

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ESTUDO DE EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA
EM ANÉIS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES
PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Caren Lorensi

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**ESTUDO DE EVENTO DE EL NIÑO E LA NIÑA EM
ANÉIS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES PARA A
REGIÃO SUL DO BRASIL**

por

Caren Lorensi

**Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia, Área de Concentração em
Climatologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia.**

Orientador: Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DE EVENTO DE EL NIÑO E LA NIÑA EM ANÉIS DE
CRESCIMENTO DE ÁRVORES PARA A REGIÃO SUL DO
BRASIL**

elaborada por
Caren Lorensi

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Nivaor Rodolfo Rigozo, Dr.
(Presidente/Orientador)

Alan Prestes, Dr. (UNIVAP)

Damaris Kirsch Pinheiro, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2012.

“A educação não muda o mundo; a educação muda as pessoas,
e as pessoas mudam o mundo” - Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus pelo privilégio da vida.

Aos meus pais Maria Antônia e Vicente Lorensi por terem me educado de maneira humilde e exemplar. Aos meus irmãos e sobrinhos que me fazem feliz pelo simples fato de existirem. Obrigada a todos vocês pelo carinho, incentivo e paciência.

Ao Thomas Kaufmann pelo auxílio, companhia e por me fazer enxergar além.

Aos amigos-irmãos que a vida me permitiu escolher e que sempre oferecem apoio e carinho diante das minhas escolhas.

Ao meu orientador Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo pelo ensinamento, apoio e paciência em todas as etapas deste trabalho.

A Dr^a Damaris Kirsch Pinheiro e ao Dr. Alan Prestes pelas críticas e demais colaborações que muito contribuíram para o desenvolvimento e fechamento deste trabalho.

A Dr^a Débora Regina Roberti pela contribuição e auxílio que me dispôs durante o curso.

As colegas de sala Valderez Fernandes Rigozo e Aldiara Fernanda Garcia pelo apoio, trocas de experiências e amizades conquistadas.

Ao curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de estudo.

Aos colegas do GruMA/UFSM (Grupo de Modelagem Atmosférica de Santa Maria) Daniel Caetano dos Santos e Pablo Eli Soares de Oliveira pelas constantes colaborações durante o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos colegas do programa de pós-graduação em meteorologia da UFSM que contribuíram de alguma forma para que esta pesquisa fosse desenvolvida. Aos funcionários do INPE/CRS pelo convívio e auxílio e em especial ao secretário da Pós-Graduação Gilson Bichueti pela dedicação e eficiência nas atividades desempenhadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DE EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA EM ANÉIS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL

AUTOR: CAREN LORENSI

ORIENTADOR: NIVAOR RODOLFO RIGOZO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de fevereiro de 2012

Em climatologia é de fundamental importância que se faça previsões sobre o comportamento de certas variáveis. Para isso se faz necessário que o comportamento atual e passado dessas variáveis seja conhecido. Nesse contexto, o emprego de registros naturais, como os anéis de crescimento de árvores, se tornou uma ferramenta muito eficaz por abranger dados que cobrem uma longa escala temporal. A dendroclimatologia é o estudo do clima através da análise dos anéis de crescimento de árvores e se baseia na determinação de fatores climáticos que estão atuando no local de estudo e assim provocando variações nas espessuras dos anéis de crescimento. De forma geral, dendrocronologia é um trabalho simples e de baixo custo, porém bastante eficaz. No presente trabalho, foi desenvolvido um estudo do clima através dos anéis de crescimento de árvores da espécie *Araucaria angustifolia*. Obtiveram-se cronologias médias das amostras dos lenhos coletados em Concórdia/SC, Passo Fundo/RS e São Francisco de Paula/RS. Foi utilizado um total de 34 amostras, sendo 08 de Concórdia, 12 de Passo Fundo e 14 de São Francisco de Paula. As variações nas espessuras dos anéis de crescimento foram investigadas considerando-se a variável precipitação registrada nas localidades de Passo Fundo e Caxias do Sul/RS. A série temporal do Índice de Oscilação Sul (IOS) também foi empregada no estudo com a finalidade de se conhecer a influência desse fenômeno no crescimento das árvores. Nas séries temporais de anéis de crescimento de árvores usou-se o filtro passa-baixa, a fim de se remover longas tendências contidas nas séries. Nas séries de precipitação o uso do filtro passa-baixa se deu para que as periodicidades correspondentes ao IOS se tornassem evidentes. O método de Análise de Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST) foi aplicada à série a fim de encontrar períodos comuns entre os anéis de crescimento e variáveis climáticas. Os resultados mostraram que há, nas séries temporais dos anéis de crescimento, sinais semelhantes aos encontrados na série de IOS com períodos em torno de 2 e 7 anos. No estudo sazonal, os resultados identificaram uma tendência de crescimento das árvores na primavera/verão.

Palavras-chave: climatologia, dendroclimatologia, séries temporais, IOS.

ABSTRACT

Research of Master of Science Degree
Postgraduation Course in Meteorology
Federal University of Santa Maria

STUDY OF EL NIÑO AND LA NIÑA EVENTS IN TREE- RINGS GROWTH FOR THE SOUTH OF BRAZIL REGION

AUTHOR: CAREN LORENSI

ADVISER: NIVAOR RODOLFO RIGOZO

Santa Maria, February 24th 2012

In climatology it is of fundamental importance to make predictions about the behavior of certain variables. For this it is necessary that current and past behavior of these variables is known. In this context, the use of natural records, such as the growth rings of trees, has become a very effective tool because it covers data of longer time scale. The dendroclimatologia is the study of climate through the analysis of growth rings of trees and it is based on the determination of climatic factors that are acting in the study area and thus causing variations in thickness of growth rings. In general, dendrochronology is a simple and inexpensive work, but highly effective. In the present work, it was developed a study of the climate through the growth rings of trees of the species *Araucaria angustifolia* which chronologies were obtained of samples collected from Concordia / SC, Passo Fundo / RS and São Francisco de Paula / RS. It was used a total of 34 samples, 08 samples from Concord, 12 samples from Passo Fundo and 14 samples from São Francisco de Paula/RS. The variations in thickness of growth rings were investigated considering the variable rainfall recorded in the localities of Passo Fundo and Caxias do Sul / RS. The time series of the Southern Oscillation Index (SOI) was also used in the study in order to know the influence of this phenomenon in the growth of trees. In the series of rings of tree growth it was applied a low-pass filter in order to remove long trends contained in this series. In the series of precipitation it was used a low-pass filter to period corresponding to SOI become evident. The method of Iterative Regression Analysis of Time Series (ARIST) was applied to the series in order to find common periods between growth rings and climate variables. The results showed that there is, in the time series of growth rings, signs similar to those found in the series of IOS with periods around 2 and 7 years. In the seasonal study, the results identified a trend of growing trees in the spring/summer.

Keywords: climatology, dendroclimatology, time series, IOS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Imagem da estrutura interna do tronco de uma conífera.....	22
Figura 2.2 – Corte transversal no tronco de uma conífera expondo seus anéis de crescimento.....	23
Figura 2.3 – Estrutura dos anéis de crescimento de coníferas, apresentando: o lenho inicial, com células de paredes finas, grande diâmetro e cores claras, e o lenho tardio, com células de paredes grossas, diâmetro pequeno e cores escuras.....	24
Figura 2.4 – Trado de Pressler perfurando o tronco da árvore para a retirada de um cilindro de madeira que contem os anéis de crescimento.....	27
Figura 2.5 – Coleta de amostras feita a partir de um trado de Pressler.	28
Figura 2.6 – Processo de acomodação da amostra cilíndrica num suporte de madeira e deixadas para secagem.....	28
Figura 2.7 – – Diagrama esquemático da Região do Pacífico sob condições de El Niño.	33
Figura 2.8 – Padrões de teleconexões globais associadas a eventos de El Niño.....	33
Figura 2.9 – Diagrama esquemático da Região do Pacífico sob condições de La Niña.	34
Figura 2.10 – Padrões de teleconexões globais associadas a eventos de La Niña.	35
Figura 2.11 – Mapa identificando os locais onde são medidas as pressões que são correlacionadas para fornecer o Índice de Oscilação Sul: Tahiti e Darwin (triângulos em preto no mapa).	37
Figura 2.12 – – Relação entre pressão ao nível do mar para Darwin (linhas em preto), as anomalias de TSM para a região do Niño 3 (linhas em cinza) e o tempo em anos.....	38
Figura 3.1 – Localidades onde foram feitas as coletas das amostras (Pontos em vermelho situados na Região Sul do Brasil).....	42
Figura 3.2 – As 12 amostras de anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo/RS indicadas pelas iniciais PF.....	43
Figura 3.3 – As 08 amostras de anéis de crescimento de árvores de Concórdia/SC indicadas pelas iniciais CDIA.	44
Figura 3.4 – As 6 amostras de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula/RS retiradas de Oliveira (2007).	45
Figura 3.5 – As 8 amostras de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula/RS retiradas de Rigozo (1999).....	45
Figura 3.6 – Série temporal anual de precipitação para Caxias do Sul a partir de dados mensais disponíveis no INMET e AGRITEMPO.	47
Figura 3.7 – Serie temporal anual de precipitação para Passo Fundo/RS, a partir da média entre os dados mensais de precipitação disponíveis no INMET.	48
Figura 3.8 – Série temporal de IOS médio anual a partir da media entre os dados mensais disponíveis no Australian Government – Bureau of Meteorology.....	49
Figura 4.1 – Série temporal anual para El Niño.	58
Figura 4.2 – Série temporal anual para La Niña.....	59
Figura 4.3 – Espessura dos anéis de crescimento das 12 amostras de Passo Fundo – RS (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).	60
Figura 4.4 – Série temporal de cada amostra de Passo Fundo – RS e a cronologia local (curva em vermelho).....	60
Figura 4.5 – Espessura dos anéis de crescimento das 8 amostras de Concórdia – SC (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).	61
Figura 4.6 – Serie temporal de cada amostra de Concórdia sem a tendência e a cronologia média do local (curva em vermelho).	62

Figura 4.7 – Espessuras dos anéis de crescimento das 14 amostras de São Francisco de Paula (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).	63
Figura 4.8 – Serie temporal de cada amostra de São Francisco de Paula/RS sem a tendência e a cronologia média do local (curva em vermelho).	64
Figura 4.9 – Espectro de amplitude para as séries temporais para (A) anéis de árvores de Passo Fundo, (B) IOS, (C) El Niño, (D) La Niña, (E) Precipitação, (F) Precipitação Outono/Inverno e (G) Precipitação Primavera/Verão junto dos intervalos de cada série. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).....	72
Figura 4.10 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo e (B) IOS. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	73
Figura 4.11 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores para Passo Fundo (A) e (B) El Niño. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	75
Figura 4.12 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo e (B) La Niña. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	76
Figura 4.13 – Espectro de amplitude para os anéis de crescimento de árvores de (A) Passo Fundo e (B) precipitação. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	78
Figura 4.14 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Passo Fundo/RS e (B) Precipitação outono-inverno para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	79
Figura 4.15 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Passo Fundo/RS e (B) Precipitação primavera-verão para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	81
Figura 4.16 – Espectro de amplitude para anéis de crescimento de árvores de (A) Concórdia/SC, (B) IOS, (C) El Niño, (D) La Niña, (E) Precipitação, (F) Precipitação Outono/Inverno e (G) Precipitação Primavera/Verão. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas). *Apenas os espectros acima de 95% estão identificados no gráfico.	83
Figura 4.17 – Espectros de amplitude para os sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia /SC e (B) IOS. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	84
Figura 4.18 – Espectros de amplitude para sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia/SC e (B) El Niño. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	85
Figura 4.19 – Espectros amplitude para sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia/SC e (B) La Niña. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	87
Figura 4.20 – Espectro de amplitude para (A) anéis de árvores para Concórdia/SC e (B) Precipitação para Passo Fundo/RS. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	88
Figura 4.21 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Concórdia/SC, (B) Precipitação outono-inverno para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	89
Figura 4.22 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Concórdia/SC, (B) Precipitação primavera-verão para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	91

Figura 4.23 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de São Francisco de Paula, (B) IOS, (C) El Niño e (D) La Niña. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).	93
Figura 4.24 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o IOS cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (a partir da Tabela 4.7).....	97
Figura 4.25 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o El Niño, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (A partir da Tabela 4.8).	98
Figura 4.26 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e a La Niña, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (a partir da Tabela 4.9).....	99
Figura 4.27 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o IOS cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.13).....	100
Figura 4.28 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o El Niño, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.14).....	101
Figura 4.29 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e a La Niña, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.15).....	102
Figura 4.30 – Topografia do Sul do Brasil (sombreado, intervalos de 100 m). As localidades de coletas de anéis de crescimento de árvores: Passo Fundo/RS, Concórdia/SC e São Francisco de Paula/RS, destacadas no mapa por triângulos em preto.	103

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	X
SUMÁRIO.....	XIII
1 - INTRODUÇÃO	15
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 - Registros naturais	20
2.2 - A estrutura interna do tronco.....	21
2.3 - Sinais e ruídos em séries temporais.....	24
2.4 - Fatores limitantes	25
2.5 - A espécie estudada	26
2.6 - Coleta e tratamento das amostras	27
2.7 - Climatologia do Rio Grande do Sul	29
2.8 - El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	31
2.8.1 - Índice de Oscilação Sul (IOS).....	36
2.9 - Estudo do clima através de registros naturais	39
3 - METODOLOGIA	41
3.1 - Séries temporais de anéis de crescimento de árvores.....	41
3.2 - Locais de Coleta	42
3.2.1 - Amostras de Passo Fundo / RS	43
3.2.2 - Amostras de Concórdia / SC	43
3.2.3 - Amostras de São Francisco de Paula / RS.....	44
3.3 - Séries temporais de precipitação	46
3.4 - Série temporal do IOS	48
3.5 - Estudo sazonal.....	49
3.6 - Curvas de ajuste	50
3.7 - Análise espectral	51
3.8 - Correlações.....	54
3.9 - Reconstrução	56
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 - Séries Temporais	57
4.1.1 - Série temporal do El Niño.....	57
4.1.2 - Série Temporal de La Niña	58
4.2 - Cronologia local	59
4.2.1 - Cronologia de Passo Fundo / RS.....	59
4.2.2 - Cronologia de Concórdia / SC	61
4.2.3 - Cronologia de São Francisco de Paula / RS.....	62
4.3 - Correlação entre os anéis de crescimento e as variáveis climatológicas.....	64
4.3.1 - Anéis de Crescimento e IOS	64
4.3.1.1 - Passo Fundo/RS	65
4.3.1.2 - Concórdia/SC	65
4.3.1.3 - São Francisco de Paula.....	66
4.3.2 - Anéis de Crescimento e Precipitação	67
4.3.2.1 - Passo Fundo/RS	67
4.3.2.2 - Concórdia/SC	68
4.3.2.3 - São Francisco de Paula.....	69

4.4 - Análise Espectral.....	70
4.5 - Anéis de Crescimento e o Estudo Sazonal.....	71
4.6 - Estudo para Passo Fundo/RS.....	71
4.6.1 - Anéis de Crescimento e IOS.....	72
4.6.2 - Anéis de Crescimento e El Niño.....	74
4.6.3 - Anéis de Crescimento e La Niña.....	76
4.6.4 - Anéis de Crescimento e Precipitação.....	77
4.6.5 - Anéis de crescimento e precipitação outono/inverno.....	79
4.6.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão.....	80
4.7 - Estudo para Concórdia / SC.....	82
4.7.1 - Anéis de Crescimento e IOS.....	83
4.7.2 - Anéis de crescimento e El Niño.....	85
4.7.3 - Anéis de Crescimento e La Niña.....	86
4.7.4 - Anéis de crescimento e precipitação.....	88
4.7.5 - Anéis de crescimento e precipitação outono/inverno.....	89
4.7.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão.....	90
4.8 - Estudo para São Francisco de Paula / RS.....	92
4.8.1 - Anéis de crescimento e IOS.....	93
4.8.2 - Anéis de crescimento e El Niño.....	94
4.8.3 - Anéis de Crescimento e La Niña.....	94
4.8.4 - Anéis de crescimento e precipitação.....	94
4.8.5 - Anéis de Crescimento e Precipitação outono/inverno.....	94
4.8.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão.....	95
4.9 - Ocorrências de El Niño e La Niña.....	95
4.10 - Reconstrução das séries de anéis de crescimento.....	96
4.10.1 - Passo Fundo / RS.....	96
4.10.1.1 - Anéis de Crescimento e IOS.....	96
4.10.1.2 - Anéis de Crescimento e El Niño.....	97
4.10.1.3 - Anéis de Crescimento e La Niña.....	98
4.10.2 - Concórdia/SC.....	99
4.10.2.1 - Anéis de Crescimento e IOS.....	99
4.10.2.2 - Anéis de Crescimento e El Niño.....	100
4.10.2.3 - Anéis de Crescimento e La Niña.....	101
4.10.3 - São Francisco de Paula / RS.....	102
4.11 - Topografia das Localidades.....	102
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	105
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

1 - INTRODUÇÃO

A dendrocronologia é uma ciência que analisa e interpreta o crescimento das árvores através do estudo de seus anéis de crescimento. O termo provém do grego, da junção de *dendron* ou árvore, *kronos* ou tempo, e *logos* ou conhecimento (GONÇALVES, 2007-2008). A base fundamental dessa ciência está na sensibilidade que algumas árvores têm com relação ao meio em que vivem, permitindo, assim, que alterações climáticas, como temperatura, umidade e radiação, possam ficar registradas nos seus anéis de crescimento (FRITTS, 1976).

As plantas têm um ritmo de crescimento anual que pode ser investigado através da contagem de seus anéis de crescimento. Esses anéis são, na verdade, estruturas anatômicas do xilema secundário, que, observadas em um corte transversal, configuram círculos ao redor do centro do tronco, a medula (OLIVEIRA, 2007).

A cada ano, a planta forma um círculo, que é depositado, sequencialmente, em torno da medula, centro do tronco. Esses círculos são os anéis de crescimento de árvores. Assim, o anel mais extremo representa a formação mais recente, logo a contagem dos anéis se dá de dentro para fora do tronco, sendo que a quantidade de anéis de crescimento de uma árvore representa a idade da planta. O conjunto de dados referentes à idade da planta e ao período de vida desse vegetal constitui uma série temporal de anéis de crescimento de árvores.

O fato de algumas espécies arbóreas serem sensíveis às condições ambientais em que vivem faz com que a dendrocronologia tenha aplicação no estudo do clima. Assim, alterações de temperatura, umidade e radiação solar ficam registradas nos anéis de crescimento (GONÇALVES, 2007-2008).

É devido a essa característica sensitiva de algumas espécies arbóreas que o estudo dos anéis de crescimento de árvores se propõe a analisar eventos cíclicos e periódicos, como El Niño, La Niña e atividade solar, através da análise dos anéis de crescimento de árvores. Como explica Fye (2001 apud PRESTES, 2006), os anéis de crescimento de árvores podem ser estudados com a finalidade de revelar variações do clima em resposta a forçantes naturais, tais como o El Niño Southern Oscillation (ENSO), erupções vulcânicas e ciclos solares, além de revelar perturbações locais, como a dinâmica de ocupação das espécies, o remanejamento florestal e o ataque de insetos, que

também causam variação nas espessuras dos anéis de crescimento. É essa variedade de fatores que faz da dendrocronologia uma área de estudo multidisciplinar.

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo da influência do ENOS nos registros das espessuras dos anéis de árvores da Região Sul do Brasil através da investigação das periodicidades comuns encontrados nas séries temporais de anéis de crescimento de árvores. Além de investigar qual das fases do IOS mais influencia no crescimento das plantas através dos regimes de precipitação que estes eventos promovem. Utilizando-se de séries de precipitação mensais, fez-se um estudo sazonal, a fim de se verificar o crescimento das árvores em períodos de primavera/verão (crescimento cambial) e de outono/inverno (dormência cambial).

Neste trabalho, foram utilizadas séries temporais de anéis de crescimento de árvores da espécie *Araucaria angustifolia*, séries mensais de precipitação e série mensal de IOS. O método de análise espectral utilizado foi a Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (Arist), que transforma séries temporais em séries harmônicas, através da regressão iterativa pelo Método dos Mínimos Quadrados.

Para um melhor entendimento deste trabalho, no Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica. Nesta revisão, procuraram-se definir os anéis de crescimento de árvores e a forma como estes são utilizados como fonte de pesquisa a respeito do clima de determinada região e de outras forçantes, como ciclo solar e atividade vulcânica. É mostrado, também, como as características fisiológicas da espécie estudada são relevantes para o uso da dendrocronologia. Além disso, foi feita uma revisão sobre a climatologia da Região Sul do Brasil, apresentando os principais mecanismos que resultam em precipitação para a localidade em estudo. Em especial, enfatizou-se o El Niño Oscilação Sul (Enos), por ser o foco da pesquisa, e o Índice de Oscilação Sul, que mede a fase e a intensidade do fenômeno Enos.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia de estudo, onde são evidenciadas as séries temporais utilizadas na pesquisa. Para as séries de anéis de crescimento de árvores, são mostrados o tamanho de cada série, assim como os locais de coleta e o ano de corte. Para as séries de precipitação, é apresentada a fonte de onde esses dados foram extraídos e como foi solucionada a questão da ausência de dados de precipitação para algumas localidades em estudo. Com a série de IOS, são explicitados os métodos para se obter uma série positiva e outra negativa. Ainda, a aplicação dos filtros nas séries temporais, assim como a análise espectral e as correlações entre os períodos comuns também são apresentados.

No Capítulo 4, são expostos os resultados obtidos, além da discussão dos mesmos, como a importância da retirada de tendência nas séries temporais e as periodicidades encontradas pelo Arist. Foram estudadas as séries de anéis de crescimento de cada localidade com relação ao IOS, a cada fase do IOS e à precipitação e a resposta de cada localidade a estes fatores. Também são apresentados os resultados das correlações com os períodos comuns e os respectivos *lags* de cada sinal. No estudo sazonal, expõem-se para qual estação do ano os anéis se mostram mais sensíveis e se há diferença entre as localidades estudadas.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, assim como os resultados encontrados. No Capítulo 6 a bibliografia citada no trabalho que serviu como embasamento teórico para a construção desta pesquisa.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As primeiras descrições sobre anéis de crescimento foram feitas por Leonardo da Vinci no século XV, ao verificar a relação entre os períodos de chuva e o crescimento das árvores (FRITTS, 1976). Mais tarde, com técnicas melhoradas de análise, esses estudos anatômicos se desenvolveram. No início do século XX, com os trabalhos do astrônomo americano e fundador do laboratório Tree-Ring Research, na University of Arizona, Andrew Ellicott Douglas, a técnica se solidificou e tem evoluído para as mais variadas áreas de estudo, associada, principalmente, às ciências ambientais (SCHWEINGRUBER, 1996), principalmente por ser uma metodologia simples, de baixo custo e bastante eficaz.

Fritts (1976) aponta o desenvolvimento da dendrocronologia e da dendroclimatologia devido à escassez de dados climáticos e à qualidade dos registros em anéis de crescimento de árvores. Esses anéis de crescimento comportam uma excelente definição temporal, pelo fato de seu crescimento ser anual e, dentro de certas condições, pela sensibilidade destes às condições ambientais.

Gonçalves (2007-2008) exemplificou algumas áreas ou ramos de estudo que têm fundamentação em análises dendrocronológicas:

a) *dendroecologia*: ramo da dendrocronologia que estuda os elementos presentes nos anéis de crescimento das árvores, a fim de reconstruir fatores ecológicos típicos de habitats, o que possibilita determinar o desenvolvimento das árvores em plantações, definir os processos de manutenção das áreas plantadas e também caracterizar os efeitos do desmatamento sobre o restabelecimento das populações nativas;

b) *dendrogeomorfologia*: tem por finalidade compreender as alterações na paisagem através do estudo das dinâmicas de formação dos anéis anuais de crescimento. A criação, alteração ou formação de uma paisagem pode ser registrada, de várias maneiras, nos índices de sensibilidade dos anéis das árvores. Eventos como as erupções vulcânicas, os fenômenos cósmicos e as emissões de gases de origem antrópica fazem parte da vasta gama de acontecimentos que são registrados nos anéis de crescimento. A dendroglaciologia também utiliza as sequências dendrocronológicas para interpretar as alterações dos glaciares e as épocas interglaciais ou de menos frio;

c) *dendrohidrologia*: utiliza-se do estudo dos anéis de crescimento das árvores para identificar alterações no curso dos rios, nascentes de água e níveis de lagos e lagoas e, até mesmo, subida dos níveis do mar;

d) *dendropirocronologia*: utiliza as marcas deixadas pelos incêndios florestais, as queimadas e os eventos piroclásticos nos anéis das árvores, para, então, obter uma seqüência cronológica dos mesmos, assim como a abrangência espacial de respectivo evento. Este processo permite criar uma seqüência de dados que facilita a interpretação de fatores conducentes à compreensão de processos de alteração de uma determinada paisagem;

e) *dendroarqueologia*: estuda os anéis de árvores presentes em artefatos arqueológicos, estruturas de habitação e estruturas de combustão, para construir uma cronologia que permita datar o contexto arqueológico.

Como se vê, a aplicação da dendrocronologia recai aos mais variados setores, como estudos paleoclimáticos (KUMAGAI et al., 1995) e climáticos (FENG; EPSTEIN, 1996) em diversas partes do mundo, e vem ocupando espaço em estudos de fenômenos relacionados a vulcões (BRANTLEY et al., 1986), à atividade solar (MURPHY et al., 1996) etc. Também, tem auxiliado na datação de peças de madeira encontradas em sítios arqueológicos e de obras de arte.

A dendroclimatologia, como explicado por Prestes (2006), relaciona os anéis de crescimento anual com as condições climáticas, permitindo reconstruções e caracterizações dessas mudanças na temperatura e também na alternância entre períodos secos e úmidos que ocorreram no passado. Isso porque os eventos climáticos ficam acumulados nos anéis, seja sob a forma de sua espessura, densidade, composição etc.

Para Gonçalves (2007-2008), os fatores que afetam o crescimento dos anéis das árvores são vários. As características específicas do ecossistema e a dinâmica de ocupação das espécies em determinados territórios evidenciam possíveis alterações no crescimento dos anéis das árvores. Por exemplo, quando uma árvore morre, cria espaço e recursos que são, na medida das necessidades, aproveitados por árvores vizinhas. Logo, a distribuição das espécies também se faz importante no estudo dos anéis de crescimento. Esse vasto conjunto de fatores, de certa forma, justifica os mais variados ramos de estudos relacionados ao passado que se baseiam em registros naturais em anéis de árvores.

Para qualquer estudo voltado para o passado, é necessário que haja uma ferramenta de ligação entre o estudo presente e o momento histórico que se deseja investigar. O fato de algumas árvores sobreviverem por muitos anos, segundo Vetter e Botosso (1993), fez com que algumas espécies europeias chegassem a ter mais de 1.200 anos, evidenciando que estes vegetais experimentaram condições diversas de tempo e

clima. Isso faz do estudo desses anéis de crescimento uma importante ferramenta para pesquisas de caráter histórico e regional (BURGER; RICHTER, 1991).

De acordo com Rigozo (1999), Rigozo et al. (2004), Raspopov et al. (2004), os estudos dos anéis de crescimento de árvores são, em sua maioria, realizados para verificar ou determinar os fatores climáticos que estão atuando em um local ou região, provocando variações na espessura desses anéis.

2.1 - Registros naturais

Para estudar, cientificamente, o passado, necessita-se de medidas feitas sobre registros naturais que, em geral, fornecem informações sobre fenômenos do passado. Esses registros naturais permitiram desenvolver muitas “ciências do passado”, como: paleomagnetismo e arqueomagnetismo, paleoclimatologia, paleontologia, arqueologia etc. (NORDEMANN; RIGOZO, 2003).

As plantas têm um ritmo de crescimento anual que pode ser investigado através da contagem de seus anéis de crescimento. Esses anéis são, na verdade, estruturas anatômicas do xilema secundário que, observadas em um corte transversal, configuram círculos ao redor do centro do tronco, a medula (OLIVEIRA, 2007). Cada anel de árvore representa um ano de vida da árvore e se deposita, consecutivamente, no tronco do arbusto, formando uma seqüência de camadas. Logo, para se conhecer a idade de uma árvore, inicia-se a contagem de seus anéis do centro para a extremidade do tronco, sendo que o último anel corresponde à formação anelar mais recente. A contagem desses anéis junto da data que corresponde à última formação anelar fornece a informação sobre o período de vida do arbusto. Encinas, Silva e Pinto (2005) indicam que a contagem dos anéis de crescimento realizada na base do tronco é mais precisa, pois a distribuição dos anéis diminui, diretamente, com a altura da árvore, tendo todas as camadas de formação do lenho acumuladas na parte inferior do fuste.

O crescimento das árvores depende, dentre outros fatores, da temperatura e da quantidade de chuva. Assim, é esperado que variações na temperatura e/ou na quantidade de chuva devam ficar registradas nos anéis de crescimento das árvores (RIGOZO et al., 2008a). Sabe-se que excesso ou escassez de chuva e anomalias de temperatura podem estar diretamente relacionados a eventos cíclicos, como o El Niño Oscilação Sul (Enos), assim como invernos rigorosos e verões intensos causam

mudanças no perfil de crescimento desses anéis, projetando aceleração ou retardamento no crescimento.

Analogamente, Vetter e Botosso (1989), Devall, Parresol e Wright (1995), Enquist e Leffler (2001) e Worbes et al. (2003) verificaram uma redução drástica no crescimento dos anéis de espécies tropicais em regimes estacionários de seca, enquanto Worbes (1989), Callado et al. (2001), Schöngart et al. (2002) e Dezzeo et al. (2003) verificaram o mesmo comportamento para períodos de inundação. Esses resultados esboçam o que afirma Gonçalves (2007-2008), que a aplicação da dendrocronologia ao estudo do clima se dá pela sensibilidade que algumas espécies arbóreas apresentam com relação às condições climáticas que as cercam, ficando registradas, em seus anéis de crescimento, as alterações de temperatura, umidade e radiação solar.

Plantas com ritmo de crescimento anual são comuns onde existe uma estação de crescimento e dormência a cada ano. Em regiões temperadas, o crescimento secundário se dá nos meses de primavera e verão, pois as baixas temperaturas do outono e inverno induzem à dormência cambial. Em regiões áridas, é o regime anual de chuva e seca que leva, respectivamente, à atividade ou à dormência do câmbio vascular (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997).

2.2 - A estrutura interna do tronco

Segundo Rigozo (1999), o tronco das árvores possui uma casca interna e uma externa. A casca externa é composta por células mortas, que protegem o tecido vivo do tronco, e é chamada, na botânica, de *ritidoma*. A casca interna, ou *floema*, é composta de células vivas, através das quais vários materiais orgânicos são transportados da raiz para o tronco. A Figura 2.1 ilustra a estrutura interna do tronco das coníferas. Pode-se ver, nitidamente, a diferença de cores, o que permite distinguir os períodos de atividade e de dormência da planta.

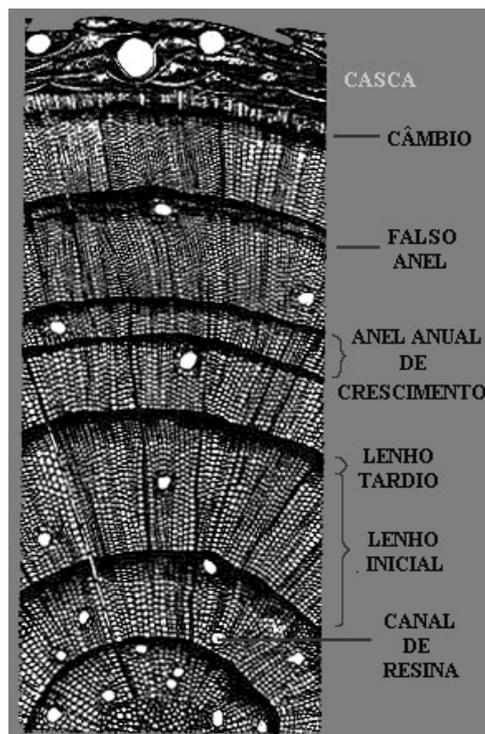


Figura 2.1 – Imagem da estrutura interna do tronco de uma conífera.

