elevadas (1%), atingindo uma área total de cerca de 185000 Km² de formato irregular (CARVALHO, 2003).

Figura 2 – Mapa dos locais de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* no Brasil.



Fonte: (Adaptada de CARVALHO, 2003).

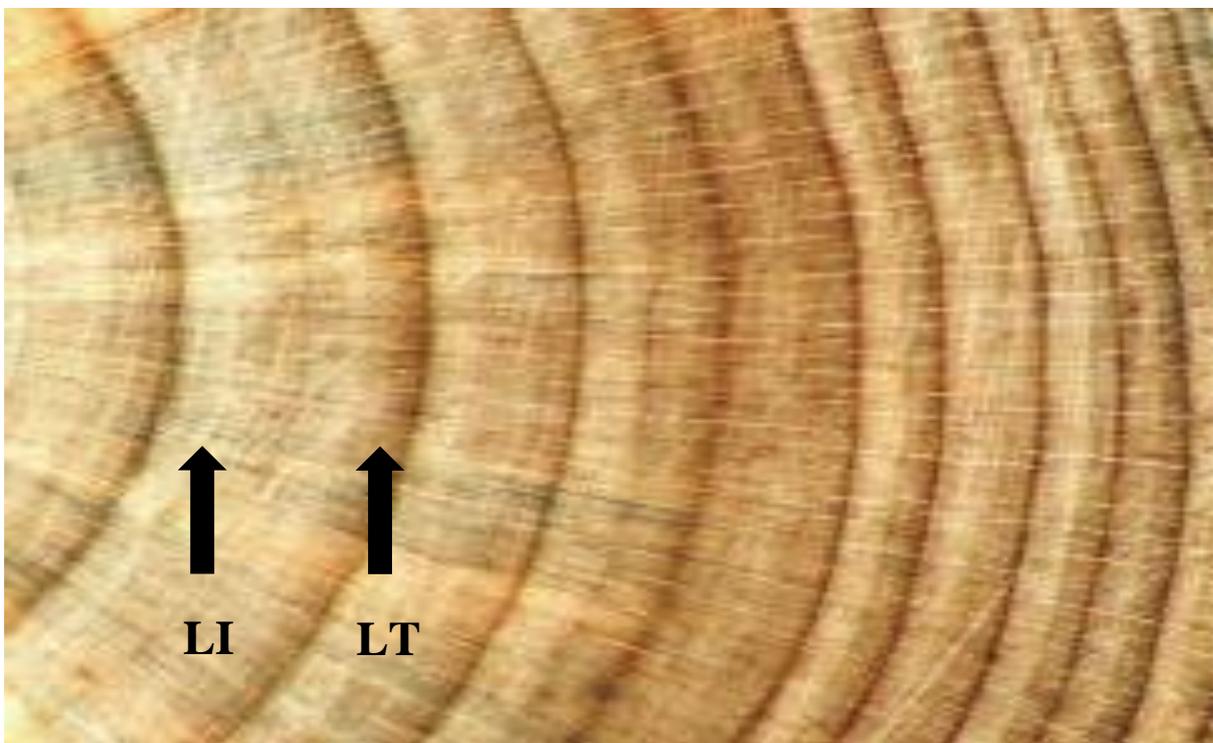
Conforme Carvalho (2003) a *Araucaria angustifolia* é uma espécie emergente e marcadora da fisionomia da vegetação. Ela apresenta regeneração natural fraca em ambientes pouco perturbados. Dessa forma, essa espécie não se regenera no interior da floresta, as suas plântulas não conseguem desenvolver-se devido aos baixos índices de luminosidade do interior da floresta. A espécie apresenta também frequência muito variável e é colonizadora dos campos, inclusive em solos rasos; formando todo o estrato superior da floresta conhecida como mata de araucária ou pinheiral. É uma árvore longeva, atingindo, em média, entre 140 e 250 anos, existindo exemplares, de acordo com os anéis de crescimento, com até 386 anos de idade, porém são raros. Diante deste fato, a idade média de pinheiros adultos com diâmetros superiores a 1,50 m está entre 140 e 200 anos, raramente ultrapassando os 300 anos. Assim, a araucária com DAP de 2,40 m e volume aproximado de madeira de 120 m³, em Canela, RS, cuja idade é estimada entre 500 a 700 anos, deve ser vista como reserva. As árvores adultas do pinheiro-do-Paraná apresentam tolerância aos incêndios fracos (incêndios de piso, como nos campos, não de copa) devido ao papel isolante e térmico da casca grossa. A *Araucaria*

angustifolia é espécie característica e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), nas formações Aluviais, a espécie é também encontrada nas áreas de tensão ecológica, com a Floresta Estacional Semidecidual e com a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica).

2.3 ANÉIS DE CRESCIMENTO

Em regiões caracterizadas por clima temperado, os anéis de crescimento representam o incremento anual da árvore. A cada ano é acrescentado um novo anel ao tronco, sendo também chamados de anéis anuais, cuja contagem permite conhecer a idade do indivíduo (BURGER e RICHTER, 1991). Em um anel de crescimento típico distinguem-se normalmente duas partes: a do lenho inicial (lenho primaveril) e a do lenho tardio (lenho outonal ou estival), conforme se pode ver na Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Seção transversal do tronco de *Araucaria angustifolia* destacando os anéis de crescimento caracterizados pelo lenho inicial (LI) e tardio (LT).



Fonte: (Adaptado de BOTOSSO e MATTOS, 2002).

E ainda segundo Burger e Richter (1991, pag. 16) a respeito dos lenhos tem-se:

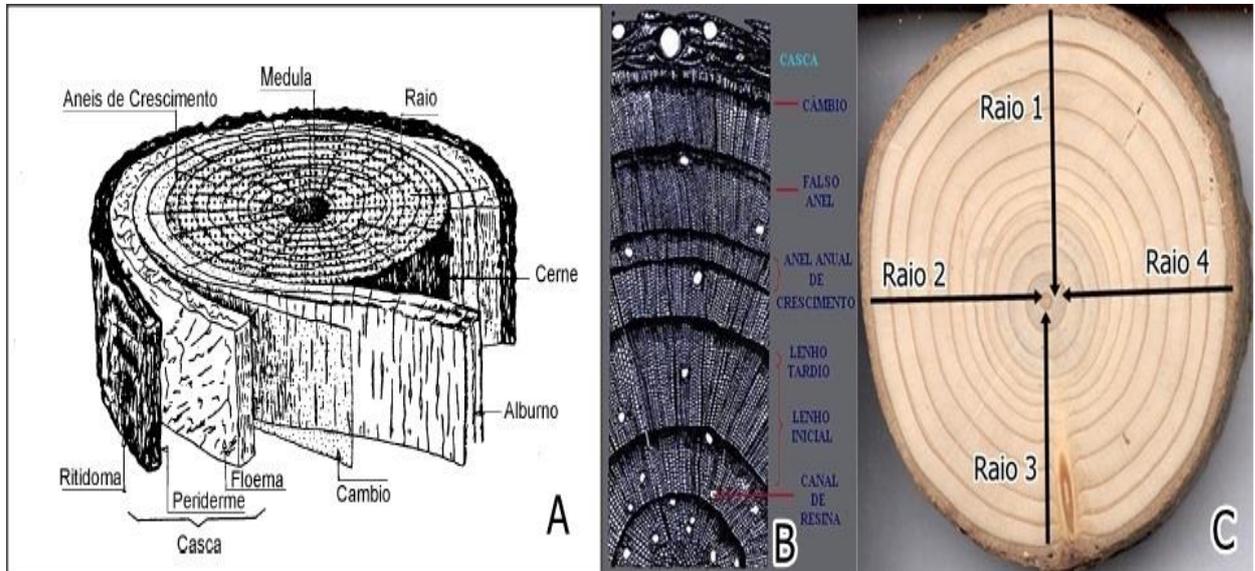
O lenho inicial corresponde ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente primavera, quando as plantas despertam do período de dormência em que se encontravam, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formadas nesta ocasião caracterizam-se por suas paredes finas e lumes grandes que lhes conferem em conjunto uma coloração clara. Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente outono, as células vão diminuindo paulatinamente sua atividade fisiológica. Em consequência deste fato, suas paredes vão tornando-se gradualmente mais espessas e seus lumes menores, distinguindo-se do lenho anterior por apresentarem em conjunto uma tonalidade mais escura. É esta alternância de cores que evidencia os anéis de crescimento de muitas espécies, em especial das gimnospermas, vulgarmente conhecidas como coníferas.

E ainda:

(...) além da característica própria da espécie, é fácil compreender que árvores de regiões onde as estações do ano são bem definidas apresentam em regra anéis de crescimento nítidos. Ao contrário, as que crescem em locais de condições climáticas constantes têm habitualmente anéis de crescimento indistintos ou pouco evidentes. Para muitas árvores tropicais os anéis correspondem a períodos de chuva e períodos de seca, queda das folhas ou simplesmente dormência, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano. Anéis de crescimento não são, portanto necessariamente anuais.

Dessa maneira, em árvores abatidas, os anéis de crescimento podem ser observados nos discos ou cortes transversais da tora, conforme a Figura 4. Em árvores em pé as amostras são obtidas através do Trado de Pressler, conforme a Figura 7 (A). Pode-se avaliar com precisão, a idade de uma árvore do grupo das gimnospermas, pela contagem dos anéis de crescimento, no plano do topo, em um disco obtido do caule, rente ao solo, conforme se tem na Figura 4. Na Figura 4 (A) tem-se um tronco típico de um caule em que nota-se do seu centro a periferia as seguintes regiões: medula, cerne, albarno e casca. Entre a casca e o albarno encontra-se o câmbio, que é visível somente ao microscópio. As regiões escuras intercaladas por regiões claras são os anéis de crescimento. Ressaltando que o câmbio, localizado entre o albarno (xilema) e a casca interna (floema), é o responsável pela formação das células mãe do xilema (lenho) e do floema (casca). A Figura 4 (B) traz a imagem da estrutura interna de vista plana do câmbio. E a Figura 4 (C) tem-se o corte transversal de um tronco onde estão destacados quatro espessuras dos raios para simulação conforme feitos na coleta das amostras em pé com o Trado de Pressler.

Figura 4 – Seção de um tronco típico (A). Estrutura interna do tronco de uma árvore, nas regiões de clima temperado (B), Corte transversal no tronco de uma conífera expondo seus anéis de crescimento (C).



Fonte: (Adaptado de BURGER e RICHTER, 1991(A), FRITTS, 1976 (B) e Laboratório de Registros Naturais (INPE/CRS)).

2.4 FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM O CRESCIMENTO E AS CARACTERÍSTICAS DOS ANÉIS

O clima é um fator que influencia significativamente o crescimento de uma árvore. A climatologia constitui o estudo científico do clima. Ela trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do Planeta durante um longo período de tempo (MENDONÇA e OLIVEIRA, 2007).

Para uma melhor compreensão dos diferentes climas do nosso Planeta, os estudos em Climatologia são estruturados a fim de evidenciar os elementos climáticos e os fatores geográficos do clima.

Os elementos constitutivos do clima são três: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente em decorrência da influência dos fatores geográficos do clima, que são: a latitude, a altitude. A maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas (MENDONÇA e OLIVEIRA, 2007). Outros fatores de interesse da climatologia atual como o efeito-estufa, o

El Niño e a desertificação também ressaltam a forte influência da climatologia no histórico dos anéis de crescimento da *Araucaria angustifolia*.

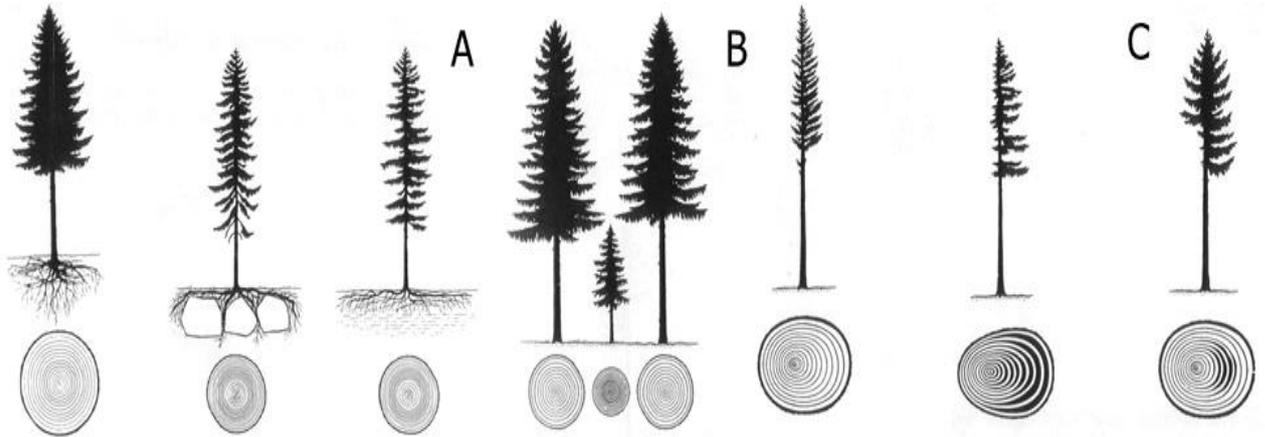
Um fator climático como o solo, a luz e o vento, pode afetar as características estruturais e as espessuras dos anéis de crescimento. Por exemplo, durante a primavera, o crescimento da planta pode começar mais cedo num ano quente do que num ano mais frio, uma vez que as baixas temperaturas são o fator mais limitante no processo inicial de crescimento (LAUW, 2011).

Na Figura 5 (A) têm-se as espessuras dos anéis de crescimento de acordo com o solo que a árvore se desenvolve, a primeira árvore da esquerda para a direita as raízes são profundas, o subsolo é fino e úmido, a árvore é grande e sua copa bem formada e os anéis de crescimento tem espessuras largas. Já na segunda árvore da esquerda para a direita, as raízes são superficiais, o subsolo é rochoso e seco, a árvore é pequena e sua copa é mal formada e anéis de crescimento tem espessura estreita. A terceira árvore da esquerda para a direita, as raízes são superficiais, o subsolo é um lamaçal, a árvore é pequena e sua copa é estreita, e os anéis de crescimento tem espessura estreita.

