



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



## Eventos ENOS e Horas de Frio no Sul do Brasil

Amanda Heemann Junges<sup>1</sup>, Denise Cybis Fontana<sup>2</sup>, Daniel Santos Grohs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dra. Agrometeorologia, Pesquisadora do Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (CEFRUT), do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), da Secretaria da Agricultura, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI), Rodovia BR 470 km 170,8, CEP 95330-000, Veranópolis/RS, (54) 34411374, [amanda-junges@agricultura.rs.gov.br](mailto:amanda-junges@agricultura.rs.gov.br) (<https://orcid.org/0000-0001-6982-7880>); Autor correspondente; <sup>2</sup>Dra. Agrometeorologia, Professora do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre/RS, (51) 3308-6041, [dfontana@ufrgs.br](mailto:dfontana@ufrgs.br) (<https://orcid.org/0000-0002-2635-6086>); <sup>3</sup>Dr. Fitotecnia, Analista da Embrapa Uva e Vinho, Rua Livramento, 515, CEP 95701-008, Bento Gonçalves/RS, (51) 34558000, [daniel.grohs@embrapa.br](mailto:daniel.grohs@embrapa.br) (<https://orcid.org/0000-0002-6712-3166>).

Article received on 04/16/2024 and accepted on 11/24/2025

### RESUMO

Embora os efeitos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre temperatura do ar tenham sido estabelecidos, poucos são os trabalhos que avaliaram variáveis derivadas, como é o caso das Horas de Frio (HF), parâmetro agrometeorológico fundamental para o cultivo de frutíferas de clima temperado na região Sul do Brasil. Objetivo desse trabalho foi determinar associação das HF ( $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) a eventos ENOS (El Niño, La Niña, neutro) empregando série histórica de longo prazo (1956-2021) de Veranópolis/RS. Por componentes principais foram definidos os meses com maior contribuição na variação das HF e obtidas estatísticas descritivas; e por análise de agrupamentos foram definidos anos semelhantes em termos de HF e ENOS. Resultados indicaram que os meses de maior contribuição na variação interanual das HF são junho-julho-agosto (inverno). A maior parte dos invernos é neutro (60%) sendo a proporção de El Niño (21%) próxima a de La Niña (19%). Médias de HF não diferem entre eventos ENOS, no entanto, a variabilidade interanual é maior em El Niño. São mais frequentes invernos La Niña/El Niño que registram valores de HF acima/abaixo da média. Há associação entre HF e ENOS, sendo possível formar quatro grupos: no de menor média de HF, a maior parte dos invernos é El Niño, enquanto que, no grupo com maior média de HF, houve proporção semelhante de invernos La Niña e neutro. O estabelecimento da associação das HF a eventos ENOS contribui para redução do risco climático e auxilia na tomada de decisão no manejo de frutíferas de clima temperado.

Keywords: inverno, frutíferas de clima temperado, análise de agrupamentos

## ENSO Events and Chilling Hours in South of Brazil

### ABSTRACT

Although the effects of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) on air temperature have been predicted, there are few studies that have evaluated derivatives variables, such as the Chilling Hours (CH), a relevant agrometeorological parameter for temperate fruit trees production in southern region of Brazil. This study aims to determine the association of CH ( $\leq 7.2^{\circ}\text{C}$ ) with ENSO events (El Niño, La Niña, neutral) using a long-term serie (1956-2021) from Veranópolis/RS. By principal components analysis the months with the greatest contribution to CH variability were defined and the statistics calculated; clusters analysis defined similar years in terms of HF and ENSO. The results indicated that the months with the greatest contribution to CH interannual variation were June-July-August (winter). Most winters are neutral (60%) with similar proportion of El Niño (21%) and La Niña (19%). CH averages do not vary between ENSO events, however, interannual variability is greater in El Niño. There were more frequent La Niña/El Niño winters that record CH values above/below average. There is an association between CH and ENSO, making it possible to form four groups: in the group with the lowest CH average, most winters are El Niño, while in the group with the highest CH average, there was a similar proportion of La Niña and neutral winters. The establishment of the association of CH with ENSO events contributes to climate risk reduction and supports management's decision in temperate fruit orchards.