Fonte: Fritts (1976, p. 59).

Cada camada que se forma no tronco da árvore é composta por duas cores: uma cor mais clara, que corresponde ao crescimento da planta (em geral, na primavera-verão), e uma cor mais escura, que corresponde ao período de dormência (geralmente no outono-inverno). O lenho inicial, também conhecido por lenho primaveril, tem uma coloração mais clara e corresponde ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, geralmente na primavera, quando as plantas despertam do período de dormência e reassumem suas atividades fisiológicas com todo vigor. Suas células têm paredes finas e grande diâmetro. Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente no outono, as células diminuem sua atividade fisiológica, o que torna suas paredes celulares mais espessas, com cavidades menores, dando ao lenho uma tonalidade mais escura, sendo dito lenho tardio ou outonal. O lenho tardio é mais denso que o lenho inicial, por este ser o período em que a planta diminui seu ritmo de crescimento e se detém a armazenar nutrientes (BOTOSSO; MATTOS, 2002).

A Figura 2.2 mostra um corte transversal no tronco de uma conífera, expondo, nitidamente, seus anéis de crescimento.



Figura 2.2 – Corte transversal no tronco de uma conífera expondo seus anéis de crescimento.

Fonte: Laboratório de Registros Naturais (Inpe/CRS).

Um anel de crescimento corresponde a um ano de atividade cambial da planta. Assim sendo, deve conter o lenho inicial e o lenho tardio. Sua contagem vai do início do lenho inicial até o final do lenho tardio. A Figura 2.3 mostra como é feito o reconhecimento de um anel de crescimento anual.

A verificação dos anéis de crescimento de árvores exige muita cautela, pois, em alguns casos, o tronco pode apresentar o que se chama de falso anel ou anel duplo, como mostrado na Figura 2.1.

Existem muitas formas de se detectar falsos anéis. Segundo Stokes e Smiley (1996), geralmente o recém-formado lenho tardio de um falso anel não está delineado claramente, por este misturar-se com a coloração do lenho inicial ou então ao verificar-se a descontinuidade do lenho tardio ao longo da circunferência do tronco. Para Encinas, Silva e Pinto (2005), os falsos anéis são produzidos em consequência de sucessivos períodos curtos de seca, de chuvas, ataque de insetos, doenças e outros fatores que a planta interpreta como um novo ciclo de crescimento, mesmo sendo durante o período de um ano. Em contrapartida, Zimmermann e Brown (1971) explica

que esses falsos anéis são, na verdade, anéis adicionais que se formam no verão seguido de um período úmido, enfatizando ainda mais a relação direta entre a umidade do solo e a formação dos anéis de crescimento.

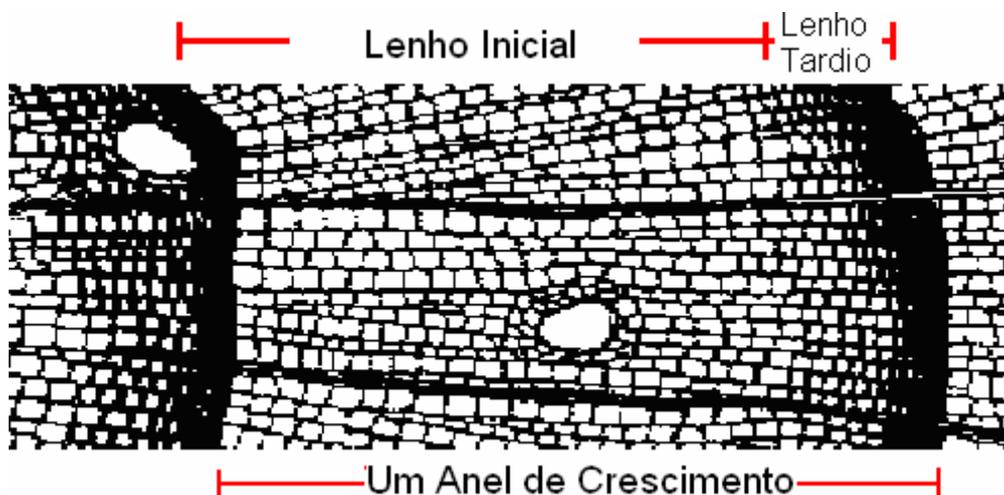


Figura 2.3 – Estrutura dos anéis de crescimento de coníferas, apresentando: o lenho inicial, com células de paredes finas, grande diâmetro e cores claras, e o lenho tardio, com células de paredes grossas, diâmetro pequeno e cores escuras.

Fonte: Prestes (2006, modificada de University of Arizona).

A identificação de um falso anel é um trabalho minucioso e detalhado. Alguns falsos anéis se formam muito próximos a outros anéis, o que exige uma boa resolução e amplificação da imagem, para serem bem distinguidos.

2.3 - Sinais e ruídos em séries temporais

Qualquer série de anéis de crescimento de árvore pode ser decomposta em um conjunto de fatores ambientais que podem afetar o modelo de crescimento da árvore no decorrer do tempo (RIGOZO, 1999). Por isso, é importante conhecer os conceitos de “sinal” e “ruído”. Segundo a definição de Alvarado (2009), denomina-se “sinal” a informação contida nos anéis de crescimento que é relevante para o estudo, em particular, de uma variável. Já o “ruído” se caracteriza por uma informação também presente na série de anéis de crescimento, mas que é irrelevante para o estudo da variável considerada.

Neste trabalho, o objetivo foi estudar o sinal presente nas séries temporais, como o perfil de crescimento do anel em função do clima. Assim sendo, considera-se como ruído todos os fatores, diferentes do clima, que tenham afetado o crescimento do tronco das árvores.

Em uma série temporal de espessura dos anéis de crescimento, muitos sinais podem estar presentes, por isso é necessário que se defina, com clareza, o que se pretende analisar nas séries temporais.

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), por exemplo, apresenta características muito parecidas com as do Enos, diferindo apenas na resolução temporal e espacial. Em geral, os eventos Enos persistem por cerca de 6 a 18 meses, enquanto os eventos de ODP duram cerca de 20 a 30 anos (MANTUA et al., 1997). Assim, dentro de um evento de ODP, pode-se ter mais de um evento de Enos. Alguns autores, como Molion (2010), chegaram a apontar uma maior frequência e intensidade de eventos de La Niña durante a fase negativa da ODP e de El Niño durante a fase positiva.

2.4 - Fatores limitantes

Sabe-se que vegetais precisam de água, nutrientes e energia solar para se desenvolver, porém o excesso ou a escassez de qualquer um desses elementos acarretarão efeitos contrários: anéis deformados, ausentes, falsos anéis, espessura irregular etc. Segundo Worbes (1988), as condições do solo influenciam no desenvolvimento dos anéis. Anéis largos se desenvolvem em plantas que crescem em solo fértil, enquanto anéis estreitos são formados em indivíduos que crescem em solo pobre. A disputa natural dos vegetais por melhores condições, como, por exemplo, quando uma árvore morre, criando espaço e recursos que podem ser aproveitados por árvores vizinhas, pode promover um crescimento diferenciado dos seus anéis de crescimento. As plantas nessas condições experimentam fatores limitantes de desenvolvimento.

Além de anéis deformados, algumas amostras apresentam ausência de anéis, ou seja, não há produção de revestimento do xilema. Geralmente, essa ausência de anel de crescimento está relacionada ao formato não-circular de seus troncos e ocorre, principalmente, em árvores que se desenvolvem em regiões compostas por morros (RIGOZO, 1999).

A investigação de registros históricos através do estudo dos anéis de árvores pode ser obtida pela diferença entre as espessuras desses anéis, que variam anualmente, e também a partir da densidade do lenho, cujo parâmetro varia em função do tamanho e da espessura da membrana celular. Ambos os métodos de obtenção dessas informações apresentam as variações diárias e sazonais na razão de crescimento das árvores, que são afetadas pelas condições ambientais (RIGOZO, 1999).

Neste estudo, o método empregado foi o de análise através da contagem dos anéis de crescimento a partir da identificação e reconhecimento anatômicos da planta. Outro método utilizado no estudo dos anéis de crescimento de árvores é a chamada densidade do lenho, que se baseia em técnicas de densitometria de raios-X. É feita uma análise do filme radiográfico com o auxílio de um microdensitômetro ótico, análises de imagens ou medição da variação da densidade com raios gama (FERRAZ, 1976; WORBES, 1995; VETTER, 2000; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000).

Nordemann e Rigozo (2003) relatam que, em escalas de séculos, há milhares de anos, é possível investigar o passado através das árvores, pois estas registram, em seus anéis de crescimento, a memória das variações do ambiente onde vivem.

2.5 - A espécie estudada

Na escolha da espécie florestal a ser estudada, levam-se em conta alguns parâmetros: (i) características morfológicas, (ii) área de ocorrência e (iii) potencial dendrocronológico (PRESTES, 2006).

Atendendo a esses critérios, utilizou-se a espécie *Araucaria angustifolia*. Trata-se de uma árvore perenifólia, com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm de Diâmetro à Altura do Peito (DAP), atingindo, excepcionalmente, 50 m de altura e 250 cm ou mais de DAP na idade adulta. Nas árvores adultas, sua casca grossa atua como um isolante térmico, dando à espécie resistência aos incêndios fracos (incêndios de piso, não de copa, como nos campos). Da mesma forma, a espécie é tolerante a temperaturas baixas, porém, em algumas ocasiões, as mudas nascidas no campo são afetadas pelas baixas temperaturas (EMBRAPA, 2003).

A área de ocorrência da espécie *Araucaria angustifolia* recai aos três estados do Sul do Brasil, ocorrendo também no sudeste e nordeste de São Paulo, sul de Minas

Gerais, sudoeste do Rio de Janeiro e leste da Província de Misiones (Argentina) (MATTOS, 1972; EMBRAPA, 2003).

Para Nordemann e Rigozo (2003), as espécies coníferas como, por exemplo, os pinheiros, as araucárias e os ciprestes, apresentam anéis bem nítidos, enquanto, em outras espécies, essas transições são pouco aparentes. Além disso, são visíveis os anéis ausentes (que não circulam completamente o tronco) em algumas árvores e também os falsos anéis.

2.6 - Coleta e tratamento das amostras

As amostras podem ser coletadas de duas formas: pelo método destrutivo, ou seja, discos dos troncos das árvores que são cortados com diâmetros variados e espessuras de, aproximadamente, 5 cm, fazendo-se o uso de moto-serra (RIGOZO, 1999); ou pelo método não-destrutivo, ou seja, usando um Trado de Pressler, como ilustra a Figura 2.4. Essa ferramenta se comporta como uma sonda que perfura a madeira e traz de dentro do tronco um fino cilindro.



Figura 2.4 – Trado de Pressler perfurando o tronco da árvore para a retirada de um cilindro de madeira que contem os anéis de crescimento.

Fonte: Adaptada de Stokes e Smiley (1996, p. 35).

A Figura 2.5 ilustra um corte transversal no tronco da árvore, mostrando como a coleta com o uso do Trado de Pressler é feita. Com o trado obteve-se cilindros de, aproximadamente, 5 mm de diâmetro e até 40 cm de comprimento. Essas amostras são acomodadas em um suporte de madeira, como mostra a Figura 2.6, e deixadas para secagem natural.

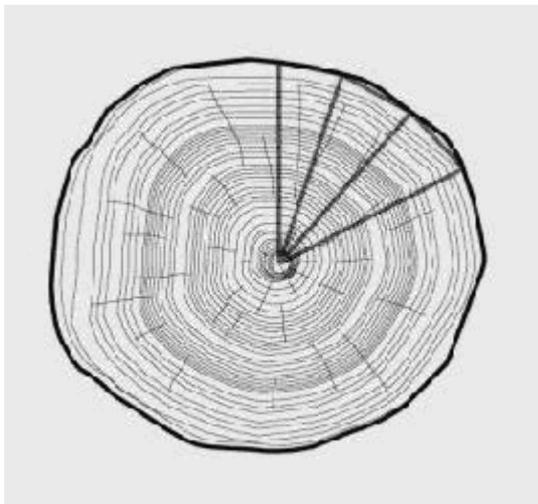


Figura 2.5 – Coleta de amostras feita a partir de um trado de Pressler.

Fonte: adaptado de Dendrocronologia no Alentejo (<http://archaeoinfo.110mb.com/index.php?p=1_19_O-M-todo>)

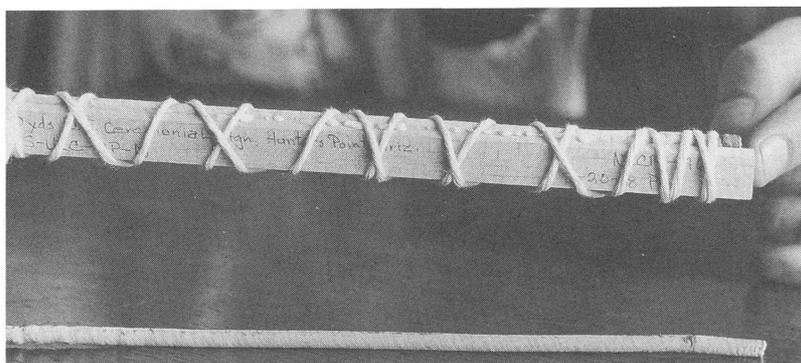


Figura 2.6 – Processo de acomodação da amostra cilíndrica num suporte de madeira e deixadas para secagem.

Fonte: Adaptada de Stokes e Smiley (1996, p. 44).

Tratamento das amostras:

O tratamento das amostras aqui apresentado foi extraído dos trabalhos de Rigozo (1999) e Prestes (2006). Esse tratamento consiste em processos físicos e químicos, tais como:

- *secagem*: processo que dura em torno de 6 meses. As amostras secam em temperatura ambiente. Nesta etapa do tratamento, deve haver cuidado com a exposição das amostras a temperaturas elevadas, para que as amostras não venham a apresentar rachaduras;
- *lixamento*: processo que tem por intenção remover imperfeições do lenho, assim como deixar os anéis mais visíveis para o estudo ótico. Assim, a amostra é polida com lixas de diferentes grânulos;
- *conservação do lenho*: processo químico no qual se aplica um produto nas amostras, para salientar a coloração do lenho, assim como para conservar as amostras, a fim de que possam ser reutilizadas futuramente.

2.7 - Climatologia do Rio Grande do Sul

O índice pluviométrico do estado encontra-se entre 1.000 e 1.900 mm, apresentando-se bem distribuídos ao longo do ano, ainda que com possível ocorrência de estiagem no verão, principalmente nas regiões de serra, cujos solos são rasos, ou na metade sul, cujos solos, em geral, são arenosos (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009). O mês mais quente do ano é janeiro, com temperaturas entre 25 e 33°C, e o mês mais frio é julho, com temperaturas mínimas entre -2,7°C e 4°C (MOTA; BEIDOLF; GARCEZ, 1971). Buriol et al. (1979) obtiveram os valores mais baixos das médias mensais de temperatura para o mês de julho, ficando entre 9°C e 10°C no extremo leste da região do Planalto. Os valores mais elevados, no mês de janeiro, ficaram entre 25°C e 26°C nas regiões do Alto e Baixo Vale do Rio Uruguai.

Segundo a classificação de Köppen (1931), esses valores enquadram o estado do Rio Grande do Sul no tipo climático Cf, denominado temperado chuvoso e moderadamente quente com temperaturas médias mensais do mês mais frio superiores a 11,3°C e do mês mais quente inferiores a 26,0°C (BURIOL et al., 2007). A classificação

segundo o índice de umidade de Thornthwaite (1948) enquadra o estado nos tipos climáticos Perúmido (A) e Úmido (B₄, B₃ e B₂).

A classificação climática de Thornthwaite (1948) baseia-se nos índices de umidade e de aridez de cada região. Climas úmidos têm índices de umidade positivos, e climas secos têm índices de umidade negativos. O índice de umidade é obtido a partir do quociente entre o excesso de água no solo pela necessidade de água, enquanto o índice de aridez é o quociente entre a deficiência de água no solo e a necessidade de água.

A deficiência ou o excesso de água no solo se estabelece conhecendo-se a evapotranspiração, que é a combinação da evaporação da água da superfície do solo com a transpiração das plantas, que, juntas, transportam a água do solo para a atmosfera, relacionada com a precipitação, que seria o processo inverso. Os índices numéricos junto da letra B seguem a ordem de grandeza, tendo B₄ um índice de umidade maior que B₃, e assim sucessivamente.

O tipo climático perúmido é encontrado na região climática da Serra do Nordeste e em partes do Planalto e Missões. São as regiões do estado com maior volume de chuva (BURIOL; ESTEFANEL; FERREIRA, 1977).

O tipo climático úmido B₂ é encontrado nas regiões do Baixo Vale do Uruguai, Litoral e partes da Depressão Central e Campanha. Quanto à localização dos tipos climáticos úmidos B₄ e B₃, (intermediários entre A e B₂), o primeiro localiza-se nas áreas mais elevadas da Serra do Sudeste e nas áreas de menor altitude da Serra do Nordeste, Planalto e Missões, enquanto o segundo no oeste da Depressão Central, partes da Campanha, Baixo Vale do Uruguai e Serra do Sudeste.

Kuinchtner e Buriol (2001) analisaram se há um déficit hídrico no Rio Grande do Sul e qual sua intensidade, determinando-o através do Índice de aridez (Ia). Os resultados apresentaram valores iguais a zero para a maioria das estações meteorológicas do estado. O local com maior valor de Ia foi Bagé (Sudoeste). Isso classifica o estado do Rio Grande do Sul como subtipo climático de pouca ou nenhuma deficiência hídrica.

Tais distribuições de chuva e características térmicas estão relacionadas a fenômenos meteorológicos que afetam, diretamente, o clima do Rio Grande do Sul. Dentre eles, podem-se citar:

a) frentes frias (GARREAUD, 2000): no sul do Brasil, a passagem de frentes frias ocorre o ano todo, tendo maior frequência nos meses de junho e setembro. As

frentes frias têm efeito na intensidade e na distribuição da precipitação. São caracterizadas por alterações de Pressão ao Nível do Mar (PNM), variação na temperatura e na força e direção dos ventos, em 925 hPa (CAVALCANTI et al., 2009);

b) ciclones extratropicais (HOSKINS; HODGES, 2005): ciclones de latitudes médias são ditos ciclones extratropicais e adquirem energia devido aos contrastes térmicos que essas regiões oferecem, sendo, em geral, associados a sistemas frontais (GEVAERD et al., 2004). Gan e Rao (1991) identificaram a costa leste da América do Sul como uma zona ciclogênica, ou seja, de diminuição da pressão atmosférica e formação de circulação ciclônica (CAVALCANTI, 1995).

Os ciclones extratropicais são fontes de constante estudo, pois têm papel fundamental na climatologia da precipitação na região extratropical da América do Sul. Para Chen, Yen e Schubert (1996), parte das precipitações que ocorrem em latitudes médias estão associadas a ciclones extratropicais. Gan e Rao (1991), em um estudo sobre a ciclogênese na América do Sul, abrangendo dez anos de dados, mostraram que os anos de maior ocorrência de ciclogênese coincidiram com anos de mais precipitação;

c) sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998, SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007): segundo a definição de Campos, Lima e Pinto (2008), consistem de um aglomerado de nuvens convectivas que apresentam contínua precipitação e, ainda, fortes rajadas de vento, descargas elétricas e granizo (NETA; GOMES, 2011). Os SCM são observados em várias partes do globo (LAING; FRITSCH, 1997), embora Velasco e Fritsch (1987) tenham observado que os SCM que ocorrem na América do Sul são 60% maiores que os da América do Norte. Na América do Sul, ocorrem, preferencialmente, no norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil, durante os meses de primavera e verão austral (CAMPOS; LIMA; PINTO, 2008).

2.8 - El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A atmosfera terrestre consiste, basicamente, em ar ascendente nas regiões mais quentes e ar subsidente nas regiões menos aquecidas. Esta circulação, sem levar em consideração os efeitos de rotação da Terra, é o princípio fundamental que define as condições climáticas predominantes, principalmente no que diz respeito à precipitação. Um fenômeno que interfere nas características desta circulação de grande escala da atmosfera terrestre é o El Niño Oscilação Sul (Enos) (ALVES; REPELLI, 1992).

O Enos afeta o clima de todo o planeta, uma vez que altera o aquecimento da atmosfera tropical, modificando a circulação atmosférica global (CANE, 2005). Segundo Peixoto e Oort (1992), as anomalias de grande escala do oceano e da circulação atmosférica globais estão associadas às variações da temperatura da superfície do mar na região equatorial.

Trata-se de um fenômeno de interação atmosfera-oceano, pois consiste de uma componente oceânica e outra atmosférica (PEIXOTO; OORT, 1992). A componente oceânica está associada às variações de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) apresentadas pelas águas do Leste do Oceano Pacífico Equatorial. Já a componente atmosférica está associada às grandes variações no sentido Leste-Oeste da massa da atmosfera tropical, entre os oceanos Pacífico Oeste e Índico e o Pacífico Leste.

De forma geral, o fenômeno El Niño Oscilação Sul representa alterações dos padrões normais da TSM e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico Oeste, próximo à Austrália.

Essas anomalias da TSM influenciam a atmosfera sobre elas e modificam o campo de pressão na direção leste-oeste, que, por sua vez, modifica a Circulação Global da Atmosfera (CGA) tropical e interfere no clima global por meio de teleconexões (MOLION, 2010). O termo teleconexão explica como anomalias que ocorrem em determinada região podem estar associadas a anomalias que ocorrem em regiões distantes. Essa definição surgiu a partir de análises de dados de pressão em superfície. Walker (1924) identificou, entre outras oscilações, a Oscilação Sul (OS), caracterizando como teleconexão o fato de a OS registrar pressões altas no Pacífico e baixas no Índico desde a África até a Austrália (CAVALCANTI et al., 2009).

A Fase Quente do Enos é chamada de El Niño e se caracteriza pelo aquecimento das águas do Pacífico Equatorial Central e Leste. Conseqüentemente, as águas do Pacífico Equatorial Oeste se tornam, ligeiramente, mais frias (TRENBERTH, 1997; MOLION, 2010). O aquecimento das águas do Pacífico Equatorial Central e Leste modificam o campo bórico, resultando em anomalias positivas de pressão sobre a Indonésia e negativas sobre o Pacífico Tropical Central e Leste. Esse padrão intensifica a convecção sobre o Oceano Pacífico Central e Leste e a reduz sobre a Indonésia (ANDREOLI; KAYANO, 2005).

A Figura 2.7 mostra que, na região aquecida, há o favorecimento do movimento ascendente característico da Baixa Pressão (simbolizado, na Figura 2.7, pela letra B). Em contrapartida, onde as águas estão menos aquecidas, há uma Alta Pressão

(simbolizada, na Figura 2.7, pela letra A) e um movimento subsidente (PEIXOTO; OORT, 1992).

A Figura 2.8 mostra a configuração climatológica no Pacífico Equatorial durante o evento de El Niño e as teleconexões associadas a ele em diversas outras regiões. Como se pode ver, o evento produz, no Rio Grande do Sul, anomalias positivas de precipitação (FONTANA; BERLATO, 1996; PUCHALSKI, 2000) e estações chuvosas deficientes na Região Nordeste do Brasil (ALVES; REPELLI, 1992). Embora Grimm, Ferraz e Cardoso (1998), analisando a influência do El Niño sobre a precipitação no Nordeste brasileiro, não tenham encontrado uma relação linear, os autores apontam que os efeitos do El Niño nessa região variam devido aos diferentes regimes de precipitação e à interação com a topografia local.

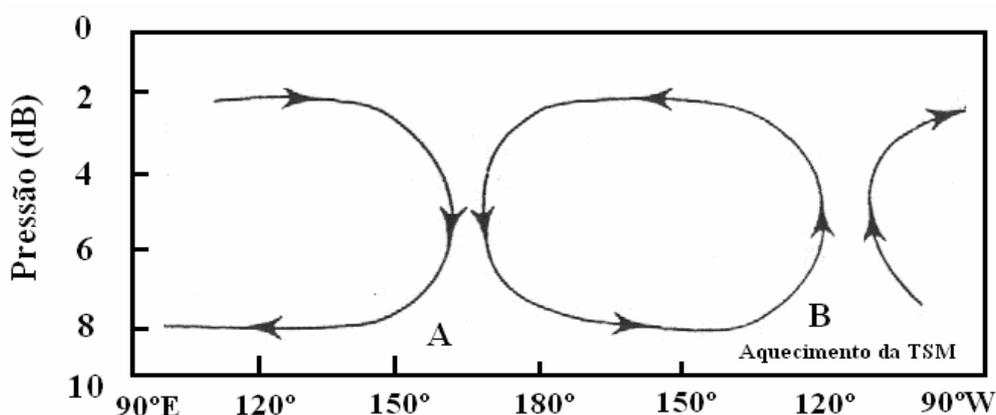


Figura 2.7 – Diagrama esquemático da Região do Pacífico sob condições de El Niño. A letra A simboliza a região de alta pressão e a B a região da baixa pressão.

Fonte: adaptada de Peixoto e Oort (1992).

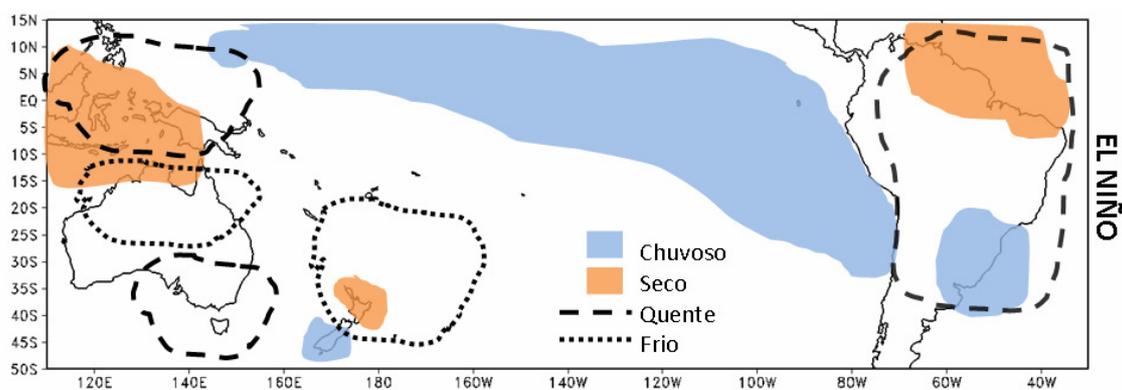


Figura 2.8 – Padrões de teleconexões globais associadas a eventos de El Niño.

Fonte: modificada de Fowler et al. (2000).

Durante a fase fria do Enos, conhecida por La Niña, as águas do Pacífico Equatorial Leste se tornam mais frias, e a convecção é reduzida nessa região. Por outro lado, a convecção é intensificada na Indonésia (TRENBERTH, 1997; MOLION, 2010).

A Figura 2.9 mostra situação semelhante àquela mostrada na Figura 2.7, porém com a inversão das regiões da Baixa e da Alta Pressão. O resfriamento das águas do Pacífico Equatorial Central e Leste induzem a um movimento de subsidência de ar nessa região, característica da Alta Pressão (simbolizada, na Figura 2.9, pela letra A). Em contrapartida, onde as águas estão mais aquecidas, aparece uma Baixa Pressão (simbolizada, na Figura 2.9, pela letra B) e um movimento ascendente de ar (PEIXOTO; OORT, 1992).

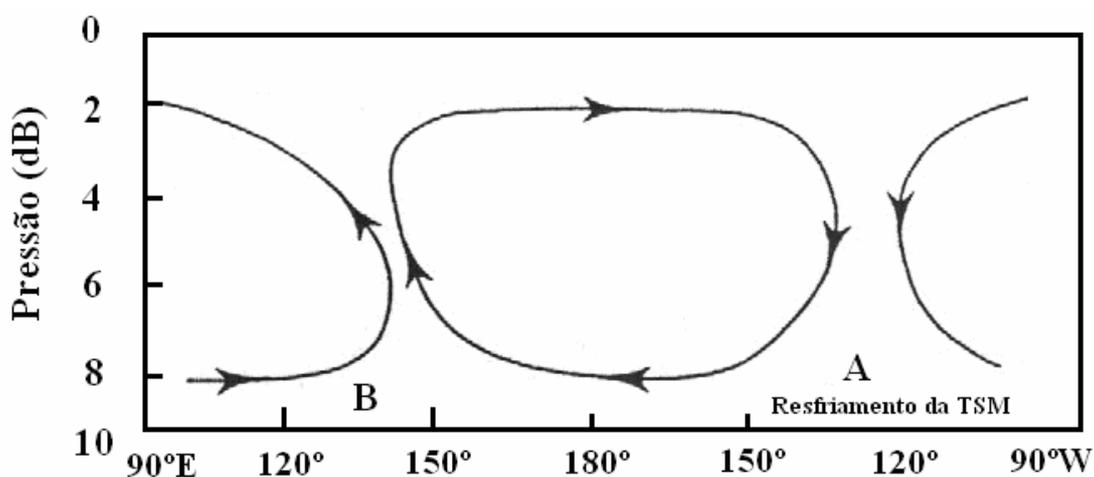


Figura 2.9 – Diagrama esquemático da Região do Pacífico sob condições de La Niña. A letra A simboliza a região de alta pressão e a B a região da baixa pressão.

Fonte: adaptada de Peixoto e Oort (1992).

A Figura 2.10 mostra a configuração climatológica no Pacífico Equatorial durante o evento de La Niña e as teleconexões associadas ao evento em diversas outras regiões. Inversamente à Figura 2.8, o Rio Grande do Sul apresenta condições de pouca chuva, e o Nordeste apresenta-se chuvoso.

Sob condições normais, a termoclina (região de forte queda de temperatura com a profundidade) está próxima à superfície, e as águas de Leste estão mais frias. Quando o gradiente de pressão de Oeste decresce, os ventos alísios sobre o Pacífico Equatorial Central enfraquecem, suavizando a profundidade da termoclina. As temperaturas das águas do lado oeste se tornam mais quentes, resultando em El Niño. Se há

intensificação dos ventos alísios, as encostas leste-oeste crescem, aprofundando a termoclina e possibilitando a ressurgência, que seria o afloramento de águas mais profundas do oceano. Tem-se, então, um episódio de La Niña (PEIXOTO; OORT, 1992; CANE, 2005).

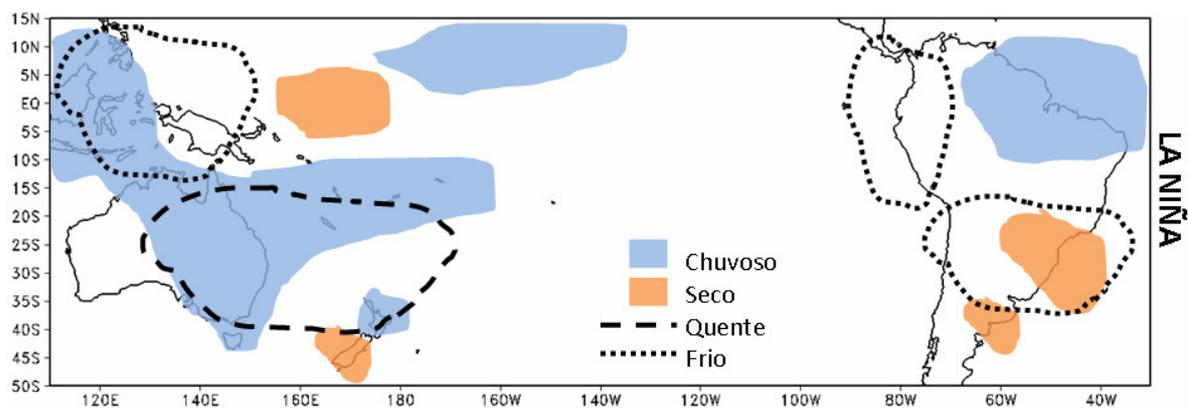


Figura 2.10 – Padrões de teleconexões globais associadas a eventos de La Niña.