A Figura 5 (B) traz as reações das árvores de acordo com a luz, percebe-se que entre as duas árvores grandes dominantes, a espessura dos anéis de crescimento é larga e a árvore pequena que esta entre elas, possui anéis de crescimento com espessuras estreitas.

Logo, na Figura 5 (C) tem-se o desenvolvimento das árvores de acordo com a intensidade do vento, na primeira árvore da esquerda para a direita o vento muito leve mantém a medula excêntrica e sem sinal de reação no lenho. Na segunda árvore, o vento forte mantém os ramos apenas de um lado e a medula excêntrica com reação no lenho. Na terceira árvore, ventos de diferentes intensidades deixam a medula excêntrica e lenho com algumas reações.

Figura 5 - Reações da árvore ao tipo de solo (A), Reações da árvore à luz (B) e Reações da árvore ao vento (C).



Fonte: (Adaptado de SCHWEINGRUBER, 1983).

Conforme Burger e Richter (1991), a largura dos anéis de crescimento, varia de fração de milímetros a até centímetros, dependendo de fatores como: duração do período vegetativo, temperatura, umidade, qualidade do solo, luminosidade e manejo silvicultural (espaçamento, desbaste, concorrência, etc.). Uma análise dos anéis de crescimento fornece informações importantes, tais como se o incremento rápido (anéis bem espaçados), incremento lento (pequeno espaço entre os anéis), anos desfavoráveis (espaços menores), anos favoráveis (espaços maiores).

2.5 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Historicamente, o termo regressão foi introduzido por Francis Galton. Em um famoso ensaio, Galton verificou que, embora houvesse uma tendência de pais altos terem filhos altos e de pais baixos terem filhos baixos, a altura média dos filhos de pais de uma dada altura tendia a se deslocar ou regredir até a altura média da população como um todo. Em outras palavras, a altura dos filhos de pais extraordinariamente altos ou baixos tende a se mover para a altura média da população. A lei de regressão universal de Galton foi confirmada por seu amigo Karl Pearson, que coletou mais de mil registros das alturas dos membros de grupos de famílias. Ele verificou que a altura média dos filhos de um grupo de pais altos era inferior à altura de seus pais, e que a altura média dos filhos de um grupo de pais baixos era superior à

altura de seus pais. Assim, tanto os filhos altos como baixos regrediram em direção à altura média de todos os homens. Nas palavras de Galton, tratava-se de uma regressão à mediocridade (GUJARATI, 2000).

A análise de regressão é uma das técnicas estatísticas mais utilizadas para investigar e modelar o relacionamento existente entre as diversas variáveis de um processo. Esta técnica é baseada na ideia relativamente simples de se empregar uma equação para expressar o relacionamento entre as variáveis de interesse (WERKEMA E AGUIAR, 1996). Dessa forma, a partir do uso desta equação, a identificação dos fatores que estão agindo sobre os resultados de um processo e a determinação do foco de um problema, fica mais perceptível. Em outras palavras, segundo Werkema e Aguiar (1996, pág. 1):

A análise de regressão processa as informações contidas em um conjunto de dados de forma a gerar um modelo que represente o relacionamento existente entre as variáveis de interesse de um processo.

Enfatizando a definição, ao trabalhar-se com a análise de regressão, ela pode ser utilizada com vários objetivos, dentre os quais se destaca: a descrição, predição, controle e estimação. A análise de regressão ocupa-se do estudo da dependência de uma variável, a dependente, em relação a uma variável ou mais variáveis explicativas, com o objetivo de estimar ou prever a média (da população) ou o valor médio de dependente em termos dos valores conhecidos ou fixos (em amostragem repetida) das explicativas (GUJARATI, 2000).

2.5.1 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação é uma medida da força e direção de uma relação linear entre duas variáveis. O símbolo r ou $r_{(X, Y)}$ representa o coeficiente de correlação amostral e mede o grau de relação linear entre os valores emparelhados X e Y em uma amostra. Conhecido também como coeficiente de correlação produto-momento de Pearson em homenagem ao estatístico inglês Karl Pearson (1857-1936) que o introduziu. Na população, o coeficiente ρ mede a aderência ou a qualidade do ajuste à verdadeira reta, através do qual procuramos relacionar as variáveis X e Y , ou ainda o grau de relação (linear) existente entre elas. Já o coeficiente r , calculado a partir de uma amostra de n pares de observações de X e Y , mede a quantidade de dispersão em torno da equação linear ajustada através do método dos

mínimos quadrados, ou o grau de relação das variáveis, na amostra (FONSECA, MARTINS e TOLEDO, 1985).

Simbolicamente, r pode ser denotado como:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right]}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (1)$$

Onde:

x e y = variáveis do estudo

n = número de pares de dados presentes

$\sum x$ = soma dos valores de x

$\sum y$ = soma dos valores de y

$\sum xy$ = Soma do produto de cada valor x por seu correspondente y

$\sum x^2$ = Soma do quadrado de cada valor de x

$\sum y^2$ = Soma do quadrado de cada valor y

S_{xy} = Covariância de x e y

S_{xx} = Variância de x

S_{yy} = Variância de y

A significância do coeficiente de correlação pode ser verificada por meio de um teste de hipóteses.

2.5.2 O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

Na regressão linear deve-se encontrar a equação da linha de regressão, assim como fazer a previsão de valores Y usando uma equação de regressão. Dessa forma é necessário ajustar uma equação que represente o relacionamento linear entre as duas variáveis consideradas.

O relacionamento linear entre duas variáveis pode ser representado por uma equação em que os parâmetros β_0 e β_1 , representam o intercepto e a inclinação da reta. Usualmente X

é denominada a variável independente, explicativa, regressora ou preditora, sendo Y denominada a variável dependente ou variável resposta. A equação (2) que também é denominada o modelo de regressão linear simples, é representada por:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2)$$

Em que ε é um resíduo ou erro aleatório com média zero, variância σ^2 e distribuição normal. Sendo os parâmetros β_0 e β_1 desconhecidos, é necessário estimá-los por meio do emprego de dados amostrais. Esse critério para estimar os parâmetros de regressão é chamado de método dos mínimos quadrados. Este método determina os valores de β_0 e β_1 que minimizam a soma das diferenças elevadas ao quadrado. Logo, o método dos mínimos quadrados consiste em adotar como estimativa dos parâmetros os valores que minimizem a soma dos quadrados dos desvios.

A existência de regressão linear verifica-se através da significância do coeficiente de regressão β . Este procedimento acontece após o ajuste da equação de regressão, onde se verifica a existência de relacionamento linear entre as variáveis consideradas no estudo.

2.5.3 Análise da Variância (ANOVA)

A ANOVA é um método para testar a igualdade de três ou mais médias populacionais, baseado na análise de variâncias amostrais. Como o cálculo desta estatística de teste pode levar a grandes erros de arredondamento, os diversos programas adotam uma expressão equivalente que envolve a notação SQ (soma de quadrados) e QM (quadrado médio). A ideia básica é que a estatística de teste F seja uma razão cujo numerador reflete a variação entre as médias amostrais e cujo denominador reflete a variação dentro das amostras. Se as populações têm médias iguais, a razão F tende a ficar próxima de 1, mas se as médias populacionais não são iguais, a razão F tende a ser significativamente maior que 1 (TRIOLA, 1999).

Na análise de variância tem-se como conceitos básicos a aleatorização, a variável resposta e unidade experimental, o fator e o nível. Em que a aleatorização se destaca por as medidas serem obtidas ao acaso, elas devem refletir a influência de mudanças ocorridas nos fatores (causas) de interesse sobre a variável resposta (característica da qualidade) do processo sob consideração. A variável resposta é a característica da qualidade de interesse e a

unidade experimental é a unidade básica para a qual será feita a medida da variável resposta. O fator é a variável que pode estar influenciando a característica da qualidade de interesse. O nível é cada um dos diferentes modos de presença de um fator, havendo apenas um fator, os níveis são denominados tratamentos (WERKEMA e AGUIAR, 1996).

No Quadro 1 de análise de variância ou tabela ANOVA, descrita abaixo, tem-se as quantidades necessárias para calcular o valor observado da estatística do teste.

Quadro 1 – Análise de variância para testar a significância da regressão.

Causas de Variação	GL (Graus de Liberdade)	SQ (Soma de Quadrados)	QM (Quadrado Médio)	F ₀
Regressão	1	SQR	SQR	$\frac{SQR}{SQE/(n-2)}$
Erro ou Resíduo	n - 2	SQE	SQE/(n - 2)	
Total	n - 1	SQT		

Fonte: (Adaptado de CHARNET et al., 2008).

Tem-se na terceira coluna a decomposição de somas de quadrados, tais como SQT (soma de quadrados total), que representa a variação total de Y em torno de sua média, tal como SQE (soma de quadrados do erro), que representa a variação de Y em torno da reta e SQR (soma de quadrados de regressão), que representa a variação das esperanças específicas de Y dado X em torno de sua média. Na quarta coluna se faz a divisão de soma de quadrados pelos graus de liberdade e na quinta coluna, obtém-se o valor da estatística do teste (F₀) pela divisão do quadrado médio de regressão pelo quadrado médio do erro (CHARNET et al., 2008).

2.5.4 Coeficiente de Determinação ou de Explicação (R²)

O coeficiente de determinação indica quantos por cento a variação explicada pela regressão representa da variação total. Em outras palavras, no caso em que R² = 1, todos os pontos observados se situam exatamente sobre a reta de regressão, o ajuste será perfeito. As variações de Y são 100% explicadas pelas variações de X através da função especificada, não

havendo desvios em torno da função estimada (FONSECA, MARTINS e TOLEDO, 1985).

Dessa forma, em (3) teremos:

$$0 \leq R^2 \leq 1 \quad (3)$$

Onde, se $R^2 = 0$, se conclui que as variações são aleatórias, e a introdução da variável X no modelo não trará informação sobre as variações de Y. Logo em (4), o coeficiente de determinação pode ser conhecido por:

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = \frac{b^2 \cdot S_{xx}}{S_{yy}} = \frac{SQR}{SQT} \quad (4)$$

Em (4), essa relação mostra que a variação dos valores de Y em torno de sua média pode ser dividida em variação explicada pela regressão (VE) e variação não explicada pela regressão ou variação residual (VR), onde nem todos os pontos estão sobre a reta da regressão e VT, representa a variação total. Assim em (5) temos:

$$SQT = SQR + SQR_{\text{resíduo}} \quad (5)$$

A Soma dos Quadrados Total (SQT) caracteriza-se pela dispersão da variação aleatória Y que se mede através da soma dos quadrados dos desvios em relação a sua média Y. Assim, tem-se em (6):

$$SQT = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (6)$$

O coeficiente de determinação R^2 pode ser interpretado como a proporção da variabilidade presente nas observações da variável resposta Y, que é explicada pela variável regressora X no modelo de regressão ajustado aos dados (WERKEMA e AGUIAR, 1996).

2.6 REGRESSÃO NÃO LINEAR

Na regressão não linear, os coeficientes da equação encontram-se na forma de produto ou fracionária e elevados à expoente não unitário. Como exemplo, podem-se citar as equações encontradas e que descrevem o desenvolvimento dos modelos conforme em (7), (8) e (9):

$$\hat{Y} = b_0 \cdot b_1^t \quad (\text{Compound}) \quad (7)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 \quad (\text{Cúbica}) \quad (8)$$

$$\hat{Y} = b_0 + \left(\frac{b_1}{t}\right) \quad (\text{Inversa}) \quad (9)$$

Os modelos não lineares nos parâmetros podem ser estimados por mínimos quadrados, mas exigem algoritmos numéricos para obter estimativas que minimizem a função de mínimos quadrados, assim como os modelos não lineares nas variáveis, pode ser analisado com o auxílio da regressão de mínimos quadrados, desde que as hipóteses usuais sobre regressão sejam verificadas (HILL, GRIFFITHS e JUDGE, 2006). No modelo de regressão linear as variáveis X e Y podem ser transformações que envolvem logaritmos, quadrados, cubos ou inversos das variáveis básicas. Assim, o modelo de regressão linear simples pode aplicar-se a relações não lineares entre variáveis, ou seja, o termo linear significa que os parâmetros não sofrem qualquer transformação (HILL GRIFFITHS e JUDGE, 2006).

2.6.1 Pressupostos

Os pressupostos tem sua importância para investigar a aptidão do modelo selecionado, ou seja, verifica-se se o modelo é adequado para os propósitos ao qual se destina analisando-se cada pressuposto. Dessa forma analisaram-se as seguintes condições para que o modelo seja adequado:

- Média zero dos resíduos $\left[\frac{\sum e_i}{n} = 0 \right]$;
- Homocedasticidade (variância constante): gráficos preditos versus resíduos;
- Independência serial dos resíduos (não existe autocorrelação dos erros): teste de Durbin-Watson;
- Normalidade dos resíduos: teste de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk ($p > 0,05$);
- *Outliers* ou observações discrepantes: (± 2 desvios-padrões);
- Seleção dos modelos possíveis: AIC (critério de informação Akaike).

Essas condições devem ser garantidas para que o modelo encontrado e a própria análise de regressão tenha a validade desejada. São acrescentados a seguir, alguns detalhamentos das informações apresentadas acima, tais como as equações utilizadas para calcular o teste de Durbin-Watson (DW) e o critério de informação Akaike (AIC), conforme (10) e (11).

