

ESTUDO DIGITAL DOS REGISTROS NATURAIS EM ANÉIS DE ÁRVORES

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Lauren Catherine Brum Göergen (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq/INPE)
E-mail: lauren.goergen@hotmail.com

Nivaor Rodolfo Rigozo (INPE, Orientador)
E-mail: nivaor.rigozo@inpe.br

Julho de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, processo 100076/2013-0, 138709/2013-0.

RESUMO

Para este estudo, foram analisadas as quarenta e três amostras de árvores, da espécie *Araucaria angustifolia* coletadas em 26 de janeiro de 2011, no município de Coxilha, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esta região está localizada aproximadamente a uma longitude de 52°18'O e latitude de 28°09S, com altitude de 702 metros. Como primeira etapa do estudo, foi realizada a identificação dos anéis verdadeiros e falsos. Em seguida, foi feito o processo de medição das espessuras dos anéis de crescimento e sua respectiva datação com utilização de dois equipamentos: primeiro o escâner de mesa em conjunto com o software Image Tool, e segundo o estereomicroscópio em conjunto com uma mesa de medição Velmex® e o software MeasureJ2x. Foram medidos o anel anual, o lenho inicial e o lenho tardio, obtendo por fim três séries temporais distintas. Aplicando a ferramenta computacional "Microsoft Office Excel", foram construídos os gráficos das espessuras (mm) em função do tempo (ano), de cada amostra de árvore obtendo a cronologia destas séries temporais. Em seguida, é utilizado a linha de regressão para derivar alguma tendência em particular dos valores de espessura, para então fazer uma correlação entre os valores do anel anual, lenho inicial e lenho tardio com as variáveis meteorológicas de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima.

DIGITAL STUDY RECORDS OF NATURAL IN TREE RINGS

ABSTRACT

For this study, we analyzed the forty-three samples of trees, the species *Araucaria angustifolia* collected on January the 26th 2011, in the municipality of Coxilha in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. This region is located approximately at 52 degrees and 18 minutes West longitude and 28 degrees and 09 minutes South of latitude, with an altitude of 702 meters. As a first stage of the study, the identification of true and false rings was carried. Then was made the process of measuring the thickness of growth rings and their respective chronological dating using two equipments: First the scanner table together with Image Tool software, and second the stereomicroscope in conjunction with a measuring table Velmex ® and MeasureJ2x software. Were measured the annual ring, earlywood and latewood, obtaining finally three distinct temporal series. Applying the computational tool "Microsoft Office Excel", were constructed the graphics of thickness (mm) versus time (year) of each sample tree obtaining the chronology of these series. Then, the regression line is used to derive a trend in particular of the thickness values, and so make a correlation between the values of the annual ring, earlywood and latewood with weather variables such as the precipitation, maximum temperature and minimum temperature.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 -	8
Figura 2 -	9
Figura 3 -	10
Figura 4 -	11
Figura 5 -	12
Figura 6 -	13
Figura 7 -	15
Figura 8 -	16
Figura 9 -	17
Figura 10 -	18
Figura 11 -	26
Figura 12 -	27
Figura 13-	28

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 1 -	8
Tabela 2 -	19
Tabela 3 -	21
Tabela 4 -	23
Tabela 5 -	29
Tabela 6 -	30

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Dendrocronologia.....	2
2.2 Dendroclimatologia.....	4
2.3 Séries temporais.....	5
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
4 RESULTADOS.....	16
5 CONCLUSÕES.....	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1 – Introdução

A dendrocronologia é uma ciência que analisa e interpreta os anéis de crescimento das árvores, de espécies que são sensíveis ao meio ambiente, levando em conta os padrões de crescimento encontrados em seu tronco. Estes anéis de crescimento são formados de acordo com o meio ambiente em que estas árvores estão localizadas. Com a variação da coloração no lenho, devido à diferença de crescimento das células, que formam a estrutura da árvore, há formação de um lenho inicial (ou primaveril) e do lenho tardio (ou outonal), isto quando se encontra fatores favoráveis ao crescimento ou não favoráveis, ou até quando a árvore entra no seu período de dormência. Em regiões onde o clima é claramente definido em verão e inverno ou chuvas e secas é possível, em determinadas espécies, fazer a relação de números de anéis com a idade da árvore. Para cada amostra de árvore, os anéis encontrados estabelecem relação com o clima de tempos passados, e por isso é um grande aliado na produção de dados climatológicos em épocas ou em regiões onde não se poderiam instalar estações meteorológicas.

2 - Revisão Bibliográfica

2.1 Dendrocronologia

Dendrocronologia é a ciência que estuda os anéis de crescimento encontrados nos troncos de algumas espécies de árvores sensíveis ao meio ambiente. O seu estudo desenvolveu no início do século XVI, com Leonardo Da Vinci, entretanto somente com astrônomo americano, Andrew E. Douglass, que a dendrocronologia teve sua base no método de datação cronológica absoluta (Botosso et al., 2002) . Douglass relacionou fenômenos climáticos e astronômicos ao reconstruir as séries de crescimento. Assim, na escassez de registros ou baixa qualidade de dados, é possível reescrever e até prever fenômenos utilizando estas séries (Coelho et al., 2011).

Estes anéis de crescimento são formados de acordo com o meio em que estas árvores estão localizadas, levando em conta seu habitat, capacidade do solo, alterações na temperatura e precipitação, radiação solar, altitude, latitude, declive ou orografia (Coelho et al., 2011; Gonçalves, 2007; Oliveira, 2007). Com a variação da coloração no lenho, devido à diferença de crescimento das células que formam a estrutura da árvore, o que leva a formação de um lenho inicial (ou primaveril) e do lenho tardio (ou outonal), isto quando se encontra fatores favoráveis ao crescimento ou não favoráveis, ou até quando a árvore entra no seu período de dormência (Botosso et al. 2002).

Os anéis de crescimento são estruturas anatômicas de xilema secundário, em um corte transversal, de círculos aproximadamente concêntricos e contínuos em volta da medula (Coelho et al., 2011). É possível determinar a idade de uma árvore, fazendo uma contagem

de seus anéis partindo da medula até o limite próximo da casca. A idade é definida entre o período de germinação da semente até o momento observado.

A dendrocronologia, como ciência possui princípios teóricos, problemas práticos e de aplicabilidade. Em sua fundamentação científica, o princípio básico é denominado “crossdating”. São selecionadas três amostras que são sobrepostas, uma amostra de árvore viva, outra de árvore morta ou de fragmento de madeira, e a outra amostra retirada de contextos arqueológicos. Encaixando a amostra que contém a série temporal sobre a curva de calibração da espécie, tem-se a datação exata. Em geral, os princípios básicos da dendrocronologia são: 1) a uniformidade, que proporciona as mesmas condições de crescimento, interfiram nos processos biológicos de hoje, da mesma forma que interferiram nos processos no passado; 2) fatores limitantes que inibem o crescimento dos anéis regulando a quantidade de madeira produzida nos lenhos; pressuposto de crescimento agregado da árvore, na qual umas somatórias de fatores ambientais quanto humanos afetam o crescimento dos anéis; 3) a amplitude ecológica, que é a sensibilidade de uma espécie captar os fatores limitantes, representando a variabilidade de ambientes que a espécie cresce como fatores climáticos e não climáticos; 4) seleção do sítio que será determinada pela escolha da espécie e exemplares a serem estudados com os limitantes das mesmas, procurando encontrar um habitat que sofra com estes fatores; 5) crossdating ou datação cruzada em que a largura do anel deve ser cruzada entre os raios de um mesmo disco e entre árvores distintas, após uma análise se houver correlação entre os anéis e as amostras forem suficientes, pode-se determinar o ano de sua formação, como também a ausência de anel e anel falso; 6) replicação ou repetição, que consiste em coletar o maior número de amostras por árvore num elevado número de árvores por região, para diminuir o nível de

ruído ambiental, isto é evitar anéis de crescimento falsos e ausentes; 7) a sensibilidade, são árvores definidas como sensíveis crescem em locais onde fatores de crescimento são limitantes e variam a espessura do anel ao longo dos anos. (Gonçalves, 2007; Encinas et al., 2005; de Mattos et al., 2012).

2.2 Dendroclimatologia

A dendroclimatologia é um ramo da dendrocronologia que possibilita conhecer o clima do passado através das informações climáticas registradas durante o crescimento das árvores (de Mattos et al, 2012). Os registros climáticos que se acumulam nos anéis sob a forma da sua espessura, densidade, compostos, etc, são utilizados para reconstruir climas e fatores ambientais presentes no passado (Fritts, 1976; Nordemann, 2005; Coelho, 20011).

É na diferença do anel de crescimento, que é composto pelo o lenho inicial (ou primaveril) e o lenho tardio (ou outonal), que se é possível determinar os parâmetros climatológicos que afetam o local (Pellamnn, apud Munerato, 2007). Quanto maior for o crescimento do lenho num dado momento, significa que há condições favoráveis para o desenvolvimento, e vice-versa.

Estas relações entre o clima do passado e os anéis de crescimento ocorrem quando a planta é diretamente afetada pelas condições ambientais, que podem limitar seu crescimento ou afetar sua estrutura (de Mattos et al., 2012).