Fonte: modificada de Fowler et al. (2000).

Existem muitas contradições, entre os autores, sobre a frequência de ocorrência de El Niño e La Niña (GRIMM, FERRAZ; GOMES, 1998). No entanto, o consenso é que a frequência do evento varia de 3 a 7 anos, aproximadamente (OLIVEIRA, 1971; NEELIN; LATIF, 1998).

Desde o início do século passado, vêm se estudando as relações entre Enos e precipitação, mas sempre estudos de caráter qualitativo. Porém, mais recentemente, tem-se buscado a quantificação desta relação (FONTANA; BERLATO, 1996). A partir disso, muitos autores encontraram, em seus estudos, relações entre o Enos e a precipitação (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987). Berlage (1966) encontrou correlação significativa entre o IOS e a precipitação em muitas estações no globo. Rasmussen e Wallace (1983) mostraram relações entre as séries temporais de precipitação de algumas localidades com a pressão em superfície para Darwin e Tahiti. Horel e Wallace (1984) registraram um aumento na precipitação nas Ilhas do Pacífico Central Equatorial em anos de El Niño. Em especial, Kousky, Kagano e Cavalcanti (1984) encontraram relações entre o Enos e a precipitação para algumas localidades do Brasil.

A Região Sul brasileira é uma das regiões subtropicais mais afetadas pelos eventos El Niño e La Niña (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998), cujas intensidades

variam muito. Os anos de 1982/1983 e 1997/1998 foram marcados por um evento de El Niño muito intenso, cujas chuvas intensas duraram dois meses e causaram enchentes, sendo o estado de Santa Catarina o mais afetado (REBELLO,1997). Eventos fortes de La Niña ocorreram nos anos de 1988/1989, 1995/1996 e 1998/1999 (CPTEC, 2001).

As anomalias de precipitação causadas pelo Enos estão diretamente associadas às alterações nos padrões da célula zonal de Walker (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM; TADESCHI, 2004), pelo deslocamento de seus ramos descendentes e ascendentes e pela intensificação e deslocamento do Jato Subtropical. Essas alterações são verificadas nas escalas de tempo e clima. Como explica Andreoli e Kayano (2005), as diferenças de pressão oriundas do aquecimento diferencial que ocorre no Pacífico Equatorial em períodos de Enos deslocam a circulação de Walker com movimento anômalo ascendente sobre o Pacífico Equatorial Central e Leste, onde a TSM está acima do normal, e movimento anômalo subsidente no Oeste.

Molion (2010) define Circulação Geral da Atmosfera (CGA) como o sistema global de movimentos atmosféricos gerados a partir do aquecimento desigual dos trópicos com relação aos pólos, que resultam em gradientes de temperatura e umidade. A CGA é importante para o planeta por atuar como reguladora do clima, suavizando os gradientes de temperatura que se estabeleceriam entre essas duas regiões da Terra na ausência desse transporte.

A Circulação de Walker se comporta como a componente zonal da CGA e tende a distribuir a energia dentro dos trópicos. Particularmente, energia na forma de calor latente entra na atmosfera por meio da condensação do vapor d'água, resultante dos movimentos de ascendência de ar e formação de nuvens (convecção) sobre os continentes tropicais. Assim, os ramos ascendentes da Circulação de Walker estão localizados sobre os continentes que se aquecem mais rapidamente que os oceanos.

2.8.1 - Índice de Oscilação Sul (IOS)

As alterações na temperatura das águas no lado leste do Oceano Pacífico acarretam uma diferença de Pressão ao Nível do Mar (PNM) entre os setores centro-leste (Tahiti) e oeste (Darwin) no Oceano Pacífico Tropical (Figura 2.11), o que provoca mudanças na circulação de grande escala da atmosfera, provocando anomalias climáticas em várias regiões do globo (ALVES; RAPELLI 1992).

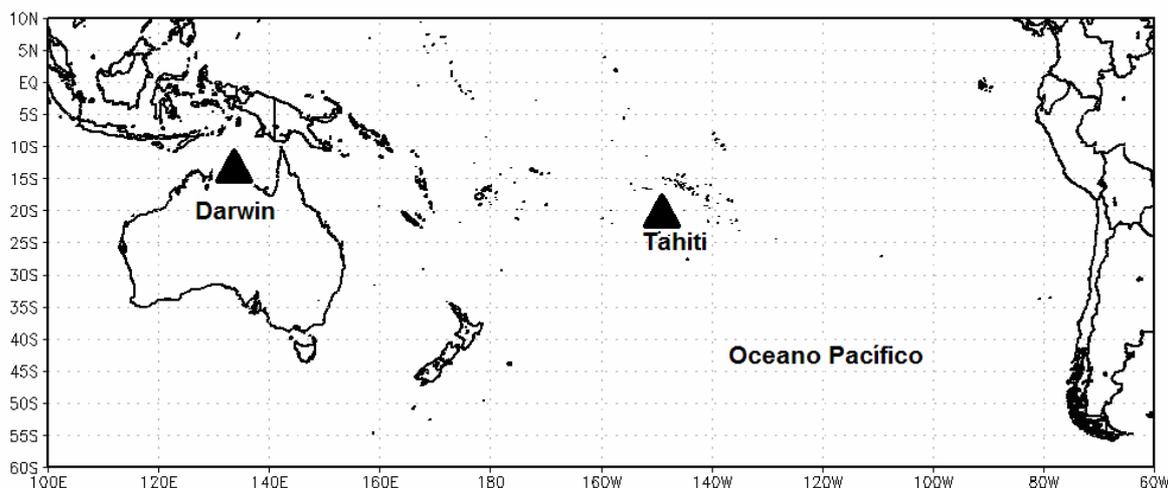


Figura 2.11 – Mapa identificando os locais onde são medidas as pressões que são correlacionadas para fornecer o Índice de Oscilação Sul: Tahiti e Darwin (triângulos em preto no mapa).

Fonte: elaborada pela autora através do software GrADS.

A Oscilação Sul é uma oscilação da massa atmosférica e, portanto, da Pressão ao Nível do Mar (PNM) entre o leste e oeste do Pacífico. É, mais frequentemente, indexada pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), que mede a fase e a intensidade do Enos. O IOS é tido como a diferença normalizada da PNM entre Darwin, Austrália e Tahiti (Polinésia Francesa) (CANE, 2005).

Para caracterizar eventos de El Niño ou La Niña, deve-se analisar o sinal do IOS e a anomalia da TSM. Peixoto e Oort (1992) reconhecem um evento de El Niño quando há IOS negativo, enfraquecimento dos ventos alísios sobre o Pacífico Central e anomalia positiva de TSM no Pacífico Equatorial Leste. Quando há IOS positivo, intensificação dos ventos alísios no Pacífico Central e anomalia negativa de TSM no Leste do Pacífico Equatorial têm-se a La Niña, embora alguns autores, como Enfield (1989) e Neelin e Latif (1998), caracterizem eventos de El Niño e La Niña apenas pela duração do sinal do IOS.

O entendimento físico do IOS é que, durante eventos El Niño, o centro da precipitação, no Pacífico Tropical, muda do Pacífico Oeste para o Pacífico Central, causando pressões em superfície acima da média em Darwin e abaixo da média em Tahiti, o que produz um valor negativo do IOS (WILKS, 1995).

Cane (2005) relacionou a PNM em Darwin com a anomalia de TSM para a região El Niño 3. Como se pode notar na Figura 2.12, o ano de 1982/1983 apresentou

anomalias positivas de pressão na região de Darwin, o que indica movimento subsidente de ar, e anomalia positiva de TSM, evidenciando aquecimento das águas do Pacífico Equatorial Leste. As duas características indicam ocorrência de El Niño.

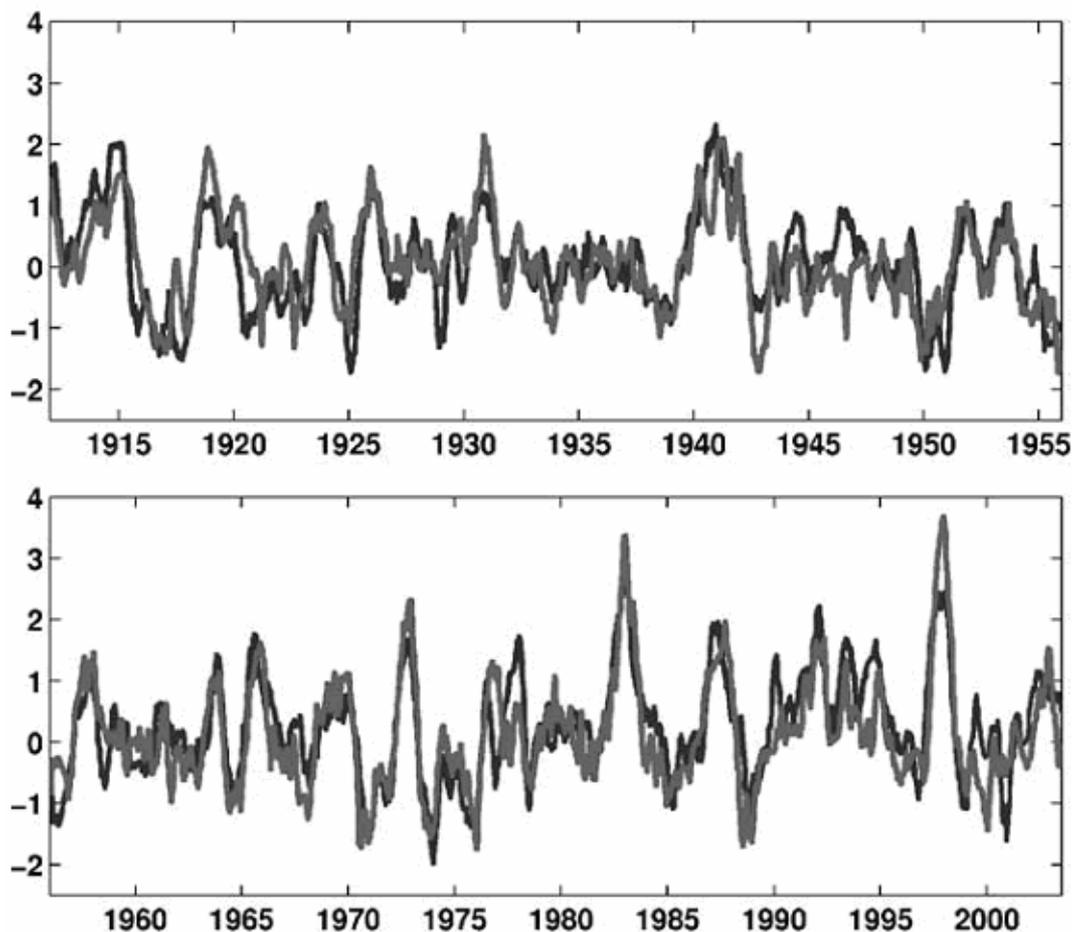


Figura 2.12 – Relação entre pressão ao nível do mar para Darwin (linhas em preto), as anomalias de TSM para a região do Niño 3 (linhas em cinza) e o tempo em anos.

Fonte: modificada de Cane (2005).

Situação semelhante ocorre nos anos de 1997/1998. Ainda na Figura 2.12, o ano de 1988/1989 apresentou anomalias negativas de pressão, indicando movimento ascendente de ar, e anomalia negativa de TSM, indicando resfriamento das águas a leste do Pacífico Equatorial. Essas características determinaram a ocorrência de La Niña para esse período.

Wilks (1995) explica como é feito o cálculo para que as diferenças de pressão entre Darwin e Tahiti resultem no Índice de Oscilação Sul. O cálculo é feito com o auxílio da Equação 1.

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} = \frac{x'}{s_x} \quad (1)$$

Sendo z a anomalia padronizada, x a pressão para o mês que se quer fazer o cálculo do IOS, \bar{x} a média da amostra já sem a tendência e s_x o desvio padrão.

Os valores do índice de Oscilação Sul derivam das diferenças mensais nas anomalias padronizadas da pressão ao nível do mar para Tahiti, no Pacífico central; e Darwin, no Norte da Austrália. A partir do cálculo $\Delta z = z_{Tahiti} - z_{Darwin}$ para cada mês durante o período dos anos considerados.

Os valores do Índice de Oscilação Sul derivam das diferenças mensais nas anomalias padronizadas da pressão ao nível do mar para Tahiti, no Pacífico Central, e Darwin, no norte da Austrália, a partir do cálculo $\Delta z = z_{Tahiti} - z_{Darwin}$ para cada mês, durante o período dos anos considerados.

Inicialmente, calcula-se cada anomalia padronizada separadamente. Por exemplo, considere a anomalia padronizada para Tahiti para janeiro de 1960 (z_{Tahiti}), que é calculada subtraindo-se a pressão média para todos os meses de janeiro em Tahiti (\bar{x}) da pressão observada em janeiro de 1960 (x). Essa diferença é, então, dividida pelo desvio-padrão (s_x), caracterizando uma variação anual das pressões atmosféricas em Tahiti. Esse cálculo produz uma minimização da influência das mudanças sazonais na média mensal das pressões e na variabilidade anual dessas médias. Faz-se o mesmo cálculo para Darwin.

A seguir, calcula-se a anomalia padronizada pela diferença $z_{Tahiti} - z_{Darwin}$, o que garante que o índice resultante terá unidade de desvio-padrão. Obtém-se essa padronização considerando-se uma nova variável $z_{\Delta z}$ como sendo a série temporal de todos os Δz . Calcula-se a média dos Δz e seu desvio padrão.

2.9 - Estudo do clima através de registros naturais

Existem muitas evidências de que o Enos caracteriza o clima do planeta há, pelo menos, 130.000 anos, e estas evidências podem ser analisadas através de registros

naturais. Alguns estudos fazem uso dos corais para o exame de sinais de isótopos de oxigênio presentes, que refletem as variações de precipitação. Os sedimentos clásticos no fundo dos lagos, que deixam “marcas” dos períodos de seca e inundações, e os anéis de crescimento que deixam essas mesmas “marcas”, porém na espessura dos anéis de crescimento, também são registros naturais que podem ser usados no reconhecimento de períodos de seca e inundações no passado (CANE, 2005).

A dendroclimatologia determina a idade das árvores através da contagem dos anéis de crescimento formados em seu tronco anualmente e estabelece relações desses com eventos climáticos (SCHWEINGRUBER, 1988). Nordemann e Rigozo (2003) relatam ser possível o estudo do passado através dos anéis de crescimento das árvores, até mesmo em escala de séculos, há milhares de anos, pois as árvores registram, em seus anéis de crescimento, a memória das variações do ambiente onde vivem. Embora, nas regiões de estações bem definidas, as árvores do tipo coníferas (pinheiros, araucárias, ciprestes) apresentem anéis bem marcados, em outras espécies, essas transições são pouco aparentes (NORDEMAN; RIGOZO, 2003; NOGUEIRA; BALLARIN, 2003). É essa característica sensitiva que algumas espécies apresentam com relação às condições climáticas que as cercam, o que, segundo Gonçalves (2007-2008), enfatiza a aplicação da dendrocronologia ao estudo do clima.

Callado et al (2001) estudando quatro espécies de árvores na Floresta Atlântica no Rio de Janeiro mostraram que duas espécies apresentaram redução do crescimento em períodos de inundação. Dezzeo et al. (2003) verificando o crescimento de quatro espécies de árvores as margens do Rio Orinoco na Venezuela, apontaram que a variação no nível do rio influência no crescimento das árvores, mas não mostraram maior crescimento em períodos de inundação

Assim, a cronologia dos anéis de crescimento de árvores representa um registro natural e pode ser usada para inferir a evolução de tais eventos durante períodos passados, sem registros climáticos instrumentais, na taxa de crescimento da árvore (NORDEMANN et al., 2002).

3 - METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as séries temporais utilizadas no trabalho, bem como os métodos matemáticos empregados neste estudo: correlação linear, filtragem, curva de ajuste e análise espectral pela regressão iterativa.

3.1 - Séries temporais de anéis de crescimento de árvores

As séries temporais dos anéis de árvores utilizadas foram da região Sul do Brasil e obtidas de:

1 - Prestes (2006), série temporal de anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo-RS;

2 - Rigozo (1999), série temporal de anéis de crescimento de Concórdia – SC;

3 - Oliveira (2007) e Rigozo, (1999), série temporal de anéis de crescimento de São Francisco de Paula – RS.

A Tabela 3.1 traz informações detalhadas sobre as amostras.

Tabela 3.1 – Local das coletas, número de amostras por espécie, espécie, o ano de corte e o autor da coleta.

Local	Número de amostras	Espécie	Ano de corte	Autor
Concórdia	8	<i>Araucaria angustifolia</i>	1997	Rigozo (1999)
Passo Fundo	12	<i>Araucaria angustifolia</i>	2005	Prestes (2006)
São Francisco de Paula	6	<i>Araucaria angustifolia</i>	2003	Oliveira (2007)
	8	<i>Araucaria angustifolia</i>	1996	Rigozo (1999)

3.2 - Locais de Coleta

O estudo das amostras de árvores foi da região Sul do Brasil, nos municípios do Estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, nas cidades de Passo Fundo–RS, São Francisco de Paula – RS e Concórdia – SC (Figura 3.1). A Tabela 3.2 apresenta as informações sobre os locais das coletas.

Tabela 3.2 - Informações sobre os locais das coletas

Cidade	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (O)
Concórdia - SC	550	27° 14'	52° 01'
Passo Fundo - RS	740	28° 15'	52°24'
São Francisco de Paula - RS	930	29° 25'	50° 24'

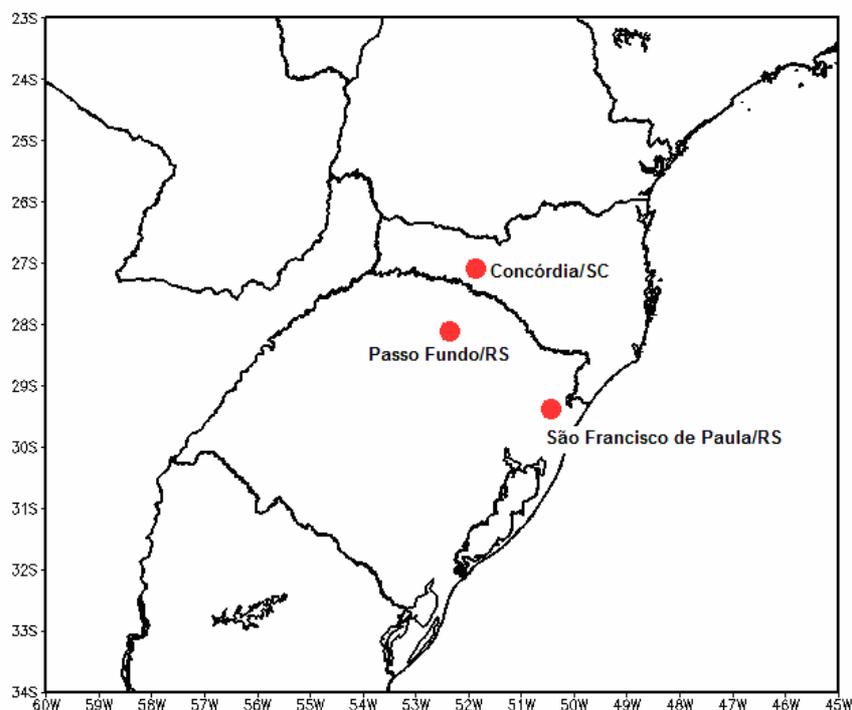


Figura 3.1 – Localidades onde foram feitas as coletas das amostras (Pontos em vermelho situados na Região Sul do Brasil).

3.2.1 - Amostras de Passo Fundo / RS

A Figura 3.2 apresenta as doze séries temporais de anéis de crescimento de *araucaria angustifolia* coletadas em Passo Fundo/RS.

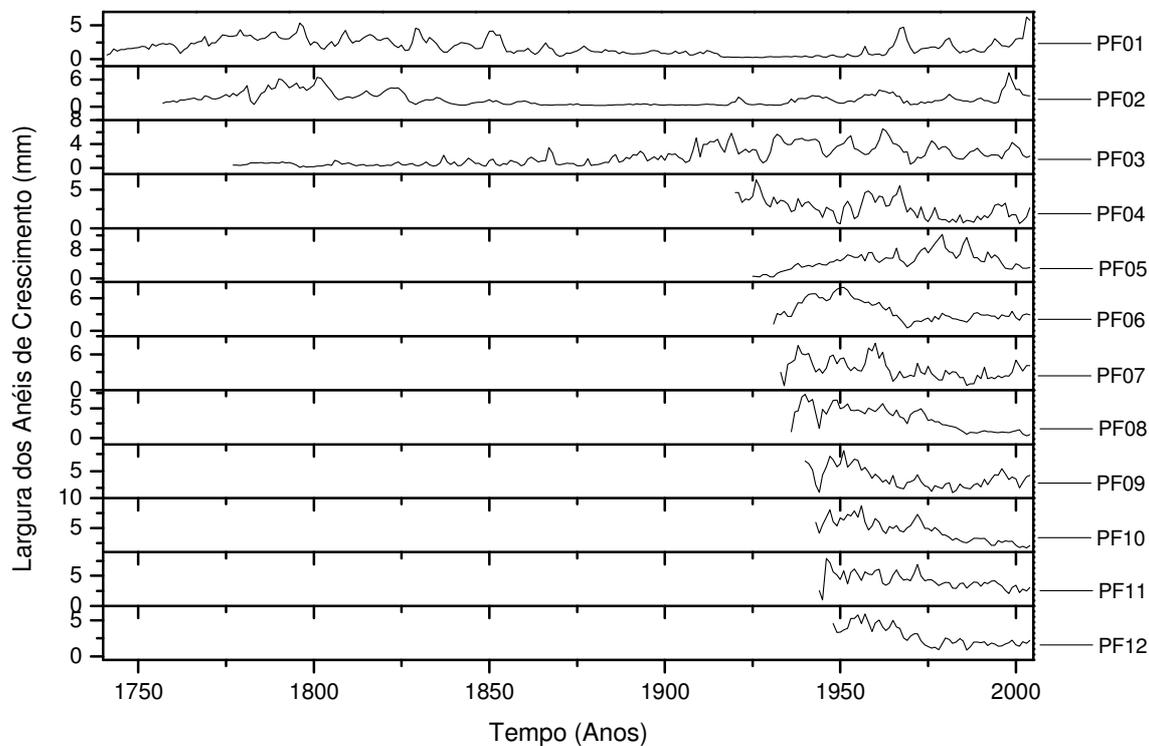


Figura 3.2 – As 12 amostras de anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo/RS indicadas pelas iniciais PF.

3.2.2 - Amostras de Concórdia / SC

A Figura 3.3 apresenta as oito séries temporais de anéis de crescimento de *araucaria angustifolia* coletadas em Concórdia/SC.

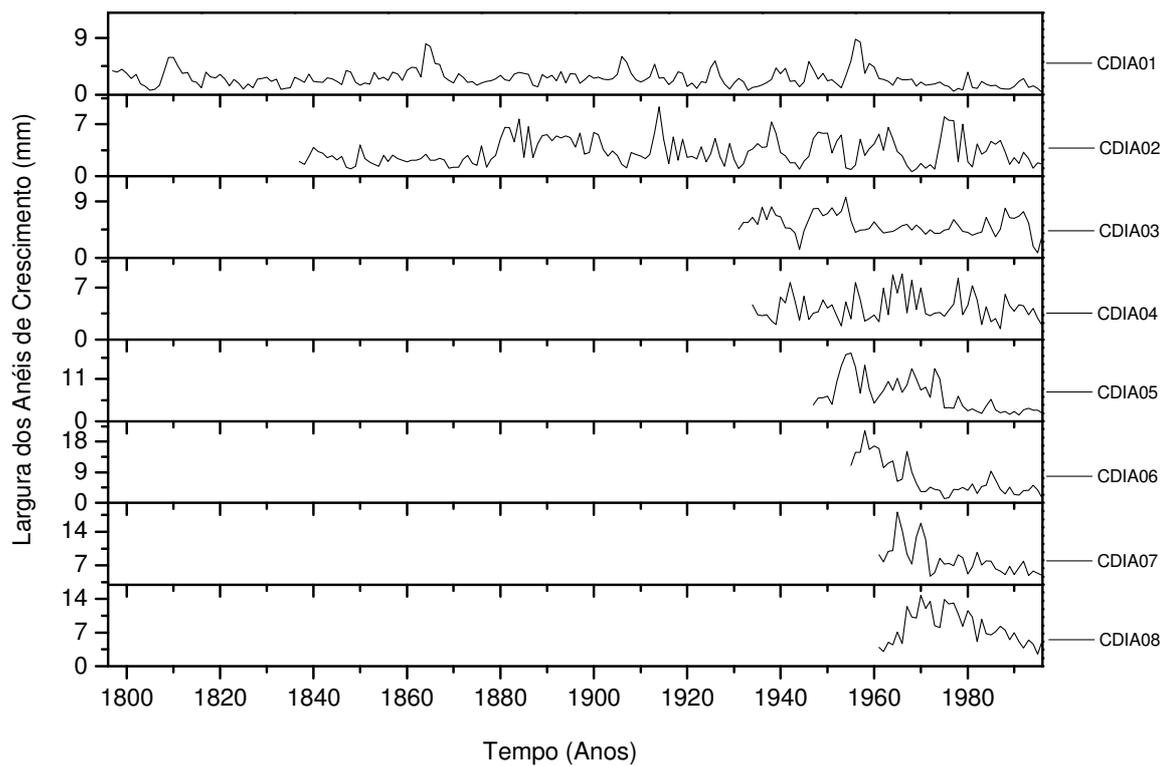


Figura 3.3 – As 08 amostras de anéis de crescimento de árvores de Concórdia/SC indicadas pelas iniciais CDIA.

3.2.3 - Amostras de São Francisco de Paula / RS

A Figura 3.4 apresenta as 6 séries temporais de anéis de crescimento de *araucaria angustifolia* coletadas em São Francisco de Paula/RS por Oliveira (2007).

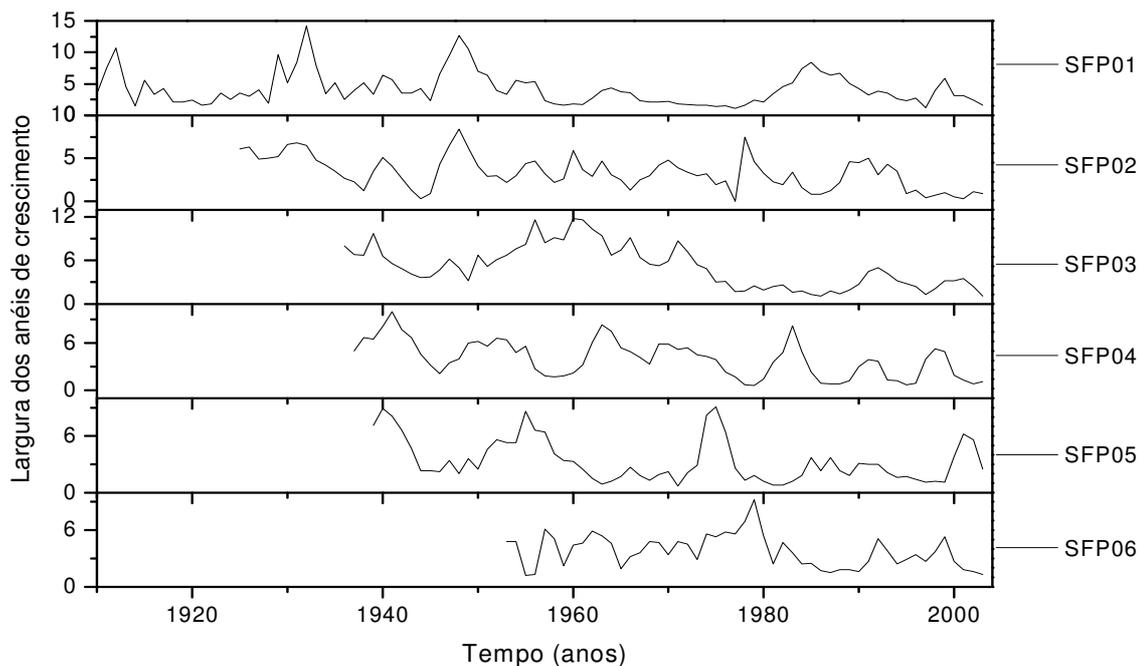


Figura 3.4 – As 6 amostras de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula/RS retiradas de Oliveira (2007).

A Figura 3.5 apresenta as 8 séries temporais de anéis de crescimento de *araucaria angustifolia* coletadas em São Francisco de Paula/RS por Rigozo (1999).

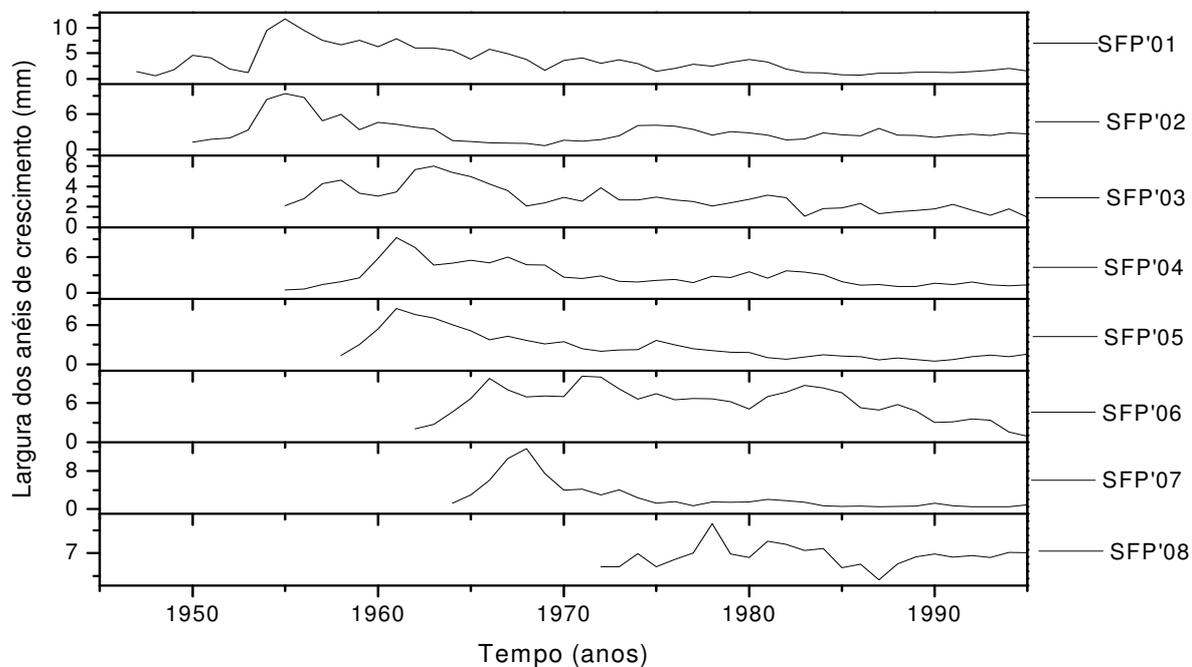


Figura 3.5 – As 8 amostras de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula/RS retiradas de Rigozo (1999).

3.3 - Séries temporais de precipitação

Neste estudo uma das maiores dificuldades encontradas foi em obter dados climáticos do local onde foi feita a coleta das amostras de árvores. Em alguns locais há monitoramento e medições das variáveis meteorológicas tendo assim séries históricas de precipitação e temperatura, por exemplo. Porém, a maioria dessas séries temporais contém falhas (seja devido a medidas que não foram feitas ou medidas erradas em consequência da não calibração do instrumento). Para a realização deste trabalho, encontrou-se tais dificuldades. As séries temporais de precipitação apresentaram falhas nos dados, e algumas dessas falhas compreenderam períodos de meses ou até mesmo anos, o que comprometeria a qualidade dos resultados atribuídos a essas séries.