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n (e_i)^2} \quad (10)$$

Sendo e_i o resíduo associado à i -ésima observação, conforme (10), em que:

$0 \leq DW \leq 4$. Podemos tomar a decisão comparando o valor de DW com os valores críticos dL e dU da Tabela de Durbin-Watson.

$$AIC = n \cdot \log_n \left(\frac{SQE}{n} \right) + 2p \quad (11)$$

No AIC, o p é o número de variáveis explicativas. O AIC aumenta conforme o SQE, sendo que valores menores de AIC são preferíveis. Os modelos com mais variáveis tendem a produzir menor SQE, mas usam mais parâmetros, a melhor escolha é balancear o ajuste com a quantidade de variáveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados alguns conceitos metodológicos importantes que embasaram a realização deste trabalho.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente trabalho, segundo seus objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa explicativa, visando identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o “por que” das coisas. Requer o uso do método experimental e observacional. Envolve levantamento experimental e *expost-facto* (Gil, 2009, p.42). Em outras palavras, pode-se dizer que a pesquisa explicativa tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, explicando suas possíveis razões. Dessa forma pode-se dizer que o conhecimento científico está assentado nos resultados oferecidos pelos estudos explicativos. Com base nos procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa caracterizou-se como experimental e *expost-facto*. Segundo Gil (2009, pag. 49):

As pesquisas experimentais constituem o mais valioso procedimento disponível aos cientistas para testar hipóteses que estabelecem relações de causa e efeito entre as variáveis. Em virtude de suas possibilidades de controle, os experimentos oferecem garantia muito maior do que qualquer outro delineamento de que a variável independente causa efeitos na variável dependente.

E ainda, no que se refere ao *expost- facto*:

A tradução da expressão *expost- facto* é a “a partir do fato passado”. Isso significa que neste tipo de pesquisa o estudo foi realizado após a ocorrência de variações na variável dependente no curso natural dos acontecimentos. No entanto, os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso das características de uma população, mas sim o de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados. O que geralmente se obtém nesta modalidade de delineamento é a constatação da existência de relação entre variáveis. Por isso é que essa pesquisa muitas vezes é denominada correlacional.

A pesquisa experimental e a *expost-facto*, tem o mesmo propósito: verificar a existência de relação entre variáveis. O que difere uma da outra é o fato em que na *expost-facto* o pesquisador não dispõe de controle sobre a variável independente, que constitui o fator presumível do fenômeno, porque já ocorreu. O que o pesquisador procura fazer neste tipo de pesquisa é identificar situações que se desenvolveram naturalmente e trabalhar sobre elas como se estivessem submetidas a controles (GIL, 2009).

Primeiramente fez-se um estudo bibliográfico, em artigos científicos, dos temas analisados no trabalho, visando destacar a importância da Dendrocronologia, da Araucária, dos anéis de crescimento e da Climatologia, em relação à localidade da qual as amostras para o estudo foram coletadas. Logo, a pesquisa caracterizou-se como explicativa e *expost-facto*, visando um entendimento mais abrangente dos temas abordados no estudo.

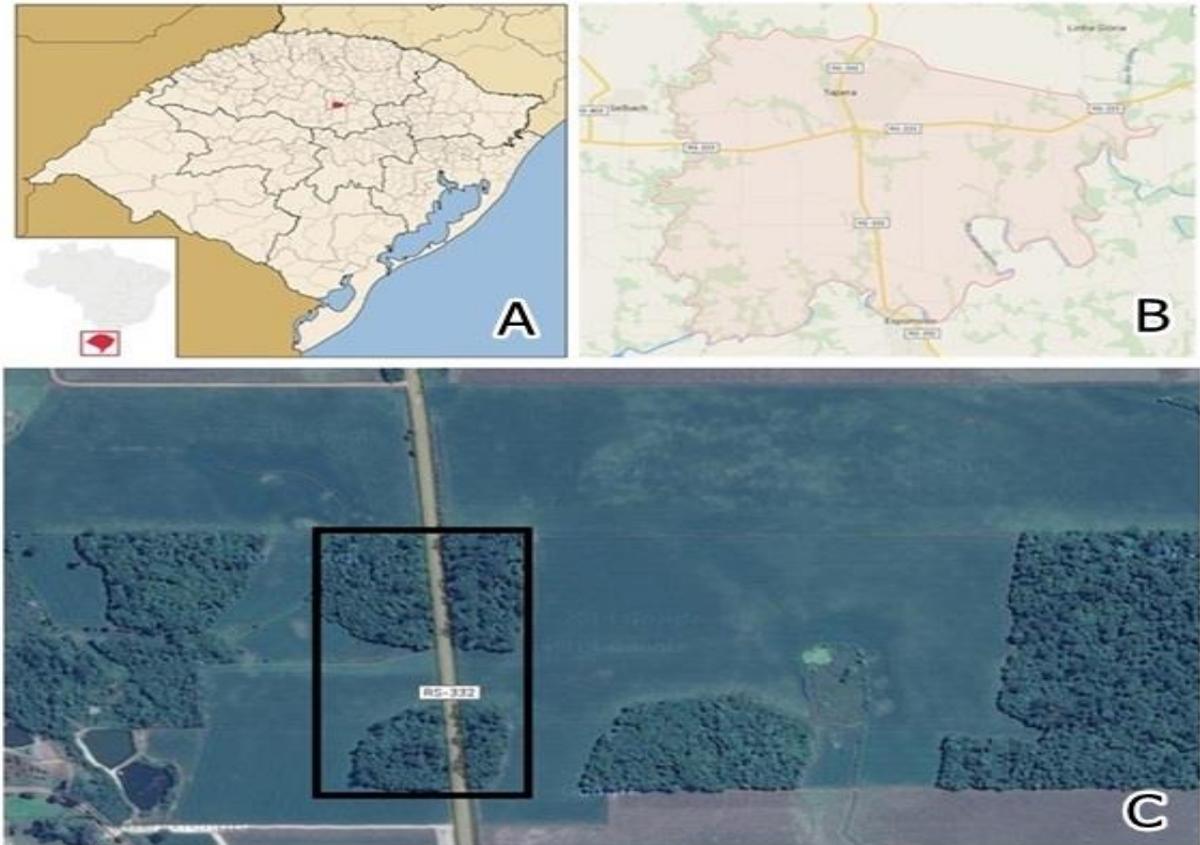
Na segunda etapa, já analisados os temas e obtidas as cronologias dos anéis de crescimento da localidade explorada, procurou-se dar significância para estes estudos. Assim deu-se início ao processo de interpretação dos dados. Levantando-se o problema, da qual se deseja investigar e solucionar.

3.1.1 Caracterização do local de coleta

As amostras analisadas foram coletadas no município de Tapera (RS), localizado (28° S, 52° O, alt. 409 m), caracterizado por apresentar Floresta Ombrófila Mista. Em que, de acordo com a classificação de *Köppen* (MORENO, 1961), a região apresenta clima do tipo “Cfa”, por apresentar chuvas bem distribuídas regularmente em todos os meses do ano, ou seja, um clima subtropical. A temperatura média anual varia de 12,7° C a 17,5° C. Possui precipitação média anual de 1664 mm.

Na Figura 6 (A) tem-se o mapa de localização do município de Tapera no Brasil e no Rio Grande do Sul, bem como a localização da área do município de Tapera (B) e a localização da área de coleta das amostras (C).

Figura 6 - Mapa de localização do município de Tapera – RS (A) e (B) e Localização aérea do local de coleta (C).



Fonte: (Acervo de Raphael Lorenzeto de Abreu (A) e (B) e disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Tapera,+RS> latitude de -28.689731 e longitude de -52.856149 (C)).

Em janeiro de 2010, em um trabalho de campo financiado pela FAPESP e INPE juntamente com os pesquisadores Dr. Alan Prestes (UNIVAP), Adelson Prestes (UFSM/INPE) e Pabulo Rampelotto (UFSM), as 44 amostras do município de Tapera (RS), foram coletadas nas proximidades das coordenadas: latitude de -28.689731 e longitude de -52.856149. Armazenadas e analisadas no Laboratório de Registros Naturais Relação Sol – Terra - Clima do CRS/INPE.

3.1.2 Material e amostragem

A espécie das amostras coletadas foi escolhida em função de apresentar anéis de crescimento anuais bem definidos e por ser uma espécie longeva, ou seja, de crescimento lento. A *Araucaria angustifolia*, conhecida popularmente como pinheiro ou pinheiro do Paraná, é uma espécie característica e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista. Ela forma anéis

de crescimento anuais com nítidos lenhos inicial e tardio, identificados macroscopicamente, no xilema, o que permite a determinação da idade da árvore. É uma árvore de aspecto original e contrastante com as demais árvores do Sul do Brasil, com 10 m a 35 m de altura e 50 a 120 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), atingindo 50 m de altura e 250 cm ou mais de DAP na idade adulta (CARVALHO, 2003). O Quadro 2 traz as características da amostragem.

Quadro 2 – Características da amostragem da espécie analisada

Espécie	Local de Coleta	Nº de Árvores Amostradas do Local	Nº Total de Amostras	Ano da Coleta
<i>Araucaria angustifolia</i>	Tapera	11	44	2010

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal, 2011. Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

O método de coleta foi o não destrutivo, no qual com o auxílio de um Trado ou Sonda de Pressler à altura do peito (1,30 m) como mostra a Figura 7 (A), retira-se quatro cilindros (baguetas ou rolo de incremento) de madeira de cada árvore, de modo que se obtenha uma representação de todos os anéis de crescimento formados desde a casca até a medula, sem que o método ocasione danos à mesma. Dessa forma, este método de extração permite que seja possível retirar várias amostras de uma árvore em pé, sem a necessidade de derrubá-las e ajudando na preservação da espécie. Foram coletas 48 amostras não destrutivas, sendo retirados 4 rolos de incremento (ou bagueta) de cada árvore, das 12 árvores coletadas.

Figura 7 – Técnica de retirada da amostra não destrutiva com o Trado de Pressler no município de Tapera RS (A), Remoção da amostra (B), Imagem logo após a retirada da amostra (C) e Amostra retirada com o Trado de Pressler pronta para ser acondicionada (D).



Fonte: (Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS (A, C e D). Adaptada de Stokes e Smiley,1996 (B)).

Na Figura 7 (B), logo após a retirada da amostra da árvore, esta libera uma quantidade de água retida no seu interior, conforme a Figura 7 (C), mas que não causa dano na sua estrutura. Este orifício aberto é fechado com serragem de árvores do mesmo local de coleta, porém derrubadas por alguma influência do tempo. Já na Figura 7 (D), tem-se a amostra da medula à casca pronta para ser acondicionada no canudinho.

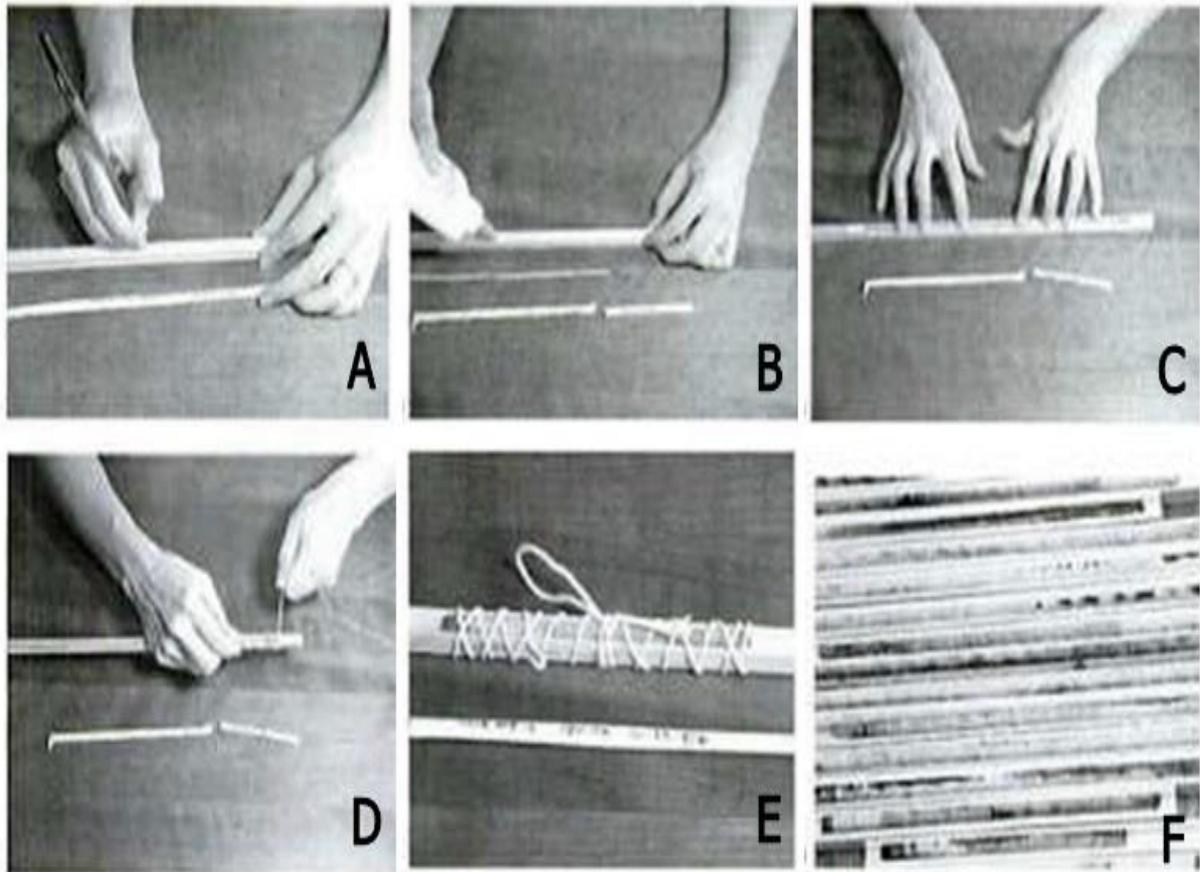
Ainda no campo de estudo, as amostras foram armazenadas em canudinhos cilíndricos de plástico e etiquetadas com um código identificativo pela ordem da coleta (como por exemplo, TP 1C, que significa Tapera Árvore 1 Raio C). As quatro amostras de cada árvore, que representam os raios das mesmas, foram denominadas com as letras A, B, C e D.

Após a coleta, as amostras foram preparadas no Laboratório de Análise Digital de Dados do INPE/CRS, conforme a Figura 8. Logo, foram preparadas as canaletas de madeira ou suporte com a identificação para armazenar cada rolo de incremento ou bagueta da amostra de respectiva árvore. As canaletas de madeira ou suportes apresentam um entalhe em todo seu comprimento para poder fixar o rolo de incremento ou bagueta da amostra.