2.3 Séries temporais

Séries temporais são um conjunto de observações feitas ao longo do tempo. É utilizada em modelos matemáticos probabilísticos, tanto para regressão quanto para previsão; análises estatísticas específicas como média, desvio padrão, variância, correlação; a fim de encontrar, em algum processo estocástico, análises que expliquem o porque das medidas observadas, o porque de seu comportamento num futuro, e até encontrar periodicidades. A série temporal é utilizada nos mais amplos campos do conhecimento científico como na meteorologia, economia, biologia e etc (Moraes et al., 2011).

Os dados observados em uma série temporal revelam comportamentos da mesma ao longo do tempo. Desses movimentos característicos, estão: a componente tendencial que é um movimento evolutivo, repassando a influência dos fatores que formam o fenômeno em sua intensidade aumentada ou diminuída; a componente sazonal conhecida como um movimento oscilatório de curta duração, que transmite a influência de fatores com atuação periódica, em aumentar ou diminuir a intensidade do fenômeno; a componente cíclica que é o movimento oscilatório de longa duração que é influenciada por fatores aleatórios; e a componente aleatória que é um movimento oscilatório de curta duração e de grande grau de instabilidade e indica a influência de fatores casuais.

A decomposição das séries permite identificar quais as componentes que estão atuando naquele conjunto de dados, além de possibilitar a determinação de índices ou equações para realizar previsões para períodos futuros da série (Reis, 2013).

Quando a série temporal está demonstrando uma mudança significativa durante algum tempo, é preciso analisá-la sobre a interferência de fatores externos, estas chamadas de tendência. A tendência apresenta o comportamento da variável retratada ao longo do

tempo. Existem três objetivos básicos na sua identificação: avaliar o seu comportamento para utilizá-lo em previsões, removê-la da série para facilitar a visualização das outras componentes, ou ainda identificar o nível da série (ou valor) que a variável pode assumir se não for observado comportamento crescente ou decrescente no longo prazo (Reis, 2013). As tendências são classificadas em: lineares, onde algo está a crescer ou diminuir de forma praticamente estável; logarítmica, onde algo cresce ou diminui rápido e em seguida estabiliza; polinomial, há flutuações dos dados; potência, aumento dos dados numa taxa específica, sendo que não se podem ter dados iguais a zero e de valores negativos; exponencial, os dados aumentam e diminuem a uma percentagem a passar do tempo, mais altas; média móvel, que suaviza as flutuações dos dados e ainda mostra uma tendência com mais clareza dependendo dos números de intervalos que se escolhe.

A obtenção da tendência, da forma clássica, pode ser feita de três formas: através de um modelo de regressão, através de médias móveis, ou através de ajuste exponencial (Reis, 2013). Algumas vezes, estas tendências são camufladas por flutuações que fazem da série ser difícil de detectar se nelas ocorre ciclos. Por isso, é necessário a série passar por algum filtro, fazendo com que essas variabilidades sejam reduzidas. Um filtro bastante usado é a média móvel. Ela permite analisar possíveis flutuações aleatórias e verificar se a média aumenta ou diminui em relação ao período anterior.

Além disto, costuma-se utilizar a regressão nas séries temporais. A regressão tende a relacionar a interação de uma variável dependente com alguma variável específica. Um dos mais utilizados é o método dos mínimos quadrados.

Existe outras análises diferentes do modelo clássico, estes são os modelos Auto-Regressivos (AR), os modelos de Médias Móveis Auto-Regressivos de (ARMA) e os

modelos de Médias Móveis Integrados Auto-Regressivos (ARIMA). O ARMA é utilizado para o ajuste de funções, com base nos valores passados e na sua média da série. O ARIMA é utilizado na modelagem para previsões destas séries temporais (Davila, 2008).

Para melhor interpretação das séries temporais, existe uma análise estatística conhecida como Análise Espectral. Ela é fundamentada em uma função real positiva de frequência variável relacionada a um processo estocástico, ou uma função determinística do tempo. Em suma, ela captura na frequência do processo estocástico e identifica as periodicidades de algum fenômeno que se está estudando. Um dos métodos de análise é o ARIST (Análise por regressão iterativa de séries temporais). Sua fundamentação se é dada em utilizar uma função senoidal simples em conjunto com três parâmetros conhecidos, a amplitude, frequência angular, e a fase da função, sendo seu sinal medido no tempo através de interações a procura destes parâmetros (Nordemann, 1998; Rigozo, 1999).

3 – Materiais e Métodos

Para este trabalho foram analisadas as quarenta e três amostras de árvores, de *Araucaria angustifolia*, coletadas em Coxilha, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). A região da coleta se encontra aproximadamente a uma longitude de 52° 18'O e latitude de 28° 09'S, em uma altitude de 702 metros, todas as amostras colhidas em 26 de janeiro de 2011 (Tabela 1).



Figura 1. A imagem apresenta as quarenta e três amostras de *Araucaria angustifolia* utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

Tabela 1- Região da coleta das amostras de árvores

<i>Local de Coleta</i>	<i>Localização</i>	<i>Espécie Coletada</i>	<i>Nº de Árvores Analisadas</i>	<i>Nº de Amostras Analisadas</i>	<i>Ano da Coleta</i>
Coxilha - RS	Longitude de 52° 18' O e Latitude de 28° 09' S	<i>Araucaria angustifolia</i>	11	43	2011

Na primeira parte do trabalho, as amostras foram submetidas a contagem e a determinação dos anéis, verdadeiros ou falsos, afim de uma datação cronológica mais exata possível.

Logo após, foi realizada a medição das espessuras dos anéis de crescimento, das amostras coletadas, feito através de dois métodos. No primeiro método, ocorreu à digitalização das amostras utilizando um scanner de mesa de alta resolução. Quando digitalizamos as imagens, elas perdem seu tamanho real, por isso colocamos uma régua ao lado da amostra para que quando fossem analisadas, poderíamos ir variando a resolução sem perder o tamanho real da amostra, para adequar a melhor maneira de se enxergar os anéis. Para este trabalho utilizamos a resolução de 600 dpi, e as imagens salvas em formato de arquivo bmp, como segue o exemplo da Figura 2.



Figura 2. A imagem apresenta uma das quarenta e três amostras de árvores digitalizadas pelo scanner de mesa de alta resolução, coletadas em Coxilha, no estado do Rio Grande do Sul.

Através do uso da ferramenta computacional “*Image Tool*”, foram medidas as espessuras dos anéis. Com a ajuda da régua digitalizada ao lado da amostra, é possível transformar o pixel em milímetros para obter as séries temporais, através da calibração feita no mesmo programa, como é apresentado na Figura 3.

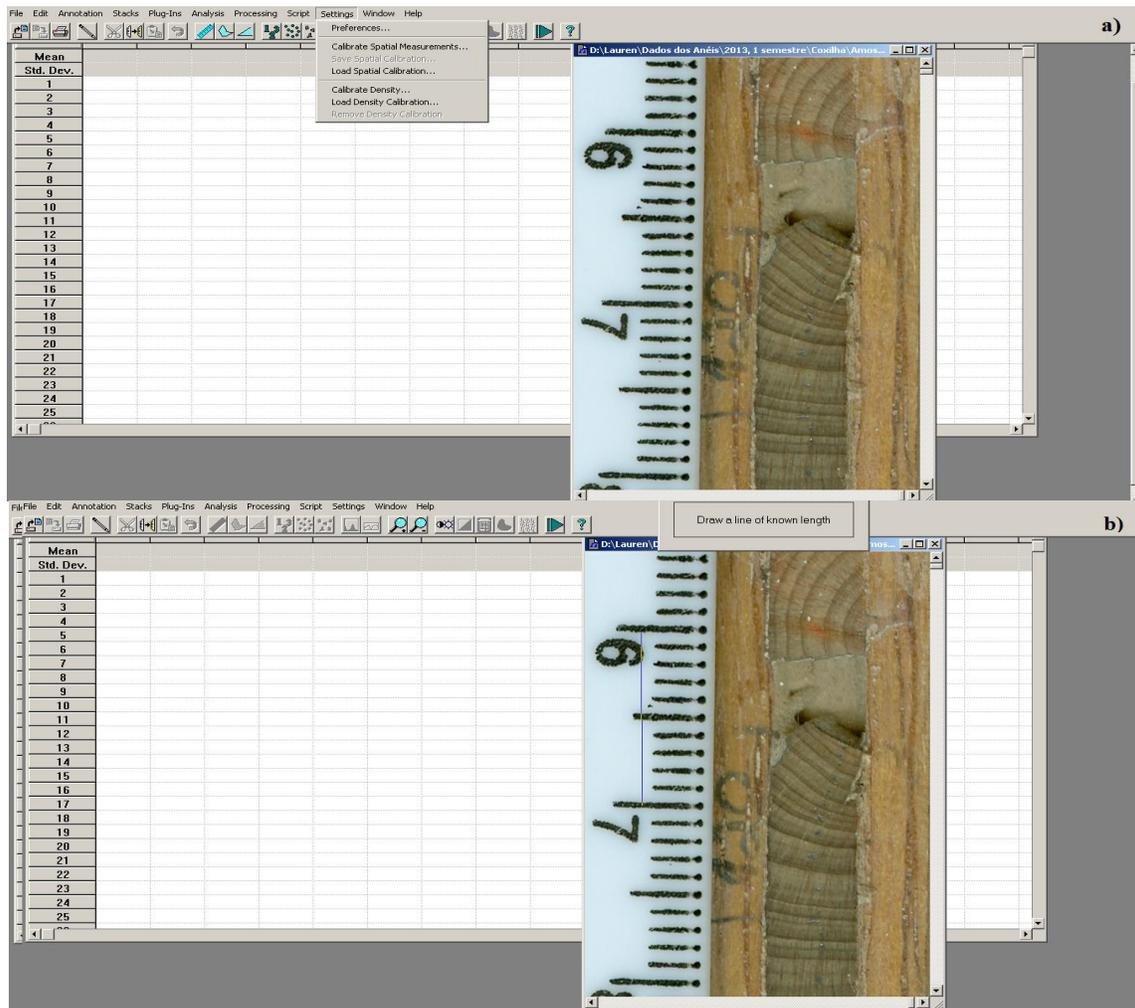


Figura 3. Imagem mostra o programa “*Image Tool*” com a imagem de uma amostra ao lado da régua a) utilizando a ferramenta *settings* para calibração espacial; b) realizando a medição do tamanho da régua para ajustar-se a amostra desconfigurada pela digitalização; c) assentando o valor real da medida com o da imagem; d) utilizando a ferramenta *distance* para medir o tamanho da espessura dos anéis.

