

ESTUDO DENDROCLIMÁTICO DA REGIÃO DE SÃO FRANCISCO DE PAULA - RS

SILVA, Aline C¹, PRESTES, Alan²

^{1,2} Universidade do Vale do Paraíba /IP&D - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. Rua Shishima Hifumi, 2911, Urbanova. São José dos Campos – SP.

¹linecsilva2@hotmail.com, ²prestes@univap.br

Resumo - O estado climático em qualquer período depende de três fatores cruciais que são: a) a quantidade de energia proveniente do Sol recebida pelo sistema climático; b) a maneira pela qual esta energia é distribuída e absorvida sobre a superfície da Terra; c) a natureza da interação dos processos entre os vários componentes do sistema climático. É possível investigar o clima passado por meio de árvores que registram em seus anéis de crescimento a memória das variações do ambiente onde vivem. Neste trabalho utilizamos amostras de *Araucaria angustifolia*, que foram coletadas na Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS, a fim de obter séries dendrocronológicas para estudar fenômenos geofísicos e climáticos nesta região. As análises das séries temporais da espessura dos anéis de crescimento das árvores, pelo método da regressão iterativa e por ondeletas, apresentaram períodos representativos da atividade solar de 11 anos (ciclo de Schwabe), com uma significância estatística de 95%. Isso pode indicar uma possível influência da atividade solar no crescimento das árvores. Também foram encontrados baixos períodos de 2 a 7 anos, que podem representar uma resposta das árvores às condições climáticas locais.

Palavras-chave: Dendrocronologia, Dendroclimatologia, *Araucaria angustifolia*, anéis de crescimento.

Área do Conhecimento: Ciências exatas e da Terra.

Introdução

Os registros instrumentais são insuficientes para observar e estudar como o sistema do clima opera em escalas de tempo muito maiores do que umas poucas décadas ou sob forçantes climáticos diferentes do presente. Assim, há a necessidade de se entender e estimar as mudanças ambientais de longos períodos que ocorreram ou ocorrerão.

Devido à escassez de registros climáticos e a qualidade dos registros em anéis de crescimento de árvores desenvolveu-se a dendrocronologia e da dendroclimatologia (Fritts, 1976).

A dendroclimatologia determina a idade das árvores pela análise dos anéis de crescimento formados em seu tronco ano a ano e estabelece relações com eventos climáticos (Schweingruber, 1988). Nordemann e Rigozo (2003) relatam que, em escalas de séculos a 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. Nessas variações é possível identificar, dentre outras, as que são devidas a mudanças climáticas associadas às variações da atividade solar, já conhecidas por

meio de observações do número de manchas solares (Prestes, 2009).

A dendroclimatologia pode ser a ligação do presente e futuro dentro do amplo contexto de muitas realizações do sistema dinâmico do clima passado. Baseado nestas considerações obteve-se séries dendrocronológicas para estudar fenômenos geofísicos e climáticos que atuam na região de São Francisco de Paula.

Metodologia

O emprego de anéis de crescimento de coníferas no estudo das relações Sol-Terra, no passado, deve-se a estudos preliminares apresentarem fortes indícios de sinais climáticos e do ciclo solar de 11 anos (Stuiver and Quay, 1980; Murphy, 1990; Nordemann e Rigozo, 2003; Prestes, 2009). Neste estudo empregaram-se amostras da flora gimnospérmica, coníferas, da espécie *Araucaria angustifolia*. A espécie florestal foi selecionada em função de suas (i) características morfológicas e anatomia da madeira, (ii) área de ocorrência e (iii) potencial dendrocronológico.

Amostras do lenho da espécie *Araucaria angustifolia* foram coletadas na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS, para a realização

das análises dendroclimáticas. A Figura 1 mostra algumas amostras.



Fig. 1 - Amostras de *Araucaria angustifolia* coletadas.