Como identificações são usadas as iniciais da cidade de coleta da amostra e o número da árvore coletada juntamente com o número de identificação para cada um dos quatro raios, Figura 8 (A), em seguida, em todo o entalhe foi adicionada cola constituída de poliacetato de vinila (PVA) à base de água para não corroer a amostra, Figura 8 (B).

As amostras foram fixadas, levemente, nos entalhes para não danificar a amostra e com a disposição dos anéis voltados para cima para facilitar as marcações após a lixagem, Figura 8 (C). Cada canaleta de madeira ou suporte já com a amostra fixada foi envolvida com barbante para ficar mais resistente, Figura 8 (D), sendo que a secagem das amostras deve ser em temperatura ambiente para evitar o empenamento do rolo de incremento e evitar problemas como a quebra da amostra, Figura 8 (E) e as amostras prontas para serem lixadas e depois analisadas, Figura 8 (F).

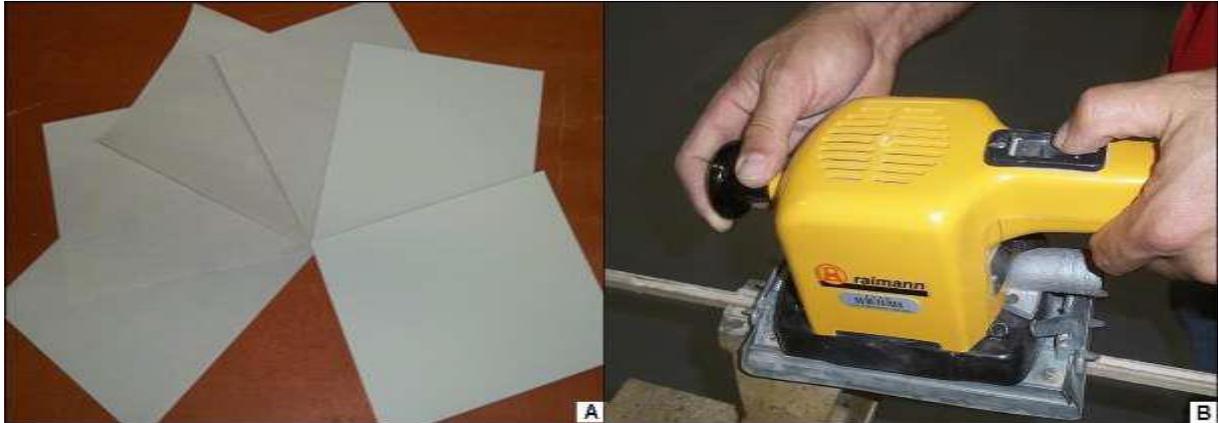
Figura 8 – Preparação das canaletas de madeira ou suporte contendo as amostras dos anéis de crescimento. Identificação das amostras (A), Cola para assegurar a amostra na canaleta de madeira ou suporte (B), Acondicionamento da amostra na canaleta de madeira (C), Início de barbante para fixar a amostra na cola (D), Barbante pronto em volta da canaleta de madeira para secagem (E) e Amostras fixas sem o barbante nas canaletas de madeira prontas para serem lixadas (F).



Fonte: (Adaptado de Speer, 2010).

Após a secagem das canaletas de madeira, as amostras foram polidas com uma sequência decrescente de lixas com diferentes granulações, conforme a Figura 9 (A) e (B), tais como: 80, 120, 180, 220, 320 e 400 granas, Figura 9 (A). Uma lixadeira orbital manual, Figura 9 (B) também foi utilizada no processo de preparação da amostra para tornar a superfície plana, lisa e visível, destacando assim as características anatômicas da amostra.

Figura 9 – Sequência decrescente de lixas com diferentes granulações (A) e lixadeira orbital manual (B).



Fonte: (Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

Após serem lixadas, as canetas de madeira foram polidas de modo a tornar os anéis de crescimento mais visíveis e facilitar a contagem e correspondente medição. Em amostras onde os anéis de crescimento não são nítidos, podem-se utilizar produtos químicos (fuccina, azul de metileno, álcool, etc.) para melhorar a visualização dos mesmos.

3.1.3 Análise da mensuração das amostras

As onze amostras representam cada árvore, e cada cilindro (rolo de incremento ou bagueta) um conjunto de quatro raios que formam uma árvore em estudo. Na Figura 10, é apresentada a árvore 5, com seus respectivos raios, após a lixação e pronta para análise no estéro-microscópio do Laboratório de Análise Digital de Dados situado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/CRS).

Figura 10 – Amostra das caneletas de madeira do município de Tapera, árvore 5 e raio B depois de lixada, pronta para ser digitalizada e analisada no estéreo microscópio.



Fonte: (Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

Após o processo de lixação, as amostras de cada árvore foram sincronizadas antes de serem analisadas no estéreo-microscópio. Essa sincronização consiste em analisar se as séries estão sobrepostas e visualmente comparadas entre si, com o objetivo de verificar as medições das séries de anéis de crescimento, e também confirmar e corrigir a presença de falsos anéis ou ausência de anéis (LAUW, 2011). Não havendo uma boa sincronização entre as amostras da mesma árvore, estas são rejeitadas e não são incluídas na análise dos resultados. No presente estudo, a amostra da árvore TP 2, foi rejeitada por suas amostras de cada espessura do raio, não estarem sincronizadas e por também apresentar apenas três dos raios coletados, sendo que das outras amostras das árvores foram analisados quatro raios de cada árvore.

Logo após a sincronização, em uma mesa de digitação Velmex, com um estéreo-microscópio, conforme a Figura 11, a mensuração das amostras foram realizadas e lançadas no programa MEASURE J 2X (*Tree Ring Measuring Program*), permitindo que as séries com as espessuras dos anéis de crescimento, em milímetros, fossem geradas e analisados seus gráficos no Microsoft Excel, Figura 12, obtendo-se assim a relação entre a espessura (mm) e o tempo (anos). Segundo Encinas, Silva e Pinto (2005, pag. 22):

Para a medição, podem ser usados réguas e aparelhos óticos (lupas) ou aparelhos específicos construídos para essa finalidade, existentes no mercado florestal nas regiões temperadas.

No estéreo-microscópio, as amostras foram analisadas no sentido da medula para a casca, ou seja, a medula é o ponto zero para verificar a dimensão acumulada dos anéis de crescimento, observando-se os lenhos iniciais e tardios, como também delimitando-as em milímetros. Dessa forma, a contagem dos anéis de crescimento foi realizada em todas as

caneletas de madeira de cada árvore. A mensuração foi repetida toda vez que se detectava alguma confusão ou falha, até que se visualizasse a série representativa da amostra.

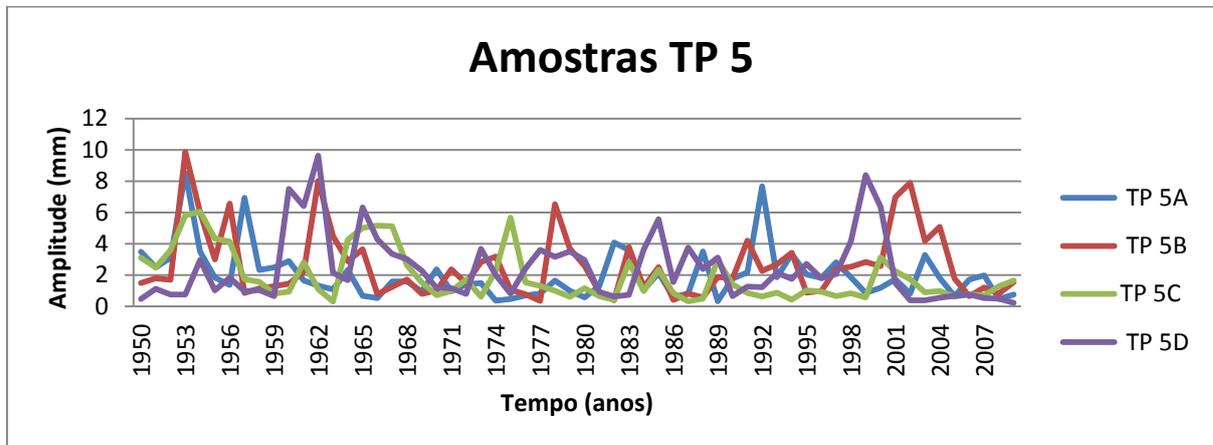
Figura 11 - Mensuração dos anéis de crescimento através do estéreo microscópio do Laboratório de Análise Digital de dados do Centro regional Sul de pesquisas Espaciais/INPE.



Fonte: (Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

Após a mensuração das amostras lançadas no programa MEASURE J 2X (*Tree Ring Measuring Program*) permitindo a visualização das séries com as espessuras dos anéis de crescimento em mm (milímetro), na Figura 12, gerou-se as séries das espessuras (mm) versus tempo (anos), através de seus gráficos no Microsoft Excel para cada um dos raios de cada árvore, obtendo-se assim a relação entre a espessura (mm) e o tempo (anos).

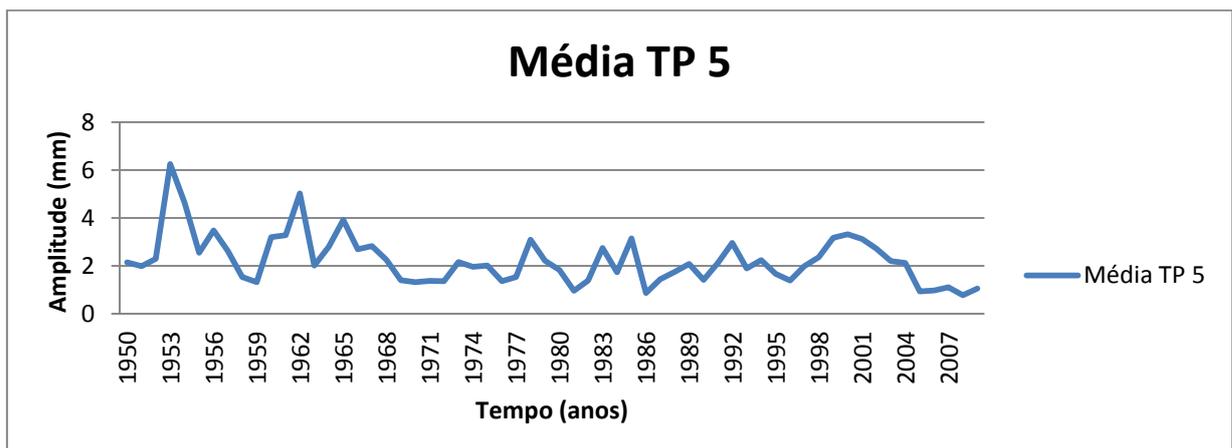
Figura 12 – Cronologia das amostras da árvore que representa TP 5.



Fonte: (Autor– comunicação pessoal, 2011. Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

As séries apresentam uma sincronização extremamente paralela em relação às outras amostras representativas das outras séries. Através das quatro espessuras dos raios da amostra TP 5 da Figura 12, fez-se a média aritmética para estimar a espessura dos anéis de crescimento de forma mais representativa conforme a Figura 13, representando assim a cronologia média da árvore TP 5.

Figura 13 – Média da cronologia de TP 5.



Fonte: (Garcia– comunicação pessoal, 2011. Laboratório de Análise Digital de Dados INPE/CRS).

Assim, neste estudo realizou-se uma análise descritiva das medidas coletadas (espessura dos anéis de crescimento dos raios), para as onze árvores, por década, considerando-se o período entre 1950 a 2009, apresentando-se os valores da média, mediana,

mínimo, máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação, para caracterizar a amostra estudada.

Posteriormente, procedeu-se a análise de regressão, por quinquênio, onde se procurou, entre os vários tipos de modelos disponíveis, aquele que melhor representasse as espessuras dos anéis de crescimento dos raios médios das árvores analisadas.

Para as análises estatísticas foi utilizado o PAWS 18.0 e os testes dos coeficientes dos modelos foram realizados considerando-se 5% de significância.

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados deste estudo.

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES

A análise descritiva das amostras das espessuras dos anéis de crescimento dos raios de cada uma das onze árvores do município de Tapera, nas últimas seis décadas a partir de 1950 a 2009, permitiu organizar, resumir, analisar e interpretar as observações disponíveis em milímetro (mm) das espessuras dos anéis de crescimento.

Nas Tabelas 1 a 6 tem-se a descrição da média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação para as onze árvores analisadas.

Na Tabela 1, pode-se observar que a árvore 9 apresentou uma espessura mínima média de 0,36 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 4, apresentou um máximo de 6,85 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 1,38 mm a 3,30mm. A mediana variou de uma espessura geral de 1,39 mm a 2,86 mm. A árvore 11 apresentou o menor desvio-padrão médio (0,54mm), com menor coeficiente médio de variação (40,44%), enquanto que a árvore 10 apresentou a maior variação média (75,84%).

Tabela 1 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1950 – 1959).

(continua)

Árvore 1	Década (1950-1959)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	1.81	1.59	0.62	4.46	1.09	60.25
Raio 2	2.84	2.41	1.55	4.75	1.16	40.75
Raio 3	1.46	1.27	0.37	3.07	0.80	54.60
Raio 4	4.62	4.59	1.05	8.78	2.29	49.58
Média geral	2.68	2.47	0.90	5.27	1.33	51.29
Árvore 2						
Raio 1	1.92	1.99	0.85	2.68	0.62	32.10
Raio 2	3.18	3.11	1.82	4.94	0.79	24.99
Raio 3	1.80	2.26	0.58	3.14	1.03	57.18
Raio 4	1.37	1.13	0.73	2.80	0.66	48.66
Média Geral	2.07	2.12	0.99	3.39	0.78	40.73
Árvore 3						
Raio 1	4.32	3.12	0.45	10.81	3.87	89.47
Raio 2	1.44	1.05	0.58	4.42	1.16	80.59
Raio 3	1.60	1.24	0.36	3.96	1.11	69.20
Raio 4	2.48	2.32	0.62	4.50	1.27	51.13
Média Geral	2.46	1.93	0.50	5.92	1.85	72.60
Árvore 4						
Raio 1	3.61	2.81	1.36	8.54	2.31	63.88
Raio 2	3.38	1.75	0.86	9.87	3.05	90.47
Raio 3	3.37	3.35	0.83	6.06	1.76	52.24
Raio 4	1.16	1.00	0.48	2.95	0.73	62.54
Média Geral	2.88	2.23	0.89	6.85	1.96	67.28
Árvore 5						
Raio 1	2.14	1.92	0.36	5.81	1.56	72.68
Raio 2	1.99	1.68	0.59	4.56	1.35	67.81
Raio 3	2.50	2.75	0.41	5.88	1.90	76.07
Raio 4	1.12	1.03	0.46	2.21	0.57	50.30
Média Geral	1.94	1.85	0.45	4.62	1.34	66.71

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 1 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1950 – 1959).