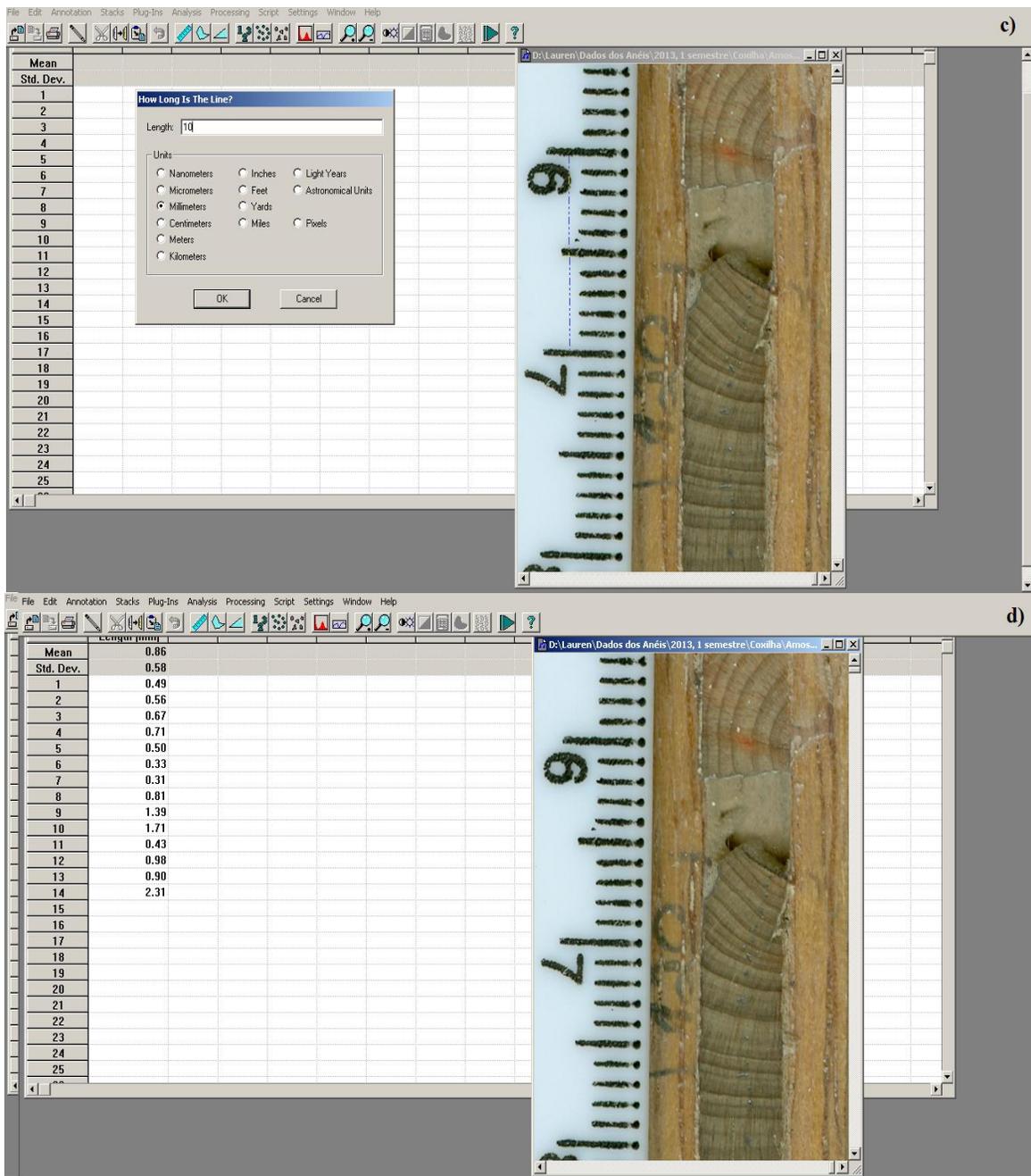


Figura 3. Continuação

No segundo método, utilizando uma mesa medidora Velmex® acoplado a um estereomicroscópio (Figura 4), foram medidas o anel anual, o lenho inicial (ou primaveril) e

o lenho tardio (ou outonal) para cada amostra. Todo este equipamento de medição foi usado em conjunto com o software MeasureJ2x (Figura 5).

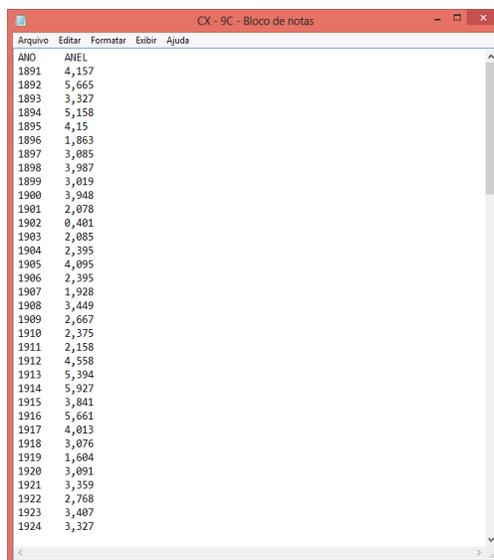


Figura 4. Imagem do estereomicroscópio e da mesa de medição Velmetr®

Engler	Measurement	Date
0,294	0,294	
15,620	15,234	
16,501	0,963	
25,804	9,023	
26,309	0,785	
37,820	11,431	
38,154	0,334	
48,248	18,094	
49,074	0,826	
81,126	12,052	
81,820	0,702	
72,442	18,814	
73,168	0,728	
83,215	18,047	
84,075	0,880	
83,821	9,548	
84,109	0,488	
103,529	8,420	
104,003	0,474	
113,889	9,886	
114,067	0,398	
120,888	8,821	
121,258	0,420	
128,571	8,883	
128,547	0,376	
133,908	5,362	
134,097	0,188	
144,438	11,438	

Figura 5. O software MeasureJ2x utilizado em parceria com a mesa de medição Velmetr® e o estereomicroscópio, para a medição das espessuras dos anéis de crescimento.

Em seguida, as medidas das espessuras dos anéis de crescimento foram salvas em arquivos texto (.txt) e abertas no bloco de notas (Figura 6).



The image shows a Notepad window titled "CX - 9C - Bloco de notas". The window contains a list of years and their corresponding thickness measurements in millimeters. The data is as follows:

ANO	ANEL
1891	4,157
1892	5,665
1893	3,327
1894	5,158
1895	4,15
1896	1,863
1897	3,085
1898	3,987
1899	3,019
1900	3,948
1901	2,078
1902	0,401
1903	2,085
1904	2,395
1905	4,095
1906	2,395
1907	1,928
1908	3,449
1909	2,667
1910	2,375
1911	2,158
1912	4,558
1913	5,394
1914	5,927
1915	3,841
1916	5,661
1917	4,013
1918	3,076
1919	1,604
1920	3,091
1921	3,359
1922	2,768
1923	3,407
1924	3,327

Figura 6. A imagem mostra a série de espessuras (mm) de alguma amostra medida salva um arquivo .txt aberto no bloco de notas.

Aplicando a ferramenta computacional “Microsoft Office *Excel*”, foram feitos os gráficos das espessuras (mm) relacionando com o tempo (ano), de cada amostra de árvore combinando os dados dos dois métodos de medição, para a representação visual destas cronologias, obtendo três séries temporais. Analisando estes gráficos gerados a partir dos dados do anel inteiro, lenho inicial e lenho tardio, determina-se um comportamento desta variável ao longo do tempo, que pode ser representado através de uma função matemática. Isto é a regressão, método estatístico que tenta ajustar uma equação matemática a um conjunto de dados para que descreva as variáveis matematicamente.

No caso deste trabalho, ocorre a análise gráfica de cada uma das amostras, para a sua respectiva classificação através de seu comportamento tendencial entre funções lineares,

exponenciais, logarítmicas, polinomiais, ou de potência. Após esta classificação, encontra-se a equação que representa sua variação no espaço temporal, utilizando a linha de regressão. A linha de regressão é usada para filtrar alguma tendência que possa ter interferido nas amostras em seu período de crescimento. Ela é encontrada a partir dos pontos de dados dispersos nos gráficos feitos. A partir dos valores encontrados através da equação da linha de tendência, subtraímos estes valores da série original, para que por fim obtemos uma série cronológica livre da interferência de fatores que possam ter prejudicado ou auxiliado no crescimento destas árvores.

