











OSCILAÇÕES DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO OCEANO PACÍFICO REGISTRADAS EM ANÉIS DE ÁRVORES DE FLORESTAS DE ALTA ALTITUDE

Doris Bianca Crispín-De la Cruz¹, Alex Nascimento de Souza¹, Álvaro Gonzales-Reyes²,
Brayan Anthony Guerra Guerra³, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira¹, Maria Beatriz Ferreira¹
, Gessyca Fernanda de Sena Oliveira Mergulhão¹, Edilson Jimmy Requena-Rojas⁴

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: doriscrispin@hotmail.com; alexndsousa@gmail.com; rinaldo.ferreira@ufrpe.br; beatriz.177@outlook.com; eng.gessycasena@gmail.com

2 Universidad Austral de Chile, Valdivia, Valdivia, Chile. E-mail: alvaro.gonzalez@umayor.cl

3 Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: guerraanthony2018@gmail.com

4 Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería, Huancayo, Junin, Peru. E-mail: erequena@continental.edu.pe

Autora correspondente: Doris Bianca Crispín-De la Cruz. E-mail: doriscrispin@hotmail.com

RESUMO

A Oscilação Interdecadal do Pacífico (IPO) é um dos modos dominantes de variabilidade climática decadal em ambos os lados da bacia do Oceano Pacífico, com sua influência se estendendo até o Oceano Índico. O presente estudo explora variações decadais a multidecadais no crescimento radial das cronologias de *Polylepis tarapacana* no altiplano peruano associadas a mudanças temporais na Temperatura superficial do Mar (SST) inferidas pelo Tripole-Index (TPI). Nossos resultados mostram que o TPI tem uma correlação positiva e significativa com o RWI dos dois locais. Inferimos que o sinal do TPI registrado na largura do anel fornece evidências da forte influência das temperaturas na bacia do Pacífico sobre o crescimento radial da *P. tarapacana*.

Palavras-chave: Altiplano; crescimento secundário; dendroclimatologia; TPI

SURFACE TEMPERATURE OSCILLATIONS OF THE PACIFIC OCEAN RECORDED IN TREE RINGS IN HIGH ALTITUDE FORESTS

ABSTRACT

The Pacific Interdecadal Oscillation (IPO) is one of the dominant modes of decadal climate variability on both sides of the Pacific Ocean basin, with its influence extending into the Indian Ocean. The present study explores decadal to multidecadal variations in the radial growth of Polylepis tarapacana chronologies in the Peruvian highlands associated with temporal changes in Surface Sea Temperature (SST) inferred by the Tripole-Index (TPI). Our results show that the TPI has a positive and significant correlation with the RWI of the two sites. We infer that the TPI signal recorded at the ring width provides evidence of the strong influence of temperatures in the Pacific basin on the radial growth of P. tarapacana.

Key words: Altiplano; secondary growth; dendroclimatology; TPI

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Na região tropical, o desenvolvimento da vegetação é, pelo menos parcialmente, impulsionado pela variabilidade climática. Essas variações ocorrem em diferentes escalas de tempo (interanual, decadal e multidecadal). A Oscilação Interdecadal do Pacífico (IPO) é um dos modos dominantes de variabilidade climática decadal com um padrão climático bi-hemisférico (Parker *et al.*, 2007). As fases negativas do IPO refletem a temperatura da superfície do mar (TSM) do tipo La Niña (fria) sobre o Pacífico tropical, enquanto as fases positivas são do tipo El Niño (quente). As mudanças de fase do IPO ocorrem aproximadamente a cada 20-30 anos (Henley *et al.*, 2015).

Na América do Sul, localiza-se o Altiplano Sul-Americano, uma região semiárida bastante fria localizada em alta altitude. *Polylepis tarapacana* Phill. (Rosaceae) é uma espécie de árvore perene comumente conhecida como queñoa de altura, que cresce a partir de 4200 m de altitude. Essa espécie tem características adaptativas impressionantes, pois sobrevive a condições climáticas muito extremas (Morales *et al.*, 2023).