(conclusão)

Árvore 6	Década (1950-1959)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	4.14	3.70	0.68	9.13	3.03	73.27
Raio 2	1.57	1.39	0.71	2.77	0.58	37.17
Raio 3	1.13	1.01	0.44	2.24	0.53	46.49
Raio 4	3.06	3.42	0.52	4.85	1.52	49.67
Média Geral	2.48	2.38	0.58	4.75	1.42	51.65
Árvore 7						
Raio 1	1.43	1.29	0.78	2.49	0.58	40.57
Raio 2	4.23	3.33	1.47	12.22	3.14	74.17
Raio 3	3.65	3.32	1.29	6.32	1.71	46.97
Raio 4	1.42	1.15	0.59	2.85	0.69	48.18
Média Geral	2.68	2.27	1.03	5.97	1.53	52.47
Árvore 8						
Raio 1	2.84	2.88	2.21	3.38	0.32	11.24
Raio 2	2.34	2.11	0.32	4.91	1.37	58.36
Raio 3	6.04	4.55	2.27	15.14	4.20	69.49
Raio 4	1.98	1.90	0.91	3.26	0.84	42.61
Média Geral	3.30	2.86	1.43	6.67	1.68	45.43
Árvore 9						
Raio 1	0.98	0.98	0.46	1.38	0.32	32.15
Raio 2	0.87	0.77	0.34	1.35	0.32	36.81
Raio 3	2.45	2.66	0.23	4.56	1.34	54.85
Raio 4	1.45	1.36	0.41	2.77	0.90	62.02
Média Geral	1.44	1.44	0.36	2.52	0.72	46.46
Árvore 10						
Raio 1	1.58	1.20	0.35	5.28	1.57	99.29
Raio 2	2.42	1.44	0.33	6.78	2.12	87.74
Raio 3	1.93	1.42	0.76	4.92	1.30	67.36
Raio 4	2.65	2.73	0.70	4.53	1.30	48.95
Média Geral	2.15	1.70	0.53	5.38	1.57	75.84
Árvore 11						
Raio 1	0.90	0.78	0.36	1.98	0.50	55.80
Raio 2	2.37	2.44	0.97	3.71	0.90	37.99
Raio 3	1.16	1.26	0.55	1.71	0.40	34.56
Raio 4	1.06	1.10	0.45	1.58	0.35	33.42
Média Geral	1.38	1.39	0.58	2.24	0.54	40.44

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 2, pode-se observar que a árvore 2 apresentou uma espessura mínima média de 0,35 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 4, apresentou um máximo de 6,42 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 0,99 mm a 3,08 mm. A mediana variou de uma espessura geral de 0,91 mm a 3,02 mm. A árvore 2 apresentou o menor desvio-padrão médio (0,53mm),e a árvore 7 com menor coeficiente médio de variação (44,62%), enquanto que a árvore 9 apresentou a maior variação média (77,86%).

Tabela 2 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1960 – 1969).

(continua)

Árvore 1	Década (1960-1969)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	1.99	1.67	0.54	4.43	1.41	70.87
Raio 2	2.25	2.18	0.82	3.90	1.18	52.36
Raio 3	2.22	2.40	0.61	4.49	1.35	60.51
Raio 4	3.18	3.22	3.22	6.13	1.42	44.72
Média Geral	2.41	2.37	1.30	4.74	1.34	57.12
Árvore 2						
Raio 1	1.03	0.94	0.44	2.17	0.59	57.31
Raio 2	0.84	0.74	0.37	1.73	0.46	54.06
Raio 3	1.48	1.73	0.23	2.60	0.95	63.84
Raio 4	0.59	0.59	0.36	0.80	0.13	22.64
Média Geral	0.99	1.00	0.35	1.83	0.53	49.46
Árvore 3						
Raio 1	3.43	3.11	0.38	7.24	2.55	74.43
Raio 2	1.82	1.62	0.84	3.98	1.01	55.67
Raio 3	1.92	1.93	0.40	4.28	1.22	63.71
Raio 4	1.58	1.45	0.36	3.33	1.00	63.08
Média Geral	2.19	2.03	0.50	4.71	1.45	64.22
Árvore 4						
Raio 1	1.47	1.46	0.54	2.90	0.73	49.56
Raio 2	2.73	1.97	0.78	8.02	2.23	81.76
Raio 3	2.89	2.73	0.32	5.16	1.89	65.22
Raio 4	4.66	3.82	1.68	9.62	2.66	57.08
Média Geral	2.94	2.49	0.83	6.42	1.88	63.40
Árvore 5						
Raio 1	1.74	1.09	0.64	4.43	1.28	73.59
Raio 2	3.40	2.02	0.59	10.04	3.11	91.31
Raio 3	1.41	1.14	0.51	2.81	0.91	64.46
Raio 4	2.56	2.68	0.64	4.62	1.20	47.01
Média Geral	2.28	1.73	0.59	5.48	1.63	69.09

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 2 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1960 – 1969).

(conclusão)

Árvore 6	Década (1960-1969)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	4.24	3.81	2.82	6.26	1.03	24.22
Raio 2	0.99	0.79	0.34	2.82	0.75	75.97
Raio 3	2.73	2.44	0.57	6.05	1.76	64.33
Raio 4	2.66	2.52	0.47	6.53	2.08	78.27
Média Geral	2.66	2.39	1.05	5.41	1.40	60.70
Árvore 7						
Raio 1	1.10	0.84	0.62	2.09	0.55	50.42
Raio 2	5.60	5.16	2.17	12.56	2.84	50.76
Raio 3	3.41	3.75	2.04	4.69	0.97	28.47
Raio 4	2.20	2.33	0.56	4.20	1.07	48.82
Média Geral	3.08	3.02	1.35	5.88	1.36	44.62
Árvore 8						
Raio 1	1.63	1.53	0.61	3.47	0.97	59.85
Raio 2	1.91	1.81	0.69	3.64	1.01	52.95
Raio 3	3.25	3.22	1.12	7.27	1.79	55.07
Raio 4	1.73	1.76	0.47	3.03	0.84	48.21
Média Geral	2.13	2.08	0.72	4.35	1.15	54.02
Árvore 9						
Raio 1	2.09	1.08	0.40	9.58	2.73	130.42
Raio 2	1.05	0.78	0.27	2.06	0.56	53.25
Raio 3	1.15	0.90	0.38	2.38	0.77	67.09
Raio 4	2.43	2.27	0.56	4.65	1.48	60.70
Média Geral	1.68	1.26	0.40	4.67	1.38	77.86
Árvore 10						
Raio 1	1.80	1.36	0.27	4.47	1.24	69.10
Raio 2	2.63	2.12	0.52	8.53	2.37	89.98
Raio 3	2.62	2.85	0.64	4.64	1.39	53.10
Raio 4	3.23	2.89	0.84	7.22	1.91	59.24
Média Geral	2.57	2.30	0.57	6.22	1.73	67.85
Árvore 11						
Raio 1	1.43	1.12	0.76	2.59	0.64	44.96
Raio 2	1.38	1.24	0.57	3.19	0.86	62.45
Raio 3	0.93	0.66	0.26	1.88	0.55	59.09
Raio 4	0.57	0.61	0.36	0.76	0.12	20.51
Média Geral	1.08	0.91	0.49	2.11	0.54	46.75

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 3, pode-se observar que a árvore 2 apresentou uma espessura mínima média de 0,34 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 10, apresentou um máximo de 7,67 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 1,25 mm a 3,55 mm. A mediana variou de uma espessura geral de 0,94 mm a 2,84 mm. A árvore 7 apresentou o menor desvio-padrão médio (0,52mm), com menor coeficiente médio de variação (44,96%), enquanto que a árvore 4 apresentou a maior variação média (69,67%).

Tabela 3 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1970 – 1979).

(continua)

Árvore 1	Década (1970-1979)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	2.56	2.21	1.07	4.49	1.10	42.88
Raio 2	0.48	0.38	0.25	1.14	0.30	62.57
Raio 3	2.55	3.49	0.37	4.20	1.51	59.09
Raio 4	2.00	1.92	0.67	3.85	0.93	46.72
Média Geral	1.90	2.00	0.59	3.42	0.96	52.81
Árvore 2						
Raio 1	1.03	0.89	0.41	2.47	0.64	62.07
Raio 2	1.63	1.93	0.29	3.07	1.10	67.57
Raio 3	1.42	1.50	0.26	2.49	0.86	60.56
Raio 4	0.92	0.80	0.40	2.14	0.55	59.27
Média Geral	1.25	1.28	0.34	2.54	0.79	62.37
Árvore 3						
Raio 1	1.33	0.81	0.26	4.19	1.22	91.86
Raio 2	2.38	1.84	0.61	5.20	1.60	66.98
Raio 3	2.52	2.36	0.82	4.54	1.35	53.60
Raio 4	3.13	3.23	0.59	4.76	1.31	41.93
Média Geral	2.34	2.06	0.57	4.67	1.37	63.59
Árvore 4						
Raio 1	1.13	0.99	0.38	2.36	0.61	53.90
Raio 2	2.33	1.92	0.36	6.52	1.85	79.36
Raio 3	1.65	1.16	0.62	5.68	1.51	91.89
Raio 4	2.24	2.21	0.80	3.67	1.20	53.51
Média Geral	1.84	1.57	0.54	4.56	1.29	69.67
Árvore 5						
Raio 1	2.27	1.95	0.57	4.96	1.44	63.36
Raio 2	3.57	3.00	1.10	8.09	2.45	68.59
Raio 3	1.49	1.45	0.93	2.28	0.45	30.11
Raio 4	1.36	1.25	0.47	3.28	0.78	57.25
Média Geral	2.17	1.91	0.77	4.65	1.28	54.83

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 3 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1970 – 1979).

(conclusão)

Árvore 6	Década (1970-1979)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	3.95	2.66	1.12	10.56	3.06	77.48
Raio 2	0.93	0.78	0.32	1.96	0.54	58.41
Raio 3	2.85	2.85	1.46	4.57	1.00	35.06
Raio 4	3.16	3.08	0.65	5.75	1.84	58.32
Média Geral	2.72	2.34	0.89	5.71	1.61	57.32
Árvore 7						
Raio 1	0.61	0.51	0.40	1.11	0.26	42.41
Raio 2	1.79	1.44	0.74	3.12	1.00	55.89
Raio 3	0.59	0.58	0.29	0.98	0.20	34.81
Raio 4	1.32	1.22	0.35	2.24	0.61	46.74
Média Geral	1.08	0.94	0.44	1.86	0.52	44.96
Árvore 8						
Raio 1	0.77	0.84	0.29	1.32	0.38	49.49
Raio 2	1.49	1.44	0.64	2.55	0.70	47.25
Raio 3	1.31	1.04	0.23	4.54	1.17	89.57
Raio 4	1.13	1.13	0.30	2.06	0.62	55.18
Média Geral	1.17	1.11	0.36	2.62	0.72	60.37
Árvore 9						
Raio 1	2.40	2.34	0.51	5.18	1.59	66.45
Raio 2	2.69	2.71	1.02	3.56	0.76	28.06
Raio 3	0.81	0.50	0.28	2.80	0.77	95.06
Raio 4	1.28	1.31	0.31	2.07	0.59	46.22
Média Geral	1.80	1.72	0.53	3.40	0.93	58.95
Árvore 10						
Raio 1	2.94	2.17	0.56	5.76	2.13	72.58
Raio 2	2.07	2.07	1.00	3.87	0.81	39.42
Raio 3	5.21	3.49	1.53	13.83	4.06	77.98
Raio 4	4.00	3.64	2.12	7.20	1.61	40.17
Média Geral	3.55	2.84	1.30	7.67	2.15	57.54
Árvore 11						
Raio 1	0.89	0.82	0.39	1.91	0.43	48.34
Raio 2	2.64	2.14	0.76	6.20	1.90	71.91
Raio 3	1.00	0.73	0.47	2.35	0.66	66.19
Raio 4	0.49	0.42	0.35	0.90	0.18	36.69
Média Geral	1.25	1.03	0.49	2.84	0.79	55.78

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 4, pode-se observar que a árvore 1 apresentou uma espessura mínima média de 0,32 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 2, apresentou um máximo de 6,35 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 0,89 mm a 2,98 mm. A mediana variou de uma espessura geral de 0,75 mm a 2,81 mm. As árvores 1 e 7 apresentaram o menor desvio-padrão médio (0,54mm), a árvore 3 com menor coeficiente médio de variação (48,76%), enquanto que a árvore 11 apresentou a maior variação média (73,90%).

Tabela 4 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1980 – 1989).