Segundo Pampuch (2010), o Brasil tem uma grande quantidade de estações meteorológicas, porém a densidade delas varia muito. De 1940 até 1961, apresentaram um crescimento gradual, tendo um aumento de 1962 a 1983 e, a partir daí, uma decadência. Esses dados foram submetidos a um controle de qualidade; mesmo assim, a maior dificuldade ainda está na ausência de dados das estações originais.

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram coletados do Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º Disme/Inmet) em Porto Alegre e do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo), disponível no *site* <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Estes órgãos fornecem séries temporais mensais de precipitação.

Consultando o *site* do Inmet, não foi possível encontrar estação com dados de precipitação para São Francisco de Paula/RS nem para Concórdia/SC. Nesse contexto, seguiu-se a metodologia de Zanzi et al. (2007), que em seu estudo no Valle del Gallo, ao norte da Itália, relataram não haver séries longas de precipitação nas estações vizinhas a esta localidade. Por esta razão, usaram séries temporais de precipitação de Milão, a 150 quilômetros do sítio de coleta. No presente estudo, utilizou-se da série de precipitação de Passo Fundo/RS nos estudos feitos para Concórdia/SC e série de precipitação de Caxias do Sul/RS para o estudo de São Francisco de Paula/RS.

Os dados de precipitação de Passo Fundo/RS foram obtidos da estação convencional do INMET localizada na latitude -28,22° e longitude -52.4° a 684.05 m de altitude. Parte dos dados de precipitação de Caxias do Sul/RS foram obtidos da estação convencional do INMET localizada na latitude -29.17° e longitude -51.2° a 759.6 m de

altitude. Outra parte foi extraída dos dados históricos disponíveis no endereço eletrônico do Agritempo.

A Figura 3.6 apresenta a série temporal anual precipitação para Caxias do Sul/RS para o período de 1931-2005 (obtida do AGRITEMPO e INMET). Essa série obteve-se a partir da média entre os valores mensais de precipitação para Caxias do Sul/RS.

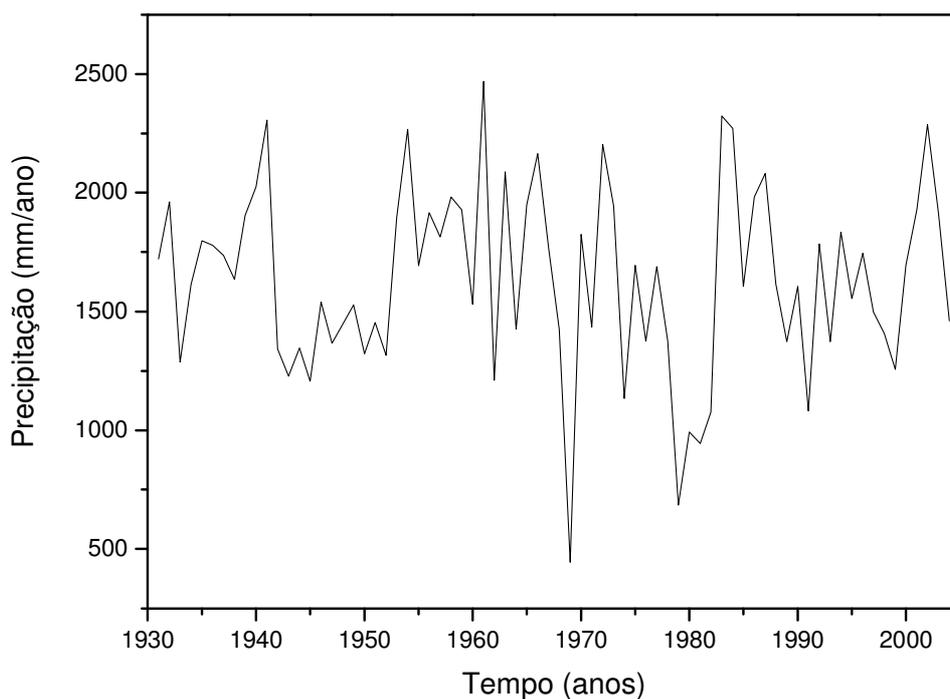


Figura 3.6 – Série temporal anual de precipitação para Caxias do Sul a partir de dados mensais disponíveis no INMET e AGRITEMPO.

A Figura 3.7 apresenta a série anual de precipitação para Passo Fundo/RS para o período de 1913-2005 (obtida do INMET). Esta série anual de precipitação foi obtida a partir da média dos dados mensais de precipitação.

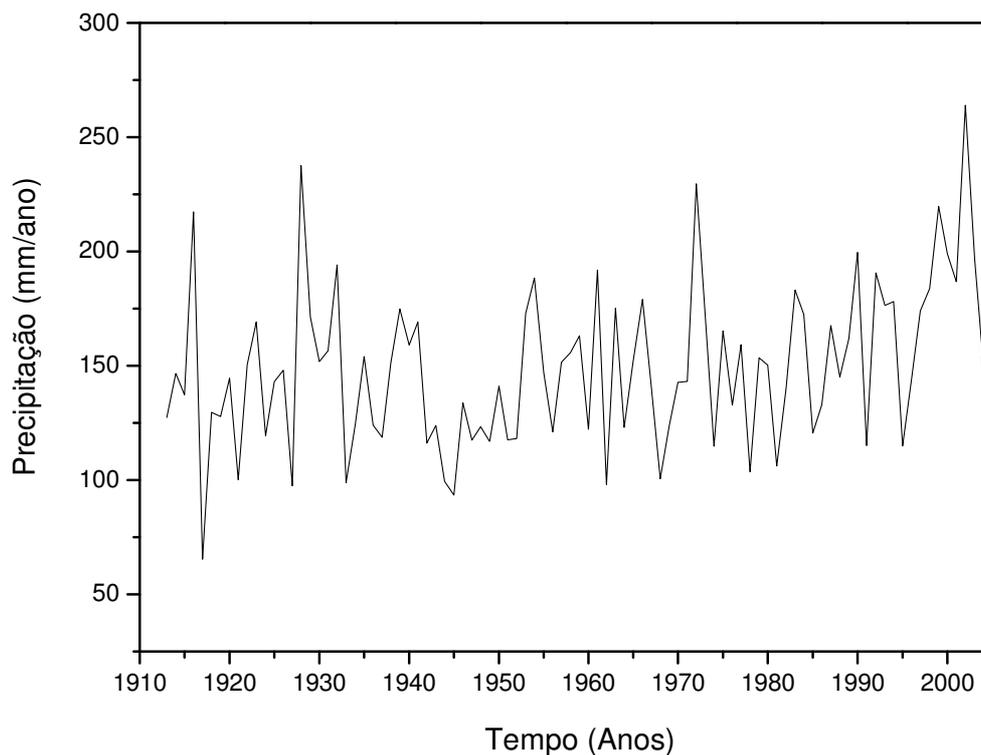


Figura 3.7 – Série temporal anual de precipitação para Passo Fundo/RS, a partir da média entre os dados mensais de precipitação disponíveis no INMET.

3.4 - Série temporal do IOS

O Índice de Oscilação Sul é um valor que mede a fase e a intensidade do ENOS (Cane, 2005). Neste estudo fez-se o uso de dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) de 1876-2004 (Figura 3.8) disponíveis em Australian Government – Bureau of Meteorology, a partir do endereço eletrônico <<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>>.

A série temporal anual do IOS (Figura 3.8) obteve-se a partir da média entre os valores mensais do IOS disponíveis no endereço eletrônico citado.

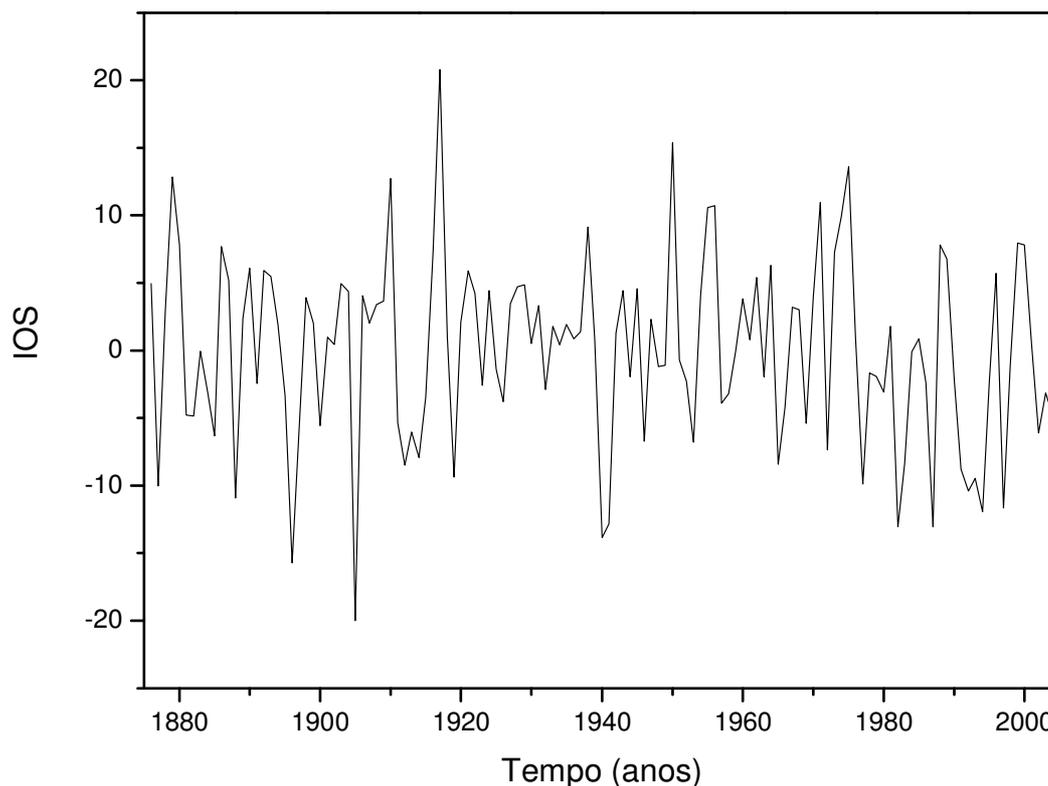


Figura 3.8 – Série temporal de IOS médio anual a partir da media entre os dados mensais disponíveis no Australian Government – Bureau of Meteorology.

3.5 - Estudo sazonal

Com a série de precipitação mensal construiu-se uma série temporal para primavera-verão e outra para outono-inverno compreendendo todo o período de estudo para cada localidade. Essa separação sazonal seguiu a literatura onde alguns trabalhos (*i.g.* Stokes e Smiley 1996; Botosso e Mattos 2002), sugerem que o período de crescimento das plantas ocorre na primavera/verão (lenho inicial) e o período de dormência ocorre no outono/inverno o (lenho tardio). Por essa razão, procurou-se investigar se há diferença nos sinais encontrados nas séries de precipitação quando separadas por estações do ano. Fez-se a análise espectral em cada uma das séries sazonais e analisou-se cada uma delas, separadamente, junto da serie de anéis de crescimento de cada localidade em estudo.

3.6 - Curvas de ajuste

Algumas funções de ajuste foram aplicadas às séries de anéis de crescimento de árvores a fim de remover as longas tendências contidas nessas séries. Funções como polinomial de primeiro, segundo e terceiro grau, Gaussiana foram aplicadas, mas os resultados das análises espectrais ainda apontavam sinais de longo período que poderiam estar mascarando o sinal do Enos (2-7 anos). Como, por exemplo, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) ou fatores de natureza biológica como crescimento de cada árvore ou histórico de queimadas, desmatamento. Para isso, foi necessário limitar a faixa de frequência através do uso do filtro passa-baixa.

Seguindo a metodologia de Schöngart et al. (2004), para explorar a variabilidade do Enos, utilizou-se nas séries temporais de anéis de crescimento o filtro passa-baixa no domínio do tempo. Neste trabalho aplicou-se no filtro a frequência de corte de 1/15 anos para que os longos períodos (maiores que 15 anos) não sobressaíssem os curtos períodos. Após a aplicação do filtro passa-baixa em cada série temporal, efetuou-se a eliminação das tendências nos dados, subtraindo de cada série original a série obtida pelo filtro passa-baixa. Com as curvas sem a tendência, obteve-se uma cronologia local através da média de todas as séries sem a tendência (RIGOZO, 1999; PRESTES, 2006). Este procedimento foi aplicado a todas as séries das três localidades em estudo.

O filtro linear converte uma série temporal x_t em outra y_t através de uma operação linear (Equação 2). Sendo t o tempo em uma seqüência de dados de saída y_t utilizando pesos w_k :

$$y_t = \sum_{k=-\infty}^{\infty} w_k X_{t-k} \quad (2)$$

$$k = \dots -1, 0, 1, \dots$$

Após determinada a função de ajuste nas séries temporais, faz-se a subtração dessa função, que é a eliminação da tendência de longo período. Assim, após a subtração da função de ajuste de cada serie, tem-se uma nova serie temporal. O processo de retirada de tendência foi aplicado a cada uma das amostras. Com isso obteve-se uma cronologia local, através da média das cronologias de cada amostra (RIGOZO, 1998; PRESTES, 2006).

3.7 - Análise espectral

A análise espectral é uma das mais importantes técnicas matemáticas para o estudo de séries temporais. É aplicado em praticamente todas as áreas do conhecimento humano ou pelo menos aquelas em que é possível obter séries que carreguem alguma informação ou descreva fenômenos desta área. Pode-se dizer que a análise espectral é multidisciplinar (RIGOZO et al., 2005).

O método da regressão iterativa, descrito na sua forma geral por Wolberg (1967), e aperfeiçoado e adaptado em linguagem C por Rigozo (1994), Rigozo e Nordemann (1998) - (ARIST – Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais). O método pode ser aplicado ao ajuste de qualquer função (derivável em relação aos parâmetros e variáveis) a dados experimentais, sem necessidade de linearização prévia (RIGOZO et al, 1998).

Este método utiliza de uma função senoidal com três parâmetros desconhecidos: a_0 = amplitude, a_1 = frequência angular e a_2 = fase, Equação 3:

$$F_k = Y_k - a_0 \sin(a_1 t_k + a_2) \quad (3)$$

sendo Y_k é o k-ésimo sinal medido no tempo t .

Seguindo o detalhamento matemático de Rigozo et al, (2005); Rigozo e Nordemann, (1998); como o método é iterativo, para cada iteração os termos correctivos A_0 , A_1 , A_2 são calculados e aplicados aos parâmetros a_0 , a_1 e a_2 , respectivamente, para a resolução das seguintes relações de recorrência:

$$\begin{aligned} a_0 &= a'_0 - A_0 \\ a_1 &= a'_1 - A_1 \\ a_2 &= a'_2 - A_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Sendo os a'_i valores de a_i da iteração anterior. No caso da primeira iteração, são escolhidos valores iniciais de a'_i da mesma ordem de grandeza que os valores esperados.

Os termos correctivos representam as soluções do sistema linear, Equação 5:

$$A - C^{-1}V \quad (5)$$

Onde os termos C_{ij} e V_{ij} das matrizes C e V, são os somatórios para todos os n dados da série temporal, em cada iteração, calculados pelas Equações 6 e 7:

$$C_{ij} = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial F_k}{\partial a_i} \right) \left(\frac{\partial F_k}{\partial a_j} \right) \quad (6)$$

$$V_i = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial F_k}{\partial a_i} \right) (F_k) \quad (7)$$

Em que L é o coeficiente de ponderação de cada dado. Na maioria das observações, as amostras são independentes entre si, possuindo o mesmo peso estatístico, isto é, com $L = 1$. Tal condição é atribuída a todas as análises da presente dissertação.

A determinação desses parâmetros deve respeitar um critério de convergência. A iteração cessa quando a soma dos quadrados de a_i for menor que o valor dado. Do contrario as iterações continuam e os valores de A_i são subtraídos de a_i^t - conforme eq. (3).

Quando o critério é alcançado, os valores dos parâmetros a_i são considerados boas estimativas e os desvios padrão são expressos por:

$$D_{a_i} = \sqrt{\frac{C^{-1}S}{n-p}} \quad (8)$$

$$m = i + 1$$

Sendo C^{-1} termo diagonal da matriz inversa C, n é o numero de dados na série, p é o número de parâmetros desconhecidos, ou seja, $p = 3$. S é definido como o somatório, para todos os pontos experimentais, dos quadrados dos resíduos da equação F , ponderados pelo coeficiente L (RIGOZO, 1994; RIGOZO e NORDEMANN, 1998). Equação 9.

$$S = \sum_{k=1}^n \frac{F^2_k}{L} \quad (9)$$

O ARIST faz a procura, sucessiva, pelos valores dos parâmetros da função senoidal F através de uma varredura dos valores da frequência angular. A variação de frequência angular é expressa pela Equação 10:

$$dw = \frac{2\pi}{t_{final} - t_{inicial}} \quad (10)$$

Tem-se o valor de frequência angular máxima:

$$w_{max} = \frac{ndw}{2} \quad (11)$$

Sendo n é o numero de dados na série.

Esta frequência angular máxima corresponde a frequência permitida, ou seja, frequência de Nyquist, Equação 12.

$$w_{max} = \frac{\pi}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad f_{max} = \frac{1}{2\Delta t} \quad (12)$$

Sendo Δt o intervalo da amostragem.

Para este trabalho, como se trata de série anual de dados, tem-se um $\Delta t = 1ano$, logo a frequência utilizada é $f = \frac{1}{2\Delta t}$, o que corresponde a $f = \frac{1}{2} = 0,5$.

Seguindo a recomendação de Rigozo et al. (2005), o número máximo de iterações utilizado na determinação dos três parâmetros foi de 200.

O ARIST é capaz de obter valores de periodicidades maiores que a série temporal de entrada o que mostra que toda a série é um segmento de uma onda senoidal. Uma das vantagens do uso deste método, é que ele oferece confiabilidade na determinação dos períodos, amplitude e fase, fornecendo o desvio padrão de cada um dos três parâmetros. Isto permite uma seleção das amplitudes mais importantes, que apresentam maiores valores na relação amplitude/desvio.

Dos valores de saída fornecidos pelo ARIST, são considerados confiáveis os resultados cujos valores são maiores que o dobro de seus desvios-padrões, pois, conforme se verifica no estudo de distribuição gaussiana, quantidades que apresentam valores maiores que o dobro de seu desvio padrão ($>2\sigma$) possui confiabilidade acima de 95%.

Neste trabalho o método foi aplicado a fim de encontrar periodicidades contidas nas séries de anéis de crescimento de árvores que sejam comuns ao IOS e a precipitação.

3.8 - Correlações

O instrumento que mede a relação linear entre variáveis aleatórias é o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) (Equação 13). Este coeficiente indica a intensidade da correlação entre as variáveis (X e Y) em estudo e, ainda, se a correlação é positiva ou negativa.

$$r (X , Y) = \frac{\text{cov}[X , Y]}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}} \quad (13)$$

Sendo $\sqrt{s_x^2 s_y^2}$ o produto dos desvios padrões de X e Y .

O coeficiente r mede a dispersão em torno da equação linear ajustada pelo Método dos Mínimos Quadrados ou o grau de relação entre as variáveis envolvidas na amostra.

O coeficiente r é uma medida cujo valor se situa no intervalo -1 e +1.

$$-1 \leq r \leq +1$$

Sendo que, quanto maior a tendência linear positiva, o valor de $r(X,Y)$ estará mais próximo de 1. Quanto maior for a tendência de uma relação linear negativa, o valor de $r(X,Y)$ estará mais próximo de -1. Quando $r(X,Y)$ tem valor próximo de zero, implica ausência de relação linear entre as variáveis (FONSECA; MARTINS; TOLEDO, 1985).

Para que se tirem conclusões significativas sobre o comportamento das variáveis envolvidas, é necessário que o coeficiente de correlação esteja compreendido entre 0.6 e 1 (CHARNET et al., 1999), como mostra a Equação 14.

$$0,6 \leq |r| \leq 1 \quad (14)$$

Neste estudo correlacionou-se as variações mensais do IOS e os dados mensais de precipitação às cronologias locais de anéis de crescimento com a finalidade de saber como os anéis de crescimento se desenvolvem com relação as variáveis climatológicas estudadas. Pois, segundo Oliveira (2007), havendo correlação entre séries temporais de anéis de crescimento e medições meteorológicas, é possível modelar a variação climática pretérita com base em séries temporais de anéis de crescimento.

No presente trabalho fez-se a correlação com as séries brutas de anéis de crescimento das três localidades e as séries de IOS e precipitação e para os sinais comuns entre os anéis de crescimento e as variáveis em estudo. A saída de dados do Arist fornece os parâmetros: período, amplitude, frequência e fase. Selecionou-se os períodos comuns entre as séries temporais de estudo (por exemplo anéis de crescimento e IOS), com os demais parâmetros, correspondentes a esse período, reconstruiu-se a função senoidal (Equação 3) fazendo-a variar no tempo t (tamanho da série). Fez-se este procedimento para o período da série de anéis de crescimento e para o período de IOS (por exemplo). Dessa forma, tem-se duas séries temporais reconstruídas a partir de um determinado período. Correlacionou-se essas duas séries temporais reconstruídas a fim de conhecer o grau de significância do coeficiente de correlação entre elas.

3.9 - Reconstrução

É possível conhecer o comportamento dos anéis de crescimento em relação as variáveis meteorológicas através da reconstrução das séries temporais de anéis de crescimento (RIGOZO et al., 2008b). Esta reconstrução é feita a partir dos períodos comuns entre a série de anéis de crescimento e a série temporal em estudo que tenham apresentado coeficiente de correlação significativo ($r > 0.6$).

A saída de dados do ARIST revela as periodicidades contidas nas séries temporais, além de fornecer os parâmetros amplitude, frequência e fase das mesmas.

Por exemplo, como se reconstruiu a série de anéis de crescimento de árvores a partir do sinal do IOS: Separou-se os períodos comuns entre as duas séries temporais e que apresentaram coeficiente de correlação significativo, reconstruiu-se a função senoidal variando no tempo para cada sinal comum. A seguir tinha-se uma série reconstruída para cada período comum. Fez-se a soma destas séries reconstruídas para todos os períodos comuns tendo assim uma única série de anéis de crescimento reconstruída. Essa série reconstruída representa o sinal do IOS nos anéis de crescimento de árvores.

Para esse estudo, fez-se a reconstrução da série de anéis de crescimento a partir dos sinais comuns ao IOS, El Nino, La Niña, precipitação e precipitação primavera/verão.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as cronologias de anéis de crescimento representativas de cada localidade, obtidas seguindo a metodologia apresentada no capítulo 3. Os resultados da análise espectral, correlações aplicadas às cronologias e séries de precipitação e IOS também serão apresentados e discutidos.

4.1 - Séries Temporais

Um dos objetivos desse trabalho é saber como o crescimento dos anéis se comportam para cada uma das fases do IOS. Assim, seguindo a definição de Enfield (1989) e Neelin e Latif (1998), Prestes et al, (2011) tem-se a fase positiva do IOS como sendo La Niña e a Fase Negativa do IOS como sendo El Niño. Logo, separou-se a série mensal de IOS em La Niña (somente os valores mensais positivos do IOS) e El Niño (somente os valores mensais negativos do IOS).

4.1.1 - Série temporal do El Niño

A partir da série mensal de IOS, retirou-se todos os valores positivos desta série e fez-se uma média somente com os valores negativos. O resultado, mostrado na Figura 4.1, é a média anual (1876-2004) do El Niño.

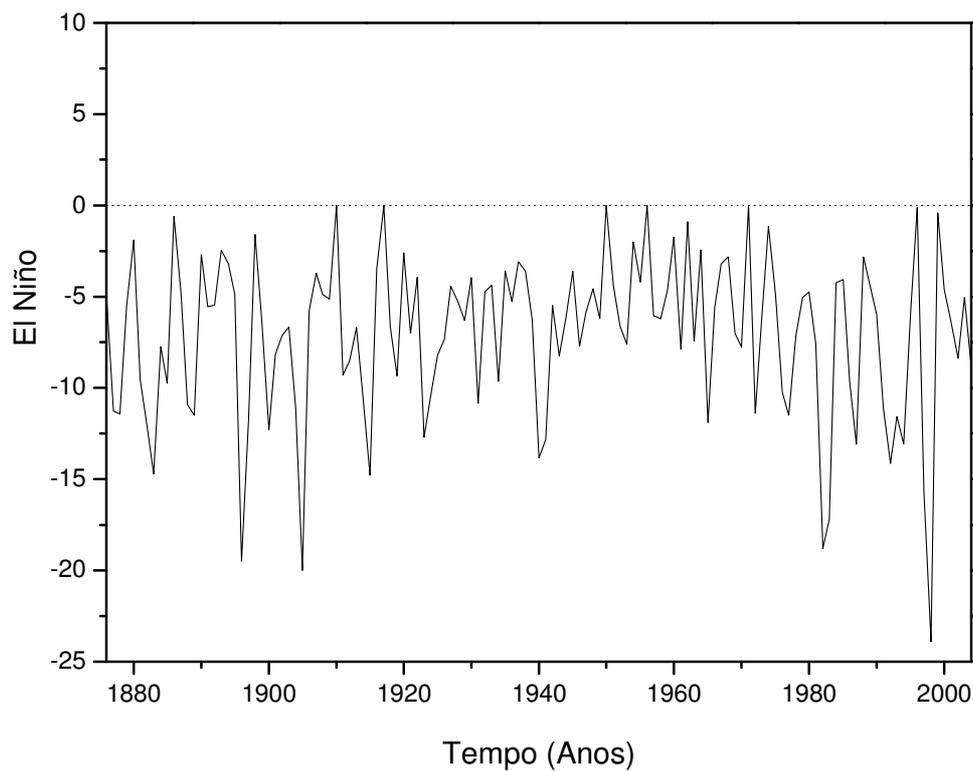


Figura 4.1 – Série temporal anual para El Niño.

4.1.2 - Série Temporal de La Niña

A partir da série mensal de IOS, retirou-se todos os valores negativos dessa série e fez-se uma média somente com os valores positivos. O resultado, mostrado na Figura 4.2, é da média anual (1876-2004) da La Niña.

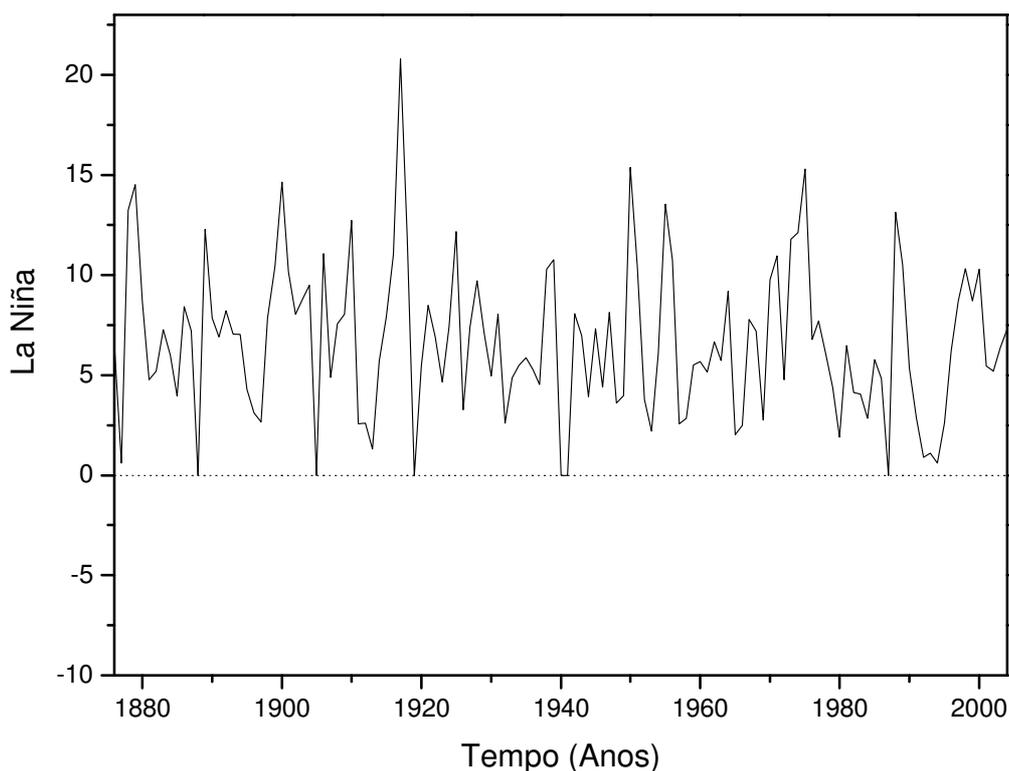


Figura 4.2 – Série temporal anual para La Niña.

4.2 - Cronologia local

Para a obtenção da cronologia local de uma localidade, primeiro é determinada a longa tendência, através de uma curva de ajuste para cada uma das amostras. Assim, passou-se um filtro passa-baixa com frequência (f) de $1/15$ anos ($f=0.06666$) em cada uma das amostras (curvas em vermelho nas Figuras 4.3, 4.5 e 4.7). Achada a curva de ajuste, é feita a eliminação da mesma, através da subtração, para cada amostra. Por fim, é feito a média aritmética das espessuras dos anéis de árvores para uma localidade e obtido a cronologia local (Figuras 4.4, 4.6 e 4.8).

4.2.1 - Cronologia de Passo Fundo / RS

Para a obtenção da cronologia de Passo Fundo, foram utilizadas 12 amostras de árvores de Araucária. No qual aplicou-se um filtro passa-baixa para cada uma das

amostras (Figura 4.3) e calculada a média aritmética das espessuras dos anéis de árvores, depois de eliminada sua tendência de longo período (Figura 4.4).

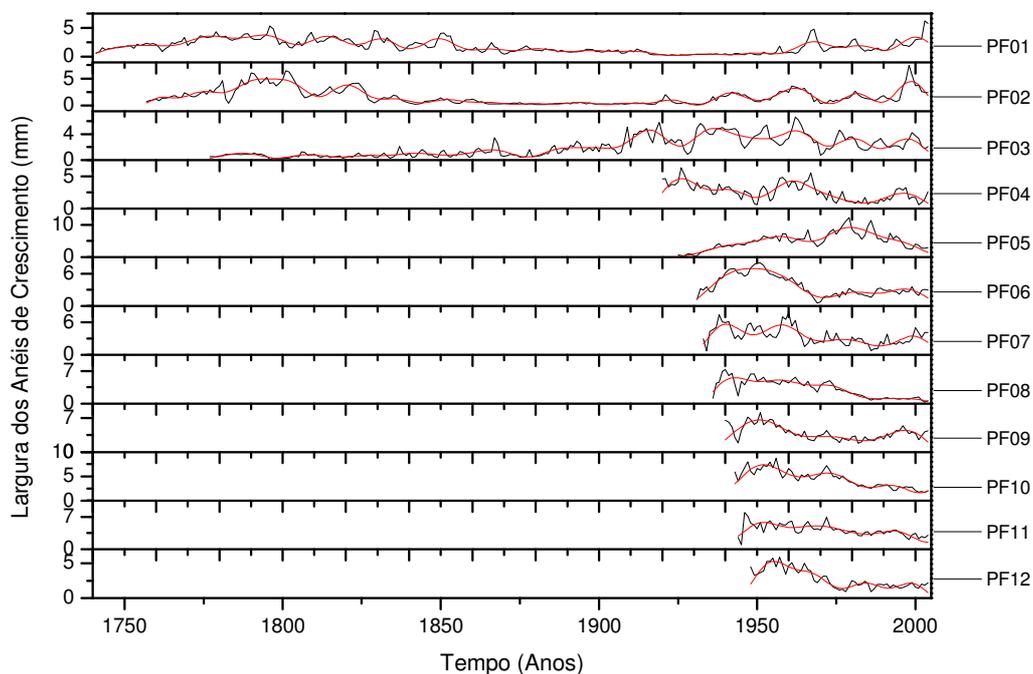


Figura 4.3 – Espessura dos anéis de crescimento das 12 amostras de Passo Fundo – RS (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).