As amostras foram digitalizadas utilizando-se um scanner e as séries das espessuras de anéis de crescimento foram obtidas com auxílio do programa "Imagem Tool". Com o programa "Origin 7" obtiveram-se os gráficos das séries temporais que permitiram fazer as cronologias de cada árvore. Obtidas as séries temporais da espessura dos anéis de crescimento para cada árvore, determinou-se a melhor curva de ajuste que representa tendências como o crescimento biológico de cada árvore, anomalia e/ou danos que podem ter ocorrido em alguma árvore, ou algum outro fenômeno esporádico que tenha ocorrido. Após, estas tendências serem removidas e se obtém uma cronologia média entre todas as árvores do sítio com a finalidade de relacionar estes dados com o clima da região no decorrer dos anos. Até o momento, obteve-se uma série cronológica do sítio de 11 árvores.

As séries temporais das espessuras dos anéis de árvores foram analisadas pelos métodos matemáticos de análise espectral clássico (regressão iterativa) e por ondeletas (wavelet), e correlacionadas com as séries temporais do número de manchas solares, que descreve o nível da atividade solar, índices de atividade climática/atmosférica – Índice de Oscilação SUL (SOI), e anomalia da temperatura entre a latitude 24° a 44° sul.

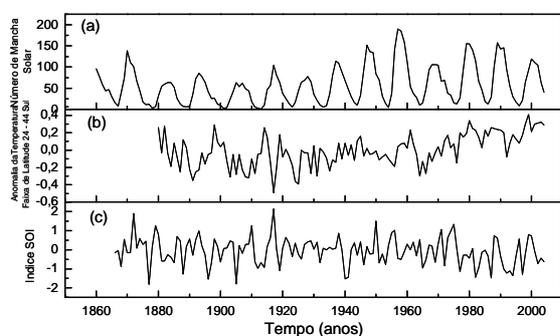


Fig. 2 - Média anual do número de manchas solares (a), anomalia da temperatura entre a latitude 24° a 44° sul (b), índice de oscilação sul, SOI (c).

Resultados

A série temporal média das espessuras dos anéis de crescimento de 11 amostras de araucárias de São Francisco de Paula – RS está apresentada na Figura 3. No gráfico, o último ano com valor de espessura de anel representa o último ano de vida de crescimento das árvores, antes de serem coletadas as amostras.

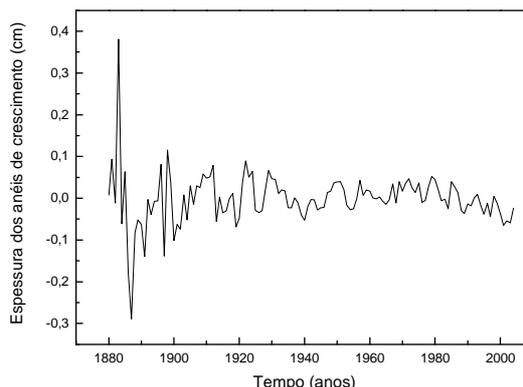


Fig. 3 - Série dendrocronológica média de São Francisco de Paula - RS.

As análises matemáticas das séries temporais de anéis de crescimento de madeiras da região São Francisco de Paula tentam identificar fenômenos geofísico e climático que causam variações registradas ano-a-ano durante a vida da árvore.

Uma vez obtidas as cronologias das espessuras dos anéis de crescimento, representativa do local e período em estudo, fez-se a análise espectral utilizando o método de regressão iterativa (ARIST) e ondeletas da cronologia e das séries geofísicas. Também se fez ondeletas cruzadas da série cronológica com as séries geofísicas, a fim de se determinar os sinais que podem influenciar o desenvolvimento dos anéis de crescimento de árvores. Através destas análises pretende-se investigar a constituição espectral das séries temporais, buscando correlacioná-las como causa e efeito, avaliá-las e compará-las. A Figura 4 apresenta os espectros e amplitude das séries.