(continua)

Árvore 1	Década (1980-1989)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	1.15	1.01	0.44	2.16	0.59	51.60
Raio 2	0.82	0.62	0.26	2.27	0.62	75.18
Raio 3	0.96	0.96	0.34	2.04	0.52	54.02
Raio 4	0.57	0.43	0.23	1.69	0.44	76.18
Média Geral	0.89	0.76	0.32	2.04	0.54	64.24
Árvore 2						
Raio 1	1.38	1.26	0.41	2.75	0.77	55.70
Raio 2	1.45	1.37	0.32	4.27	1.16	79.73
Raio 3	4.40	3.63	0.80	10.77	3.35	76.10
Raio 4	4.70	4.99	1.95	7.61	1.71	36.50
Média Geral	2.98	2.81	0.87	6.35	1.75	62.01
Árvore 3						
Raio 1	0.96	0.89	0.22	1.97	0.48	50.07
Raio 2	0.67	0.58	0.34	1.10	0.30	44.99
Raio 3	0.79	0.76	0.30	1.19	0.29	36.40
Raio 4	1.88	1.23	0.67	4.06	1.19	63.58
Média Geral	1.08	0.87	0.38	2.08	0.57	48.76
Árvore 4						
Raio 1	1.80	1.19	0.34	4.08	1.42	78.78
Raio 2	1.51	1.08	0.40	3.79	1.14	75.35
Raio 3	1.31	0.91	0.34	2.96	1.02	78.07
Raio 4	2.53	2.68	0.64	5.58	1.60	63.04
Média Geral	1.79	1.46	0.43	4.10	1.29	73.81
Árvore 5						
Raio 1	1.91	1.04	0.42	5.36	1.78	92.95
Raio 2	1.72	1.36	0.40	4.22	1.24	72.33
Raio 3	1.20	0.94	0.35	2.77	0.79	66.05
Raio 4	1.76	1.64	0.31	3.56	1.06	60.33
Média Geral	1.65	1.25	0.37	3.98	1.22	72.92

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 4 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1980 – 1989).

(conclusão)

Árvore 6	Década (1980-1989)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	3.55	2.72	0.41	7.34	2.43	68.47
Raio 2	1.34	1.05	0.39	2.55	0.72	54.00
Raio 3	2.72	2.31	0.75	4.91	1.31	48.17
Raio 4	3.81	3.16	1.75	7.17	1.88	49.36
Média Geral	2.85	2.31	0.82	5.49	1.59	55.00
Árvore 7						
Raio 1	0.51	0.46	0.31	0.85	0.19	36.43
Raio 2	1.50	1.41	0.50	2.82	0.68	44.99
Raio 3	1.28	1.27	0.39	2.12	0.58	44.93
Raio 4	0.90	0.69	0.33	2.89	0.74	82.08
Média Geral	1.05	0.96	0.38	2.17	0.54	52.11
Árvore 8						
Raio 1	1.28	1.11	0.18	3.25	0.91	70.94
Raio 2	0.90	0.60	0.28	2.62	0.79	88.16
Raio 3	3.96	3.98	0.92	6.32	1.46	36.87
Raio 4	0.61	0.55	0.28	1.01	0.21	34.15
Média Geral	1.69	1.56	0.42	3.30	0.84	57.53
Árvore 9						
Raio 1	3.19	2.91	0.98	6.59	1.68	52.79
Raio 2	1.04	0.57	0.36	2.52	0.80	76.81
Raio 3	2.35	1.20	0.34	6.93	2.20	93.63
Raio 4	3.09	2.51	1.17	6.46	1.82	58.97
Média Geral	2.42	1.80	0.71	5.62	1.62	70.55
Árvore 10						
Raio 1	2.24	2.28	0.44	4.35	1.08	48.30
Raio 2	1.57	1.26	0.19	4.59	1.39	88.66
Raio 3	3.48	3.01	0.50	7.38	2.44	70.23
Raio 4	2.41	2.10	0.65	5.06	1.61	66.74
Média Geral	2.43	2.16	0.45	5.35	1.63	68.48
Árvore 11						
Raio 1	1.16	0.76	0.38	4.13	1.12	96.80
Raio 2	1.49	1.26	0.39	2.86	0.82	55.12
Raio 3	0.41	0.33	0.25	0.99	0.22	53.73
Raio 4	0.84	0.62	0.30	2.89	0.76	89.95
Média Geral	0.97	0.75	0.33	2.72	0.73	73.90

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 5, pode-se observar que a árvore 8 apresentou uma espessura mínima média de 0,34 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 2, apresentou um máximo de 7,23 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 0,98 mm a 3,69 mm. A mediana variou de uma espessura geral de 0,86 mm a 3,61 mm. A árvore 7 apresentou o menor desvio-padrão médio (0,47mm), a árvore 11 com menor coeficiente médio de variação (41,84%), enquanto que a árvore 1 apresentou a maior variação média (78,79%).

Tabela 5 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1990 – 1999).

(continua)

Árvore 1	Década (1990-1999)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	2.94	2.15	0.86	10.49	2.79	94.87
Raio 2	1.79	1.72	0.49	3.60	1.07	59.76
Raio 3	1.57	1.58	0.47	4.21	1.12	71.56
Raio 4	3.27	2.03	0.96	8.97	2.91	88.97
Média Geral	2.39	1.87	0.70	6.82	1.97	78.79
Árvore 2						
Raio 1	3.50	3.04	0.99	7.07	2.14	61.24
Raio 2	3.11	2.67	0.53	7.77	2.10	67.42
Raio 3	4.57	4.65	2.07	8.23	1.85	40.35
Raio 4	3.56	3.81	1.02	5.87	1.58	44.51
Média Geral	3.69	3.54	1.15	7.23	1.92	53.38
Árvore 3						
Raio 1	2.74	2.67	0.16	6.26	2.00	73.05
Raio 2	2.78	2.65	1.23	4.43	1.15	41.23
Raio 3	2.64	2.93	0.50	4.50	1.56	59.08
Raio 4	2.88	2.52	0.57	7.77	2.06	71.56
Média Geral	2.76	2.69	0.61	5.74	1.69	61.23
Árvore 4						
Raio 1	2.62	1.96	0.85	7.68	1.90	72.30
Raio 2	2.40	2.46	0.89	4.21	1.02	42.38
Raio 3	0.83	0.86	0.43	1.40	0.27	32.85
Raio 4	2.62	1.93	0.66	8.38	2.24	85.40
Média Geral	2.12	1.80	0.71	5.42	1.36	58.23
Árvore 5						
Raio 1	2.37	2.09	0.86	4.02	1.15	48.49
Raio 2	4.29	3.94	2.46	6.03	1.35	31.51
Raio 3	0.91	0.87	0.30	1.69	0.50	54.96
Raio 4	1.21	0.92	0.23	2.67	0.81	66.61
Média Geral	2.19	1.95	0.96	3.60	0.95	50.39

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 5 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (1990 – 1999).

(conclusão)

Árvore 6	Década (1990-1999)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	5.72	5.66	3.07	10.77	2.28	39.94
Raio 2	1.79	1.72	0.62	2.88	0.94	52.52
Raio 3	2.38	2.39	0.92	4.33	1.01	42.72
Raio 4	4.60	4.69	1.72	7.40	1.55	33.60
Média Geral	3.62	3.61	1.58	6.34	1.45	42.19
Árvore 7						
Raio 1	0.95	0.89	0.39	1.46	0.35	37.00
Raio 2	1.12	1.19	0.23	2.10	0.51	45.69
Raio 3	1.70	1.75	0.56	2.93	0.70	41.58
Raio 4	0.67	0.59	0.30	1.37	0.31	46.26
Média Geral	1.11	1.11	0.37	1.97	0.47	42.63
Árvore 8						
Raio 1	0.77	0.84	0.31	1.12	0.30	38.60
Raio 2	2.69	2.41	0.40	7.39	2.33	86.67
Raio 3	1.45	0.80	0.40	3.69	1.18	81.60
Raio 4	0.70	0.48	0.23	1.43	0.42	60.83
Média Geral	1.40	1.13	0.34	3.41	1.06	66.93
Árvore 9						
Raio 1	0.60	0.41	0.26	1.30	0.40	66.46
Raio 2	1.59	1.53	0.39	2.57	0.75	47.42
Raio 3	0.91	0.75	0.22	2.82	0.73	80.06
Raio 4	1.16	0.75	0.54	2.68	0.79	68.10
Média Geral	1.06	0.86	0.35	2.34	0.67	65.51
Árvore 10						
Raio 1	2.50	2.11	0.57	5.58	1.92	76.83
Raio 2	3.96	3.78	0.83	9.20	2.29	57.87
Raio 3	2.12	1.58	0.27	5.07	1.85	87.25
Raio 4	1.46	1.64	0.48	2.49	0.78	53.67
Média Geral	2.51	2.27	0.54	5.58	1.71	68.90
Árvore 11						
Raio 1	1.62	1.32	0.51	4.75	1.26	77.46
Raio 2	0.92	0.88	0.62	1.65	0.32	34.98
Raio 3	0.51	0.47	0.38	0.76	0.11	21.28
Raio 4	0.86	0.93	0.41	1.19	0.29	33.64
Média Geral	0.98	0.90	0.48	2.09	0.49	41.84

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 6, pode-se observar que a árvore 9 apresentou uma espessura mínima média de 0,28 mm, considerando-se os quatro raios e, a árvore 3, apresentou um máximo de 6,61 mm. A amplitude, considerando-se as médias gerais, foi de 0,88 mm a 3,01 mm. A mediana variou de uma espessura geral de 0,74 mm a 2,69 mm. A árvore 5 apresentou o menor desvio-padrão médio (0,47 mm), a árvore 8 com menor coeficiente médio de variação (35,43%), enquanto que a árvore 4 apresentou a maior variação média (87,78%).

Tabela 6 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (2000 – 2009).

(continua)

Árvore 1	Década (2000-2009)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	1.90	1.70	0.60	3.77	1.11	58.29
Raio 2	0.95	0.86	0.42	1.69	0.44	46.60
Raio 3	0.53	0.46	0.41	0.88	0.15	28.87
Raio 4	1.66	1.45	0.37	3.67	1.25	75.11
Média Geral	1.26	1.12	0.45	2.50	0.74	52.22
Árvore 2						
Raio 1	1.54	1.10	0.40	3.94	1.11	72.25
Raio 2	1.69	1.14	0.42	5.65	1.63	96.30
Raio 3	4.36	4.15	0.38	9.13	3.19	73.08
Raio 4	3.77	4.18	0.33	6.42	1.95	51.83
Média Geral	2.84	2.64	0.38	6.28	1.97	73.37
Árvore 3						
Raio 1	1.20	0.96	0.62	2.73	0.64	53.60
Raio 2	3.54	2.29	1.45	10.07	2.81	79.30
Raio 3	2.60	1.71	0.62	6.75	1.99	76.31
Raio 4	2.58	1.69	0.34	6.88	2.48	95.95
Média Geral	2.48	1.66	0.76	6.61	1.98	76.29
Árvore 4						
Raio 1	1.45	1.45	0.48	3.29	0.85	58.57
Raio 2	3.27	2.18	0.65	7.89	2.62	80.11
Raio 3	1.41	1.14	0.61	3.13	0.80	57.14
Raio 4	1.19	0.55	0.23	6.37	1.85	155.30
Média Geral	1.83	1.33	0.49	5.17	1.53	87.78
Árvore 5						
Raio 1	1.10	0.77	0.50	2.78	0.78	71.48
Raio 2	0.79	0.76	0.35	1.67	0.36	45.15
Raio 3	0.73	0.79	0.41	1.05	0.22	30.47
Raio 4	0.92	0.77	0.43	2.05	0.51	55.97
Média Geral	0.88	0.77	0.42	1.89	0.47	50.77

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 6 - Análise estatística dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera para a década (2000 – 2009).

(conclusão)

Árvore 6	Década (2000-2009)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	C.V (%)
Raio 1	4.38	4.61	0.77	8.23	2.48	56.59
Raio 2	1.30	0.96	0.42	2.70	0.84	64.74
Raio 3	2.34	2.09	0.40	4.47	1.36	58.41
Raio 4	3.50	3.49	0.89	6.42	2.03	57.98
Média Geral	2.88	2.79	0.62	5.45	1.68	59.43
Árvore 7						
Raio 1	0.63	0.65	0.45	0.81	0.14	21.36
Raio 2	2.77	1.49	0.70	10.07	2.97	107.03
Raio 3	1.00	0.70	0.28	2.12	0.64	63.58
Raio 4	0.83	0.78	0.27	2.08	0.60	72.28
Média Geral	1.31	0.90	0.43	3.77	1.08	66.06
Árvore 8						
Raio 1	2.34	2.17	1.12	3.85	0.97	41.44
Raio 2	2.31	2.12	1.23	4.05	0.95	41.02
Raio 3	4.27	4.39	1.37	6.76	1.61	37.80
Raio 4	2.34	2.47	1.43	2.96	0.50	21.46
Média Geral	2.81	2.79	1.29	4.41	1.01	35.43
Árvore 9						
Raio 1	0.81	0.72	0.33	1.61	0.39	47.89
Raio 2	1.17	0.64	0.26	2.87	0.97	83.14
Raio 3	0.68	0.54	0.21	1.75	0.45	65.29
Raio 4	1.18	1.05	0.33	2.57	0.79	66.78
Média Geral	0.96	0.74	0.28	2.20	0.65	65.77
Árvore 10						
Raio 1	4.05	3.90	1.42	6.59	1.90	46.82
Raio 2	1.57	1.16	0.46	3.20	0.90	57.10
Raio 3	4.22	3.29	0.74	8.92	3.00	71.13
Raio 4	2.19	2.00	0.83	3.90	1.09	49.69
Média Geral	3.01	2.59	0.86	5.65	1.72	56.18
Árvore 11						
Raio 1	1.04	0.67	0.35	4.25	1.15	109.96
Raio 2	2.41	2.20	1.06	4.08	0.94	38.86
Raio 3	0.59	0.59	0.40	0.77	0.14	23.11
Raio 4	0.43	0.42	0.25	0.71	0.12	28.44
Média Geral	1.12	0.97	0.52	2.45	0.59	50.09

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

4.1.1 Análise da média das espessuras dos anéis das árvores por quinquênio

Nesta etapa procedeu-se a análise de regressão para as seis décadas, por quinquênio, onde se estabeleceu entre os modelos pesquisados, aquele que melhor representou a espessura dos anéis de crescimento médios das árvores analisadas, o que permitiu analisar o crescimento dos anéis.

As informações sobre a espessura dos anéis de crescimento (APÊNDICE A), compostas pelas médias dos anéis nas últimas seis décadas, por quinquênio, permitiu a elaboração das Figuras 14 a 17, além do ajuste dos modelos apresentados na Tabela 7.