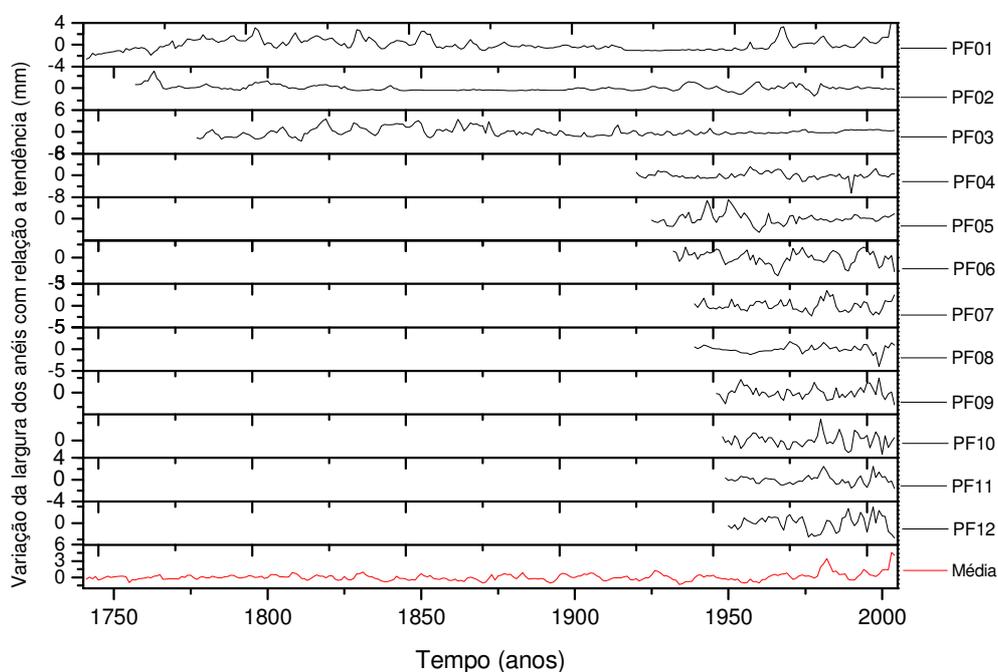


Figura 4.4 – Série temporal de cada amostra de Passo Fundo – RS e a cronologia local (curva em vermelho).

4.2.2 - Cronologia de Concórdia / SC

Para a obtenção da cronologia de concórdia, foram utilizadas 8 amostras de árvores de Araucária. No qual foi determinada a curva de ajuste para cada uma das amostras (Figura 4.5) e calculada a média aritmética das espessuras dos anéis de árvores, depois de eliminada sua tendência de longo período (Figura 4.6).

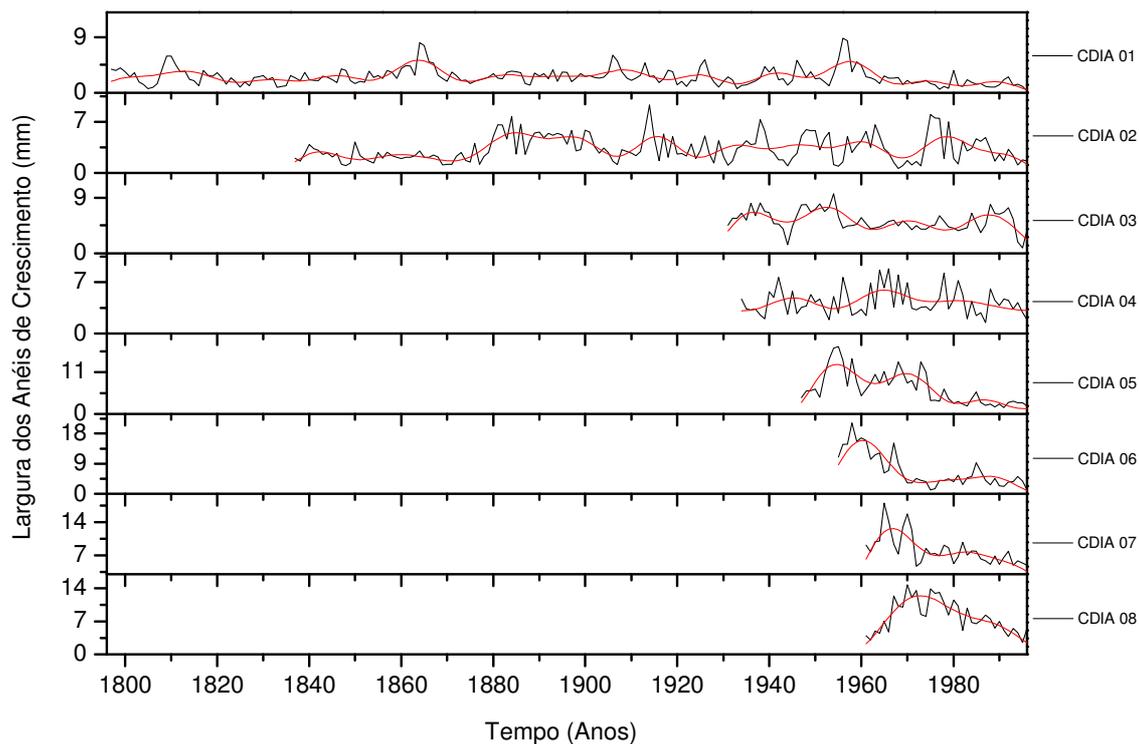


Figura 4.5 – Espessura dos anéis de crescimento das 8 amostras de Concórdia – SC (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).

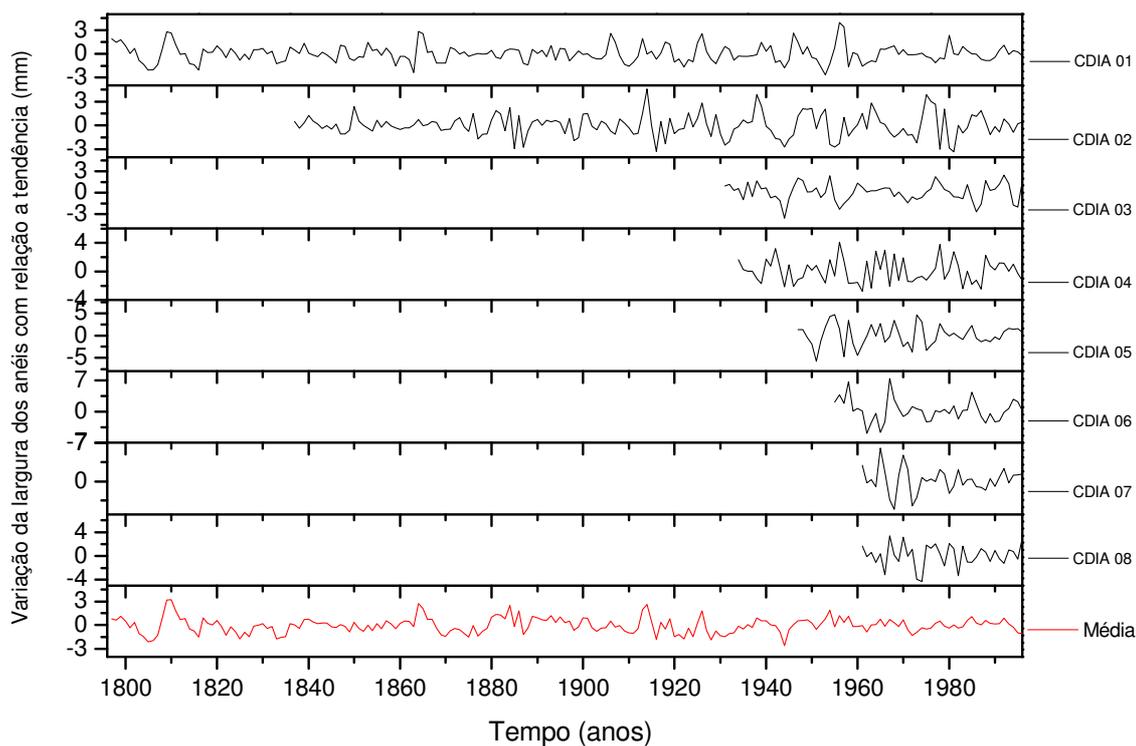


Figura 4.6 – Serie temporal de cada amostra de Concórdia sem a tendência e a cronologia média do local (curva em vermelho).

4.2.3 - Cronologia de São Francisco de Paula / RS

Para a obtenção da cronologia de São Francisco de Paula, foram utilizadas 8 amostras de árvores de Araucária, obtidas por Rigozo (1999), e 6 amostras de árvores de Araucária, obtida por Oliveira (2007).

Para cada amostra foi aplicado o filtro passa-baixa como sendo a função de ajuste para a retirada de longas tendências (Figura 4.7).

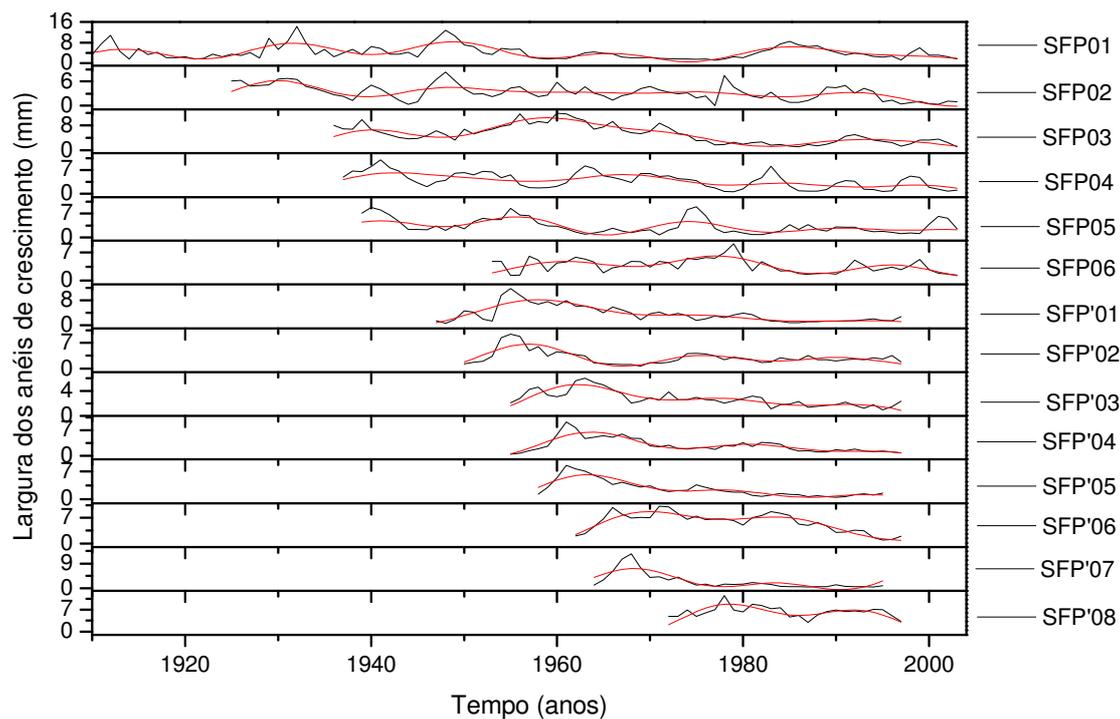


Figura 4.7 – Espessuras dos anéis de crescimento das 14 amostras de São Francisco de Paula (curvas em preto) e suas tendências (curvas em vermelho).

As curvas SFP01, SFP02, SFP03, SFP04, SFP05 e SFP06 na Figura 4.7, foram retiradas do trabalho de Oliveira (2007), as curvas SFP'01, SFP'02, SFP'03 e SFP'04, SFP'05, SFP'06, SFP'07 e SFP'08 foram retiradas do trabalho de Rigozo (1999).

Subtraiu-se a função de ajuste de cada série e calculou-se a média aritmética das espessuras dos anéis de árvores (Figura 4.8).

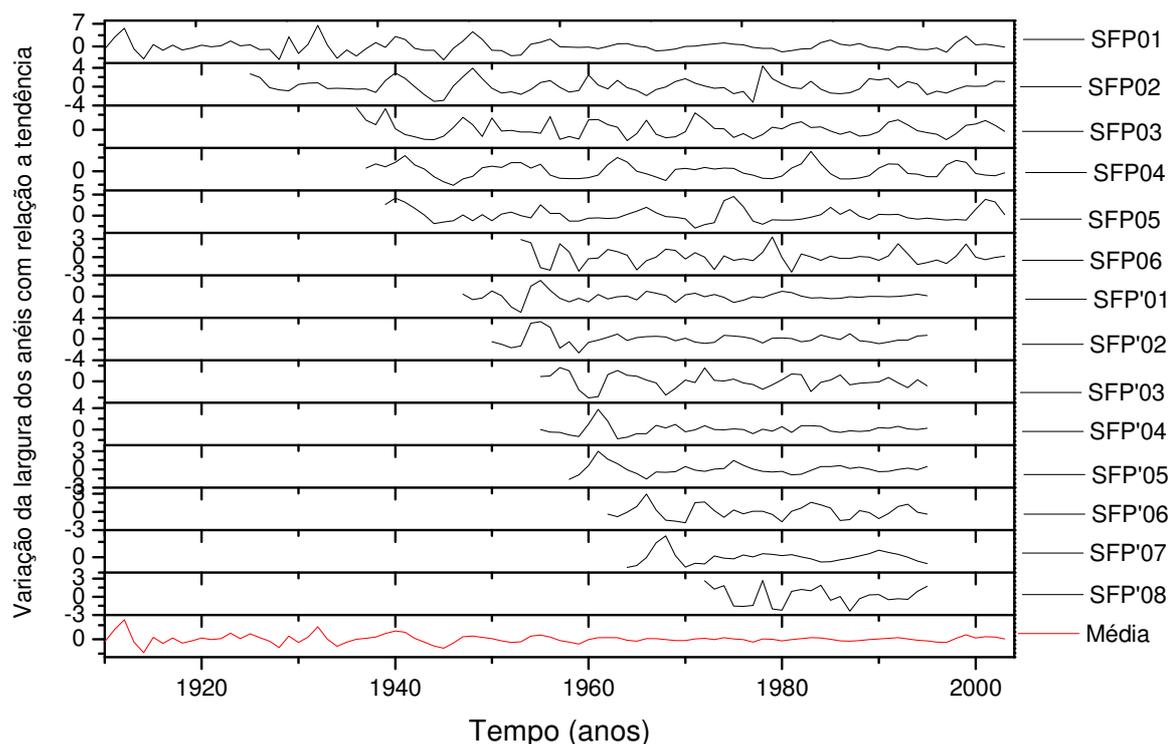


Figura 4.8 – Serie temporal de cada amostra de São Francisco de Paula/RS sem a tendência e a cronologia média do local (curva em vermelho).

4.3 - Correlação entre os anéis de crescimento e as variáveis climatológicas

As séries temporais de anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo, Concórdia e São Francisco de Paula foram correlacionadas com a série de IOS e com a série de precipitação.

Os resultados das correlações estão nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

4.3.1 - Anéis de Crescimento e IOS

Correlacionou-se a série mensal de IOS, compreendendo todo o período das séries de anéis de crescimento, com a cronologia de cada localidade. Esta correlação mostra como os anéis de crescimento se comportam para cada um dos meses durante todo o período de estudo.

4.3.1.1 - Passo Fundo/RS

As correlações foram baixas, considerando significativo $r > 0.6$. Passo Fundo apresentou coeficiente de correlação com valor mais expressivo para o mês de julho ($r = 0.17$) e o mês de novembro com o de valor menos expressivo ($r = -0.08$) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de Passo Fundo e a série de IOS.

Meses	Coeficiente de correlação (r)	Meses	Coeficiente de correlação (r)
Janeiro	-0.07	Julho	0.17
Fevereiro	-0.11	Agosto	-0.13
Março	-0.15	Setembro	-0.12
Abril	-0.09	Outubro	-0.13
Maio	0.10	Novembro	-0.08
Junho	-0.13	Dezembro	-0.10

4.3.1.2 - Concórdia/SC

As correlações entre a série de anéis de crescimento e a série de IOS foram baixas ($r > 0.6$). O mês de dezembro ($r = -0.23$) apresentou maior coeficiente de correlação, e o mês de abril ($r = -0.10$) apresentou o menor coeficiente de correlação, comparados aos demais meses do ano (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de Concórdia e a série de IOS.

Meses	Coefficiente de correlação (r)	Meses	Coefficiente de correlação (r)
Janeiro	-0.15	Julho	-0.13
Fevereiro	-0.12	Agosto	-0.15
Março	-0.15	Setembro	-0.21
Abril	-0.10	Outubro	-0.15
Maió	-0.13	Novembro	-0.21
Junho	-0.13	Dezembro	-0.23

4.3.1.3 - São Francisco de Paula

São Francisco de Paula apresentou maior coeficiente de correlação entre o sinal do IOS e os anéis de crescimento para o mês de março ($r = -0.20$) e o menor para o mês de novembro ($r = -0.04$) (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de São Francisco de Paula e a série de IOS.

Meses	Coefficiente de correlação (r)	Meses	Coefficiente de correlação (r)
Janeiro	0.10	Julho	-0.07
Fevereiro	-0.17	Agosto	-0.14
Março	-0.20	Setembro	-0.14
Abril	-0.08	Outubro	-0.16
Maió	0.07	Novembro	-0.04
Junho	-0.12	Dezembro	-0.13

4.3.2 - Anéis de Crescimento e Precipitação

As séries brutas de anéis de crescimento de Passo Fundo/RS, Concórdia/SC e São Francisco de Paula/RS foram correlacionadas com a série de precipitação.

4.3.2.1 - Passo Fundo/RS

A série de precipitação para Passo Fundo tem os meses de setembro, outubro, janeiro e junho como os mais chuvosos (estando acima da média que é de 140 mm para todo o período) e março, abril, maio, julho, agosto e novembro como os menos chuvosos. Para Caxias do Sul, são os meses de janeiro, junho, setembro e outubro os mais chuvosos (acima da média de 135 mm) e os meses de março, abril, maio e novembro os menos chuvosos. Resultados muito semelhantes foram mostrados por Buriol et al. (2007) que estudaram 41 estações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul para o período de 1931-1961 mostrou que Passo Fundo e Caxias do Sul estão localizadas numa região cujos valores dos totais mensais de precipitação pluviométrica são os mais altos do estado.

Fez-se a correlação entre a série de anéis de crescimento de Passo Fundo e a série de precipitação. As correlações resultaram em coeficientes (r) baixos (baseando-se em $r > 0.6$ como sendo significativo). O coeficiente de correlação mais forte para Passo Fundo foi $r = 0.31$ para o mês de dezembro e o mais fraco foi $r = -0.02$ para maio (Tabela 4.4). Os resultados são coerentes, pois Dezembro corresponde ao período de crescimento da planta e esta correlação indica que o crescimento está em fase com a precipitação. Já o mês de maio, que compreende o período de dormência cambial, há uma relação fraca e em anti-fase entre precipitação e o crescimento dos anéis.

Tabela 4.4: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de Passo Fundo e a série de precipitação.

Meses	Coefficiente de correlação (r)	Meses	Coefficiente de correlação (r)
Janeiro	0.14	Julho	-0.21
Fevereiro	0.17	Agosto	-0.23
Março	-0.15	Setembro	0.13
Abril	0.08	Outubro	-0.10
Maiο	-0.02	Novembro	0.16
Junho	-0.23	Dezembro	0.31

4.3.2.2 - Concórdia/SC

As correlações entre a série de anéis de crescimento de Concórdia/SC e a série de precipitação de Passo Fundo/RS apresentaram coeficientes de correlação baixos ($r < 0.6$). Como mostra a Tabela 4.5. O coeficiente de correlação mais forte ($r = -0.24$) para fevereiro e o mais fraco foi de $r = 0.06$ para o mês de março (Tabela 4.4). Os resultados são coerentes, pois março corresponde ao período de dormência cambial e fevereiro corresponde ao período de atividade cambial.

Os resultados das correlações corroboram os apresentados por Schöngart et al. (2004) que também encontraram valores baixos para os coeficientes de correlação ($r = -0.36$) entre a precipitação e os anéis de crescimento para todo o período vegetativo.

Tabela 4.5: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de Concórdia e a série de precipitação de Passo Fundo.

Meses	Coefficiente de correlação (r)	Meses	Coefficiente de correlação (r)
Janeiro	0.17	Julho	0.08
Fevereiro	-0.24	Agosto	-0.16
Março	0.06	Setembro	0.13
Abril	0.19	Outubro	0.02
Maio	-0.12	Novembro	0.17
Junho	-0.31	Dezembro	0.17

4.3.2.3 - São Francisco de Paula

A série de anéis de crescimento de São Francisco de Paula foi correlacionada com a série de precipitação de Caxias do Sul. Os coeficientes de correlação ficaram abaixo do significativo ($r > 0.6$). O coeficiente de correlação mais forte de $r = 0.32$ para o mês de abril e o mais fraco $r = 0.04$ para o mês de outubro (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Resultados para as correlações feitas com a série de anéis de crescimento de São Francisco de Paula e a série de precipitação.

Meses	Coefficiente de correlação (r)	Meses	Coefficiente de correlação (r)
Janeiro	0.12	Julho	0.09
Fevereiro	0.12	Agosto	-0.09
Março	0.22	Setembro	0.09
Abril	0.32	Outubro	0.04
Maio	-0.19	Novembro	0.17
Junho	0.09	Dezembro	-0.12

Tais resultados mostram que a precipitação é um dos fatores limitantes para o crescimento dos anéis de árvores, no entanto não é o único fator. Nem todas as correlações que apresentaram coeficientes significativos corresponderam aos meses mais chuvosos. Isto porque correlacionar séries temporais ajuda a esclarecer como a variável de uma das séries temporais se comporta com relação a variável de uma outra série temporal, porém nem toda correlação indica causa e efeito. Nesse âmbito, a análise espectral propõe-se a refinar esses resultados de forma a revelar periodicidades comuns entre as series temporais e, a partir desses parâmetros, completa-se a função senoidal e analisa-se o grau de relação entre os períodos comuns.

4.4 - Análise Espectral

Neste item são apresentados os resultados obtidos das análises espectrais pelo método da regressão iterativa para as séries temporais dos anéis de árvores de Concórdia - SC, Passo fundo – RS e São Francisco de Paula – RS. Bem como a série temporal do IOS, La Niña, El Niño, precipitação e série temporal de precipitação e precipitação sazonal de cada localidade.

As análises espectrais para as séries de anéis de crescimento para as três localidades em estudo apresentaram periodicidades, dentro do período de 2 a 7 anos que são períodos comuns ao IOS. Schöngart et al. (2004), que, estudando o efeito do ENOS nos níveis da bacia Amazônica, relacionaram os períodos de cheia e vazão com o crescimento dos anéis e encontraram os períodos 2.1-2.2, 2.3, 3.0-3.2, 5.6-5.8, 6.7-7.1, 11.6 para o período de El Niño de 1866-1999. Encontrou-se, no presente estudo, periodicidades muito comuns a essas para Passo Fundo e Concórdia. Resultados semelhantes foram também apresentados por Borgaonkar et al. (2010), que, em seu estudo dendroclimatológico no Sul da Índia, encontraram uma relação positiva e significativa entre o crescimento dos anéis de árvores e o IOS. Outros locais de estudo, como o Alasca (WILES; D'ARRIGO; JACOBY, 1998), Sul do Brasil (RIGOZO et al., 2003b) e algumas localidades do Chile (NORDEMANN; RIGOZO; FARIA, 2005), também registraram periodicidades entre 3 a 7 anos em anéis de crescimento que podem ser relacionados ao ENOS.

Das variáveis estudadas, a precipitação foi a que menos apresentou evidências nas séries temporais de anéis de crescimento. Porém, não se pode, apenas com o baixo

numero de espectros afirmar que a precipitação não influencia nos anéis de crescimento. Deve-se levar em consideração a espécie estudada, o sitio de coleta e se neste local o fator limitante é a precipitação ou é a temperatura. Devall, Parresol e Wright (1995) desenvolveram um trabalho com três espécies de árvores coletadas em três sítios no Panamá. Um desses sítios tinha a precipitação como fator limitante para o crescimento das árvores enquanto que para os outros dois sítios era a temperatura. As amostras coletadas no local em que a precipitação é o fator limitante os autores relataram haver redução no crescimento dos anéis em períodos de seca. Já Spathelf et al, (2000) em seu estudo que relacionava variáveis climáticas, entre elas precipitação, ao crescimento das árvores da espécie *Ocotea pulchella* nas margens da barragem em Itaara/RS, também não encontrou influência da chuva no crescimento das amostras. Borgaonkar et al, (2010), apontou em seu trabalho um baixo crescimento dos anéis de árvores relacionados aos períodos de pouca chuva na região, mas também salienta que um excesso de chuva não causa um crescimento mais expressivo desses anéis.

4.5 - Anéis de Crescimento e o Estudo Sazonal

Com a série de precipitação construiu-se uma série temporal para primavera-verão e outra para outono-inverno compreendendo todo o período de estudo para cada localidade. Essa separação sazonal seguiu a literatura onde alguns trabalhos (i.g. STOKES e SMILEY 1996; BOTOSSO e MATTOS 2002), sugerem que o período de crescimento das plantas ocorre na primavera/verão (lenho inicial) e o período de dormência ocorre no outono/inverno o (lenho tardio). Por essa razão, procurou-se investigar se há diferença nos sinais encontrados nas séries de precipitação quando separadas por estações do ano.

Foram analisadas separadamente a série de anéis de crescimento e precipitação outono-inverno e anéis de crescimento e precipitação primavera-verão.

4.6 - Estudo para Passo Fundo/RS

As análises espectrais feitas para as séries temporais de anéis de crescimento de árvores e séries temporais climatológicas (precipitação, IOS) foram feitas de tal forma que as séries em estudo tivessem o mesmo tamanho.

Assim, o primeiro intervalo estudado foi de 1876 – 2004, para as séries temporais de anéis de crescimento, IOS, El Niño, La Niña, e o intervalo de 1913 – 2004 para as séries de Precipitação e Precipitação outono/inverno e Precipitação primavera/verão (Figura 4.9).

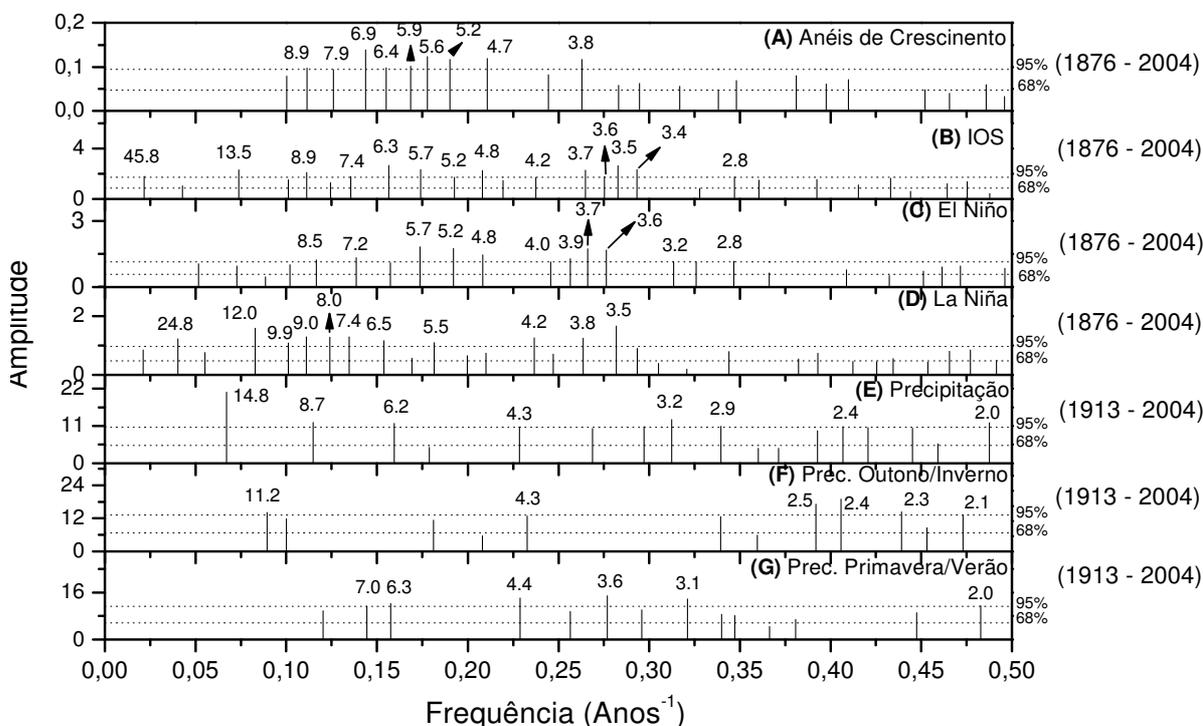


Figura 4.9 – Espectro de amplitude para as séries temporais para (A) anéis de árvores de Passo Fundo, (B) IOS, (C) El Niño, (D) La Niña, (E) Precipitação, (F) Precipitação Outono/Inverno e (G) Precipitação Primavera/Verão junto dos intervalos de cada série. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Para uma melhor visualização e compreensão dos resultados obtidos, o estudo foi separado em quatro partes: Anéis de crescimento e IOS, Anéis de crescimento e El Niño, Anéis de crescimento e La Niña, Anéis de crescimento e Precipitação e Anéis de crescimento e precipitação sazonal.

4.6.1 - Anéis de Crescimento e IOS

Os espectros para anéis de crescimento e IOS apresentaram 11 periodicidades comuns (ou com valores próximos): 8.9, 6.4, 5.6, 5.2, 4.7, 3.8, 3.5, 3.4, 2.8, 2.5 e 2.4 (Figura 4.10). Com periodicidades que atingiram 95%, como os sinais 8.9, 6.4, 5.6, 5.2,

4.7 e 3.8 (Figura 4.10A) e períodos de 2.5-2.1 que ficaram abaixo dos 95% tanto para os espectros dos anéis de crescimento quanto para o IOS.

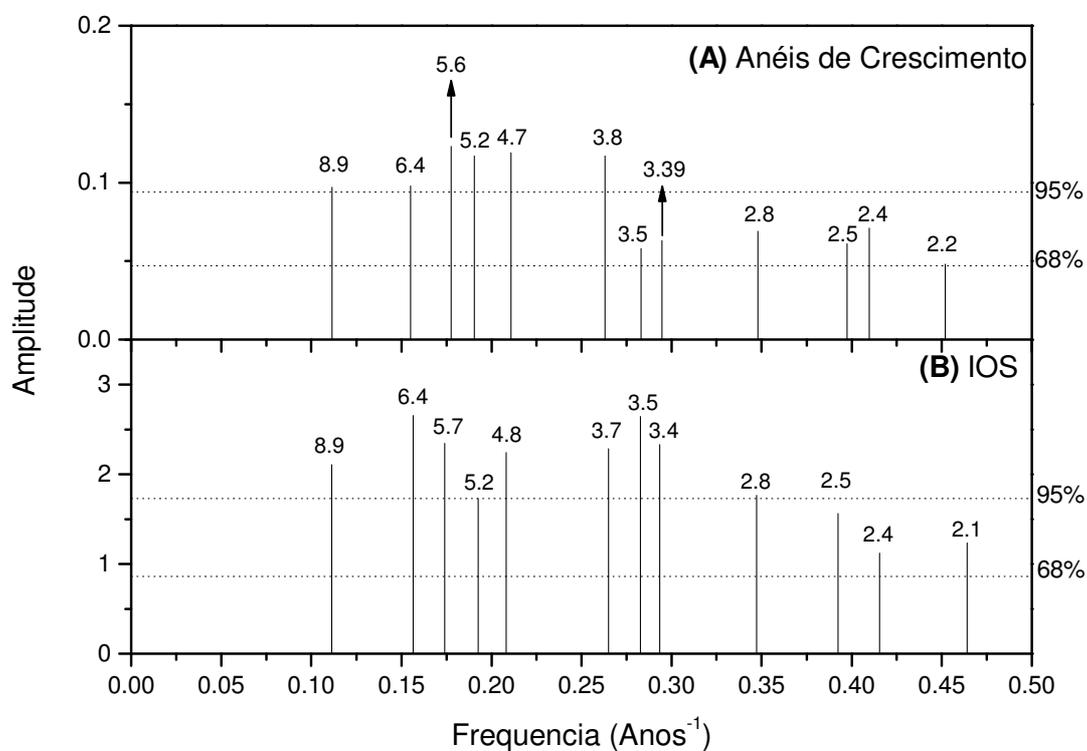


Figura 4.10 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo e (B) IOS. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações para as onze amplitudes comuns, 9 sinais apresentaram correlações significativas e cinco dessas correlações com sinais negativos. O lag ficou entre 0 e 1 (valores em negrito na Tabela 4.7).