Por fim, utilizamos a ferramenta estatística da correlação, entre as séries novas do anel de crescimento, lenho inicial e lenho tardio, para com as médias anuais da precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima a fim de encontrar uma relação entre estas variáveis, verificando os valores com a componente tendencial com os valores sem a componente tendencial. A série de dados de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima foram obtidas através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 7). As informações meteorológicas selecionadas para esse trabalho foram obtidas da estação meteorológica de Passo Fundo e da estação meteorológica de Lagoa Vermelha, ambas interpoladas para completar falhas nas séries.

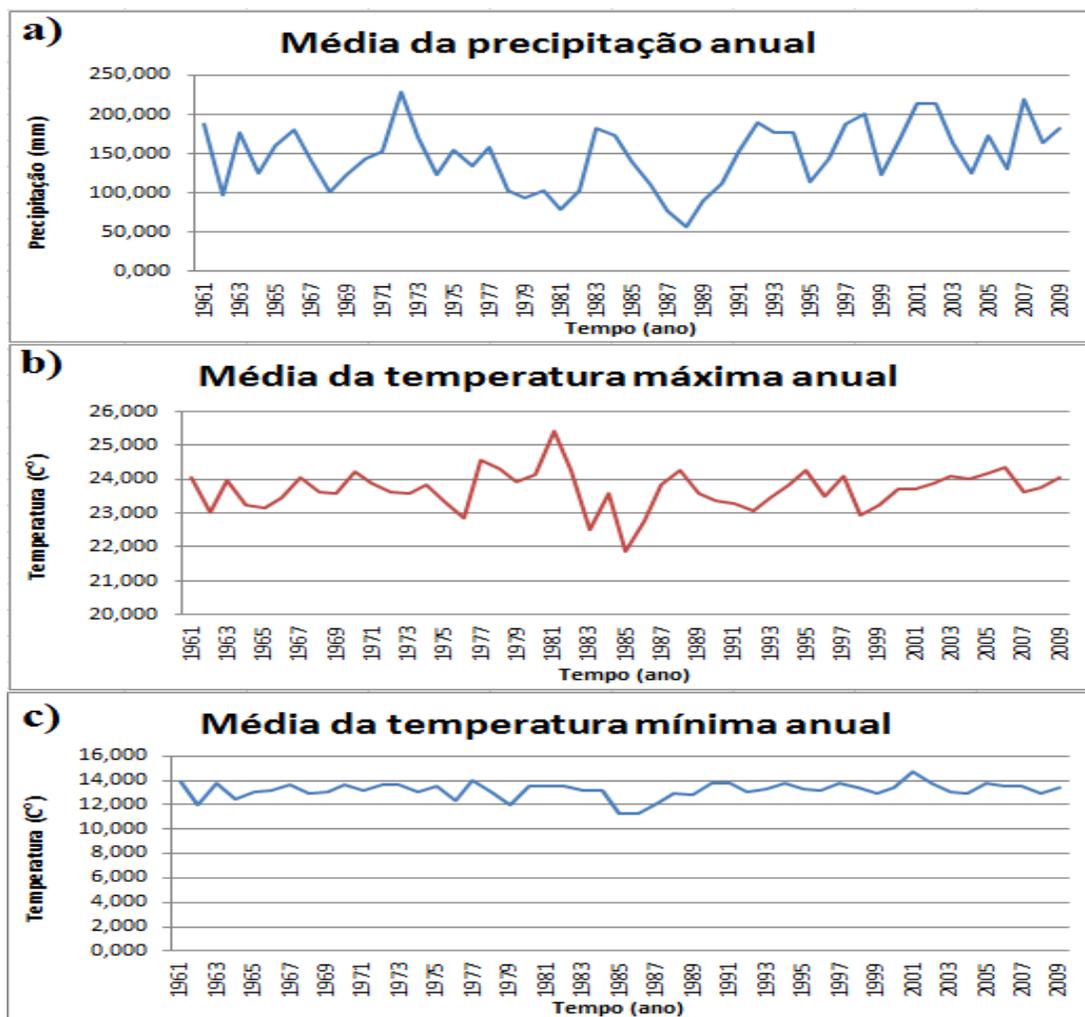


Figura 7. Série de dados de a) precipitação, b) temperatura máxima e c) temperatura mínima, interpoladas a partir das estações meteorológicas de Passo Fundo e Lagoa Vermelha, utilizados no desenvolvimento desse trabalho, obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4 – Resultados

Nas quarenta e três amostras coletas e analisadas, foi realizada a medida da espessura dos anéis (anel anual, lenho inicial e lenho tardio), obtendo três séries temporais.

Com o trabalho feito, obtiveram-se os gráficos dos dados colhidos de cada amostra de árvore, relacionando a espessura com o número de anéis, tendo por fim suas cronologias (Figuras 8, 9 e 10).

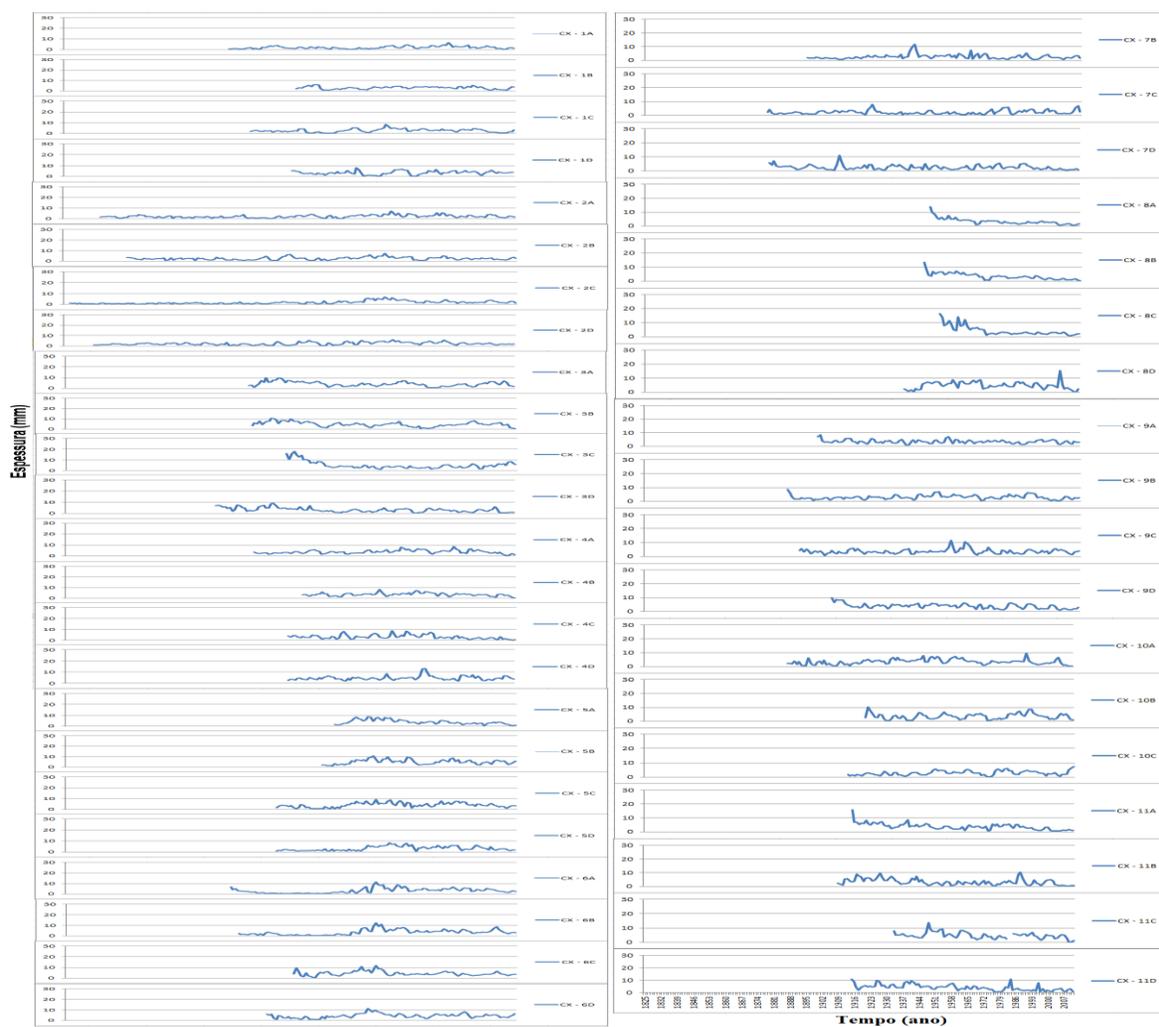


Figura 8. Gráficos feitos no “Microsoft Office *Excel*” a partir dos dados obtidos no trabalho, relacionando a espessura (mm) do anel de crescimento com relação ao tempo (ano) obtendo sua respectiva cronologia.