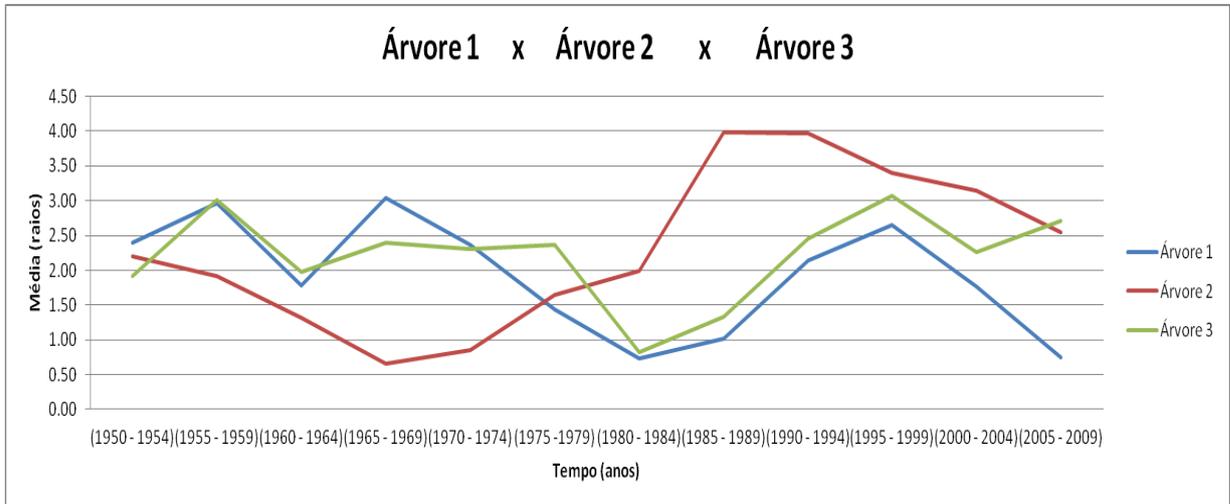
Nas referidas figuras apresentam-se as séries com a espessura total (lenhos de início e fim de estação) dos anéis de crescimento para cada uma das onze amostras de árvore, nas quais se pode observar a variabilidade das medidas, que pode ser explicada pelos fatores ambientais que de certa forma agiram neste quinquênio e resultaram na formação da espessura dos anéis de crescimento.

Destaca-se também o fato das árvores serem antigas, e o crescimento rápido ocorrer até a fase adulta, com isso, o desenvolvimento começa a ficar um pouco mais lento após esta fase quando a espessura dos anéis começa a ficar menor. Dessa forma, não foi possível encontrar uma estabilidade no crescimento durante as seis décadas analisadas.

Na Figura 14 são apresentadas a evolução das médias da espessura dos anéis de crescimento das árvores 1, 2 e 3, onde a árvore 2 se destaca pelo comportamento um pouco diferente das demais, por apresentar, desde a primeira década até 1964, um decréscimo nas suas espessuras. Entretanto, a partir deste ano, ela começa a ter um pequeno acréscimo até o ano de 1984, quando suas espessuras crescem e se mantém constante até o ano de 1994, onde decresce até 2009. A árvore 1 e a 3 apresentaram um desenvolvimento semelhante entre si, no decorrer dos anos, com uma pequena diferença em 2004, quando a média da espessura dos anéis de crescimento da árvore 1 decresce.

Observa-se na Figura 14 o desenvolvimento das árvores 1, 2 e 3, com variações de espessura diferentes para as três. A árvore 1 se manteve com espessura variando de 0,50 a 3,00 mm ao longo dos anos, a árvore 2, manteve um crescimento com espessuras variando de 0,50 a 4,00mm e, a árvore 3, manteve um crescimento com espessuras de 0,50 a 3,00 mm ao longo dos anos.

Figura 14 – Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 1, 2 e 3 do município de Tapera - RS.

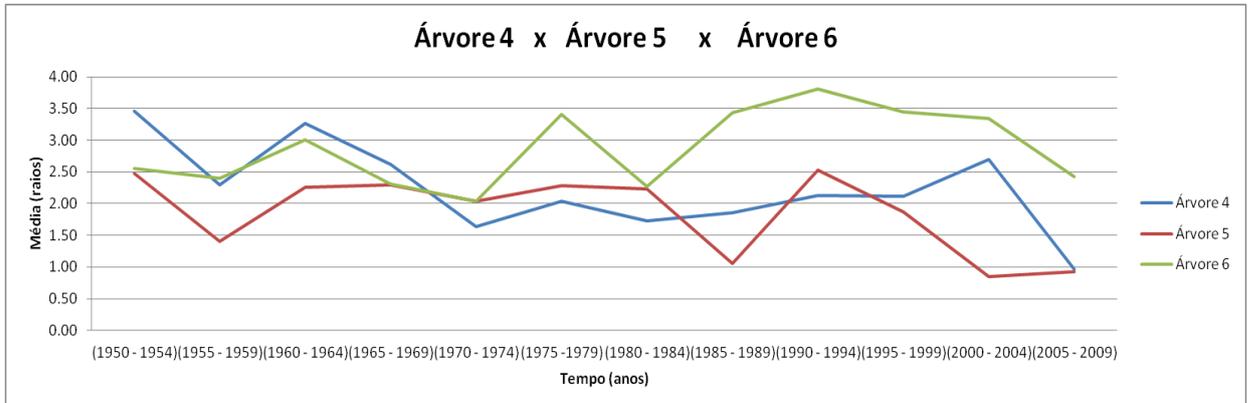


Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Figura 15 apresenta-se o desenvolvimento das árvores 4, 5 e 6, com variações de espessura diferentes para as três. A árvore 4 se manteve com espessura variando de 1,00 a 3,50 mm ao longo dos anos, a árvore 5, manteve um crescimento com espessuras variando de 0,50 a 2,50mm e, a árvore 6, manteve um crescimento com espessuras de 2,00 a 4,00 mm.

Observa-se que as árvores 4, 5 e 6 começam com espessuras que vão diminuindo até o ano de 1954, a partir deste ano cada uma apresentou um desenvolvimento diferente. A árvore 4 manteve, a partir daí, uma variação constante de crescimento e decrescimento de 1955 até 2009. Já a árvore 5, de 1954 a 1960 cresceu, apresentou uma variação constante de 1960 a 1980, decrescendo até 1984 e crescendo até 1990, quando decresceu até 2000 e manteve-se constante até 2009. A árvore 6 cresceu de 1954 até 1960, e decresceu até 1970, quando começou a crescer até 1975, decrescer até 1980 e crescer constantemente até 1990 quando começou a decrescer constantemente a partir de 1994 até 2009.

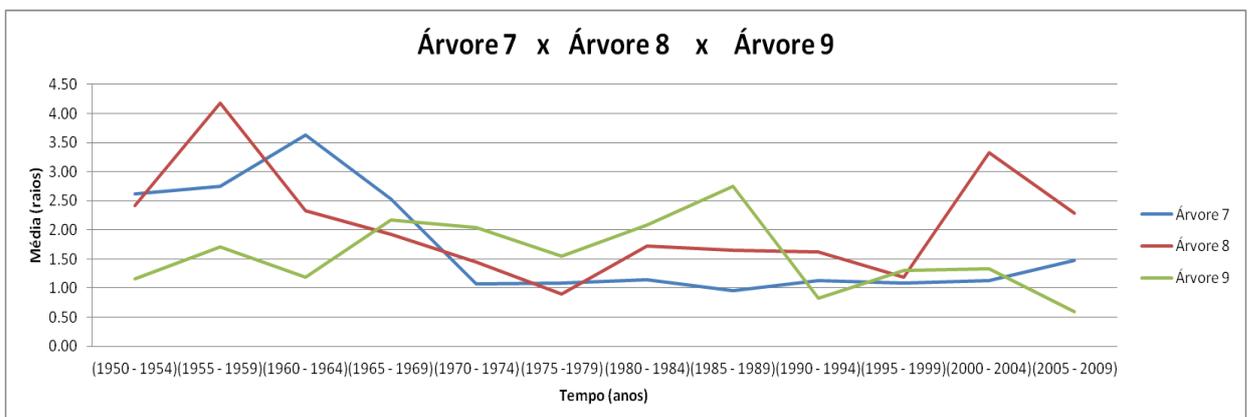
Figura 15 – Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 4, 5 e 6 do município de Tapera - RS.



Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Figura 16 apresenta-se o desenvolvimento das árvores 7, 8 e 9, com variações de espessura diferentes para as três. A árvore 7 se manteve com espessura variando de 1,00 a 3,50 mm ao longo dos anos, a árvore 8, manteve um crescimento com espessuras variando de 0,50 a 4,00 mm e, a árvore 9, manteve um crescimento com espessuras de 0,50 a 3,00 mm. Pode-se observar que as árvores 7, 8 e 9 começam com desenvolvimentos de crescimento até o ano 1954, onde a árvore 8 e a 9 decrescem até 1960. A partir deste ano as árvores 7 e 8 decrescem até 1979, onde permanecem, praticamente, constantes até 1995, sendo que na árvore 8 houve um salto de crescimento até o ano 2000. A árvore 9 a partir de 1960 cresceu até 1984 quando começou a decrescer até 1990 e se manteve com uma variação pequena até 2009.

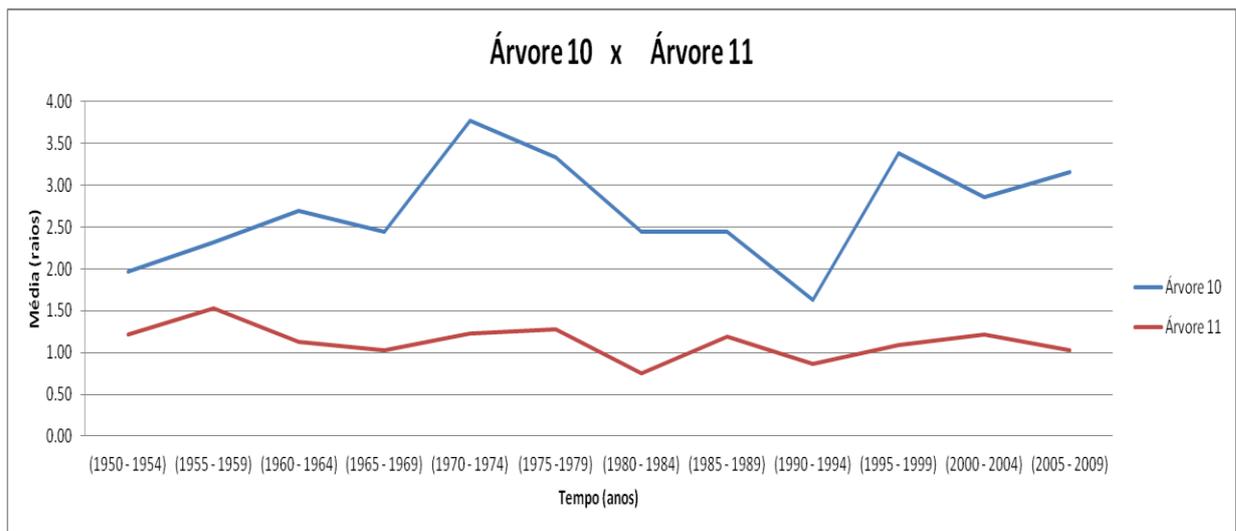
Figura 16 – Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 7, 8 e 9 do município de Tapera - RS.



Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Figura 17 apresenta-se o desenvolvimento das árvores 10 e 11, com variações de espessura diferentes para as duas. A árvore 10 se manteve com espessura variando de 1,50 a 4,00 mm ao longo dos anos e, a árvore 11, manteve um crescimento com espessuras variando de 0,50 a 1,0mm. Pode-se observar que a árvore 10 inicia com um crescimento até 1960 onde decresce até 1965 e cresce novamente 1970, a partir deste ano começa a decrescer constantemente até 1990 e inicia novamente um processo de crescimento até 1995. Decresce de 1995 até 1999, onde cresce suavemente até 2009. A árvore 11 inicia com um crescimento até 1955 e a partir desta data começa um decrescimento constante até 1965, em que cresce até 1975 e decresce até 1980. Cresce de 1980 até 1985 e decresce até 1990, onde inicia novamente um crescimento constante até 2000 e decresce até 2009.

Figura 17 – Média, por quinquênio, da espessura dos anéis de crescimento das árvores 10 e 11 do município de Tapera - RS.



Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Na Tabela 7 apresentam-se os principais resultados dos ajustes das equações de regressão, considerando-se quatro tipos de funções: a linear, a inversa, a cúbica e a *Compound*.

Tabela 7 - Modelos das médias dos anéis de crescimento de cada árvore do município de Tapera – RS.

Árvore	Função	Equação	R ² ajustado	AIC
A1	Linear	$\hat{Y} = 1,920 - 0,50 t$ (p < 0,001) (p = 0,098)	0,175	-5,505
A2	Cúbica	$\hat{Y} = 2,163 + 0,346 t + 0,003 t^2 - 0,003 t^3$ (p < 0,001) (p = 0,430) (p = 0,001) (p < 0,001)	0,795	-12,979
A3	Inversa	$\hat{Y} = 2,218 - \frac{0,721}{t}$ (p < 0,001) (p = 0,084)	0,196	-11,290
A4	Linear	$\hat{Y} = 2,231 - 0,059 t$ (p < 0,001) (p = 0,033)	0,317	-11,423
A5	Linear	$\hat{Y} = 1,850 - 0,047 t$ (p < 0,001) (p = 0,069)	0,223	-12,568
A6	Cúbica	$\hat{Y} = 2,983 + 0,136 t - 0,002 t^2 - 0,001 t^3$ p < 0,001) (p = 0,037) (p = 0,510) (p = 0,082)	0,282	-13,176
A7	Cúbica	$\hat{Y} = 1,335 - 0,170 t + 0,008 t^2 + 0,001 t^3$ (p < 0,001) (p = 0,018) (p = 0,060) (p = 0,172)	0,651	-11,855
A8	Compound	$\hat{Y} = 1,917.0,988^t$ (p < 0,001) (p < 0,001)	-0,50	-18,148
A9	Compound	$\hat{Y} = 1,439.0,978^t$ (p < 0,001) (p < 0,001)	0,051	-18,866
A10	Compound	$\hat{Y} = 2,636.1,009^t$ (p < 0,001) (p < 0,001)	-0,024	-32,110
A11	Compound	$\hat{Y} = 1,112.0,990^t$ (p < 0,001) (p < 0,001)	0,063	-39,380

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Considerando-se a análise de resíduos observou-se, para todos os modelos ajustados: média zero, variância constante (homocedasticidade), normalidade e ausência de *outlier*.