Tabela 4.7: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os anéis de crescimento e IOS e seus respectivos *lags*.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.9	-0.69481	0
6.4	-0.85655	0
5.6	0.68822	0
5.2	-0.86422	1
4.7	-0.78712	0
3.8	0.85541	0
3.5	-0.64692	0
3.4	0.668	0
2.8	0.7984	0
2.5	-0.39292	1
2.4	-0.22964	1

4.6.2 - Anéis de Crescimento e El Niño

Investigando os espectros dos anéis de crescimento e El Niño, encontraram-se 8 periodicidades comuns: 5.2, 4.0, 3.1, 2.8, 2.4 e 2.2 (Figura 4.11).

Das 6 periodicidades apenas o período 5.2 ficou acima dos 95% nos espectros para os anéis de crescimento de árvores (Figura 4.11A) e os períodos de 5.2, 4.0, 3.1 e 2.8 para El Niño (Figura 4.11B).

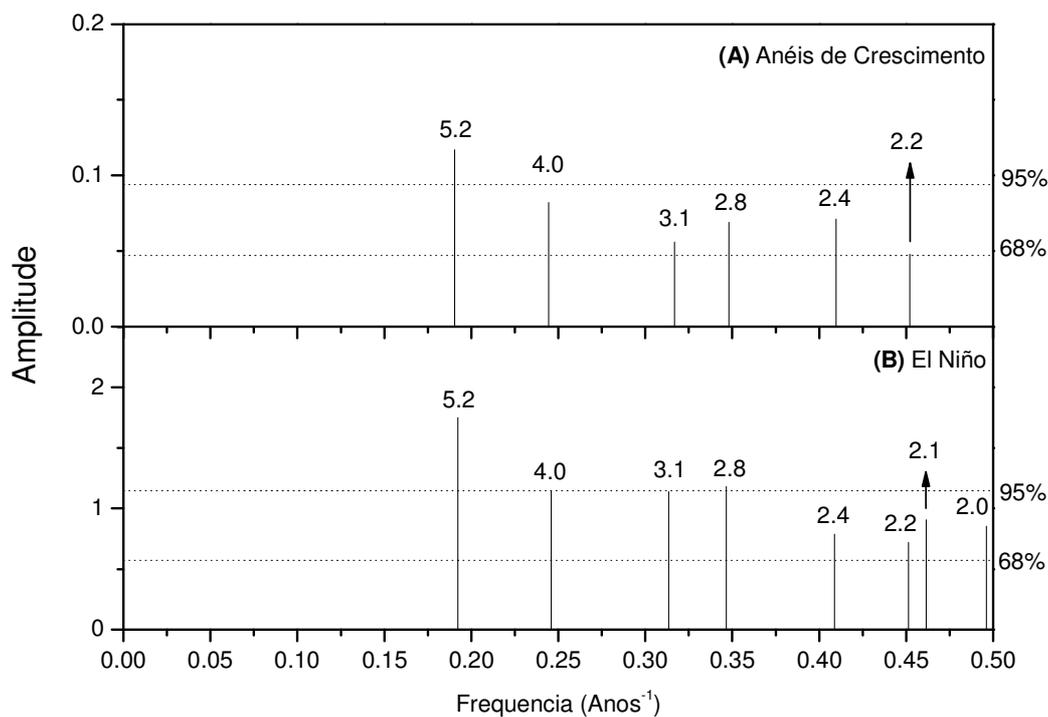


Figura 4.11 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores para Passo Fundo (A) e (B) El Niño. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações foram significativas ($r > 0.6$) para todos os períodos comuns. O sinal 3.1 apresentou *lag* de 2 anos o que não tem significado por estar-se trabalhando com fenômeno cuja periodicidade é de 2 a 7 anos. Os demais cinco sinais apresentaram coeficiente significativo e *lag* entre 0 e 1 ano. (valores em negrito na Tabela 4.8).

Tabela 4.8: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e El Niño.

Período (Anos)	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
5.2	-0.72508	0
4.0	-0.67004	0
2.8	0.67291	1
2.4	0.64579	0
2.2	0.70661	0

4.6.3 - Anéis de Crescimento e La Niña

Investigando os espectros encontrados na série para os anéis de crescimento e também para a La Niña, encontraram-se doze períodos comuns: 9.9, 6.4, 5.9, 4.7, 4.0, 3.8, 3.5, 3.4, 2.9, 2.6, 2.5 e 2.1 (Figura 4.12).

Apenas os períodos 9.9, 6.4, 5.9, 4.7, 4.0, 3.8, 3.4, 2.6 e 2.4 se apresentaram acima dos 95% de confiança nos espectros para os anéis de crescimento de árvores (Figura 4.12A). No espectro para a La Niña, apenas dois sinais atingem esse limiar: 6.4, e 3.8 (Figura 4.12B).

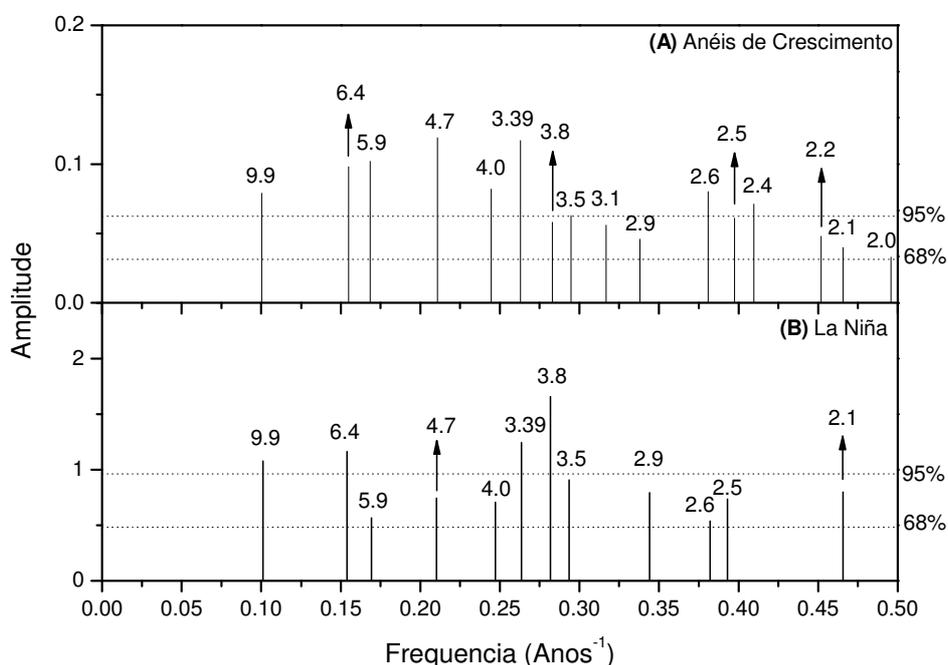


Figura 4.12 – Espectros de amplitude para os sinais comuns para (A) anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo e (B) La Niña. Resultados com níveis de confiança de 68 a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações para as amplitudes encontradas mostraram que das onze periodicidades comuns (Figura 4.12), 10 apresentaram correlação significativa e cinco dessas com sinal negativo. O período 9.9 apresentou coeficiente de correlação significativo, porém o *lag* foi de 2 anos. Os resultados para o *lag* ficaram entre 0 e 1 (valores em negrito na Tabela 4.9).

Tabela 4.9: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e para a La Niña.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
6.4	0.62914	1
5.9	0.62693	0
4.7	-0.91664	1
4.0	-0.75814	0
3.4	0.91891	1
3.8	0.95822	0
3.5	-0.73798	0
2.9	0.02227	1
2.6	0.93604	1
2.5	-0.66949	1
2.1	-0.64965	1

4.6.4 - Anéis de Crescimento e Precipitação

A série temporal de precipitação de Passo Fundo compreende o período de 1913 - 2004, a partir disso, ajustou-se a série de anéis de crescimento para esse intervalo e fez-se a análise espectral (Figura 4.13A).

Observando o gráfico da Figura 4.13, vêem-se sete periodicidades muito próximas entre os espectros: 8.5, 3.5, 2.8, 2.6 e 2.2 (Figura 4.13A) que encontra correspondência aos sinais: 8.7, 3.7, 2.9, 2.5 e 2.2 (Figura 4.13B).

Das seis periodicidades semelhantes citadas, apenas o período 4.0 atingiu o limiar de 95% de confiança para os espectros de anéis de crescimento (Figura 4.13A). Para a precipitação nenhuma amplitude comum aos anéis de crescimento atingiu 95% de confiança (Figura 4.13B).

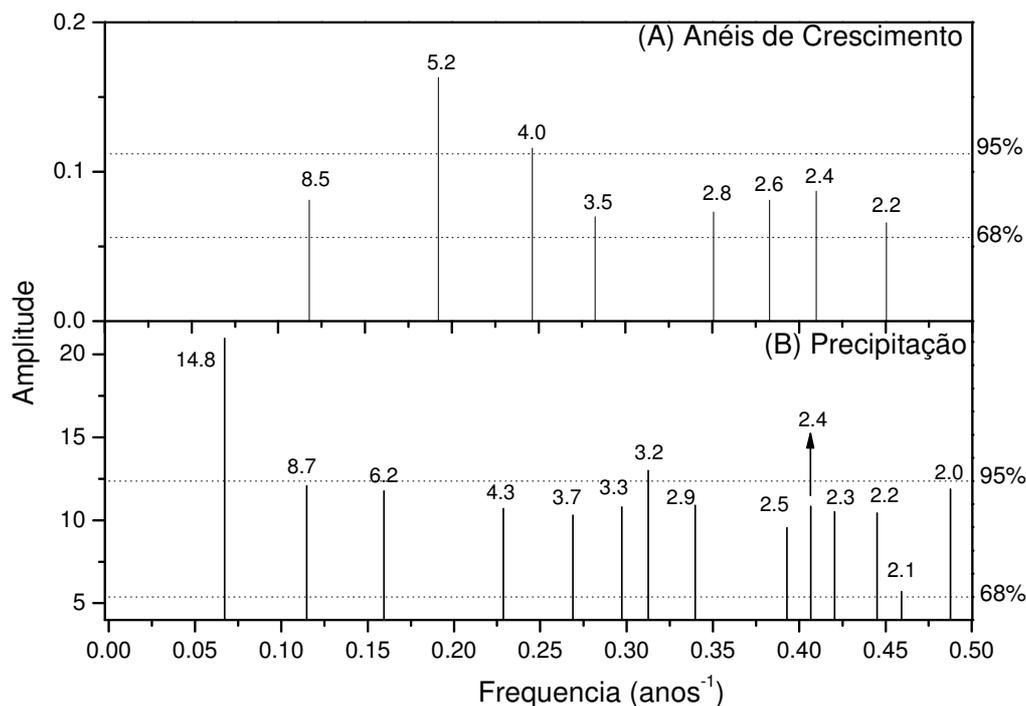


Figura 4.13 – Espectro de amplitude para os anéis de crescimento de árvores de (A) Passo Fundo e (B) precipitação. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações para as periodicidades comuns entre os espectros de anéis de crescimento e precipitação apontaram duas delas significativas e com *lag* 0 (valores em negrito na Tabela 4.10).

O sinal 2.4 obteve coeficiente de correlação significativo, porém o *lag* foi de 2 anos, que não tem significado por estar-se estudando sinais cujo período mínimo é 2 anos.

Tabela 4.10 - Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os anéis de crescimento e precipitação

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.5	0.8859	0
3.5	0.20104	0
2.8	0.0302	0
2.6	0.01675	0
2.2	-0.64479	0

4.6.5 - Anéis de crescimento e precipitação outono/inverno

Foi feita a análise espectral para a série de anéis de crescimento para Passo Fundo/RS e para a série de precipitação para o outono-inverno.

Os espectros para anéis de crescimento e precipitação entre os meses que compreendem o outono e o inverno para Passo Fundo estão mostrados na Figura 4.14.

Os espectros para anéis de crescimento apresentaram dois períodos acima dos 95% de confiança: 5.2 e 4.0 (Figura 4.14A), enquanto que a precipitação apresentou cinco períodos acima desse limiar: 11.2, 2.5, 2.4, 2.3 e 2.1 (Figura 4.14B).

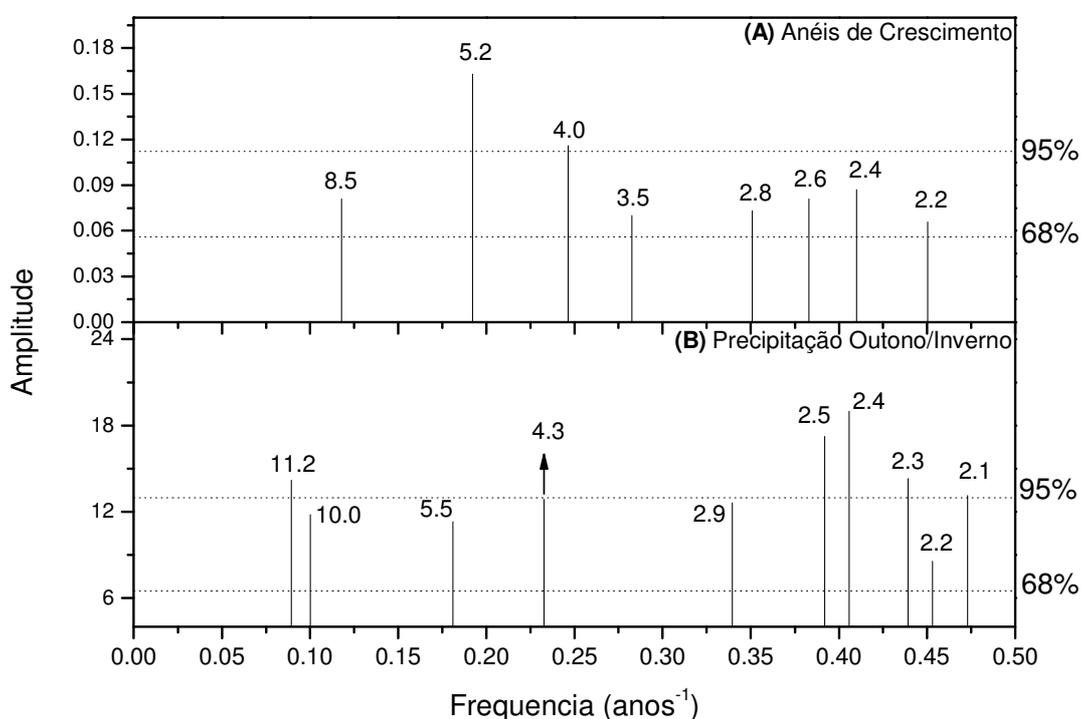


Figura 4.14 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Passo Fundo/RS e (B) Precipitação outono-inverno para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Fez-se a correlação entre os períodos 5.2, 2.6, 2.4 e 2.2 para os anéis de crescimento e os períodos 5.5, 2.5, 2.4 e 2.2 para precipitação outono-inverno (Tabela 4.11). Apenas o período 2.4 obteve coeficiente de correlação significativo ($r > 0.6$).

Tabela 4.11: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e Precipitação outono-inverno.

Período (anos)	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
5.2	-0.0064	0
2.6	-0.10428	0
2.4	0.8307	0
2.2	-0.5928	1

4.6.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão

Foi feita a análise espectral para a série de anéis de crescimento para Passo Fundo/RS e a série de precipitação para a primavera-verão.

Os espectros para anéis de crescimento e precipitação entre os meses que compreendem a primavera e o verão para Passo Fundo estão mostrados na Figura 4.15.

Foram encontrados os períodos 8.5, 4.0, 3.5, 2.8, 2.6 e 2.2 para os anéis de crescimento (Figura 4.15A) e os períodos 8.3, 3.9, 3.6, 2.8, 2.6 e 2.2 para precipitação primavera-verão (Figura 4.15B).

Entre os espectros comuns, o período 4.0 ficou acima de 95% de confiança para os anéis de crescimento, enquanto que para a precipitação primavera-verão foi o período 3.6 (Figura 4.15A e 4.15B).

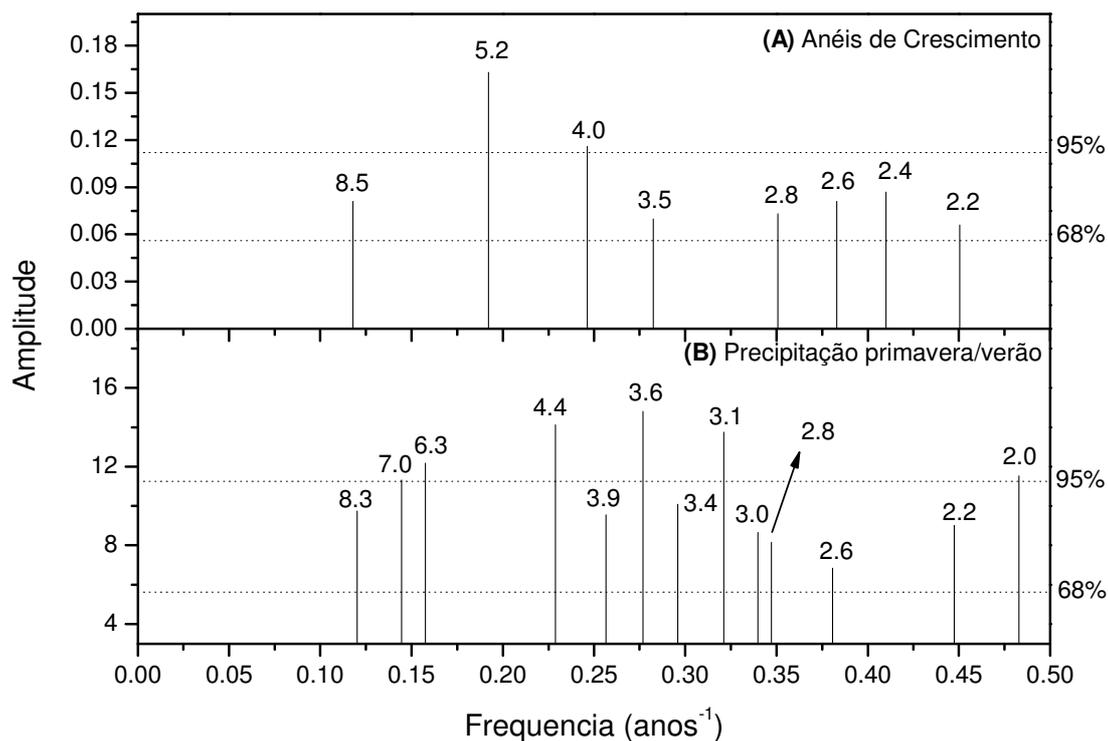


Figura 4.15 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Passo Fundo/RS e (B) Precipitação primavera-verão para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Fez-se a correlação entre os períodos comuns e os resultados estão expostos na (Tabela 4.12). Os valores em negrito destacam os períodos que obtiveram coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$).

Tabela 4.12 Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e Precipitação primavera-verão.

Períodos	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.5	-0.8787	1
4.0	-0.54829	0
3.5	0.80609	0
2.8	0.33532	0
2.6	0.91007	1
2.2	-0.0559	0

Passo Fundo apresentou espectros comuns ao IOS cujos valores dessas amplitudes se assemelham muito às apresentadas por Prestes et al. (2011), que encontram períodos de 2 a 7 anos em anéis de crescimento para Severiano de Almeida - RS, e que esses períodos podem, segundo os autores, representar uma resposta das árvores às condições climáticas locais.

A análise espectral feita para cada uma das fases do IOS, mostra que Passo Fundo apresentou mais sensibilidade com a La Niña (Tabela 4.9). A correlação feita para os sinais comuns entre os anéis de crescimento e a La Niña (fase positiva do IOS) apresentou coeficientes de correlação (r) significativos ($r > 0.6$).

Para a precipitação, houve espectros semelhantes. A correlação entre esses sinais mostrou poucos coeficientes significativos (Tabela 4.10).

No estudo sazonal, Passo Fundo foi mais sensível ao período de primavera/verão e a correlação entre esses sinais comuns resultou num maior número de correlações significativas (Tabela 4.12) comparado a precipitação correspondente ao período de Outono/Inverno. Isto mostra que há uma tendência de crescimento positiva dos anéis de árvores para o período de primavera/verão.

4.7 - Estudo para Concórdia / SC

As análises espectrais feitas para as séries temporais de anéis de crescimento de árvores e séries temporais climatológicas (precipitação, IOS) foram feitas de tal forma que as séries em estudo tivessem o mesmo tamanho.

Assim, o primeiro intervalo estudado foi de 1876 – 1996, para as séries temporais de anéis de crescimento, IOS, El Niño, La Niña, e o intervalo de 1931 – 1996 para as séries de Precipitação e Precipitação outono/inverno e Precipitação primavera/verão (Figura 4.16).

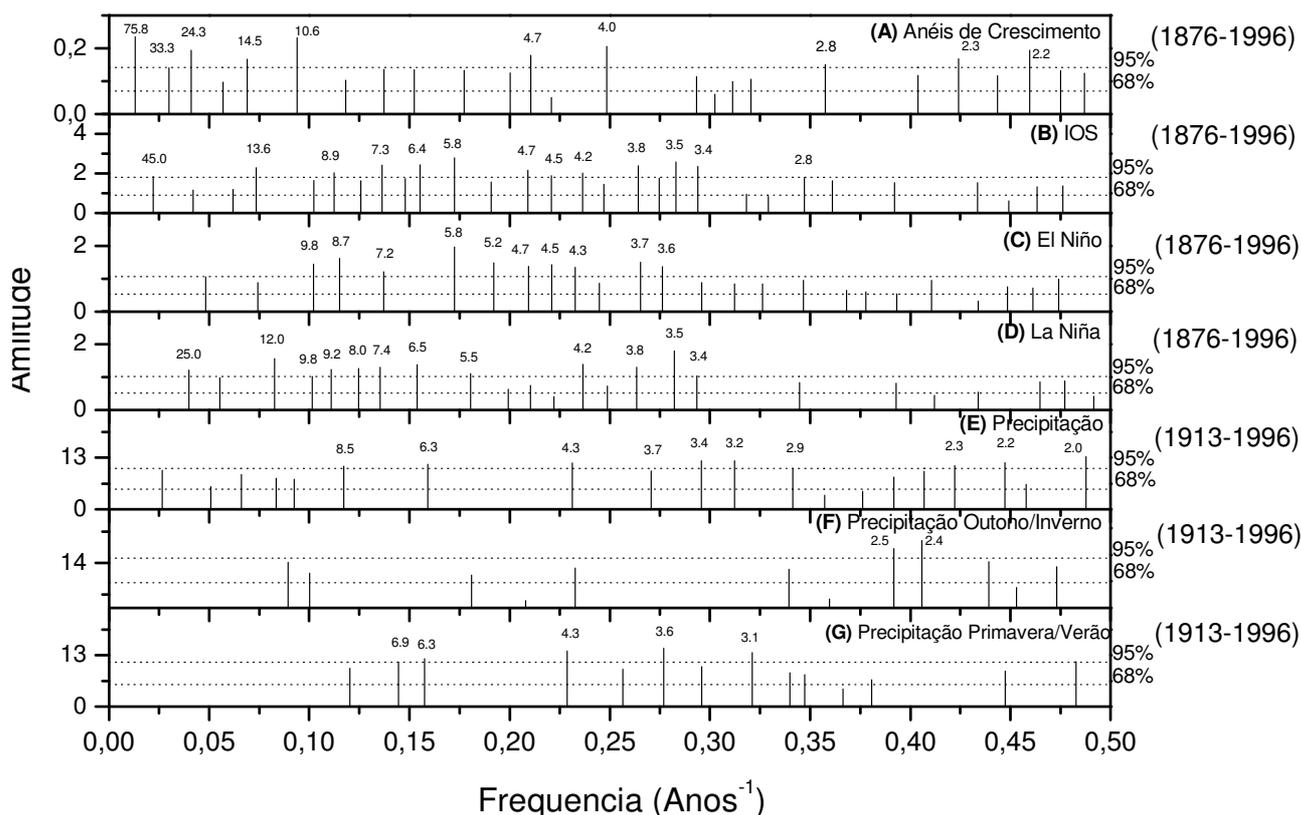


Figura 4.16 – Espectro de amplitude para anéis de crescimento de árvores de (A) Concórdia/SC, (B) IOS, (C) El Niño, (D) La Niña, (E) Precipitação, (F) Precipitação Outono/Inverno e (G) Precipitação Primavera/Verão. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas). *Apenas os espectros acima de 95% estão identificados no gráfico.

O primeiro intervalo estudado foi de 1876 – 1996, para as séries temporais de anéis de crescimento, IOS, El Niño e La Niña.

4.7.1 - Anéis de Crescimento e IOS

Observando o gráfico da Figura 4.17, os espectros para anéis de crescimento e IOS apresentaram oito periodicidades próximas: 4.7, 4.0, 3.4, 3.1, 2.8, 2.3, 2.18 e 2.11 para os anéis de crescimento (Figura 4.17A) que encontra correspondência aos sinais: 4.7, 4.0, 3.4, 3.1, 2.8, 2.3, 2.16 e 2.10 para o IOS (Figura 4.17B). Das oito periodicidades, apenas 4.7, 4.0, 2.8, 2.3 e 2.18 atingiram o nível de 95% nos espectros dos anéis de crescimento (Figura 4.17A) e os períodos 4.7, 3.4 e 2.8 atingiram 95% para o espectro do IOS (Figura 4.17B).

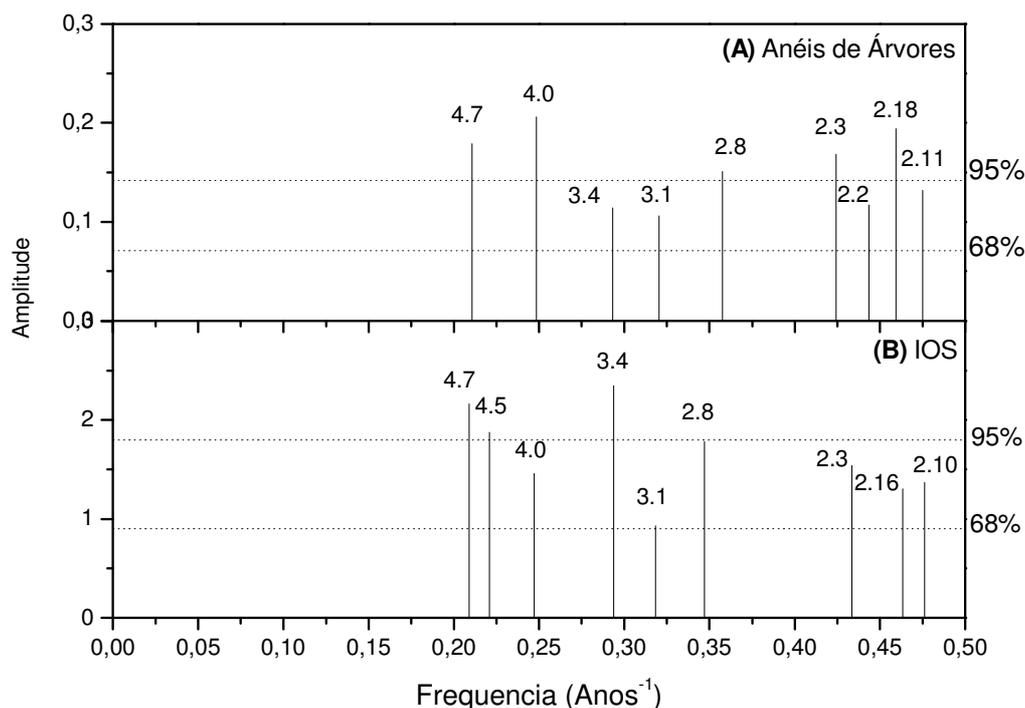


Figura 4.17 – Espectros de amplitude para os sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia /SC e (B) IOS. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações para os períodos comuns encontrados nos espectros para os anéis de crescimento e nos espectros para o IOS mostraram que cinco sinais apresentaram coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$). O *lag* ficou entre 0 e 1 (valores em negrito na Tabela 4.13).

Tabela 4.13: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e IOS e seus respectivos *lag*'s.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
4.7	0.80377	1
4.0	-0.70895	1
3.4	-0.84398	1
3.1	-0.75182	0
2.8	-0.01799	1
2.3	0.08965	0
2.18	0.13519	1
2.10	0.6606	0

4.7.2 - Anéis de crescimento e El Niño

Investigando os espectros encontrados para a série de anéis de crescimento e do El Niño, encontraram-se nove períodos próximos: 7.2, 4.7, 4.0, 3.2, 2.8, 2.4, 2.2, 2.18 e 2.11 para os anéis de crescimento (Figura 4.18A) correspondentes aos períodos: 7.2, 4.7, 4.0, 3.2, 2.8, 2.4, 2.2, 2.17 e 2.11 para o El Niño (Figura 4.18B).

Das nove periodicidades comuns, apenas os períodos 4.7, 4.0, 2.8 e 2.3 estavam acima dos 95% para os anéis de crescimento (Figura 4.18A) e os períodos 7.2, 4.7 nos espectros para o El Niño (Figura 4.18B).

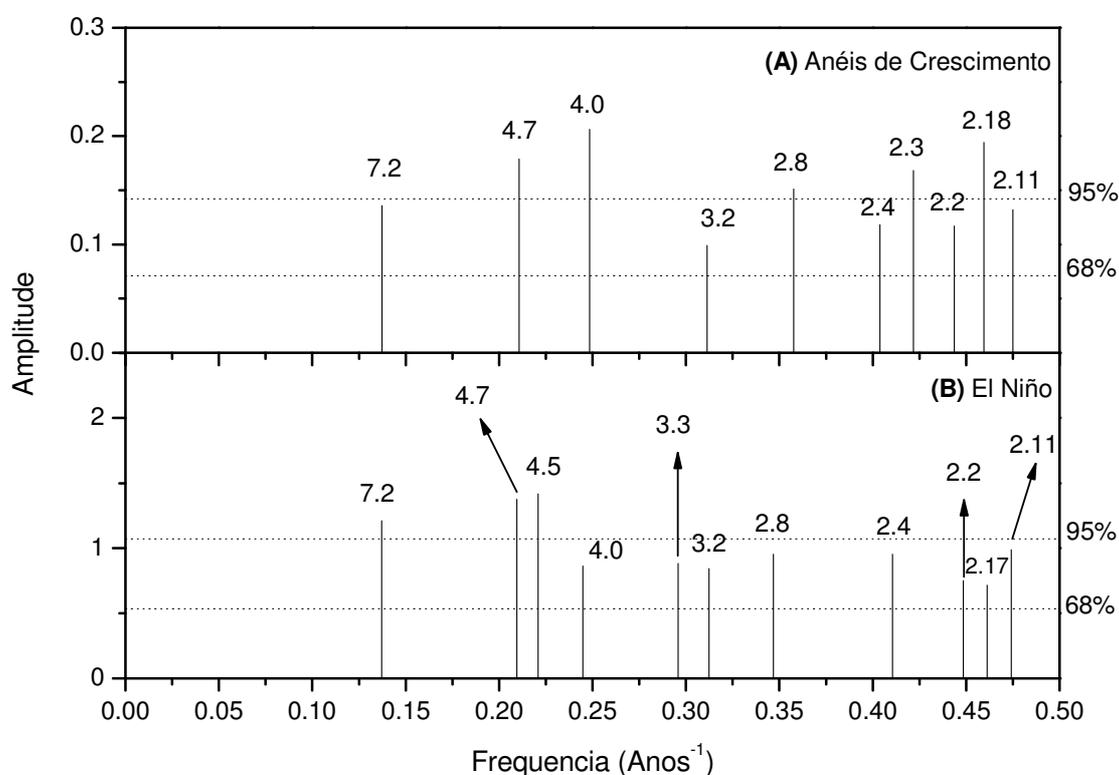


Figura 4.18 – Espectros de amplitude para sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia/SC e (B) El Niño. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

As correlações para as nove amplitudes mostradas nas Figuras 4.18A e 4.18B, três delas apresentaram coeficientes significativos e com *lag* entre 0 e 1 (valores em negrito na Tabela 4.14). O sinal 2.2 não foi incluído na tabela de correlações porque apresentou lag de 2 anos.