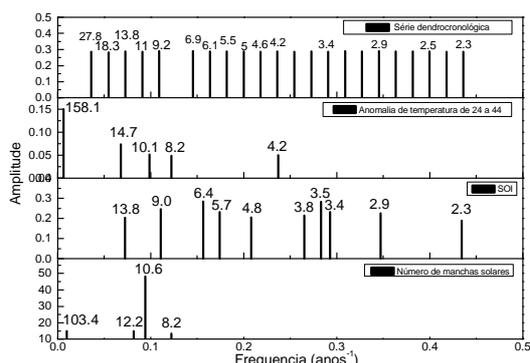


Fig. 4 - Espectros de amplitude em função da frequência das cronologias médias das amostras de São Francisco de Paula (a), da série temporal da anomalia da temperatura entre 24° a 44° sul (b), do índice de oscilação sul – SOI (c) e da série temporal do número de manchas solares (d).

O espectro de amplitude da série dendrocronológica de São Francisco de Paula apresenta periodicidades, que podem ser atribuídas a variabilidade solar, principalmente ao ciclo de 11 anos. Considerando os períodos de alta frequência, no caso dos períodos de 2 a 7 anos, podem estar relacionados aos eventos El-Niño ou a condições climáticas.

A Figura 5 apresenta a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula, de 1880 a 2004, e seu espectro da ondeleta de Morlet, para os períodos variando de 2 a 33 anos. Pode-se observar que a periodicidade, variando de ~2-7 anos, está presente entre 1880-1925, aproximadamente. O ciclo em torno de 11 anos está presente, mas está sob a influência do cone de influência. Estas periodicidades foram detectadas na análise espectral clássica (ARIST), e mostraram não ser constante no tempo apresentando uma grande variância.

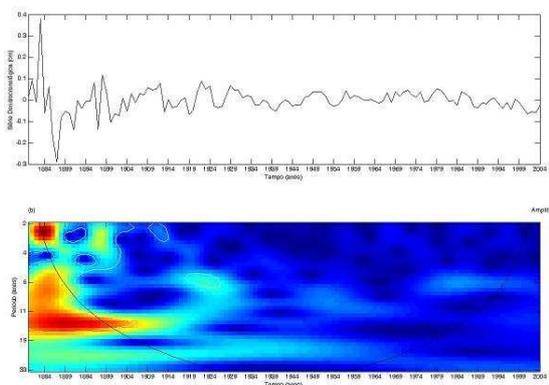


Fig. 5 – (a) Cronologia média da largura dos anéis de crescimento de árvores de São Francisco de

Paula. (b) Espectro de ondeleta com o cone de influência (curva preta) e nível de confiança de 95% (contorno branco).

O espectro de ondeleta-cruzada de Morlet mostra exatamente o que existe de comum entre duas séries temporais. O eixo Y representa a escala (períodos) do espectro em anos, o eixo X é o tempo, também em anos, e a escala de cores indica a potência cruzada do espectro, para cada periodicidade em um dado tempo. As periodicidades significativas com 95% de confiança são delimitadas por linhas de contorno brancas. O mapa de ondeleta-cruzada também apresenta o cone da região de influência (delimitado por uma curva parabólica branca), no qual a região externa desta curva é onde se apresentam os efeitos de bordas da série temporal. Assim, somente a região dentro do cone de influência deve ser analisada [Torrence and Compo, 1998].

A Figura 6 apresenta o mapa de ondeleta-cruzada entre a série dendrocronológica e o número de manchas solares, para os períodos variando de 2 a 66 anos. A periodicidade predominante é o período em torno de 11 anos que está presente em todo o intervalo.