No contexto do aquecimento global, o estudo de como os fatores climáticos estão relacionados ao índice de largura do anel (RWI) transmite informações importantes sobre as interações entre o crescimento da vegetação e o ambiente, arquivando sinais claros de influências ambientais no ecossistema ao longo do tempo. Portanto, nosso objetivo aqui é analisar as ligações interanuais entre o clima e o crescimento das árvores de *Polylepis tarapacana*. E se supõe que a Oscilação Interdecadal do Pacífico em sua fase quente favorece o crescimento radial da espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Tacna, em dois remanescentes florestais de *Polylepis tarapacana*, denominadas Chiluyo e Paucarani. Ambos os locais estão no limite mais ao norte e mais úmido da área natural da espécie. O clima é semiárido, com precipitação total anual variando de 290 a 400 mm de dezembro a março (Morales *et al.*, 2023).

Método dendrocronológico convencional

Na amostragem foram selecionadas árvores/arbustos antigos localizados em encostas íngremes, ambientes rochosos e xéricos para maximizar o sinal climático. No Laboratório de Dendrocronologia da Universidade Continental-Perú, as amostras foram processadas utilizando o método dendrocronológico convencional (maior informação em Crispín-DelaCruz *et al.*, 2022). A qualidade das cronologias foram avaliadas usando o EPS (*expressed population signal*) e o Rbar (*correlation between series*) (Stokes & Smiley, 1968; Wigley *et al.*, 1984).

Relação clima-TRW

Para avaliar a relação entre o Índice Tripolar (TPI) e a largura do anel, a série temporal mensal do TPI para um período de 1856 a 2015 foi baixada do banco de dados da NOAA (<https://psl.noaa.gov/data/timeseries/IPOTPI/>). As análises de correlação de Pearson foram

realizadas com um nível de significância de 95% como limite para avaliar as relações de crescimento climático entre as cronologias de RWI e o TPI.

Para expandir as RWI no espaço de tempo-frequência e localizar periodicidades intermitentes nos registros, realizamos a análise WT (*Wavelet Transform*) (Torrence & Webster, 1999), a WTC (*Wavelet Coherence*), e a XWT (*Cross Wavelet Transform*). A XWT revela altas potências comuns e fases relativas, enquanto a WTC coloca em evidência regiões no tempo e frequência onde dois sinais variam com a mesma fase (em sincronismo), utilizou-se o software Matlab (Grinsted *et al.*, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cronologia composta de TRW

Um total de 57 sequências transversais foram utilizadas para construir as cronologias (Figura 1), com características listadas na Tabela 1.

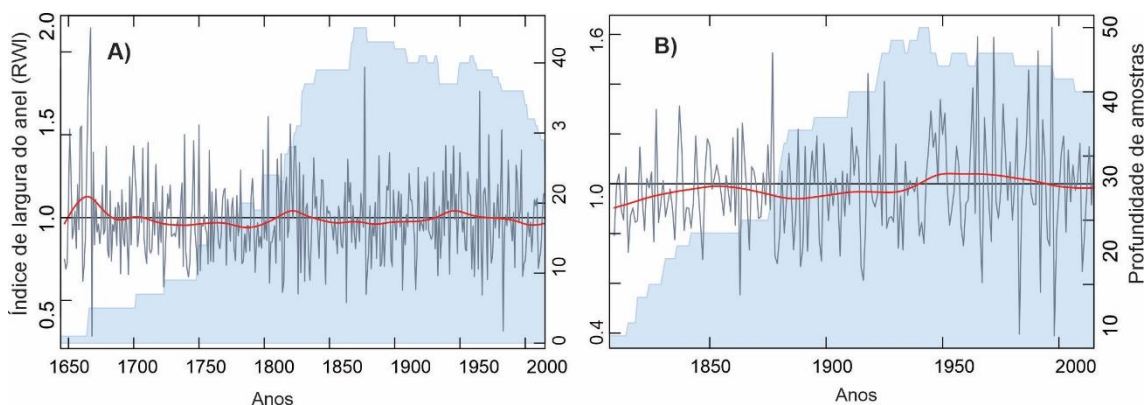


Figura 1. A. Cronologia residual RWI de *P. tarapacana* de Chiluyo, B. Paucarani, profundidade da amostra (área sombreada em azul claro) e uma spline de 50 anos (linha vermelha).