Tabela 4.14: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para s Anéis de crescimento e El Niño.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
7.2	-0.97526	0
4.7	-0.46462	0
4.0	0.55531	1
3.2	0.72854	0
2.8	0.02765	1
2.4	-0.24726	1
2.3	0.11361	1
2.18	0.31122	1
2.11	0.78357	0

4.7.3 - Anéis de Crescimento e La Niña

Investigando os espectros encontrados para a série de anéis de crescimento e da La Niña, encontraram-se oito períodos próximos: 6.5, 5.0, 4.7, 4.0, 3.4, 2.3, 2.18 e 2.11 para os anéis de crescimento (Figura 4.19A) correspondentes aos períodos: 6.5, 5.0, 4.7, 4.0, 3.4, 2.3, 2.15 e 2.10 para a La Niña (Figura 4.19B).

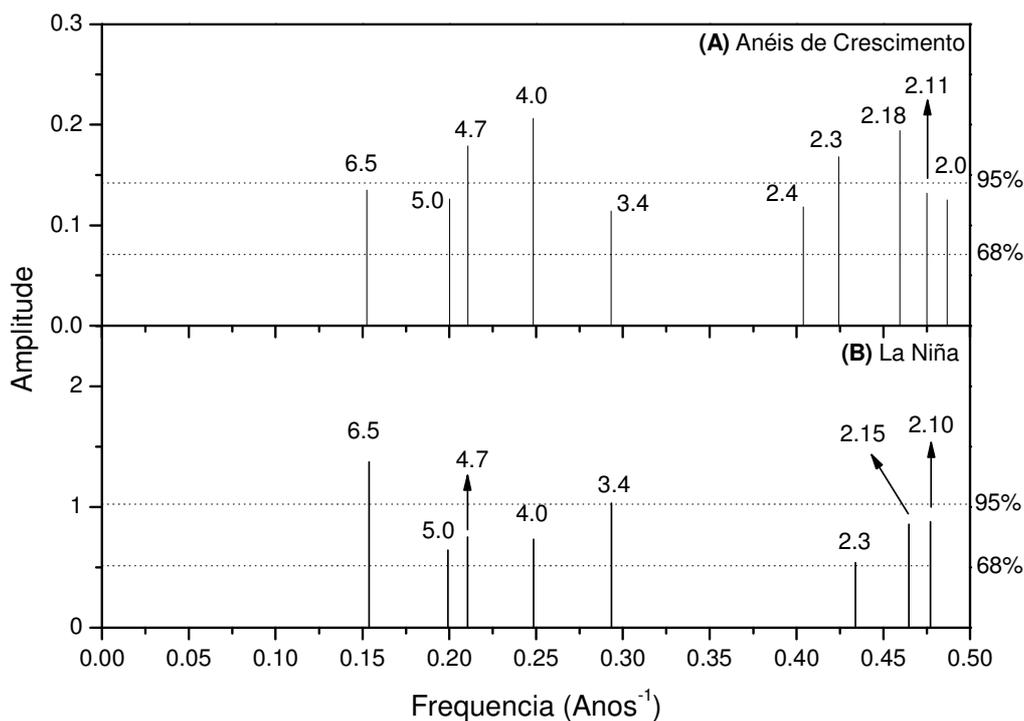


Figura 4.19 – Espectros amplitude para sinais comuns entre (A) anéis de crescimento de árvores para Concórdia/SC e (B) La Niña. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Os resultados das correlações mostram que das oito periodicidades comuns mostradas na Figura 4.19. Cinco delas têm coeficientes significativos e negativos. Os resultados para o *lag* ficaram entre 0 e 1 (valores em negrito na Tabela 4.15).

Tabela 4.15: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e para a La Niña.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
6.5	-0.90239	0
5.0	-0.98487	1
4.7	-0.9401	0
4.0	-0.99712	0
3.4	-0.97175	1
2.3	-0.20501	1
2.18	-0.26204	1
2.11	-0.56193	0

4.7.4 - Anéis de crescimento e precipitação

A série temporal de precipitação inicia em 1913, assim ajustou-se a série temporal de anéis de crescimento de árvores de Concórdia/SC, que vai até 1996, e fez-se a análise espectral para o período: 1913 – 1996 (Figura 4.20).

Os espectros de amplitude para anéis de crescimento e precipitação apresentaram cinco periodicidades comuns: 2.6, 2.4, 2.3, 2.1 e 2.0 (Figura 4.20A), correspondente aos sinais: 2.5, 2.4, 2.3, 2.1 e 2.0 (Figura 4.20B).

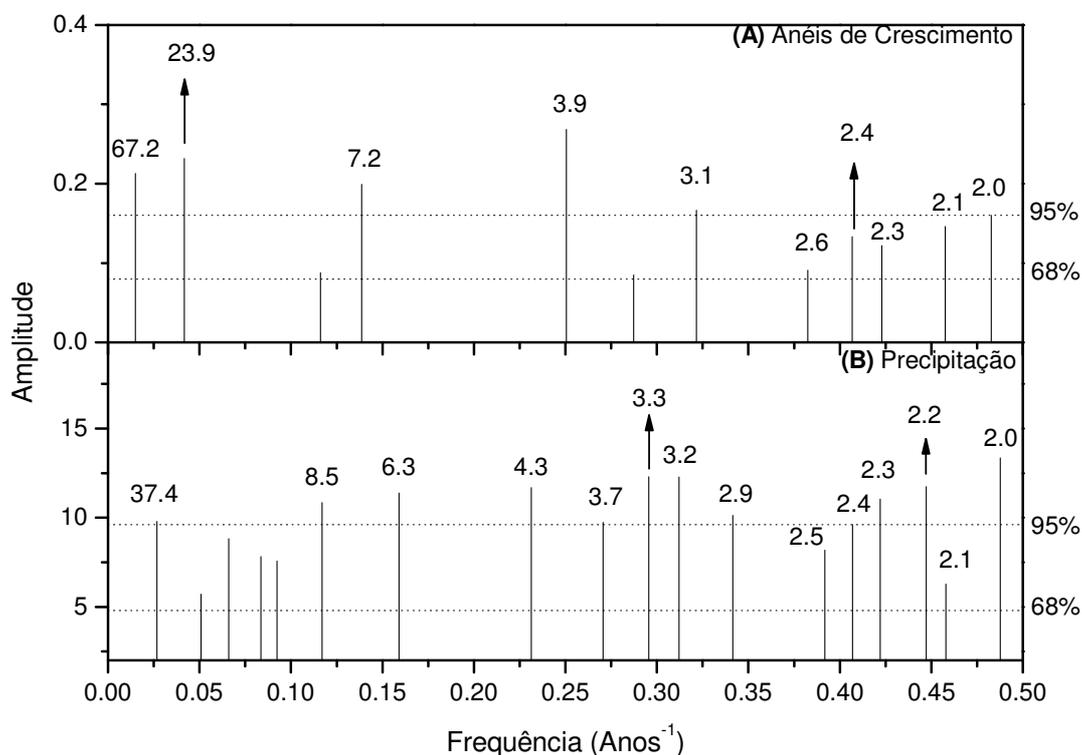


Figura 4.20 – Espectro de amplitude para (A) anéis de árvores para Concórdia/SC e (B) Precipitação para Passo Fundo/RS. Resultados com níveis de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Os resultados das correlações para os espectros comuns entre anéis de crescimento de Concórdia e precipitação, mostram que quatro sinais apresentaram correlações significativas e com *lag* entre 0 e 1 (valores em **negrito** na Tabela 4.16).

Tabela 4.16: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e Precipitação

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
2.6	0.63345	1
2.4	-0.81417	0
2.3	-0.70071	0
2.1	0.4955	0
2.0	0.79993	0

4.7.5 - Anéis de crescimento e precipitação outono/inverno

O resultado da análise espectral apresentou cinco períodos comuns: 8.6, 3.5, 2.6, 2.4 e 2.2 para anéis de crescimento (Figura 4.21A) que correspondem aos períodos: 8.5, 4.3, 3.4, 2.5, 2.4 e 2.2 para precipitação outono-inverno (Figura 4.21B).

No espectro para a precipitação os sinais 8.5, 2.5 e 2.4 atingiram o limiar de 95% de confiança (Figura 4.21B).

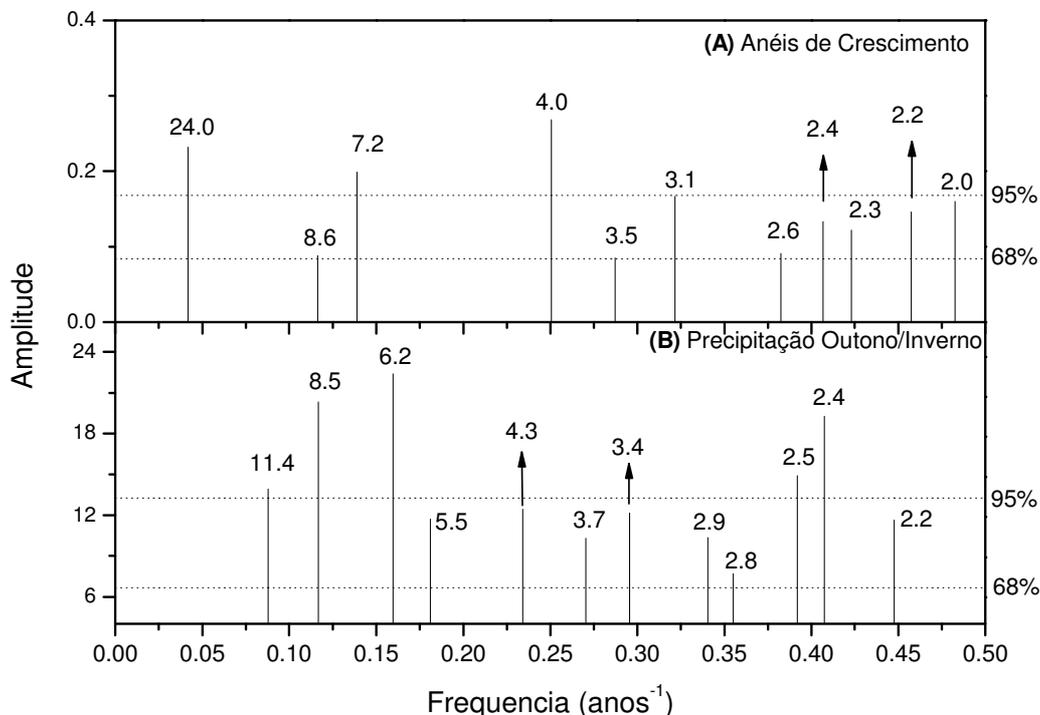


Figura 4.21 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Concórdia/SC, (B) Precipitação outono-inverno para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Com os sinais comuns entre os anéis de crescimento e precipitação fez-se a correlação e dois períodos apresentaram coeficiente significativo ($r > 0.6$) e lag zero (Valores em negrito na Tabela 4.17).

Tabela 4.17: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e precipitação outono-inverno.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.6	0.94275	0
3.5	-0.0812	0
2.6	0.15334	0
2.4	0.73943	0
2.2	0.25758	0

4.7.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão

A análise espectral para a precipitação primavera-verão apresentou nove periodicidades comuns: 8.6, 7.2, 3.5, 3.1, 2.6, 2.4, 2.3, 2.2 e 2.0 para anéis de crescimento (Figura 4.22A) e os períodos: 8.6, 7.6, 3.4, 3.1, 2.6, 2.5, 2.3, 2.2 e 2.0 para precipitação primavera-verão (Figura 4.22B). Para os anéis de crescimento, apenas o período 7.2 atingiu 95% de confiança. Para precipitação primavera-verão foram os períodos 8.6, 3.4, 3.1, 2.3 e 2.0 que atingiram esse limiar de 95%.

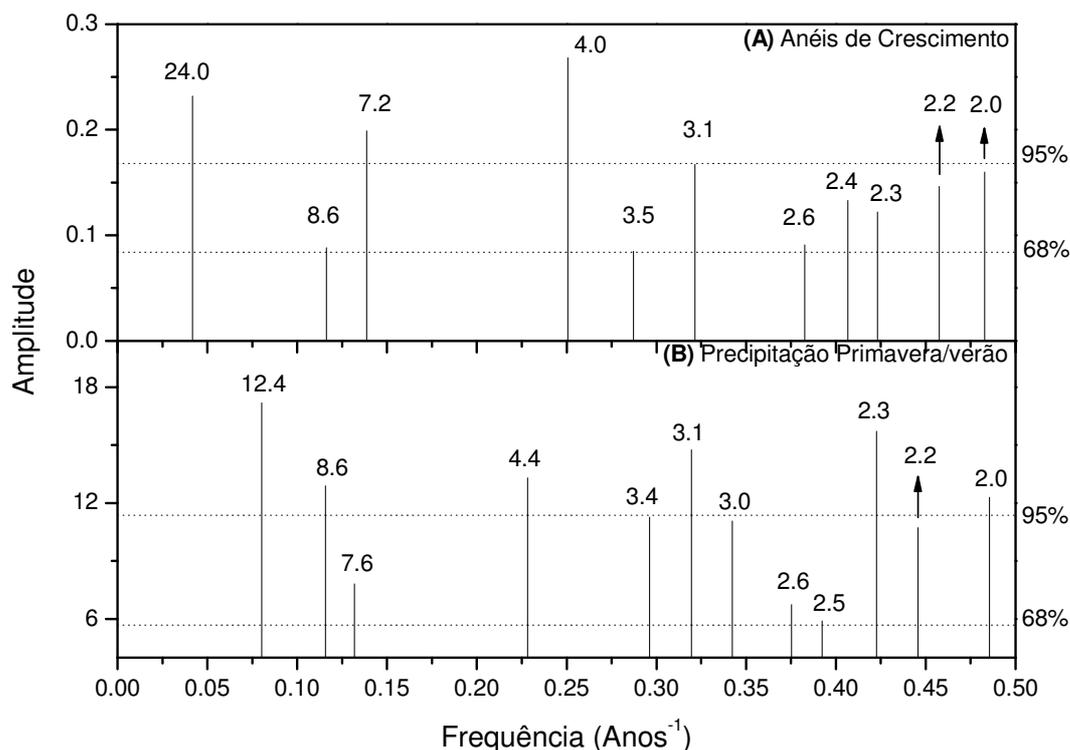


Figura 4.22 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de Concórdia/SC, (B) Precipitação primavera-verão para Passo Fundo/RS. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

Com os sinais comuns fez-se a correlação. Num total de nove períodos comuns, três apresentaram coeficiente de correlação significativo ($r > 0.6$): 8.6, 3.1 e 2.3 (Valores em negrito na Tabela 4.18).

Tabela 4.18: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento e precipitação primavera-verão.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.6	-0.80364	0
7.2	-0.45992	0
3.5	-0.11428	0
3.1	-0.7726	0
2.6	-0.42136	1
2.4	-0.13843	0
2.3	-0.91034	0
2.2	-0.03683	0
2.0	-0.67018	0

Concórdia apresentou períodos comuns ao IOS. A correlação entre os 8 sinais comuns mostrou que 5 desses sinais obtiveram coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.13)..

Com relação as fases do IOS, Concórdia mostrou 9 amplitudes comuns ao El Niño apresentado. A correlação entre esses sinais comuns resultou em 3 coeficientes significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.14). Para a La Niña foram 8 sinais comuns aos encontrados na série de anéis de crescimento e desses, 5 apresentaram coeficientes de correlação significativos e negativos (Tabela 4.15). As correlações mostraram que o crescimento dos anéis de árvores de Concórdia é influenciado pela La Niña numa relação de anti-fase.

Para a precipitação, os anéis de crescimento de árvores de Concórdia apresentaram 5 sinais comuns. A correlação feita para esses sinais comuns apontou 4 coeficientes significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.16).

O estudo sazonal mostrou periodicidades comuns a precipitação para outono/inverno num total de 5 períodos comuns. A correlação mostrou 2 coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.17). Para precipitação primavera/verão houve 9 períodos comuns e a correlação resultou em 4 coeficientes significativos e negativos (Tabela 4.18). A precipitação influencia no crescimento das árvores de Concórdia. A precipitação primavera/verão mostrou uma relação de anti-fase ao crescimento das árvores por resultar em coeficientes de correlação negativos. É possível que neste sítio de coleta seja a temperatura o fator limitante de crescimento.

4.8 - Estudo para São Francisco de Paula / RS

As análises espectrais feitas para as séries temporais de anéis de crescimento de árvores e séries temporais climatológicas (precipitação, IOS) foram feitas de tal forma que as séries em estudo tivessem o mesmo tamanho.

Assim, o primeiro intervalo estudado foi de 1909 – 2003, para as séries temporais de anéis de crescimento, IOS, El Niño, La Niña, e o intervalo de 1931 – 2003 para as séries de Precipitação e Precipitação outono/inverno e Precipitação primavera/verão (Figura 4.23).

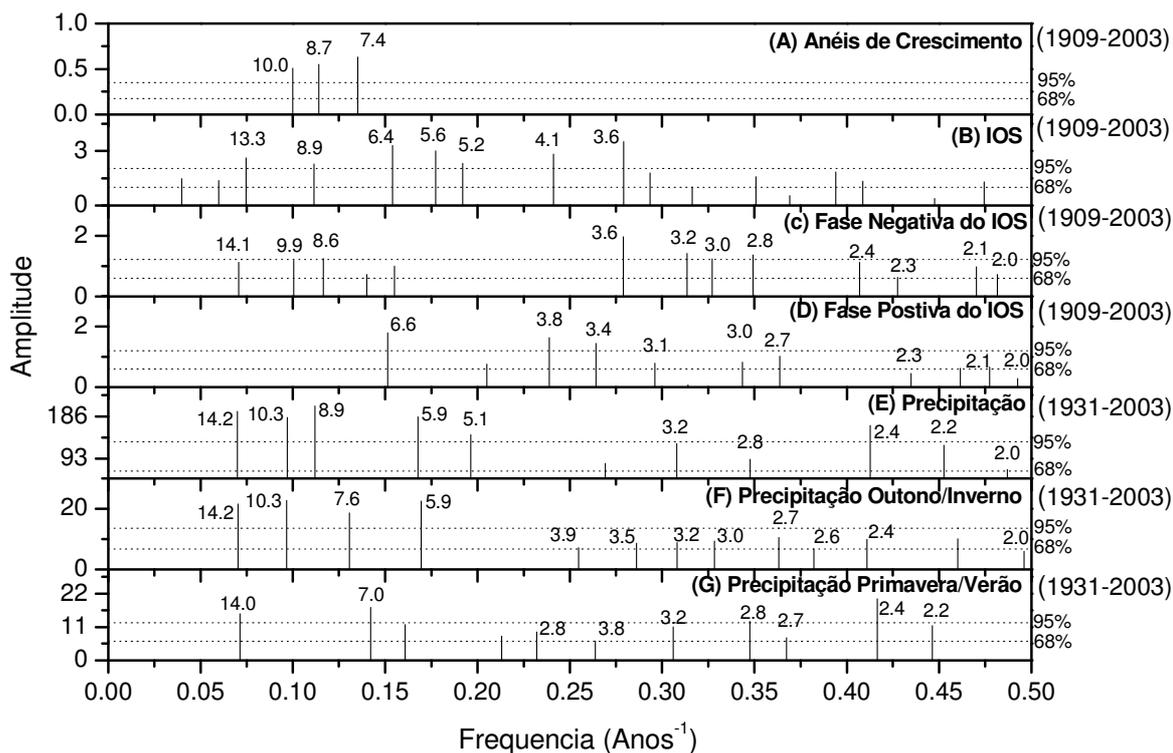


Figura 4.23 – Espectro de amplitude para (A) Anéis de crescimento de São Francisco de Paula, (B) IOS, (C) El Niño e (D) La Niña. Resultados com nível de confiança de 68% a 95% (linhas horizontais pontilhadas).

O primeiro intervalo estudado foi de 1909 – 2003, para as séries temporais de anéis de crescimento, IOS, El Niño e La Niña.

4.8.1 - Anéis de crescimento e IOS

Os espectros para anéis de crescimento e IOS no intervalo de 1909–2003, apresentaram um período comum: 8.7 para os anéis de crescimento (Figura 4.23A) que corresponde ao período 8.9 para o IOS (Figura 4.23B).

O resultado da correlação apresentou significativo e com sinal negativo (valores em **negrito** na Tabela 4.19). Os valores do *lag* ficaram entre 0 e 1.

Tabela 4.19: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento de São Francisco de Paula e o IOS.

Período	Coefficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.7	-0.80626	0

4.8.2 - Anéis de crescimento e El Niño

A análise espectral para anéis de crescimento e El Niño apresentou o período 8.7 comum (Figuras 4.23A e 4.23C).

Fez-se a correlação para este sinal comum e obteve-se coeficiente de correlação significativo ($r > 0.6$) e negativo (Tabela 4.20).

Tabela 4.20: Resultados das correlações entre os sinais encontrados nos espectros para os Anéis de crescimento de São Francisco de Paula e El Niño.

Período	Coeficiente de Correlação (r)	Lag (anos)
8.7	-0.80626	0

4.8.3 - Anéis de Crescimento e La Niña

Os anéis de crescimento não apresentaram espectros comuns a La Niña, que estivessem dentro dos 68% a 95% de confiança estipulado.

4.8.4 - Anéis de crescimento e precipitação

A série temporal de precipitação utilizada neste estudo é de Caxias do Sul e inicia em 1931, assim, fez-se um ajuste da série de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula para que compreendesse o mesmo período: 1931 – 2003. O mesmo procedimento aplica-se as séries de precipitação sazonais.

A análise espectral entre os anéis de crescimento para São Francisco de Paula e a precipitação não apresentou espectros comuns dentro dos 68% a 95% de confiança estipulado.

4.8.5 - Anéis de Crescimento e Precipitação outono/inverno

Os anéis de crescimento não apresentaram espectros comuns à precipitação outono/inverno, que estivessem dentro dos 68% a 95% de confiança estipulado.

4.8.6 - Anéis de crescimento e precipitação primavera/verão

Os anéis de crescimento não apresentaram espectros comuns a precipitação primavera/verão, que estivessem dentro dos 68% a 95% de confiança estipulado.

São Francisco de Paula foi, entre as três localidades estudadas, a que menos apresentou sensibilidade à precipitação, IOS e as Fases do IOS. Mostrou um único sinal comum ao IOS e ao El Niño, o período 8.7. Significativo e negativo para IOS e para El Niño (Tabelas 4.19 e 4.20). Não houve periodicidades comuns a La Niña, precipitação e precipitação sazonal dentro dos 68% e 95% de confiança estipulados.

Analogamente a Concórdia, São Francisco de Paula não dispunha de dados de precipitação, logo a série de precipitação utilizada no estudo pertencia a Caxias do Sul – RS. Como mencionado anteriormente, os climogramas das estações meteorológicas mostrados por Buriol et al. (2007), situa Caxias do Sul e São Francisco de Paula na região cujos volumes de chuva são altos com relação ao restante do estado do Rio Grande do Sul. A distribuição das chuvas durante os meses do ano é praticamente uniforme nas duas localidades, diferindo apenas no volume. Por exemplo, novembro que é o mês menos chuvoso em Caxias do Sul (100 mm) e em São Francisco de Paula (120 mm). Os maiores acumulados de chuva ocorrem no mês de setembro com valores em torno de 160 mm para Caxias do Sul e 240 mm para São Francisco de Paula.

Portanto, os mínimos e os máximos de chuva para São Francisco de Paula são mais acentuados que para Caxias do Sul.

4.9 - Ocorrências de El Niño e La Niña

Seguindo o que foi estabelecido por Rao e Hada (1990), durante a fase negativa do IOS (El Niño) um excesso de precipitação ocorre, em especial, no Sul do Brasil enquanto que na fase positiva do IOS (La Niña) há uma redução significativa na precipitação. Procurou-se analisar o comportamento dos anéis de crescimento de árvores durante as fases do IOS. Este procedimento foi adotado por Prestes et al. (2011), que observou na série temporal de anéis de crescimento de Severiano de Almeida como esta se comportou em períodos conhecidos de El Niño e La Niña. Os autores encontraram períodos de crescimento correspondentes à fase negativa do IOS (El Niño),

identificado como chuvoso para o Rio Grande do Sul. E períodos de pouco crescimento relacionados a fase positiva do IOS (La Niña).

Segundo Trenberth (1997) e Grimm et al (1998) os anos de ocorrência de El Niño 3.0 (5°N-5°S, 150°-90°W) são: 1911, 1913, 1915, 1918, 1923, 1925, 1932, 1939, 1941, 1944, 1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1979, 1982, 1986, 1991. La Nina: 1910, 1916, 1917, 1920, 1924, 1928, 1931, 1933, 1938, 1942, 1949, 1950, 1954, 1955, 1956, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975, 1985, 1988.

4.10 - Reconstrução das séries de anéis de crescimento

A reconstrução das séries de anéis de crescimento, como foi explicada na Metodologia (Capítulo 3), representa a influência que o fenômeno ou a variável meteorológica exerce no crescimento das árvores. Reconstruir a série de anéis de crescimento a partir do El Niño, por exemplo, é visualizar o sinal e por fim a influência do El Niño no crescimento de árvores.

Para cada localidade estudada, fez-se a reconstrução da série de anéis de crescimento a partir dos sinais do IOS, El Niño, La Niña. São Francisco de Paula não teve a série de anéis de crescimento reconstruída porque os resultados das análises espectrais não mostraram sinais comuns a La Niña e para El Niño e IOS houve apenas um sinal comum o que impede que a série de anéis seja reconstruída.

4.10.1 - Passo Fundo / RS

4.10.1.1 - Anéis de Crescimento e IOS

A Figura 4.24 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Passo Fundo reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e a série de IOS (Tabela 4.7).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Passo Fundo que se desenvolveram a partir das fases do IOS.

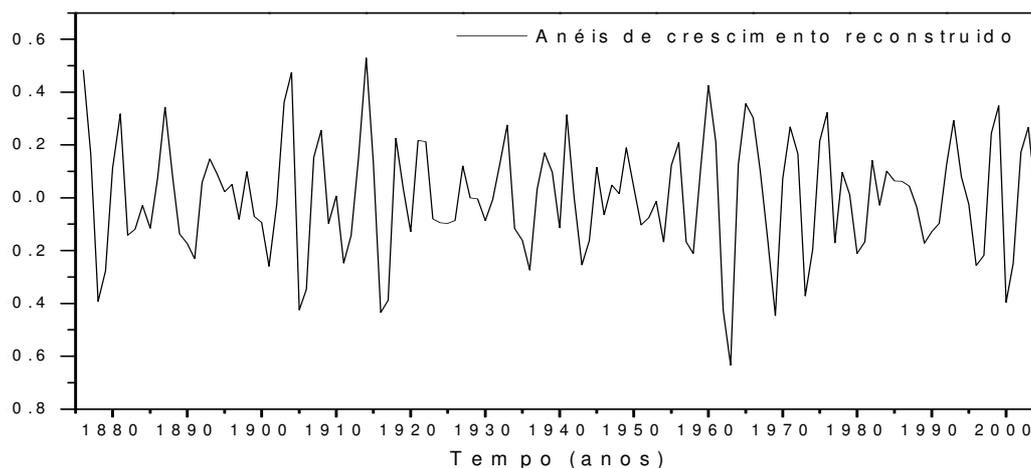


Figura 4.24 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o IOS cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (a partir da Tabela 4.7).

4.10.1.2 - Anéis de Crescimento e El Niño

A Figura 4.25 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Passo Fundo, reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e a série do El Niño (Tabela 4.8).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Passo Fundo que se desenvolveram a partir do El Niño.

Pode-se ver que os eventos de El Niño que ocorreram em 1925 (QUINN e NEAL, 1992), 1911, 1918, 1923, 1939, 1944, 1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1972, 1976, 1979, 1982 1986, 1991 (TRENBERTH, 1997; GRIMM et al, 1998) e 1997/1998 apresentam picos expressivos (Figura 4.25). O que indica ter havido mais precipitação e maior crescimento dos anéis de árvores nesses períodos.

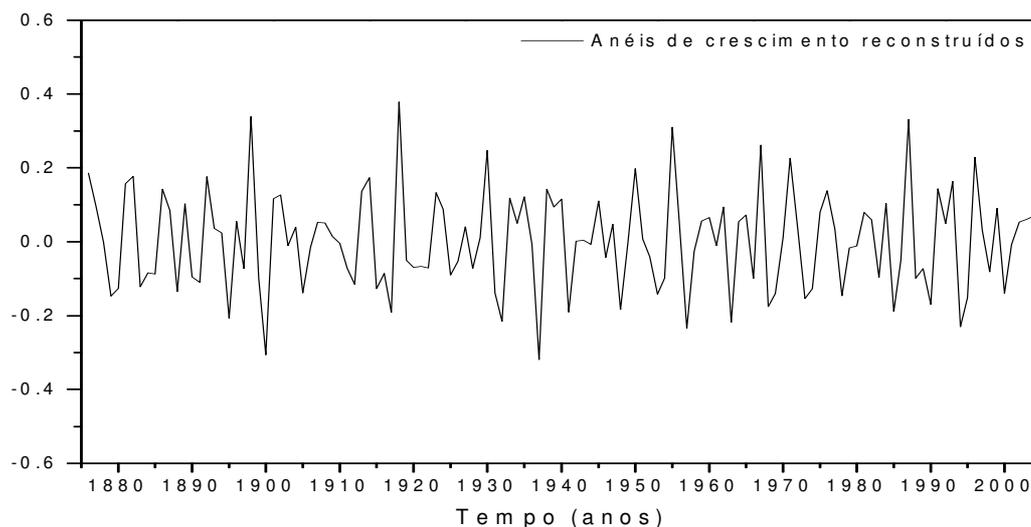


Figura 4.25 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o El Niño, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (A partir da Tabela 4.8).

Analisando a Figura 4.25 vê-se que os anos de 1880, 1898 apresentam um pico positivo de crescimento. Não há série de precipitação para esta época, mas como se trata de um El Niño, acredita-se que houve, nesses períodos, uma maior taxa de precipitação para a localidade.

4.10.1.3 - Anéis de Crescimento e La Niña

A Figura 4.26 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Passo Fundo, reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e La Niña (Tabela 4.9).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Passo Fundo que se desenvolveram a partir dos sinais da La Niña.

Pode-se ver que os eventos de La Niña que ocorreram em: 1916, 1917, 1924, 1928, 1938, 1942, 1949, 1956, 1964, 1971, 1973, 1975, 1985 (TRENBERTH, 1997; GRIMM et al, 1998) apresentam sinais de baixo crescimento nos anéis de árvores (Figura 4.26).