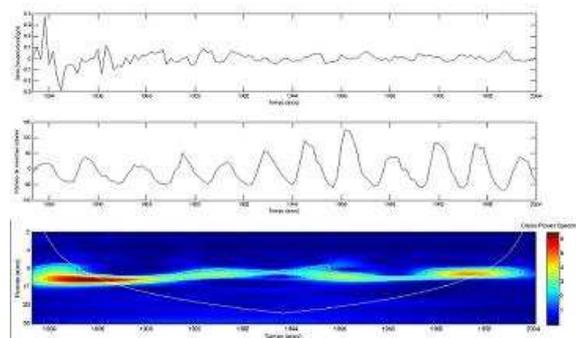


Fig. 6 - Espectro de potência cruzado entre o número de manchas solares e a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

A Figura 7 apresenta o espectro cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e o índice SOI. As regiões de confiança apresentadas são: os períodos esporádicos entre 2-8 anos e o período de 13 a 17 anos. Os períodos com maior amplitude entre 2-8 anos estão entre os intervalos: de ~1884-1930, ~1940-1960. O período de 13 à 17 anos está sob a influência do efeito de borda.

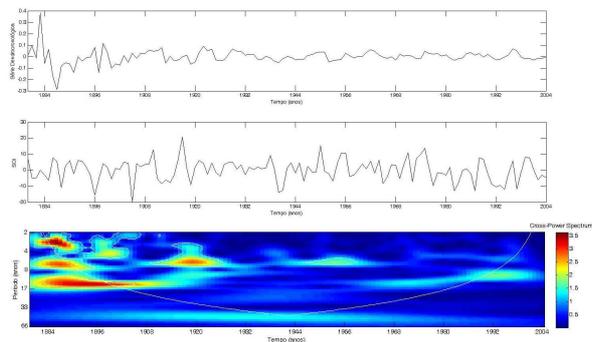


Fig. 7 - Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento e o índice SOI, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

A Figura 8 apresenta o espectro cruzado de ondeleta de Morlet entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e a série da anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul, para os períodos variando de 2 a 66 anos. As regiões de confiança apresentadas são curtas periodicidades entre 2 a 8 anos e o período próximo a 17 anos que está sob o efeito de borda. As curtas periodicidades entre 2 a 8 anos estão presentes nos intervalos de ~1884-1900 e ~1910-1925. Pode-se observar no intervalo 1910-1925 a influência da temperatura no crescimento das árvores, pois foi neste intervalo que ocorreu o ano com a temperatura mais baixa de todo o período.

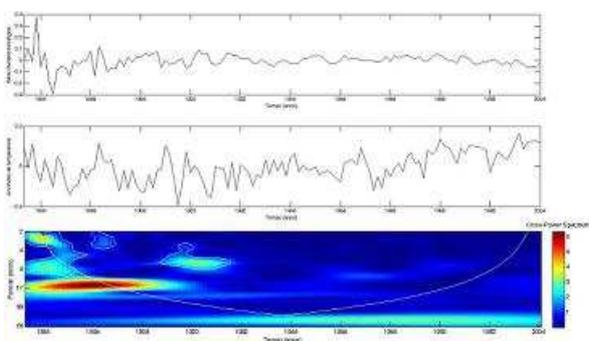


Fig. 8 - Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento e a anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

Discussão

Uma mudança no clima implica em uma mudança na circulação geral da atmosfera, da qual o clima depende em última análise. Contudo, o clima envolve não somente a atmosfera como também a hidrosfera, a biosfera, a litosfera e a criosfera. Estes são os cinco componentes que formam o sistema climático. Este sistema também está sujeito às influências extraterrestres, particularmente à do Sol. Portanto, o clima depende de, ou é determinado por, dois fatores principais: 1) a natureza dos componentes que formam o sistema climático e as interações entre vários componentes; 2) a natureza das condições geofísicas exteriores ao sistema climático e as influências que exercem sobre o sistema climático (Hoyt e Schatten, 1997; Seinfeld and Pandis, 1998).

O local da coleta é uma das região mais úmidas do estado do Rio Grande do Sul, com pluviosidade superior a 2.000mm e com temperatura média anual de aproximadamente 14,5°C. De acordo com Alvim(1964), espécies arbóreas que se desenvolvem em regiões temperadas apresentam oscilações periódicas do crescimento na circunferência do seu tronco. Santarosa, et. al.(2007) afirmam que a espécie *Araucaria angustifolia* (pinheiro brasileiro), tem anéis de crescimento bastante nítidos, evidenciados pela diferenciação do xilema em lenhos inicial e tardio.