Palavras-chave: winter, temperate fruits trees, cluster analysis

## Introdução

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) (*El Niño Southern Oscillation* – ENSO), fenômeno de grande escala caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial, é o principal mecanismo de variabilidade climática interanual em diversas regiões do globo (Alizadeh, 2022). Por causa das teleconexões globais, os efeitos das fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS, causam grande impacto nas atividades humanas, incluindo a agricultura (Berlato, 2024). A região Sul do Brasil, que pertence à região Sudeste da América do Sul (juntamente com o nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Paraguai) apresenta forte sinal do ENOS (Firpo et al., 2012). No Rio Grande do Sul, diversos trabalhos têm demonstrado que precipitações pluviais acima da média estão associadas a eventos El Niño (situação contrária, no caso de La Niña), especialmente na primavera e início do verão (trimestre outubro-novembro-dezembro do ano de início do fenômeno) e em um período secundário, no final do outono-início do inverno do ano seguinte (conhecido como “repique”) (Berlato, 2024). A tragédia climática ocorrida no Estado em abril-maio de 2024, resultado de precipitações pluviais intensas e frequentes, que atingiram valores até então não registrados nas séries históricas foi, dentre outros fatores, associada à atuação do El Niño (Marengo et al. 2024; Collischonn et al., 2025).

No que se refere à temperatura do ar, em anos de La Niña, a maioria dos meses apresenta anomalias negativas na média das temperaturas mínimas, ou seja, as temperaturas mínimas são inferiores às médias históricas (mais frio) (Reis et al., 2022; Berlato, 2024). Embora associações entre ENOS e temperatura do ar no Rio Grande do Sul tenham sido estabelecidas, especialmente no período primavera-início do verão, poucos são os trabalhos que avaliaram os efeitos do El Niño/La Niña sobre variáveis agrometeorológicas derivadas da temperatura do ar, como é o caso das Horas de Frio (HF). Da mesma maneira, é importante avaliar a relação dos eventos ENOS em outros períodos do ano, como, por exemplo, de maio a setembro, meses tradicionalmente empregados no monitoramento do frio hibernal para o cultivo de frutíferas de clima temperado (Junges et al, 2024).

Em regiões de clima temperado, espécies frutíferas como videiras, macieiras, pessegueiros e kiwizeiros, entre outras, apresentam um período de repouso vegetativo nos meses mais frios do ano. O período de repouso hibernal, também conhecido

como dormência, caracteriza-se pela perda de folhas e ausência de crescimento vegetativo. A retomada deste crescimento (brotação) ocorre após a exposição das gemas às baixas temperaturas do ar do outono-inverno (Fadón et al., 2020; Anzanello et al., 2021; Anzanello et al., 2022).

A quantidade de frio necessária para ativação da brotação é uma característica regulada entre espécies e cultivares, podendo variar de 100 a 1.500 Horas de Frio (HF) (Anzanello et al., 2024; Junges et al., 2024). Define-se HF como o número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de determinada temperatura-base. Embora a temperatura-base varie entre espécies, o clássico trabalho de Nightingale e Blake estabeleceu que pessegueiros e macieiras paralisam o crescimento quando a temperatura do ar atinge cerca de 7°C (mais precisamente 7,2°C, equivalente a 45°F no trabalho original) e, assim, esse parâmetro passou a ser considerado padrão internacional para contagem do número de HF (Anzanello, 2019). Em um sistema produtivo, a satisfação da necessidade de frio para superação da dormência é essencial para evitar desordens fisiológicas, como queda de gemas, atraso, irregularidade ou não ocorrência de brotação e floração, o que afeta negativamente o desenvolvimento, o crescimento e a produtividade das plantas (Anzanello et al., 2020; Pertille et al., 2022). As HF são empregadas em zoneamentos agroclimáticos e no manejo fitotécnico de pomares, permitindo uma avaliação do potencial de brotação a cada ano, em função do frio acumulado durante o inverno (Anzanello et al., 2020).