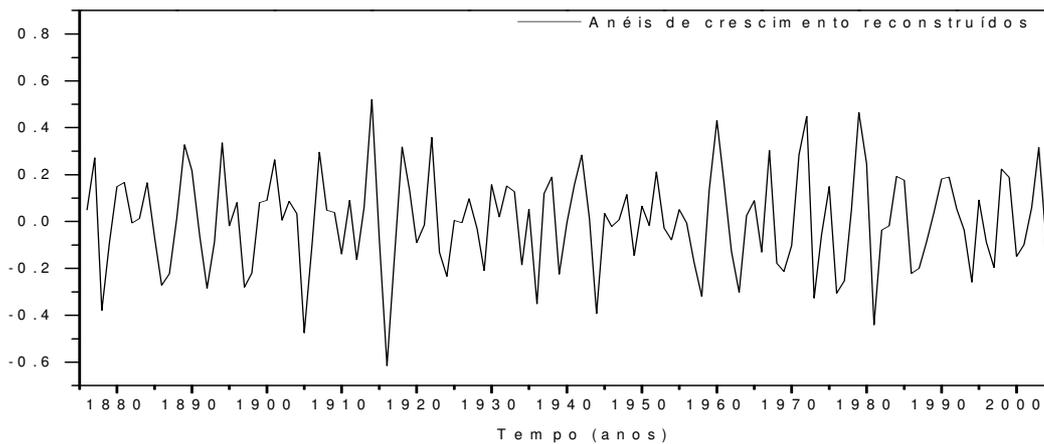


Figura 4.26 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Passo Fundo a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e a La Niña, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (a partir da Tabela 4.9).

Das respostas aos períodos de La Niña, destaca-se o ano de 1917 cuja precipitação foi uma das mais baixas de toda a série temporal de precipitação e os anéis de crescimento apresentaram um forte pico de baixo crescimento neste ano. O ano de 1875 aparece com um pico negativo de crescimento o que indica evento de La Niña, tendo como base o ano de 1917, acredita-se que pode ter havido pouca precipitação na localidade para esse ano.

4.10.2 - Concórdia/SC

4.10.2.1 - Anéis de Crescimento e IOS

A Figura 4.27 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Concórdia reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e a série de IOS (Tabela 4.13).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Concórdia que se desenvolveram a partir das fases do IOS.

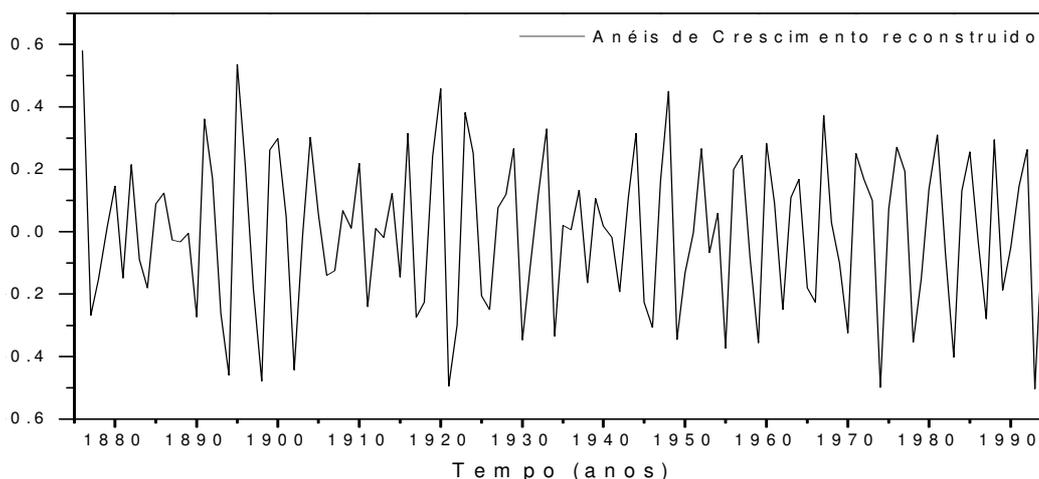


Figura 4.27 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o IOS cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.13).

4.10.2.2 - Anéis de Crescimento e El Niño

A Figura 4.28 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Concórdia, reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e a série da Fase Negativa do IOS (Tabela 4.14).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Concórdia que se desenvolveram a partir do El Niño.

Pode-se ver que os eventos de El Niño que ocorreram em: 1925 (QUINN e NEAL, 1992), 1911, 1913, 1918, 1923, 1932, 1939, 1941, 1951, 1963, 1976, 1982, 1991 (TRENBERTH, 1997; GRIMM et al, 1998) apresentam picos expressivos (Figura 4.28).

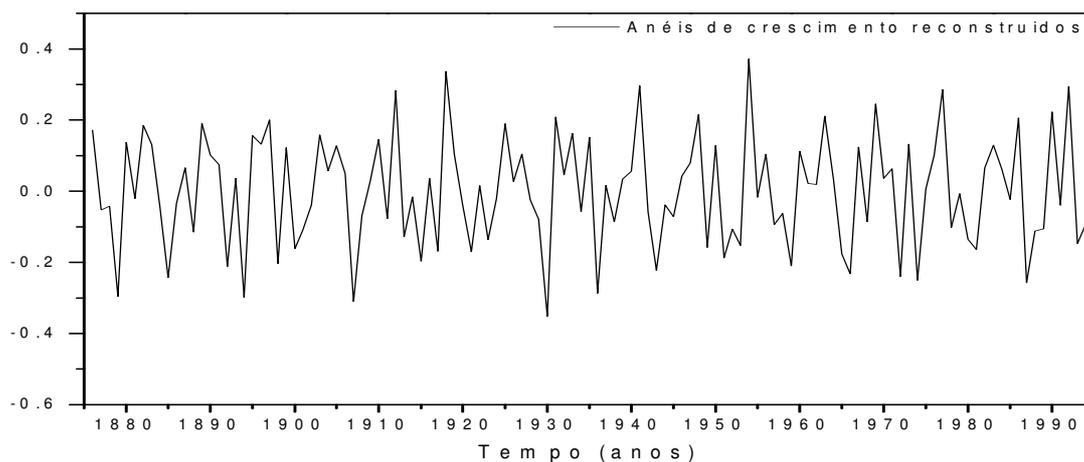


Figura 4.28 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e o El Niño, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.14).

Observa-se, na Figura 4.28, que o ano de 1880 e 1898 apresentaram tendências positivas de crescimento o que indica que pode ter sido anos de El Niño.

4.10.2.3 - Anéis de Crescimento e La Niña

A Figura 4.30 apresenta a série temporal de anéis de crescimento de árvores para Concórdia, reconstruída a partir dos coeficientes de correlação significativos ($r > 0.6$) entre a série de anéis de crescimento e a série da La Niña (Tabela 4.15).

A série reconstruída representa a parcela de variação dos anéis de crescimento de Concórdia que se desenvolveram a partir da La Niña.

Pode-se observar, na Figura 4.30, que os eventos de La Niña que ocorreram em: 1916, 1928, 1931, 1942, 1949, 1954, 1973, e 1988 (TRENBERTH, 1997; GRIMM et al, 1998) mostram baixo crescimento dos anéis de árvores.

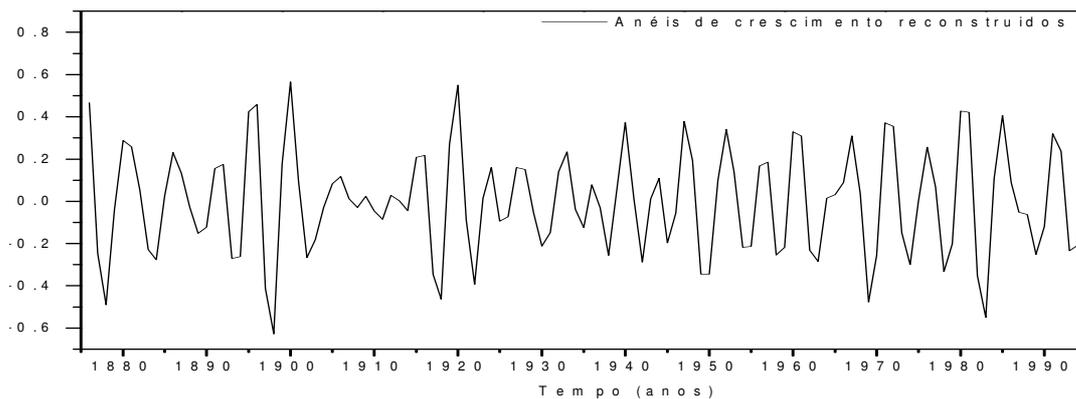


Figura 4.29 – Reconstrução da série temporal de anéis de crescimento de Concórdia a partir dos sinais comuns entre a série de anéis de crescimento e a La Niña, cujos coeficientes de correlação foram significativos ($r > 0.6$) (Tabela 4.15).

Observando a Figura 4.29, vê-se que os anéis de crescimento responderam com pico negativo de crescimento em alguns anos de La Niña. O ano de 1917 aparece na série de anéis de crescimento com um forte pico negativo de crescimento. Este mesmo ano também ficou evidente na série de Passo Fundo.

O ano de 1875 apresenta tendência negativa de crescimento, o que pode ser a indicação de um ano de La Niña.

4.10.3 - São Francisco de Paula / RS

Esta localidade apresentou apenas um a dois harmônicos, semelhantes com os sinais dos anéis de árvores, impossibilitando que fosse feita a reconstrução da série temporal dos anéis de crescimento de árvores em função dos fenômenos estudados.

4.11 - Topografia das Localidades

A topografia do Sul do Brasil foi um fator importante para explicar o porquê das diferentes respostas que cada localidade apresentou.

No Sul do Brasil a topografia se tornou um fator importante para explicar o porquê da série de anéis de crescimento de árvores de São Francisco de Paula ter respondido menos aos sinais do Enos, as fases do ENOS e a precipitação.

A Figura 4.30, obtida a partir de dados com resolução espacial de 3 km (SMITH e SANDWELL, 1997), mostra o mapa topográfico do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As localidades em estudo estão destacadas no mapa por triângulos em preto. São Francisco de Paula situa-se na Serra do Nordeste a 930 m de altitude enquanto Passo Fundo está localizado no Planalto Nordeste numa região alta, plana e livre de encostas. A cidade de Concórdia está localizada numa região mais baixa e cercada por morros.

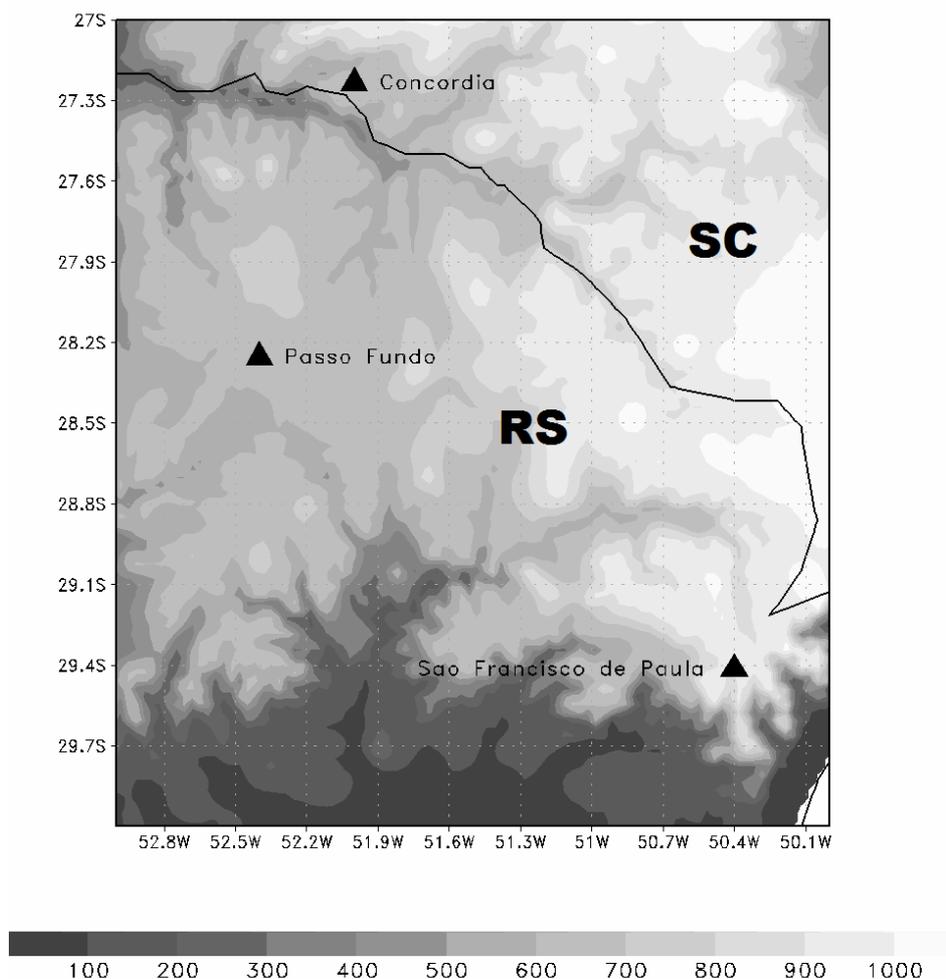


Figura 4.30 – Topografia do Sul do Brasil (sombreado, intervalos de 100 m). As localidades de coletas de anéis de crescimento de árvores: Passo Fundo/RS, Concórdia/SC e São Francisco de Paula/RS, destacadas no mapa por triângulos em preto.

Fonte: Smith e Sandwell, (1997)

Körner, (1998), comenta que as altas elevações reduzem o crescimento das coníferas devido às baixas temperaturas. Uma vez que estas danificam os brotos e reduzem a atividade da raiz devido a temperatura do solo estar muito baixa.

Kaufmann (2011) apontou que a diferença topográfica entre as regiões litorâneas e o interior do Rio Grande do Sul tem impacto no transporte de umidade proveniente do oceano. Esse fato influencia, segundo esse autor, no comportamento da nebulosidade primeiramente formada sobre o oceano e posteriormente transportada sobre o continente, bem como na precipitação freqüentemente observada nos casos que analisou.

Ainda, segundo Kaufmann (2011), situações semelhantes são encontradas em outras regiões do planeta, como nos vales costeiros do noroeste dos Estados Unidos (OLSSON et al, 1973), do Sudeste da França (BASTIN et al, 2005; BASTIN e DROBINSKI, 2006), do Sul da Itália (DE LEO et al, 2008) e no Sudeste da Espanha (AZORIN-MOLINA e CHEN, 2009).

Outro efeito da topografia está na formação de nevoeiros, pois o ar que se resfria em contato com o solo escoia pelas encostas e se acumula nos vales formando assim o nevoeiro de radiação (VAREJÃO-SILVA, 2000).

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Este trabalho se concentrou no estudo de eventos de El Niño e La Niña através de registros naturais em anéis de crescimento de árvores baseando-se em séries temporais de precipitação.

Foram estudadas cronologias de anéis de crescimento para três localidades do Sul do Brasil. Nessas cronologias foi aplicado o método de análise espectral clássica na busca por periodicidades comuns entre as séries de anéis de crescimento e as séries de IOS, El Niño, La Niña, precipitação e precipitação sazonal.

Foram utilizadas no estudo, séries temporais de anéis de crescimento de árvores de Passo Fundo/RS, Concórdia/SC e São Francisco de Paula/RS cobrindo intervalos de tempo de 1876-2004, 1876-1996 e 1909-2003, respectivamente. Além da série do Índice de Oscilação Sul (IOS) (1876-2004) e série de precipitação para Passo Fundo/RS (1913-2004) e Caxias do Sul/RS (1931-2004). Ao todo foram estudadas 34 séries temporais de anéis de crescimento de árvores sendo 12 séries temporais de Passo Fundo/RS, 8 séries temporais de Concórdia/SC e 14 séries temporais de São Francisco de Paula/RS.

A análise espectral apontou, nas séries temporais de anéis de crescimento de árvores, sinais comuns ao IOS, El Niño, La Niña, Precipitação e Precipitação Sazonal.

O estudo feito para cada localidade, revelou que as duas localidades, Passo Fundo e Concórdia apresentaram sinais comuns ao IOS, no qual a maioria apresentou períodos compreendidos entre 3 e 2 anos. São Francisco de Paula obteve apenas um sinal comum ao IOS e um sinal comum ao El Niño o que dificultou qualquer conclusão a respeito da influência do ENOS para esta localidade.

No estudo sazonal as análises espectrais mostraram que as localidades apresentaram sinais comuns ao período de outono-inverno e também ao período de primavera-verão. As correlações feitas com os sinais comuns entre os anéis de crescimento e a precipitação sazonal identificaram Passo Fundo em fase (correlações positivas) com o período da primavera-verão enquanto que Concórdia apresentou-se em fase com outono-inverno. É possível que o sítio onde as amostras de Concórdia foram coletadas responda melhor a outros fatores limitantes como temperatura, por exemplo.

A reconstrução das séries de anéis de crescimento é um resultado importante, pois mostra de que forma o Enos influencia no crescimento das árvores. Consultando anos que registraram eventos de El Niño e de La Niña, pode-se notar que houve na série temporal de anéis de árvores comportamento de maior crescimento em períodos de El Niño e menor crescimento em períodos de La Niña.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que os anéis de crescimento de árvores são sensíveis as variações de escalas sazonais e climatológicas. As amostras mostraram sinais comuns ao IOS, as fases do Enos e a precipitação e precipitação sazonal. Exceto São Francisco de Paula que não registrou períodos comuns a La Niña e precipitação.

Esses resultados evidenciam que os anéis de crescimento de Passo Fundo e Concórdia apresentaram-se mais sensíveis a La Niña (fase positiva do IOS), porém mostrando um menor crescimento para esta fase.

Com respeito ao período definido como sendo de dormência cambial (outono/inverno) e de crescimento cambial (primavera/verão), ficou claro que, de forma geral, os anéis se mostraram mais sensíveis ao período da primavera/verão. Porém, Passo Fundo apresentou-se em fase com a precipitação primavera/verão enquanto que Concórdia mostrou-se em anti-fase com a primavera/verão.

É esperado que os resultados aqui apresentados possam ser relevantes para o estudo da dendroclimatologia mostrando que os anéis de crescimento podem inferir respostas sobre o clima do passado recente e até mesmo de séculos atrás.

Para um estudo futuro, sugere-se que a variável temperatura seja incluída e que com isso algumas dificuldades encontradas nesse estudo possam ser melhor esclarecidas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King, Meliaceae, ocorrentes na Floresta Amazônica do departamento Madre de Dios, Peru**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (Enos). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 583-592, 1992.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **Int J Climatol**, v. 25, p. 2017-2030, 2005.

AZORIN-MOLINA, C.; CHEN, D. A climatological study of the influence of synoptical-scale flows on sea-breeze evolution in the Bay of Alicante (Spain). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 96, p.249-260, 2009.

BASTIN, S.; DROBINSKI, P.; DABAS, A.; DELVILLE, P.; REITEBUCH, O.; WERNER, C. Impact of the Rhone and Durance valleys on sea-breeze circulation in the Marseille area. **Atmospheric Research**, v. 74, p.303-328, 2005 DOI: 10.1016/j.atmosres.2004.04.014

BASTIN, S.; DROBINSKI, P. Sea-breeze-induced mass transport over complex terrain in South-Eastern France: A case study. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 132, p.405-423, 2006. DOI: 10.1256/qj.04.111.

BERLAGE, H. P. The Southern Oscillation and world weather. **Mededl. Verhandl. Kon. Ned. Meteor. Inst.**, n. 88, 1966, 152 p.

BORGAONKAR, H. P. et al. El Niño and related monsoon drought signals in 523-years-long ring width records of Teak (*Tectona grandis* L.F.) trees from south India. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 285, p. 74-84, 2010.

BOTOSO, C. P.; MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. 25 p.
BUREAU OF METEOROLOGY. Disponível em:
<<http://www.bom.gov.au/index.shtml>>. Acesso em: 23 out. 2010.

BRANTLEY, S. et al. Tree-ring dating volcanic deposits. **Earthquakes and Volcanoes**, v. 18, n. 5, p. 184-194, 1986.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M. Cartas mensais e anuais de chuvas no estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 55-82, 1977.

_____. et al. Cartas mensais e anuais das temperaturas médias, das médias das temperaturas máximas e das médias das temperaturas mínimas do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 9, p. 1-43, 1979. (Suplemento.)

_____. et al. Clima e vegetação natural do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 91-100, 2007.

CALLADO, C. H. et al. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of Atlantic rain forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Trees**, v. 15, p. 492-497, 2001.

CAMPOS, C. R. J.; LIMA, E. C. S.; PINTO, L. B. Complexo convectivo de mesoescala observado em 27/11/2002 no nordeste da Argentina. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 31, n. 2, p. 23-32, 2008.

CANE, M. A. The evolution of El Niño, past and future. **Earth Planet Science Letters**, v. 164, p. 1-10, 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. Ciclones extratropicais. CPTEC-INPE. **IV curso de interpretação de imagens e análises meteorológicas**. São José dos Campos, 1995.

_____. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.

CPTEC. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **El Niño e La Niña**. 2001. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

CHARNET, R. et al. **Análise de modelos de regressão linear**. 2. ed. Campinas: Ed. da Unicamp, 1999. 356 p.

CHEN, T. C.; YEN, M. C.; SCHUBERT, S. Hydrologic process associated with cyclone system over the United States. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 77, n. 7, p. 1.557-1.567, 1996.

COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Ed.). **Cultivo de Oliveira (*Olea europaea L.*)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Sistema de Produção, 16, 2009. 125 p.

DE LEO, L.; FEDERICO, S.; SEMPREVIVA, A. M.; PASQUALONI, L.; AVOLIO, E.; BELLECCI, C. Study of the development of the sea-breeze and its microscale structure at a coastal site using a Multitone Sodar system. **IOP Conference Series – Earth Environmental Science**, 2008, DOI: 10.1088/1755-1307/1/1/012054.

DENDROCRONOLOGIA NO ALENTEJO. Disponível em:
<http://archaeoinfo.110mb.com/index.php?p=1_19_O-M-todo>. Acesso em: 15 out. 2010.

DEVALL, M. S.; PARRESOL, B. R.; WRIGHT, S. J. Dendroecological analysis of cordia alliodora, pseudobombax septenatum and annina spraguei in Central Panama. **Lawa Journal**, v. 16, p. 411-424, 1995.

DEZZEO, N. et al. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally in flooded forest of the Mapire River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. **Plant Ecology**, v. 168, p. 165-175, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Pinheiro-do-Paraná**. 2003. Disponível em:
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do-Parana/CultivodoPinheirodoParana/index.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

ENFIELD, D. B. El Niño, past and present. **Rev. Geophysics**, v. 27, p. 159-187, 1989.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1, p., 2005. 42 p.

FAN, Z.; BRAEUNING, A.; CAO, K. F. Annual temperature reconstruction in the central Hengduan Mountains, China, as deduced from tree rings. **Dendrochronologia**, v. 26, p. 97–107, 2008.

FENG, X.; EPSTEIN, S. Climatic trends from isotopic records of tree rings: the past 100-200 years. **Climatic Change**, v. 33, p. 551-562, 1996.

FERRAZ, E. S. B. **Determinação da densidade da madeira por atenuação de radiação gama de baixa energia**. Piracicaba, IPEF, n. 12, p. 61-68, 1976.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, L. G. **Estatística aplicada**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1985.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul (Enos) sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 127-132, 1996.

FOWLER, A. et al. Dendroclimatic interpretation os tree-rings in *Agathia australis* (Kauri): 2 evidence of a significant relationship with ENSO. **Journal of Royal Society of New Zeland**, v. 30, n. 3, p. 277-292, 2000.

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

GAN, M. A.; RAO, B. V. Surface ciclogensis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, p. 293-302, 1991.

GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2.544-2.559, 2000.

GEVAERD, R. et al. Análise da precipitação associada ao ciclone Catarina via sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 614-627.

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.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; CARDOSO, A. O. Influência de El Niño sobre a chuva no Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. 5 p.

_____; _____; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v. 11, p. 2.863-2.880, 1998.

_____; TADESCHI, R. G. Influência de eventos de El Niño e La Nina sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: SBMET, 2004. 1 CD ROM. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/22-702bab1b72218e177bbfe1ab21827a5e.doc>>.

HOREL, J. D.; WALLACE, J. M. Planetary-scale phenomenon associated with Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 813-829, 1984.

HOSKINS, B. J.; HODGES, I. H. New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 59, p. 1.041-1.061, 2005.

KAUFMANN, T. **Advecção de nebulosidade rasa sobre o Sul do Brasil devido a atuação do anticiclone transiente da Confluência Brasil-Malvinas**. 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1931.

KÖRNER, C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. **Oecologia**, v. 115, p. 445-459, 1998.

KOUSKY, V. E., KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36A, p. 490-502, 1984.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Growth control in woody plants**. San Diego: Academic Press, 1997. 641 p.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001. (Ciências Exatas.)

KUMAGAI, H. et al. Growth-ring analysis of early tertiary conifer woods from Canadian High Arctic and its palaeoclimatic interpretation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 116, p. 247-262, 1995.

LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. The global population of mesoscale convective complexes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 123, p. 389-405, 1997.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 78, p. 1.069-1.079, 1997.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1972. 620 p.

MOLION, L. C. B. Variabilidade e alterações climáticas. In: FIGUEIREDO, T. de. et al. (Org.). **Clima e recursos naturais**. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança, 2010. v. 1, p. 17-41.

MOTA, F. S.; BEIDOLF, M. I. C; GARCEZ, I. R. B. Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Pelotas: Ministério da Agricultura, 1971. 80 p.

MURPHY, J. O. et al. Reconstruction of the annual variation in Zurich sunspot number from tree ring-index time series. **Tree Rings, Environment, and Humanity. Radiocarbon.**, Tucson, Department of Geosciences, University of Arizona, 1996. p. 853-869.

NEELIN, J. D.; LATIF, M. El Niño dynamics. **Physics Today**, v. 51, p. 32-36, 1998.

NETA, L. C.; GOMES, R. G. Avaliação de sistemas convectivos de mesoescala sobre o sul da América do Sul utilizando o modelo WRF. In: ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4., 2011, Pelotas. **Anais...** Pelotas, 2011. 9 p. 1 CD-ROM.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A. W. Sensibilidade dos ensaios de ultrassom à ortotropia elástica da madeira. In: CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 3., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Abende, 2003. 1 CD ROM.

NORDEMANN, D. J. R. et al. Solar activity and El Niño effects on Southern Brazil Araucaria ring widths (1955-1997): dendrochronology, environmental change and human history. In: **International Conference on Dendrochronology**. Québec City: 2002. (Pôster.)

_____; RIGOZO, N. R. Árvores contam uma história do sol. **Scientific American**, v. 14, n. 2, p. 30-37, 2003.

_____; _____. FARIA, H. H. Solar: terrestrial relations observed in South America tree ring records. **Advances in Space Research**, v. 35, n. 5, p. 891-896, 2005.

OLIVEIRA, G. S. O El Niño e você: o fenômeno climático. **Transtec Editorial**, São José dos Campos, 1971. 116 p.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze**: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OLSSON, L. E.; ELLIOT, W. P.; HSU, S.-I. Marine air penetration in Western Oregon: An observational study. **Monthly Weather Review**, 101, 4: 356-362, 1973.

PAMPUCH, L. A. **Investigação do modo sul no clima presente e futuro no Rio Grande do Sul**. 2010. 146 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. **Physics of Climate**. Springer Verlag, USA: American Institute of Physics, 1992. 520 p.

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.

_____. et al. Sun-earth relationship inferred by tree growth rings in conifers from Severiano de Almeida, Southern Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v. 73, July 2011. p. 1.587-1.593.

PUCHALSKI, L. A. **Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

QUINN, W.H.; NEAL., V.T. The historical record of El Niño events. In: *Climate Since A. D. 1500*(eds Brandley RS, Jones PD), Routledge, London. p 623-648, 1992.

RAO, V.B., HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81–91, 1990.

RASMUSSEN, E. M.; WALLACE, J. M. Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. **Science**, v. 222, p. 1.195-1.202, 1983.

RASPOPOV, O. M.; DERGACHEV, V. A.; KOLSTRÖM, T. Periodicity of climate conditions and solar variability derived from dendrochronological and other palaeoclimatic data in high latitudes. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 209, p. 127-139, 2004.

REBELLO, E. **Anomalias climáticas e seus impactos no Brasil durante evento “El Niño” de 1982-83 e previsão para o evento “El Niño” de 1997-98.** Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 1997. 4 p.

RIGOZO, N. R. **Análise por regressão iterativa de periodicidades nas variações dos cosmonuclídeos atmosféricos Be-10 e C-14.** 1994. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

RIGOZO, N.R. **Registros da atividade solar e de outros fenômenos geofísicos em anéis de crescimento de árvore.** 1999. 133 f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

_____; NORDEMANN, D. J. R. Registros da atividade solar nos anéis de crescimento de árvores em São Francisco de Paula – RS (Brasil). **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 1, p. 91-97, 2000.

_____. et al. Wavelet analysis of solar-Enso imprints in tree ring data from southern Brazil in the last century. **Climatic Change**, v. 60, p. 329-340, 2003.

_____. et al. Search for solar periodicities in tree-ring widths from Concórdia (SC, Brazil). **Pure and Applied Geophysics**, v. 161, p. 221-233, 2004.

_____. et al. Comparative study between four classical spectral analysis methods. **Applied Mathematics and Computation**, v. 168, p. 411-430, 2005.

_____. et al. Search for solar maximum epoch imprints in tree-ring width from Passo Fundo, Brazil (1741-2004). **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 70, p. 1.025-1.033, 2008a.

_____. et al. The Medieval and Modern Maximum solar activity imprints in tree ring data from Chile and stable isotope records from Antarctica and Peru. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, V. 70, p.1012-1024, 2008b.

_____; NORDEMANN, D. J. R. Análise por iterative regression de periodicities em séries temporais de registros geofísicos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 16, n. 2/3, p. 149-158, 1998.

ROPELEWSKI, C. H., HALPERT, S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1.606-1.626, 1987.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale convective systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low Level Jet, **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 1.290-1.309, 2007.

SPATHELF, P. et al. Análise dendrocronológica de *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees (Canela Lageana) na serra geral de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 95-108, 2000.

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

SCHÖNGART, J. et al. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect. **Global Change Biology**, v. 10, p. 683-692, 2004.

SCHWEINGRUBER, F. H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrech: D.Reidel, 1988. 273 p.

_____. **Tree rings and environment:** dendrochronology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, Paul Haupt Publishers, Berne, Switzerland, 1996. 609 p.

SMITH, W. H. F.; SANDWELL, D.T. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. **Science**, v. 277, p. 1956-1962, 1997.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geophysical Review London**, Nova Jersey, v. 38, p. 55-94, 1948.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F. A. (Ed.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Ediunc, 2000. p. 381-431.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 78, p. 2.771-2.777, 1997.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. **Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, 2000, 532p.

VELASCO, I.; FRITSCH, M. J. Mesoscale convective complexes in the Americas. **J. Geophys. Res.**, v. 92(D8), p. 9.591-9.613, 1987.

VETTER, R. E.; BOTOSSO, P. C. A idade de árvores da Amazônia. In: FERREIRA, E. J. G. et al. (Ed.). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia**. Manaus: INPA, 1993. v. 2. p. 403-417.

_____. Growth periodicity and age of Amazonian tree species: methods for their determination. In: ROIG, F. A. (Ed.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Ediunc, 2000. p. 135-155.

WALKER, G. T. Correlation in seasonal variation of weather, IX: a further study of world weather. **Mem. Indian Meteor. Dep.**, v. 24, p. 275-332, 1924.

WILES, G.; D'ARRIGO, R. D.; JACOBY, G. C. Gulf of Alaska atmosphere-ocean variability over recent centuries inferred from coastal tree-ring records. **Climatic Change**, v. 38, p. 289-306, 1998.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the Atmospheric Sciences**. New York: Academic Press, 1995. 468 p.

WOLBERG, J. R. **Prediction analysis**. London: Northland D. Van Nostrand, 1967.

WORBES, M. Variety in structure of annual growth zones in *Tabebuia Barbarta* (E. Mey) Sandew., Bignoniaceae, a tropical tree from Central Amazonian inundation forests. **Dendrochronologia**, v. 6, p. 71-89, 1988.

_____. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

_____. et al. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and WOOD production of a forest stand in Cameroon. **Forest Ecology and Management**, v. 173, p. 105-123, 2003.

ZANZI, A. et al. Spectral analysis on mountain pine tree-ring chronologies. **Dendrochronologia**, v. 24, p. 145-154, 2007.

ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L., **Trees structure and function**. New York: Springer-Verlag, 1971.