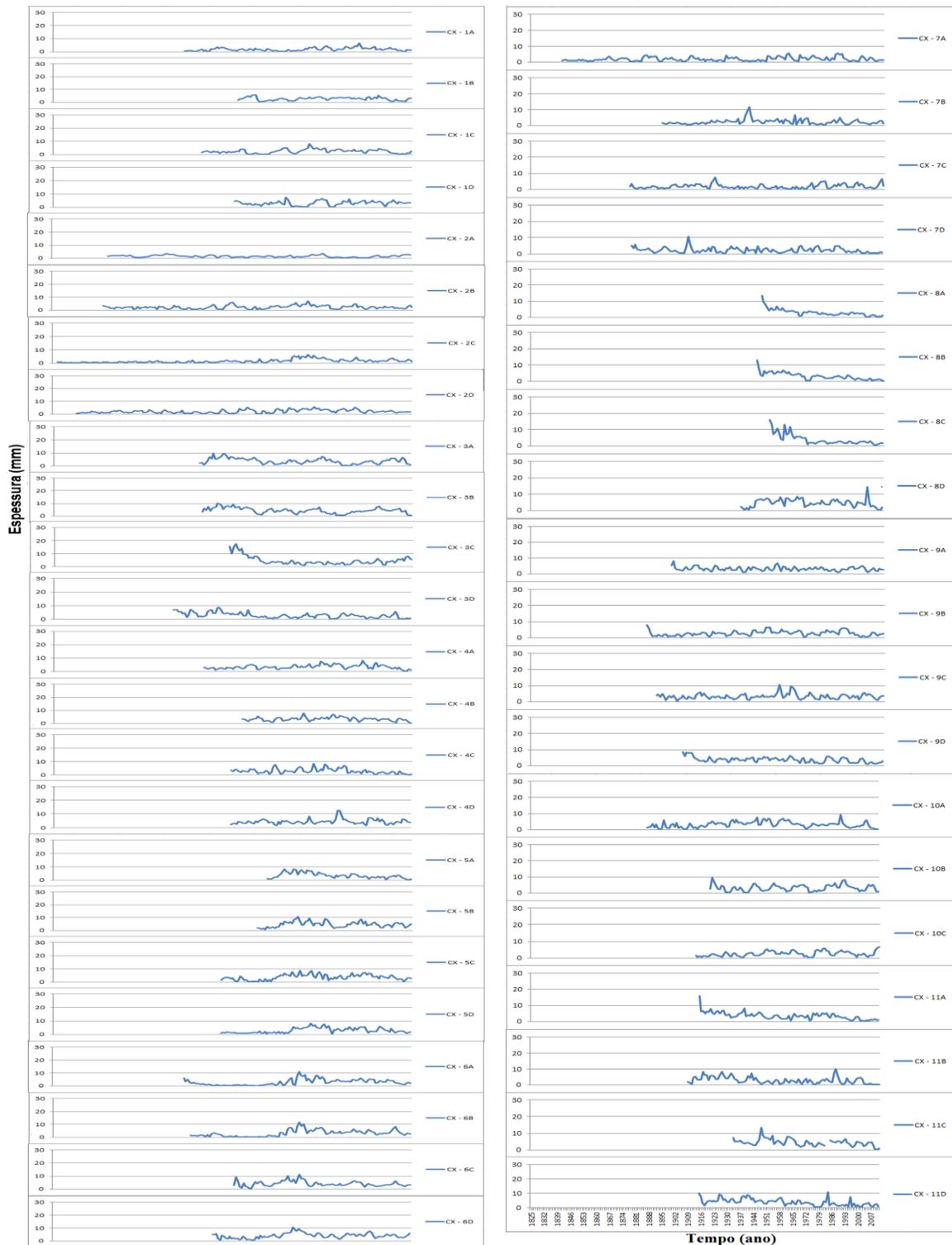


Figura 9. Gráficos feitos no “Microsoft Office *Excel*” a partir dos dados obtidos no trabalho, relacionando a espessura (mm) do lenho inicial com relação ao tempo (ano) obtendo sua respectiva cronologia.

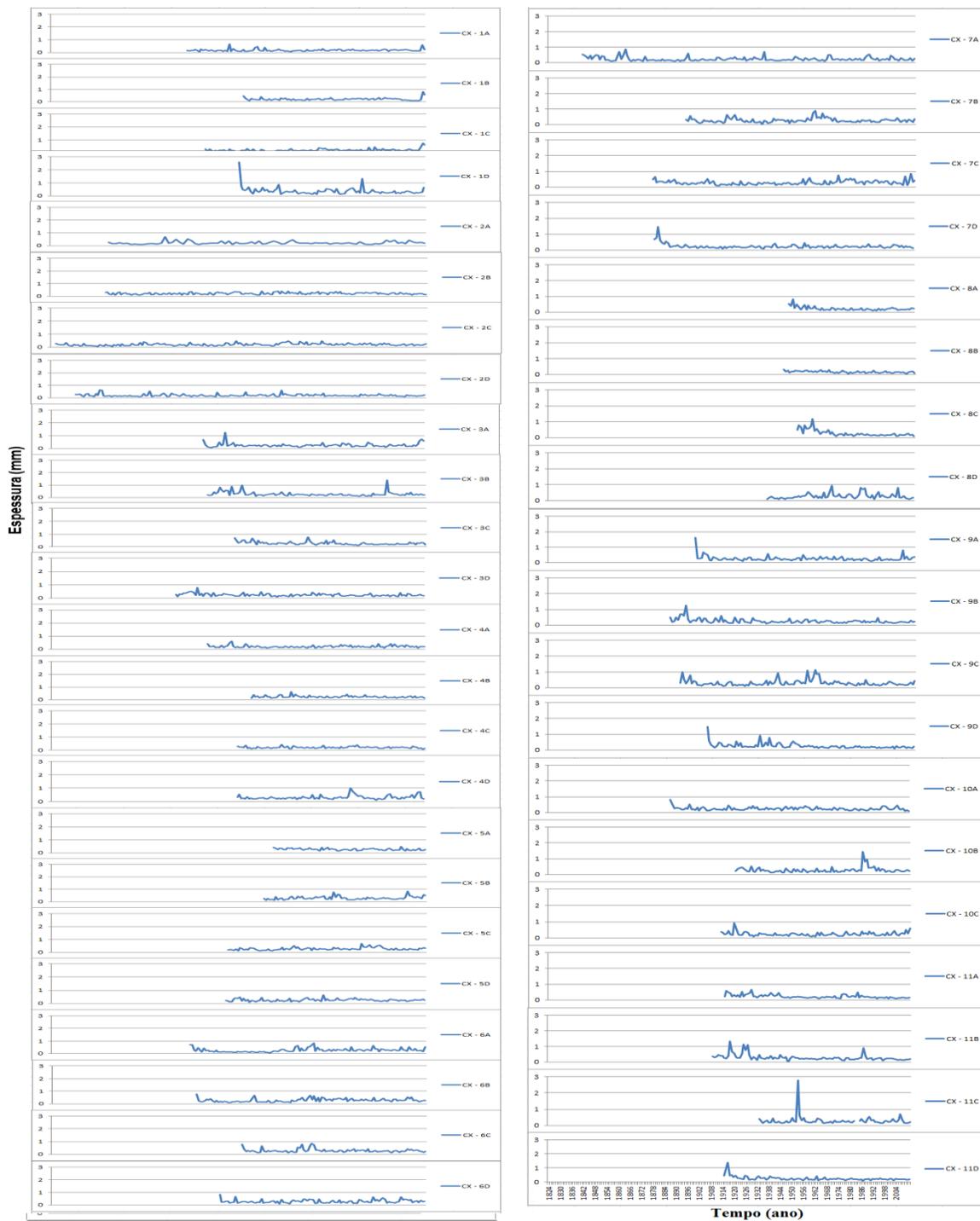


Figura 10. Gráficos feitos no “Microsoft Office Excel” a partir dos dados obtidos no trabalho, relacionando a espessura (mm) do lenho tardio com relação ao tempo (ano) obtendo sua respectiva cronologia.

Nas Tabelas 2, 3 e 4 apresentam o número de anel de crescimento, lenho inicial e lenho tardio, respectivamente, e o seu ano de cultivo a partir do ano da coleta, além da média de por amostras de árvore. Para uma datação mais próxima da exata, para cada árvore, o ideal é ter quatro amostras por árvore.

Tabela 2 – Apresenta o ano de cultivo, número de anéis encontrados nas amostras e uma média destes, para o anel anual.

<i>Árvore</i>	<i>Número de amostras por árvore</i>	<i>Ano</i>	<i>Número de Anéis</i>	<i>Média de Anéis</i>
CX – 1	4	1891	A= 119	103,25
		1919	B= 91	
		1900	C= 110	
		1917	D= 93	
CX – 2	4	1838	A= 172	173,25
		1849	B= 161	
		1925	C= 185	
		1835	D= 175	
CX – 3	4	1899	A= 111	110,5
		1902	B= 110	
		1914	C= 96	
		1885	D= 125	
CX – 4	4	1901	A= 109	97
		1921	B= 89	
		1915	C= 95	
		1915	D= 95	

Tabela 2 – Continuação

CX – 5	4	1934	A= 76	89,25
		1929	B= 81	
		1910	C= 100	
		1910	D= 100	
CX – 6	4	1891	A= 119	108
		1894	B= 116	
		1917	C= 93	
		1906	D= 104	
CX – 7	4	1839	A= 171	139,5
		1892	B= 118	
		1875	C= 135	
		1876	D= 134	
CX – 8	4	1945	A= 65	67,5
		1942	B= 68	
		1949	C= 61	
		1934	D= 76	
CX – 9	4	1897	A= 113	116,75
		1884	B= 126	
		1889	C= 121	
		1903	D= 107	

Tabela 2 – Continuação

CX – 10	3	1885	A= 125	105
			B= 91	
		1911	C= 99	
CX - 11	4	1913	A= 97	94
		1907	B= 103	
		1931	C= 79	
		1913	D= 97	

Tabela 3 – Apresenta o ano de cultivo, número de anéis encontrados nas amostras e uma média destes, para o lenho inicial.