No Rio Grande do Sul, Radin et al. (2024) demonstraram que, com exceção das estações meteorológicas de Vacaria e de São José dos Ausentes, localizadas na região de maior altitude do Estado (Campos de Cima da Serra), não houve diferença na média de HF ocorridas em anos classificados como El Niño, La Niña ou neutro. Apesar deste estudo inicial, e da climatologia das HF estar bem caracterizada no Estado (Buriol et al, 2000; Matzenauer et al., 2005; Wrege et al., 2016; Junges et al., 2024), a relação deste parâmetro agrometeorológico com eventos ENOS, especialmente em séries históricas de longo prazo, ainda carece de estudos.

Zhang et al. (2021) também apontaram que a maior parte dos estudos de estabelecimento dos impactos das teleconexões de larga escala, incluindo eventos ENOS, é sobre variáveis climáticas originais, como precipitação pluvial e temperatura do ar e pouca atenção tem sido dada a

variáveis derivadas ou a outros índices importantes para a agricultura, como é o caso das HF que, muitas vezes, não são derivações lineares das originais. O estabelecimento da associação das HF a eventos ENOS gera informações para tomada de decisão acerca das estratégias de manejo em pomares de frutíferas de clima temperado (Fadón et al., 2020; Zhang et al., 2021). E, além disso, tais estudos são ainda mais necessários tendo em vista a intensificação dos eventos ENOS, ou seja, a maior frequência de ocorrência de El Niños e La Niñas classificados como fortes, observada especialmente após a década de 1960 e associada ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa e às mudanças climáticas de causa antropogênica (Cai et al., 2023; Marengo et al. 2024).

O objetivo desse trabalho foi determinar a associação das horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) a eventos ENOS empregando série histórica de longo prazo (1956-2021) de Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brasil.

## Material e métodos

Foram empregados dados mensais de HF (soma do número de horas nas quais a temperatura do ar permanece igual ou inferior a  $7,2^{\circ}\text{C}$ ), de maio a setembro, do banco de dados (série 1956-2021; 66 anos) da estação meteorológica de Veranópolis ( $28^{\circ}53'17''\text{ S}$  e  $51^{\circ}32'32''\text{ W}$ , 707 m de altitude), localizada no Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (CEFRUTI), estação experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI).

Considerando as regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul, divisão adotada por demais autores em estudos climatológicos (Tazzo et al., 2024), Veranópolis situa-se na região ecoclimática Serra do Nordeste, também conhecida como Serra Gaúcha. Considerando as médias de temperatura do ar e de precipitação pluvial na normal climatológica padrão 1991- 2020, o clima na região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfb. Não há estação seca definida - todos os meses apresentam precipitação pluvial mensal acima de 60 mm, com variação entre 127 mm (agosto) e 201 mm (outubro) e as temperaturas médias variam entre  $12,5^{\circ}\text{C}$  (julho) e  $22,0^{\circ}\text{C}$  (janeiro) (Junges e Tonietto, 2022).

Os dados faltantes série histórica 1956-2021 de HF de Veranópolis foram preenchidos com os dados da estação meteorológica de Bento Gonçalves, localizada na mesma região

ecoclimática e a mais próxima de Veranópolis com série histórica de longo prazo (desde 1976). Dessa maneira, na série 1956-2021 (66 anos) de Veranópolis, 63 foram considerados válidos e destes, 21 (33%) preenchidos com HF mensais de Bento Gonçalves.

Para definição dos eventos ENOS foi empregada a classificação do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA, 2024), que considera o desvio de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  na média móvel de três meses da TSM na região do Niño 3.4 por, no mínimo cinco trimestres sobrepostos consecutivos. Foram considerados os dados trimestrais categóricos (El Niño, La Niña, neutro) e os valores de anomalia da TSM (variável numérica).