Tabela 1. Estatísticos básicos das cronologias RWI

Estatísticos básico	<i>Chiluyo</i>	<i>Paucarani</i>
Número de amostras (caule)	28	29
Período (anos)	1664 - 2015 (372 anos)	1807-2015 (209 anos)
Intercorrelação entre series ^a	0,614	0,414
Média EPS ^b	0,891	0,932
Média Rbar ^b	0,241	0,297

Relações clima-RWI

O crescimento das árvores está sujeito não apenas as condições climáticas do ano atual, mas também ao do ano anterior. A oscilação interdecadal do Pacífico inferida a partir dos dados mensais do TPI mostrou correlações negativas na estação de crescimento prévio e correlações positivas altamente significativas de agosto a março da atual estação de crescimento para o período de 1856-2015 ($r = 0,51$ em Chiluyo e $r = 0,47$ em Paucarani, $p < 0,001$) (Figura 2).

Estudos dendroclimatológicos prévios utilizando a mesma espécie, indicaram que eventos extremos ENSO, em sua fase quente (El Niño) / fria (La Niña), influenciam de maneira

positiva/negativa nos RWI no período atual de crescimento (Crispín-DelaCruz *et al.*, 2022; Morales *et al.* 2023).

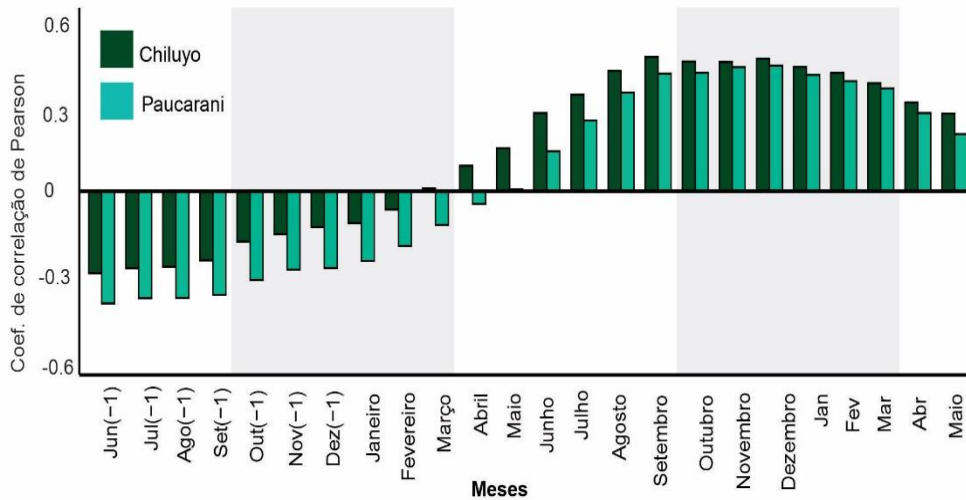


Figura 2. Coeficientes de correlação de Pearson (nível de confiança de 95%) entre RWI e o TPI para os dois anos anteriores ao ano atual de formação do anel. O sombreamento vertical cinza indica a estação de crescimento anterior e atual sugerida para a *P. tarapacana*.

Por outro lado, o espectro WT do RWI mostra periodicidades não estacionárias com oscilações concentradas em períodos < 8 (Figura 3A e 3B), espectro XWT revela que o TPI e o RWI apresentaram altas potências comuns nas faixas superiores de 2 anos, com a escala mais alta nas faixas de 4 anos (Figura 3C e 3D). O WTC também revelou coerências significativas com o TPI nas faixas de alta frequência (Figura 3E e 3F). Em concordância com os resultados ENSO (SST_N3.4) vs RWI reportados em estudos anteriores, onde se mostrou modos de oscilação semelhantes, principalmente de 2 a 8 anos de largura de banda, indicando consistências entre as séries temporais (Crispín-DelaCruz *et al.*, 2022).

CONCLUSÃO

Esse estudo fornece suporte teórico adicional para pesquisas sobre o impacto da oscilação interdecadal do Pacífico (TPI) no crescimento secundário de *P. tarapacana* no Altiplano sul-americano. O sinal TPI registrado no RWI fornece evidências da forte influência das temperaturas em toda a bacia do Pacífico sobre o crescimento da espécie. Nesse sentido, ele mostra a alta capacidade de reconstrução da *P. tarapacana* como um indicador confiável do TPI no passado.