<i>Árvore</i>	<i>Número de amostras por árvore</i>	<i>Ano</i>	<i>Número de Anéis</i>	<i>Média de Anéis</i>
CX – 1	4	1891	A= 119	103,25
		1919	B= 91	
		1900	C= 110	
		1917	D= 93	
CX – 2	4	1838	A= 172	173,25
		1849	B= 161	
		1925	C= 185	
		1835	D= 175	
CX – 3	4	1899	A= 111	110,5
		1902	B= 110	
		1914	C= 96	
		1885	D= 125	

Tabela 3 – Continuação

CX – 4	4	1901	A= 109	97
		1921	B= 89	
		1915	C= 95	
		1915	D= 95	
CX – 5	4	1934	A= 76	89,25
		1929	B= 81	
		1910	C= 100	
		1910	D= 100	
CX – 6	4	1891	A= 119	108
		1894	B= 116	
		1917	C= 93	
		1906	D= 104	
CX – 7	4	1839	A= 171	139,5
		1892	B= 118	
		1875	C= 135	
		1876	D= 134	
CX – 8	4	1945	A= 65	67,5
		1942	B= 68	
		1949	C= 61	
		1934	D= 76	
CX – 9	4	1897	A= 113	116,75
		1884	B= 126	
		1889	C= 121	
		1903	D= 107	

Tabela 3 – Continuação

CX – 10	3	1885	A= 125	105
		1919	B= 91	
		1911	C= 99	
CX - 11	4	1913	A= 97	94
		1907	B= 103	
		1931	C= 79	
		1913	D= 97	

Tabela 4 – Apresenta o ano de cultivo, número de anéis encontrados nas amostras e uma média destes, para o lenho tardio.

<i>Árvore</i>	<i>Número de amostras por árvore</i>	<i>Ano</i>	<i>Número de Anéis</i>	<i>Média de Anéis</i>
CX – 1	4	1890	A= 120	104,25
		1918	B= 92	
		1899	C= 111	
		1916	D= 94	
CX – 2	4	1837	A= 173	174
		1849	B= 161	
		1924	C= 186	
		1834	D= 176	

Tabela 4 – Continuação

CX – 3	4	1898	A= 112	111,25
		1902	B= 110	
		1913	C= 97	
		1884	D= 126	
CX – 4	4	1900	A= 110	97,25
		1921	B= 89	
		1915	C= 95	
		1915	D= 95	
CX – 5	4	1933	A= 77	90
		1928	B= 82	
		1910	C= 100	
		1909	D= 101	
CX – 6	4	1891	A= 119	108
		1894	B= 116	
		1917	C= 93	
		1906	D= 104	
CX – 7	4	1839	A= 171	139,5
		1892	B= 118	
		1875	C= 135	
		1876	D= 134	
CX – 8	4	1945	A= 65	67,5
		1942	B= 68	
		1949	C= 61	
		1934	D= 76	

Tabela 4 – Continuação

CX – 9	4	1897	A= 113	116,75
		1884	B= 126	
		1889	C= 121	
		1903	D= 107	
CX – 10	3	1885	A= 125	105
		1919	B= 91	
		1911	C= 99	
CX - 11	4	1913	A= 97	94
		1907	B= 103	
		1931	C= 79	
		1913	D= 97	

Além disso, determinou-se o intervalo de tempo entre as amostras. Encontraram-se cento e vinte e cinco anos de diferenças entre a idade máxima encontrada no ano de 1824 com cento e oitenta seis anéis e a idade mínima no ano de 1949 com sessenta e um anéis, nas amostras.

Nas figuras 11, 12 e 13, apresentam as series de dados sem o comportamento tendencial, subtraído a partir da série de dados originais, pelos valores encontrados através da linha de regressão. A correlação foi feita com a série ainda com o comportamento tendencial (Tabela 5) e sem o comportamento tendencial (Tabela 6).

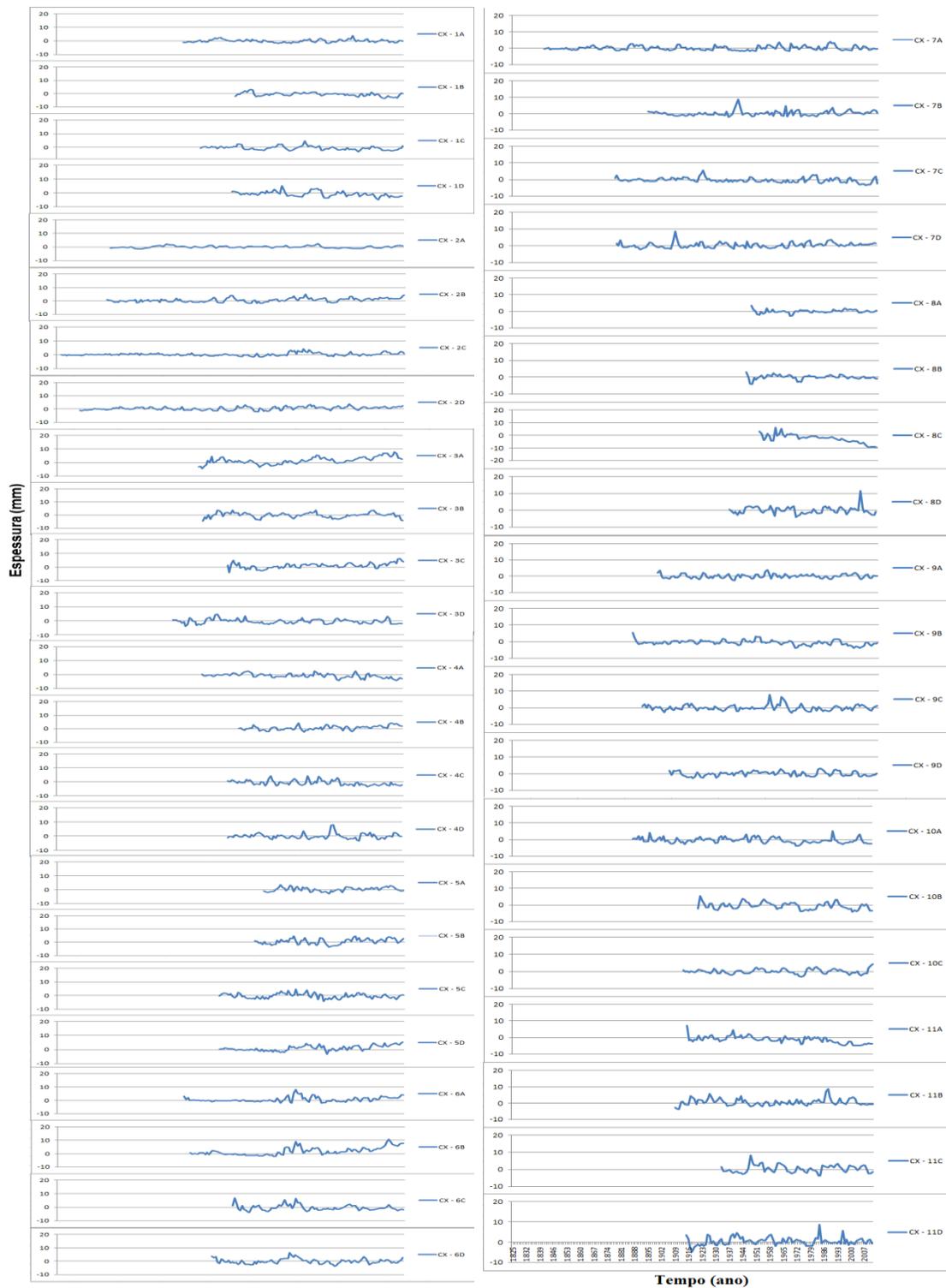


Figura 11. A imagem apresenta os gráficos das novas séries cronológicas do anel de crescimento obtidos a partir da linha de regressão determinada pela análise gráfica da componente tendencial.