As análises realizadas compreenderam: (1) definição dos meses com maior contribuição na variação interanual das HF por análise multivariada (análise de componentes principais - Principal Components Analysis - PCA); (2) cálculo das estatísticas descritivas dos meses definidos pela PCA; e (3) definição de grupos de anos semelhantes em termos de HF em função de eventos ENOS por meio de análise de agrupamentos (AA).

Os dados de HF foram empregados na escolha dos meses que possuem maior peso na definição de grupos de anos semelhantes quanto às HF. Para isso foi empregado método PCA. Os dados foram não autoescalados e não centrados na média. Foi utilizado cálculo dos autovalores para redução da dimensionalidade das componentes principais e estabelecida a correlação entre as componentes e os valores de HF para determinação dos meses de maior contribuição na dimensionalidade da PCA. Foram considerados relevantes as variáveis (meses) com maior porcentagem de contribuição na definição dos componentes principais (adotando-se 20% como limite mínimo) e os de maior correlação com cada componente principal.

Para os meses com maior contribuição na definição dos componentes principais foram calculadas as estatísticas descritivas, por evento ENOS: média, mediana, desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (%), intervalo definido por média  $\pm 1\text{DP}$ , valores mínimo e máximo e anos de ocorrência. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) foi empregado na definição de eventuais diferenças entre médias de HF nos eventos ENOS. Além disso, foram elaborados gráficos de dispersão dos dados (box plot), calculadas as anomalias de HF (diferença entre as

HF ocorridas em relação à média da série) e as frequências das anomalias por evento ENOS.

A AA foi realizada pelo método não-supervisionado k-means, visando agrupar os anos por sua similaridade em relação a HF e eventos ENOS, sendo utilizado, nesse caso, o valor numérico da anomalia de TSM. Inicialmente, os dados de HF e ENOS foram normalizados pela subtração do valor anual da variável pelo desvio padrão do conjunto de dados. Posteriormente, foi verificada tendência de agrupamento dos dados através da estatística de Hopkins (valores acima de 0,5 indicam tendência significativa) (Semaan et al., 2019). O número ótimo de grupos foi definido pelo método ‘cotovelo’ (Elbow method) (Chicon & Telócken, 2021). O desempenho do modelo de agrupamentos aplicado foi determinado pela relação entre a soma dos quadrados intra-cluster e entre clusters, pois busca-se alta coesão intragrupos e alta separação entre grupos. Foram utilizados os

pacotes estatísticos: factoextra, FactoMineR, cluster, ggplot2, ggcorrplot e stats (R Core Team, 2024).

### Resultados e discussão

Os resultados da primeira análise de componentes principais, que empregou dados mensais de HF de maio a setembro, mostraram que PC1+PC2+PC3 explicaram 81% da variabilidade dos dados e PC1+PC2 explicaram 61% (Figura 1A). As variáveis com maior peso na explicação da variabilidade das HF foram junho, julho e agosto, pois tanto em P1+PC2+PC3 (Figura 1B) quanto em PC1+PC2 (Figura 1C), estes meses contribuíram com mais de 50% da variação dos dados. Maio e setembro apresentaram contribuição abaixo de 20% (Figura 1B e 1C), limite mínimo para que a variável possa ser considerada importante na definição da variabilidade dos dados.