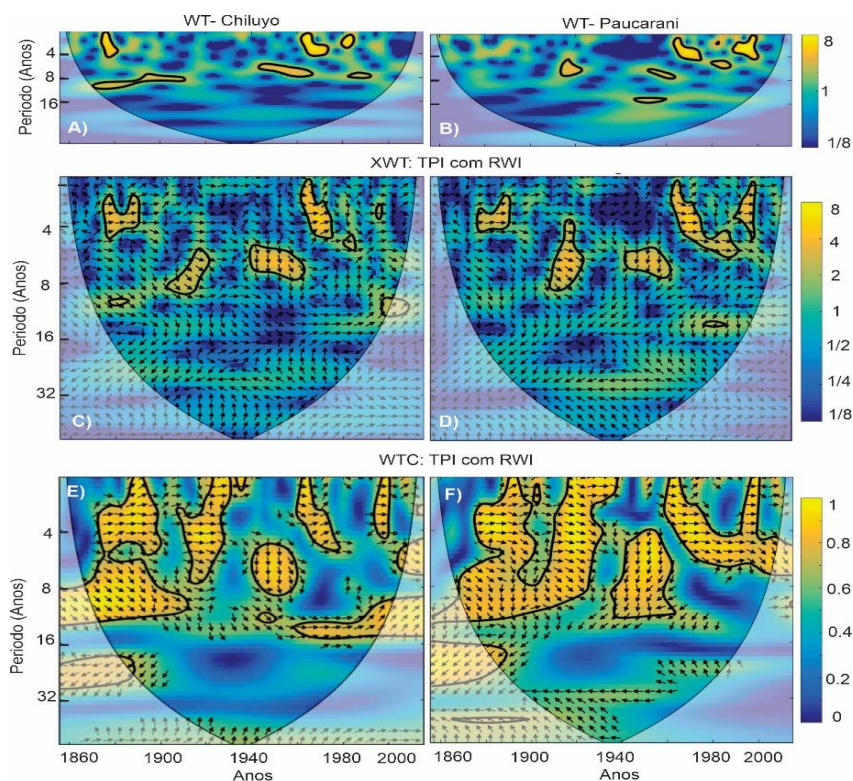


Figura 3. Espectro WT das cronologias (A e B), wavelet cruzado (XWT) e de coerência (WTC) entre as RWI e TPI (setembro-fevereiro). Os contornos pretos espessos indicam o nível de significância de 95%, e o cone de influência é mostrado com um tom mais claro. Os vetores indicam a relação de fase relativa entre a cronologia TRW e TPI (em fase à direita e antifase à esquerda).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crispín-DelaCruz, D. B.; Morales, M. S.; Andreu-Hayles, L.; Christie, D. A.; Guerra, A.; Requena-Rojas, E. J. 2022. High ENSO sensitivity in tree rings from a Northern Population of *Polylepis Tarapacana* in the Peruvian Andes. **Dendrochronologia**, v.71, e125902, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125902>.
- Grinsted, A.; Moore, J. C.; Jevrejeva, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 11, n. 5-6, p.561-566, 2004. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>.
- Henley, B. J.; Gergis, J.; Karoly, D. J.; Power, S.; Kennedy, J.; Folland, C. K. A Tripole index for the interdecadal pacific oscillation. **Climate Dynamics**, v. 45, n.11-12, p.3077-3090, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2525-1>.
- Morales, M. S.; Crispín-DelaCruz, D. B.; Álvarez, C.; Christie, D. A.; Ferrero, E.; Andreu-Hayles, L. *et al.* Drought increased since the Mid-20th Century in the Northern South American Altiplano revealed by a 389-year precipitation record. **Climate of the Past**, v. 19, n. 2, p.457-476, 2023. <https://doi.org/10.5194/cp-19-457-2023>.
- Parker, D.; Folland, C.; Scaife, A.; Knight, J.; Colman, A.; Baines, P.; Dong, B. Decadal to multidecadal variability and the climate change background. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v.112, n. D18, eD18115, 2007. <https://doi.org/10.1029/2007JD008411>.
- Stokes, M.; Smiley, T. **An introduction to tree-ring dating**. Tucson: University of Arizona Press, 1968. 79p.
- Torrence, C.; Webster, P.J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. **Journal of Climate**, v. 12, n. 8, p.2679-2690, 1999. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2).
- Wigley, T. M. L.; Briffa, K. R.; Jones, P. D. On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Applied Meteorology and Climate**, v. 23, n. 2, p.201-212, 1984. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2).