Quanto a autocorrelação dos resíduos, a maioria mostrou-se descorrelacionados, com exceção das árvores A6 e A7, cujos resultados se mostraram inconclusivos.

5 CONCLUSÃO

Conhecer a dendrocronologia e outros aspectos sobre os anéis de crescimento permitiu analisar que o ramo é novo e complexo, com muitas técnicas disponíveis de acordo com o estudo desenvolvido no trabalho. Ressaltando a grande importância que este estudo vem destacando para desvendar os acontecimentos passados, registrados no incremento da *Araucaria angustifolia* antigas e outras espécies de árvores.

No desenvolvimento deste trabalho ao analisar o crescimento dos anéis de crescimento nas últimas décadas no RS, percebeu-se que, no decorrer dos quinquênios as espessuras dos anéis variavam de 0,50 a 4,00 mm.

Ao avaliar os resultados obtidos com o intuito de encontrar um modelo de regressão apropriado para descrever o crescimento dos anéis de crescimento das árvores do município de Tapera no RS, encontraram-se equações que descreveram o comportamento das espessuras dos anéis. Entretanto, para algumas árvores, os modelos ajustados não foram muito eficientes. Os modelos encontrados foram: linear, cúbica, inversa e *compound*.

Ao final deste trabalho, analisou-se que para estudos futuros sugere-se a aplicação de modelos de séries temporais para obter melhores modelos.

REFERÊNCIAS

- BOTOSO, P. C.; MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002, 25p. il.: (Documento, 75).
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- CHARNET, R. et al. **Análise de modelos de regressão linear: com aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.
- ENCINAS, I. J.; SILVA, G. F. ; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005.
- FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Atlas, 1985.
- FRITTS, H.C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press Solar Influences on Global Change. Ed: The Blackburn Press, University of Arizona, Tucson – Arizona, U.S.A, 1976.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2009.
- GONÇALVES, G. V. Dendrocronologia no Alto de S. Bento, em Évora: curva de calibração para datações no âmbito da arqueologia. In: **Boletim Cultural “A Cidade de Évora”**, n. 7. 2007-2008. 19 p.
- GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.
- HILL, R. C.; GRIFFITHS, W. E.; JUDGE, G. G. **Econometria**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- LAUW, A. M. R. F. **Estudo de anéis anuais de crescimento de árvores como indicadores climáticos em Portugal**. 2011. F. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Instituto Superior de Agronomia/ Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. **Estatística: teoria e aplicações: usando Microsoft Excel em português**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M.D. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, RS, 1961.

PRESTES, A. **Relação Sol-Terra estudada através de anéis de crescimento de coníferas do holoceno recente e do triássico**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

RIGOZO, N. R.; PRESTES, A.; NORDEMAN, D. J.; SILVA, H. E.; ECHER, M. P. S.; ERCHER, E. **Solar maximum epochim prints in tree ring width from Passo Fundo**. Brazil (1741-2004), 2008.

SANTOS, E. **Nossas Madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia Limitada, v.7, 313p. 1987.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree Rings: basics and applications of dendrochonology**. Dordrecht Netherland: D. Reidel Publishing Company, 1983.

SPEER, H.J. **Fundamentals of tree-rings research**. The University of Arizona Press, 333, 2010.

STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. **An introduction to tree-ring dating**. Tucson: University of Arizona Press. 73p. 1996.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, 2001a. P. 117-143.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. LTC: Rio de Janeiro, 1999.

WERKEMA, M.C.C.; AGUIAR, S. **Análise de Regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Média por raio dos anéis de crescimento das onze árvores do município de Tapera - RS.

Tabela 8 – Média por raio dos anéis de crescimento das árvores do município de Tapera – RS – Árvore 1, Árvore 2 e Árvore 3.

	Década (1950-1959)		Década (1960-1969)		Década (1970-1979)		Década (1980-1989)		Década (1990-1999)		Década (2000-2009)	
	(1950 - 1954)	(1955 - 1959)	(1960 - 1964)	(1965 - 1969)	(1970 - 1974)	(1975 - 1979)	(1980 - 1984)	(1985 - 1989)	(1990 - 1994)	(1995 - 1999)	(2000 - 2004)	(2005 - 2009)
Árvore 1	Média											
Raio 1	1.99	1.62	1.12	2.85	2.75	2.38	1.22	1.09	2.17	3.71	2.82	0.98
Raio 2	3.35	2.34	1.53	2.98	0.64	0.31	0.51	1.13	2.67	0.90	0.92	0.98
Raio 3	1.32	1.59	1.15	3.29	3.71	1.40	0.81	1.11	2.35	0.79	0.57	0.48
Raio 4	2.92	6.32	3.29	3.06	2.35	1.65	0.38	0.77	1.37	5.18	2.77	0.56
Média Total	2.40	2.97	1.78	3.05	2.36	1.43	0.73	1.02	2.14	2.64	1.77	0.75
Árvore 2												
Raio 1	1.62	2.21	1.39	0.67	0.64	1.43	1.19	1.56	3.25	3.75	2.13	0.95
Raio 2	3.50	2.87	1.16	0.52	1.08	2.18	1.05	1.86	4.17	2.05	1.13	2.26
Raio 3	2.03	1.56	2.14	0.83	0.99	1.85	2.10	6.70	4.82	4.33	5.87	2.86
Raio 4	1.68	1.06	0.56	0.62	0.71	1.14	3.60	5.79	3.63	3.48	3.43	4.10
Média Total	2.21	1.92	1.31	0.66	0.85	1.65	1.98	3.98	3.97	3.40	3.14	2.54
Árvore 3												
Raio 1	1.13	7.52	1.31	5.55	1.62	1.03	0.75	1.17	3.00	2.48	1.23	1.16
Raio 2	1.98	0.89	1.99	1.65	1.68	3.09	0.67	0.67	2.80	2.76	2.13	4.96
Raio 3	1.81	1.39	2.63	1.22	2.00	3.03	0.84	0.74	1.82	3.45	1.19	4.02
Raio 4	2.73	2.24	2.01	1.16	3.92	2.33	1.04	2.71	2.20	3.57	4.47	0.69
Média Total	1.91	3.01	1.98	2.39	2.31	2.37	0.82	1.33	2.46	3.07	2.25	2.71

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 8 - Média por raio dos anéis de crescimento das árvores do município de Tapera - RS – Árvore 4, Árvore 5 e Árvore 6.

(continua)

	Década (1950-1959)		Década (1960-1969)		Década (1970-1979)		Década (1980-1989)		Década (1990-1999)		Década (2000-2009)	
	(1950 - 1954)	(1955 - 1959)	(1960 - 1964)	(1965 - 1969)	(1970 - 1974)	(1975 - 1979)	(1980 - 1984)	(1985 - 1989)	(1990 - 1994)	(1995 - 1999)	(2000 - 2004)	(2005 - 2009)
Árvore 4												
Raio 1	4.23	2.99	1.86	1.08	1.32	0.93	2.12	1.48	3.37	1.88	1.77	1.12
Raio 2	4.18	2.58	3.81	1.64	2.18	2.48	1.79	1.24	2.88	1.93	5.34	1.20
Raio 3	4.21	2.52	1.89	3.89	1.26	2.03	1.21	1.40	0.85	0.81	1.80	1.01
Raio 4	1.22	1.11	5.47	3.85	1.76	2.71	1.78	3.28	1.42	3.83	1.85	0.54
Média Total	3.46	2.30	3.26	2.62	1.63	2.04	1.73	1.85	2.13	2.11	2.69	0.97
Árvore 5												
Raio 1	3.05	1.24	1.24	2.25	2.54	2.00	2.67	1.16	3.06	1.67	1.40	0.80
Raio 2	1.66	2.32	4.16	2.65	2.42	4.71	2.29	1.15	4.71	3.87	0.62	0.97
Raio 3	3.63	1.38	1.05	1.78	1.47	1.51	1.59	0.80	0.80	1.01	0.57	0.89
Raio 4	1.55	0.69	2.61	2.52	1.69	0.90	2.38	1.13	1.51	0.91	0.79	1.04
Média Total	2.47	1.41	2.26	2.30	2.03	2.28	2.23	1.06	2.52	1.87	0.85	0.92
Árvore 6												
Raio 1	4.65	3.63	3.98	4.50	1.79	6.12	1.62	5.48	5.55	5.89	4.31	4.45
Raio 2	1.35	1.78	1.50	0.48	0.85	1.00	1.04	1.64	2.49	1.10	1.39	1.21
Raio 3	1.08	1.19	2.12	3.35	2.57	3.13	3.41	2.03	2.78	1.97	3.36	1.32
Raio 4	3.12	3.01	4.41	0.91	2.93	3.39	3.03	4.60	4.39	4.82	4.29	2.70
Média Total	2.55	2.40	3.00	2.31	2.04	3.41	2.27	3.44	3.80	3.44	3.34	2.42

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 8 - Média por raio dos anéis de crescimento das árvores do município de Tapera - RS – Árvore 7, Árvore 8 e Árvore 9. (continua)

	Década (1950-1959)		Década (1960-1969)		Década (1970-1979)		Década (1980-1989)		Década (1990-1999)		Década (2000-2009)	
	(1950 - 1954)	(1955 - 1959)	(1960 - 1964)	(1965 - 1969)	(1970 - 1974)	(1975 - 1979)	(1980 - 1984)	(1985 - 1989)	(1990 - 1994)	(1995 - 1999)	(2000 - 2004)	(2005 - 2009)
Árvore 7												
Raio 1	1.62	1.23	1.41	0.78	0.77	0.46	0.44	0.59	1.14	0.76	0.66	0.61
Raio 2	2.67	5.79	6.45	4.75	1.73	1.86	1.93	1.08	1.04	1.19	1.10	4.44
Raio 3	4.94	2.37	4.13	2.69	0.58	0.59	1.01	1.55	1.82	1.57	1.48	0.52
Raio 4	1.23	1.61	2.52	1.88	1.19	1.44	1.19	0.60	0.49	0.84	1.29	0.36
Média Total	2.61	2.75	3.63	2.53	1.07	1.09	1.14	0.95	1.12	1.09	1.13	1.48
Árvore 8												
Raio 1	2.65	3.03	2.19	1.06	0.86	0.67	1.57	0.98	0.75	0.79	2.95	1.72
Raio 2	1.98	2.70	1.47	2.36	1.55	1.42	0.38	1.42	4.38	1.01	2.99	1.63
Raio 3	3.26	8.82	3.25	3.24	1.71	0.90	4.46	3.46	0.66	2.24	4.76	3.77
Raio 4	1.78	2.18	2.42	1.05	1.66	0.60	0.48	0.73	0.69	0.70	2.62	2.05
Média Total	2.42	4.18	2.33	1.93	1.45	0.90	1.72	1.65	1.62	1.18	3.33	2.29
Árvore 9												
Raio 1	0.80	1.16	1.10	3.08	3.11	1.68	2.10	4.27	0.41	0.79	0.79	0.82
Raio 2	0.91	0.83	0.81	1.30	3.19	2.20	1.47	0.61	1.14	2.05	1.94	0.39
Raio 3	2.26	2.63	1.46	0.84	0.89	0.73	0.95	3.74	0.63	1.19	0.90	0.47
Raio 4	0.67	2.23	1.40	3.46	0.95	1.60	3.82	2.37	1.16	1.16	1.67	0.69
Média Total	1.16	1.71	1.19	2.17	2.04	1.55	2.08	2.75	0.83	1.30	1.33	0.59

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).

Tabela 8 - Média por raio dos anéis de crescimento das árvores do município de Tapera – RS – Árvore 10 e Árvore 11. (conclusão)

	Década (1950-1959)		Década (1960-1969)		Década (1970-1979)		Década (1980-1989)		Década (1990-1999)		Década (2000-2009)	
	(1950 - 1954)	(1955 - 1959)	(1960 - 1964)	(1965 - 1969)	(1970 - 1974)	(1975 - 1979)	(1980 - 1984)	(1985 - 1989)	(1990 - 1994)	(1995 - 1999)	(2000 - 2004)	(2005 - 2009)
Árvore 10												
Raio 1	1.21	1.95	2.09	1.51	1.12	4.75	2.19	2.42	1.38	3.62	4.75	3.35
Raio 2	1.33	3.51	3.24	2.03	2.17	1.96	1.53	1.60	2.99	4.93	1.26	1.89
Raio 3	2.41	1.45	2.71	2.53	7.24	3.17	2.72	4.23	1.03	3.21	2.83	5.60
Raio 4	2.92	2.38	2.75	3.71	4.54	3.46	3.31	1.52	1.11	1.80	2.60	1.78
Média Total	1.97	2.32	2.70	2.44	3.77	3.33	2.44	2.44	1.63	3.39	2.86	3.15
Árvore 11												
Raio 1	0.76	1.05	1.56	1.30	0.71	1.06	0.66	1.65	1.08	2.16	1.48	0.61
Raio 2	2.17	2.58	1.80	0.95	2.22	3.05	1.44	1.53	1.15	0.69	2.40	2.42
Raio 3	0.87	1.46	0.49	1.36	1.35	0.64	0.47	0.35	0.51	0.50	0.54	0.65
Raio 4	1.08	1.04	0.64	0.50	0.61	0.38	0.45	1.24	0.70	1.01	0.42	0.44
Média Total	1.22	1.53	1.12	1.03	1.22	1.28	0.76	1.19	0.86	1.09	1.21	1.03

Fonte: (Garcia– comunicação pessoal).