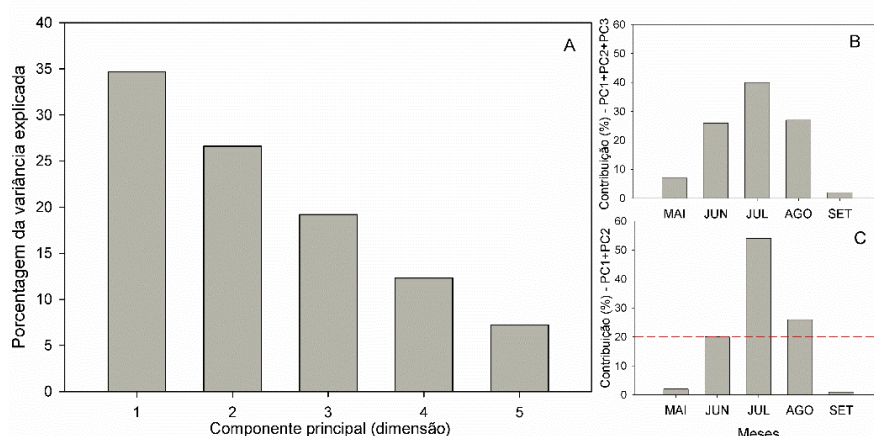


Figura 1 Variância explicada (%) pelas componentes principais (PC1 a PC5) (autovalores) das Horas de Frio (HF  $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) mensais (maio a setembro) de Veranópolis (série 1956-2021) (A); contribuição (%) dos meses na definição das componentes PC1+PC2+ PC3 (B) e PC1+PC2 (C).

A correlação entre as variáveis e as componentes principais mostra a força que os meses apresentaram na definição destas (Tabela 1). Na PC1, julho teve a maior correlação e, no caso da PC2, as maiores correlações foram com junho e agosto (Tabela 1). Caso um dos meses tivesse apresentado correlação superior a 60% com uma das componentes, este poderia ser considerado como suficiente (e mais importante) para explicação da variabilidade das HF. No entanto, como isso não ocorreu (julho teve 57% na PC1 e

junho e agosto 35% cada na PC2 – soma 70%), considerou-se que os três meses eram importantes.

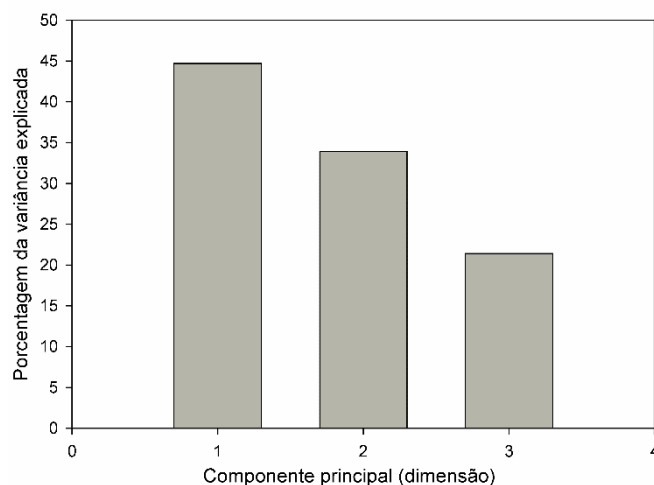
As HF de junho, julho e agosto geraram uma nova PCA (redução da dimensionalidade inicial dos dados), na qual PC1+PC2+PC3 explicaram 100% da variabilidade e PC1+PC2 explicaram 79% (Figura 2), sendo considerado possível, dessa maneira, empregar apenas PC1 e PC2. As correlações das variáveis com as componentes principais aumentaram, comparativamente à PCA inicial (Tabela 2).

**Tabela 1.** Correlação entre os valores mensais (maio – MAI; junho – JUN; julho – JUL; agosto – AGO e setembro – SET) de horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) (série 1956-2021 de Veranópolis) com seus pontos (scores) na bi-dimensionalidade das componentes principais (CP) 1 e 2.

| CP | Meses |       |      |       |       |
|----|-------|-------|------|-------|-------|
|    | MAI   | JUN   | JUL  | AGO   | SET   |
| 1  | -0,02 | -0,12 | 0,57 | 0,26  | 0,10  |
| 2  | -0,07 | 0,36  | 0,24 | -0,34 | -0,03 |