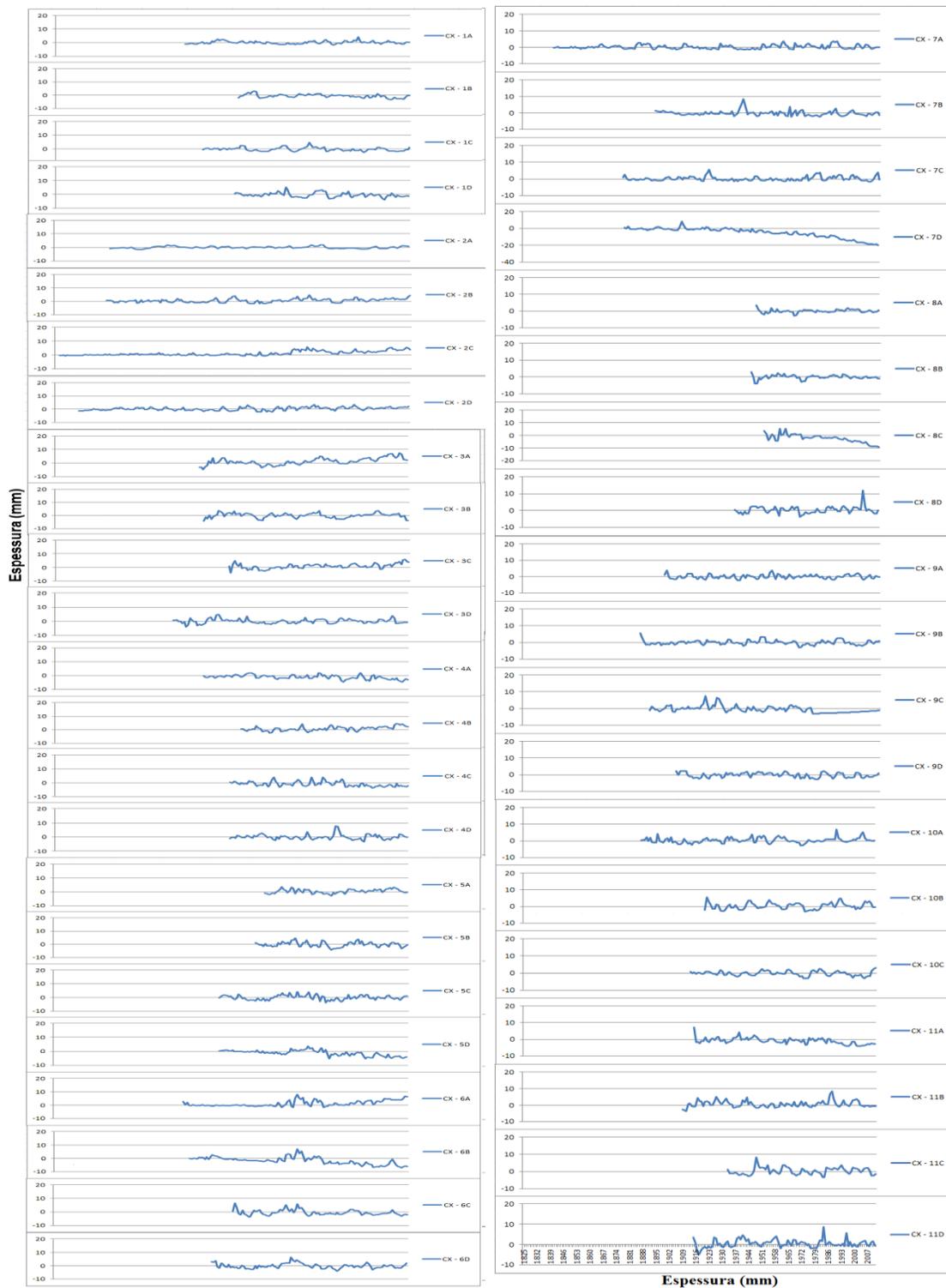


Figura 12. A imagem apresenta os gráficos das novas séries cronológicas do lenho inicial obtido a partir da linha de regressão determinada pela análise gráfica da componente tendencial.

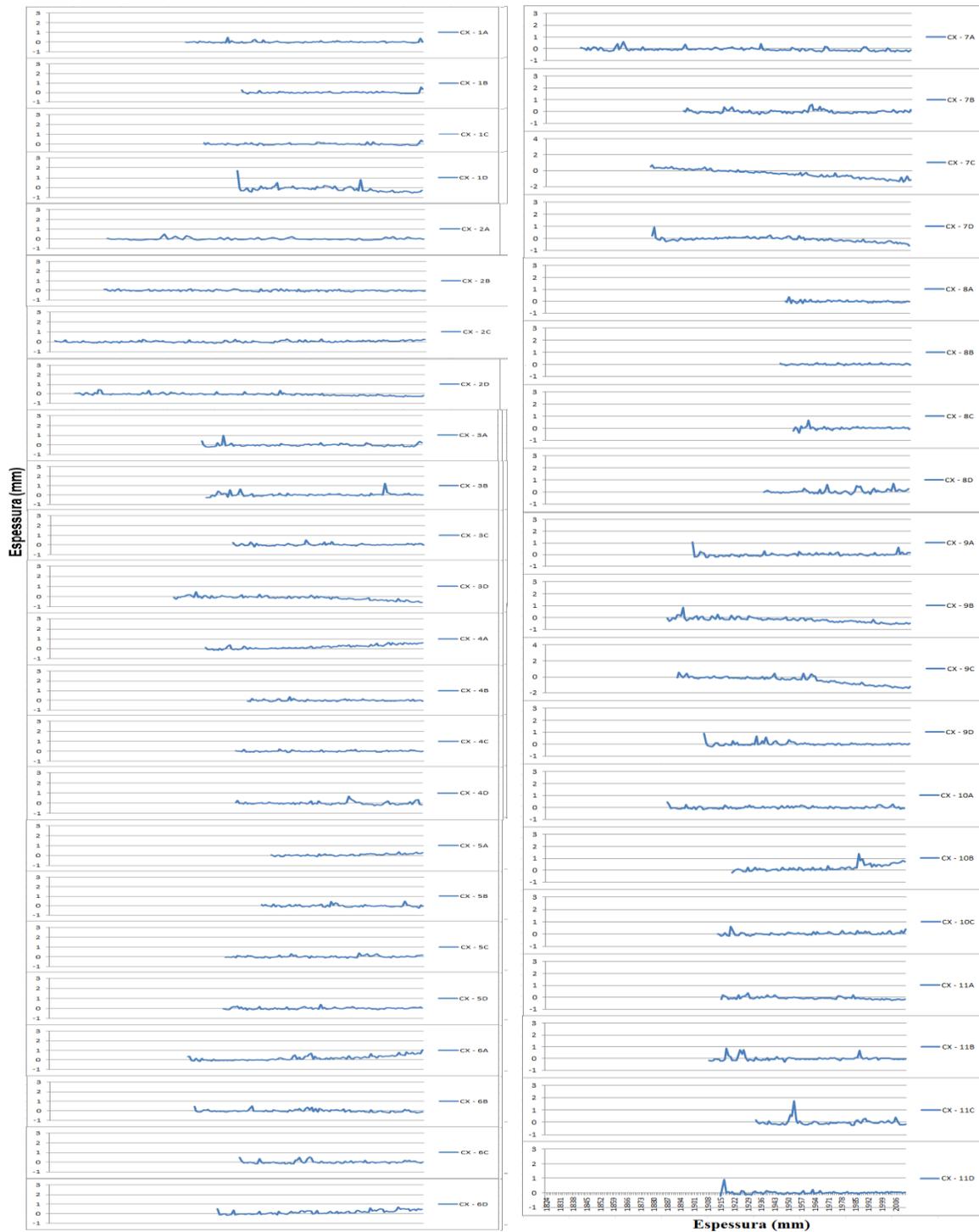


Figura 13. A imagem apresenta os gráficos das novas séries cronológicas do lenho tardio obtido a partir da linha de regressão determinada pela análise gráfica da componente tendencial.

Tabela 5 – Apresenta os valores de correlações encontrados das séries temporais do anel anual, lenho inicial e lenho tardio em função da precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, com a componente tendencial.

Amostra	Precipitação	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
CX - 1A	-0,27	-0,16	-0,11
CX - 1B	-0,15	-0,07	-0,10
CX - 1C	-0,19	0,03	-0,04
CX - 1D	0,13	-0,20	-0,04
CX - 2A	-0,07	0,05	0,15
CX - 2B	-0,17	0,04	-0,06
CX - 2C	0,09	-0,01	0,07
CX - 2D	-0,28	0,28	0,03
CX - 3A	0,11	-0,01	0,05
CX - 3B	-0,03	-0,07	0,05
CX - 3C	0,23	0,13	0,15
CX - 3D	0,09	0,04	0,19
CX - 4A	-0,04	-0,29	-0,13
CX - 4B	-0,25	-0,13	-0,25
CX - 4C	-0,11	-0,12	-0,19
CX - 4D	0,16	0,09	0,19
CX - 5A	-0,08	0,08	-0,02
CX - 5B	-0,05	-0,18	-0,14
CX - 5C	-0,31	-0,20	-0,38
CX - 5D	0,04	-0,20	-0,12
CX - 6A	-0,16	-0,07	-0,03
CX - 6B	-0,11	0,06	0,03
CX - 6C	-0,14	0,29	0,14
CX - 6D	-0,35	0,03	-0,18
CX - 7A	0,00	-0,32	-0,41
CX - 7B	-0,18	-0,35	-0,47
CX - 7C	-0,04	0,00	-0,10
CX - 7D	-0,21	-0,21	-0,31
CX - 8A	-0,24	0,05	-0,07
CX - 8B	-0,07	-0,31	-0,18
CX - 8C	0,05	-0,19	-0,09
CX - 8D	0,13	-0,25	0,15
CX - 9A	0,16	-0,12	0,08

Tabela 5 – Continuação

CX - 9B	-0,49	-0,01	-0,40
CX - 9C	-0,01	0,02	-0,01
CX - 9D	-0,38	0,21	-0,09
CX - 10A	-0,23	-0,16	-0,20
CX - 10B	-0,26	-0,18	-0,19
CX - 10C	-0,28	0,07	-0,13
CX - 11A	-0,43	-0,01	-0,30
CX - 11B	-0,17	-0,39	-0,58
CX - 11C	-0,12	-0,17	-0,12
CX - 11C	-0,03	0,14	0,09
Precipitação	1,00	-0,19	0,50
Temperatura Máxima	-0,19	1,00	0,51
Temperatura Mínima	0,50	0,51	1,00

Tabela 6 – Apresenta os valores de correlações encontrados das séries temporais do anel anual, lenho inicial e lenho tardio em função da precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, sem a componente tendencial.