Com base no espectro ondeleta da série cronologia dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e no espectro de ondeleta cruzada entre a série cronológica e a série temporal do número de manchas solares observou-se a forte resposta das árvores a atividade solar.

Rao & Hada (1990) e Studzinski (1995) mostraram que em anos de ENSO durante sua fase quente (El Niño) na Região Sul do Brasil ocorre geralmente um excesso de precipitação no sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai, e na fase fria do ENSO (La Niña), ocorre uma deficiência de precipitação.

Rigozo et al. [2003] estudando sinais do ENSO impressos em anéis de árvores do sul do Brasil por meio de ondeletas encontraram forte amplitude para períodos entre 2-8 anos que mostram serem não estacionários, alternando as periodicidades, estando presente em algum tempo e ausente em outros. Resultado semelhante foi encontrado em nossas análises.

Observa-se nos espectros de ondeleta cruzada da cronologia de São Francisco de Paula com as

séries da anomalia de temperatura e do SOI, que para o intervalo de ~1900-1930 tanto a temperatura quanto o SOI estão influenciando nas cronologias nos períodos entre 2-8 anos. Coincidentemente, este é o intervalo de maior amplitude para o período tanto da temperatura quanto do SOI. Com base nos resultados obtidos dos espectros cruzados, conclui-se que os curtos períodos encontrados na série cronológica dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula são devidos a temperatura e ao SOI, principalmente quando estes apresentam grandes amplitudes, como observado no intervalo de ~1900-1930.

Conclusão

As séries temporais da espessura dos anéis de árvores de São Francisco de Paula (RS), cobrindo intervalos de tempo de 1880-2004, e as séries geofísicas e climatológicas foram estudadas pela análise espectral clássica, ondeleta e ondeleta-cruzada, permitindo identificar as características não estacionárias das periodicidades em cada série e assim compará-las. Encontrou-se forte evidência da influência do ciclo solar de Schwabe (~11anos) durante todo o intervalo.

Os curtos períodos (2-8 anos) encontrados nas análises são devidos, principalmente, a variações de grande amplitude da temperatura e dos eventos El-Niño, como evidenciado no intervalo de ~1900-1930.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelo auxílio nos projetos: SILVA, Aline C. projeto (2010/02265-3) e Prestes A. projeto (2009/02907-8).

Referências

ALVIM, T. P. **Periodicidade do crescimento das árvores em climas tropicais**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, Porto Alegre, 1964. Anais. Porto Alegre: UFRGS, 1964. p.405-422.

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

HOYT, D. V. E SCHATTEN, K. H. **The role of sun in climate change**. Oxford: University Press, 1997.

MURPHY, J. O., Australian tree ring chronologies a proxy data for solar variability. **Proceedings ASA**, v.8, n.3, p.292-297, 1990.

NORDEMANN, D. J. R.; RIGOZO, N. R., **Árvores Contam Uma Historia do Sol**. Scientific American, v. 2, n.14, p. 30-37, 2003.

PRESTES, A. **Relação Sol-Terra estudada através de anéis de crescimento de coníferas do holoceno recente and do triássico**. São José dos Campos: INPE, 2009. 148p. (INPE-15)

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.

SANTAROSA, E.; OLIVEIRA, J.; ROIG, F.; PILLAR, V. **Crescimento Sazonal em *Araucaria angustifolia*: Evidências Anatômicas**; Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 618-620, jul. 2007.

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

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N., **Atmospheric chemistry and physics**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

STUDZINSKI, C. D. S. **Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul**. 1995. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1995.

STUIVER, M.; QUAY, P. D., Changes in Atmospheric carbon-14 attributed to a variable Sun. **Science**, v.207, n.4426, p.11-19, 1980.