Amostra	Precipitação	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
CX - 1A	-0,17	-0,13	-0,05
CX - 1B	-0,08	-0,03	-0,07
CX - 1C	0,02	0,13	0,09
CX - 1D	0,02	-0,21	-0,09
CX - 2A	0,11	0,12	0,27
CX - 2B	0,05	0,17	0,15
CX - 2C	0,28	0,06	0,18
CX - 2D	-0,08	0,43	0,18
CX - 3A	0,17	0,02	0,10
CX - 3B	-0,04	-0,15	-0,07
CX - 3C	0,25	0,15	0,16
CX - 3D	0,09	0,04	0,19
CX - 4A	0,08	-0,29	-0,09
CX - 4B	0,12	0,00	-0,05
CX - 4C	-0,02	-0,10	-0,16
CX - 4D	0,22	0,11	0,22
CX - 5A	0,06	0,11	0,08

Tabela 6 – Continuação

CX - 5B	0,04	-0,14	-0,07
CX - 5C	-0,15	-0,14	-0,32
CX - 5D	0,42	-0,03	0,11
CX - 6A	0,26	0,09	0,19
CX - 6B	0,24	0,15	0,19
CX - 6C	-0,18	0,25	0,11
CX - 6D	-0,22	0,07	-0,11
CX - 7A	0,03	-0,31	-0,40
CX - 7B	-0,11	-0,33	-0,42
CX - 7C	-0,17	-0,05	-0,17
CX - 7D	-0,02	-0,17	-0,24
CX - 8A	-0,12	0,14	0,03
CX - 8B	0,05	-0,35	-0,15
CX - 8C	-0,27	-0,18	-0,20
CX - 8D	0,25	-0,23	0,22
CX - 9A	0,18	-0,11	0,09
CX - 9B	-0,43	0,02	-0,37
CX - 9C	0,07	0,05	0,04
CX - 9D	-0,37	0,23	-0,08
CX - 10A	-0,12	-0,12	-0,14
CX - 10B	-0,26	-0,18	-0,20
CX - 10C	-0,27	0,07	-0,13
CX - 11A	-0,38	0,00	-0,28
CX - 11B	-0,14	-0,38	-0,56
CX - 11C	0,08	-0,30	-0,12
CX - 11C	0,02	0,17	0,13
Precipitação	1,00	-0,19	0,50
Temperatura Máxima	-0,19	1,00	0,51
Temperatura Mínima	0,50	0,51	1,00

Analisando os resultados, nota-se que há uma melhora nos valores de correlação, quando se compara as series de dados em que existe uma influência de tendência para uma série sem a componente de tendência, diminuindo a anti-correlação e aumentando a correlação. Porém estes valores não são satisfatórios, pois ainda são baixos, se considerarmos um nível de correlação aceitável de 0,6 para mais. Entretanto, podemos

observar que existe uma resposta significativa do anel anual com valores de temperatura máxima, do lenho inicial com a temperatura máxima e do lenho tardio com a temperatura mínima.

Para um trabalho futuro, pode-se tentar melhorar estes valores, correlacionando o anel anual e o lenho inicial a partir de uma série de dados meteorológicos com valores da temperatura máxima média para somente os meses de primavera e verão, e também correlacionar o lenho tardio a partir de uma série de valores com a temperatura mínima média para somente os meses de outono e inverno, a fim de encontrar valores com um nível de significância alto, para tentar reescrever períodos passados das series de temperatura máxima e temperatura mínima, ou ainda tentar fazer uma previsão para estas variáveis.

5 – Conclusões

A partir das quarenta e três amostras analisadas de *Araucaria angustifolia*, colhidas no município de Coxilha, situada no estado do Rio Grande do Sul, determinou-se a medida da espessura do anel de crescimento, lenho inicial e lenho tardio, através de dois métodos combinados. O primeiro utilizando um escâner de mesa de alta resolução associado ao uso do software “*Image Tool*”, e o segundo utilizando a mesa de medição Velmex® acoplado a um esteromicroscópio em conjunto com o software “*MeasureJ2x*”. A partir disto, obtiveram-se os gráficos das espessuras relacionando com o tempo, combinando os dados dos dois métodos de medição, para a representação visual destas cronologias.

Através disso, pode-se determinar o intervalo de tempo entre as amostras, encontrando cento e vinte e cinco anos de diferenças, entre a idade máxima encontrada no ano de 1824 com cento e oitenta seis anéis, e a idade mínima no ano de 1949 com sessenta e um anéis.

Analisando os gráficos dos dados, definiu-se o comportamento tendencial da amostra ao longo do tempo, que é representado através de funções matemáticas. Encontra-se a equação que representa a variação no espaço temporal, utilizando a linha de regressão. A partir dos valores encontrados através da equação da linha de regressão, subtraíram-se estes valores da série original, para que por fim obtemos uma série cronológica livre da interferência de fatores que possam ter prejudicado ou auxiliado no crescimento destas árvores.

Por fim, utilizou-se outra ferramenta estatística, a correlação a fim de encontrar uma relação entre as variáveis entre as novas séries do anel de crescimento, lenho inicial e lenho

tardio, correlacionamos com as médias anuais da precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima. Da série de dados com o comportamento de tendência:

- Anel anual correlacionado: com a precipitação variou de -0,49 a 0,23; com a temperatura máxima variou de -0,39 a 0,29; e com a temperatura mínima variou de -0,58 a 0,19;
- Lenho inicial correlacionado: com a precipitação variou de -0,49 a 0,22; com a temperatura máxima variou de -0,37 a 0,29; e com a temperatura mínima variou de -0,57 a 0,18;
- Lenho tardio correlacionado: com a precipitação variou de -0,33 a 0,38; com a temperatura máxima variou de -0,55 a 0,28; e com a temperatura mínima variou de -0,60 a 0,32.

A série de dados sem o comportamento de tendência:

- Anel anual correlacionado: com a precipitação variou de -0,43 a 0,42; com a temperatura máxima variou de -0,38 a 0,43; e com a temperatura mínima variou de -0,56 a 0,27;
- Lenho inicial correlacionado: com a precipitação variou de -0,37 a 0,37; com a temperatura máxima variou de -0,36 a 0,43; e com a temperatura mínima variou de -0,56 a 0,26;
- Lenho tardio correlacionado: com a precipitação variou de -0,35 a 0,44; com a temperatura máxima variou de -0,54 a 0,27; e com a temperatura mínima variou de -0,47 a 0,41.

Foi possível determinar uma melhora nos valores de correlação, quando se compara entre as séries de dados em que existe uma influência de tendência para uma série sem a

componente de tendência, aumentando a correlação. Porém estes valores não são satisfatórios, pois ainda são baixos se considerarmos um nível de correlação aceitável de 0,6 para mais. Entretanto, podemos observar que existe uma resposta significativa do anel anual com valores de temperatura máxima, do lenho inicial com a temperatura máxima e do lenho tardio com a temperatura mínima.

Para um trabalho futuro, pode-se tentar melhorar estes valores, correlacionando o anel anual e o lenho inicial a partir de uma série de dados meteorológicos com valores da temperatura máxima média para somente os meses de primavera e verão, e também correlacionar o lenho tardio a partir de uma série de valores com a temperatura mínima média para somente os meses de outono e inverno, a fim de encontrar valores com um nível de significância alto, para tentar reescrever períodos passados das series de temperatura máxima e temperatura mínima, ou ainda tentar fazer uma previsão para estas variáveis.

6 - Referências Bibliográficas

Botosso, P. C., Mattos, P. P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. Embrapa, Colombo, PR. 2002

Coelho, J. de V. Dendrocronologia: método matemático para determinação da idade das árvores. Tese de doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil. 2011.

Davila, V. H. L. Introdução às Séries Temporais. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. 2008.

Encinas, J. I. da Silva, G. F. , Pinto, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. Comunicações Técnicas Florestais, V. 7, N. 1. Departamento de Engenharia Florestal, Uniersidade de Brasília. 2005.

Fritts, H. C..Tree rings and climate. London: Academic Press, p. 567, 1976.

Gonçalves, G. V., Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Universidade de Évora, Portugal. 2007.

De Mattos, P. P.; Braz, E. M. Anais da reunião técnica temática: anéis de crescimento e clima. Embrapa, Colombo, PR. 2012

Moraes, A. B.; Jacobi, L. F.; Zanini, R. R. Estatística. Série naturais e exatas. Núcleo de Estatística Aplicada, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 2011

Munareto, F. F. Dendrocronologia de quatro espécies florestais nativas com potencial silvicultural e econômico. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. 2007.

Noerdemann, D. J. R.; Rigozo, N. R.; Faria, H. H.. Solar activity and El-Niño signals observed in Brazil and Chile tree ring records. Advances in Space Research. v.35, p.891-896, 2005.

Nordemann, D. J. R. Periodicidades, tendências e previsão da análise spectral dinâmica da série dos níveis do Rio Paraguai, em Ladário. Embrapa, V. 33. 1998.

Oliveira, J. M. Anéis de crescimento de Araucaria Angustifolia O. Kuntze: bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil. 2007.

Pellamnn, W. Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillo National Park, South Chile. *Forest Ecology and Management*, v. 176, p. 87-103, 2003.

Reis, M. M. *Análise de Séries Temporais*. Polígrafo de aula, Universidade Federal de Santa Catarina.

Rigozo, N. R. *Registros da atividade solar e de outros fenômenos geofísicos em anéis de árvores*. Tese de Doutorado. São José dos Campos, SP. INPE, 1999.