**Tabela 2.** Correlação entre os valores mensais de horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) do inverno (trimestre junho – JUN; julho – JUL; agosto – AGO na série 1956-2021 de Veranópolis com seus pontos (scores) na bi-dimensionalidade das componentes principais (CP) 1 e 2.

| CP | Meses |      |       |
|----|-------|------|-------|
|    | JUN   | JUL  | AGO   |
| 1  | -0,20 | 0,88 | 0,42  |
| 2  | 0,68  | 0,44 | -0,59 |

**Figura 2.** Variância explicada (%) pelas componentes principais (PC1 a PC3) (autovalores) das Horas de Frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) mensais (junho-julho-agosto) de Veranópolis (série 1956-2021).

Como os meses junho, julho e agosto compõem o inverno climatológico, concluiu-se que as HF ocorridas nessa estação foram as que definiram a variabilidade dos dados, de modo que a soma de HF do trimestre foi empregada na definição das estatísticas e na análise de agrupamentos em relação a eventos ENOS. Esse resultado é coerente tendo em vista que Junges et al. (2024) já haviam indicado o inverno como período prioritário no monitoramento do frio hibernal para definição de estratégias acerca do manejo de frutíferas de clima temperado. Além disso, a definição dos eventos ENOS se dá pelas anomalias trimestrais de TSM (e não por meses isoladamente), de modo que o trimestre junho-julho-agosto (JJA) foi o empregado, nesse trabalho,

para classificação dos invernos quanto a atuação dos fenômenos El Niño, La Niña ou neutro.

Os resultados referentes às estatísticas descritivas indicaram que, na série analisada, a maior parte dos invernos foi classificada como neutro (60%), sendo a porcentagem de El Niño (21%) próxima à de La Niña (19%) (Tabela 3). A maior porcentagem de eventos neutros, comparativamente a El Niño e La Niña ocorre na maior parte dos meses do ano e também foi relatada por Bueno et al. (2020). No Rio Grande do Sul, Matzenauer et al (2017) identificaram que, na série 1961-2010, classificação neutro ocorreu em 49% dos meses avaliados (janeiro a dezembro), seguido por 27% de El Niño e 24% La Niña. A frequência de ocorrência de eventos neutros é maior nos meses

de outono-inverno, comparativamente aos de primavera-verão (especialmente de outubro a janeiro), o que decorre do fato de os eventos iniciarem na primavera e perderem força no final do verão ou no início do outono (Matzenauer et al., 2017).

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas (ocorrências, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo) das horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) do inverno em eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) (neutro – N, La Niña – LN e El Niño – EM) na série 1956-2021 de Veranópolis. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

| Estatística       | Evento ENOS |          |          |
|-------------------|-------------|----------|----------|
|                   | Neutro      | LN       | EN       |
| Ocorrência (n°/%) | 38/60       | 12/19    | 13/21    |
| Média (M)         | 292 a       | 319 a    | 237 a    |
| Mediana           | 288         | 331      | 276      |
| DP                | 88          | 96       | 93       |
| CV (%)            | 30,3        | 31,4     | 39,2     |
| M $\pm$ 1DP       | 204-380     | 223-415  | 144-330  |
| Mín/ano           | 60/1968     | 157/1998 | 101/1997 |
| Máx/ano           | 442/2016    | 464/2000 | 375/1957 |

A porcentagem de invernos La Niña na série analisada foi ligeiramente inferior à da série completa disponibilizada pela NOAA (1950-2023; 74 anos), que é de 25%, enquanto que a de neutros foi ligeiramente superior (53%) e a de El Niño foi próxima (23%). Os percentuais obtidos neste trabalho foram semelhantes aos definidos por Zhang et al. (2021) que, analisando a série 1979-2020 (41 anos) de HF na Califórnia para o estabelecimento da relação destas com três teleconexões de grande escala, incluindo ENOS, encontraram 56% dos casos classificados como neutros, 24% como El Niño e 20% como La Niña.

A média de HF no inverno foi 285 HF, coerente com as médias regionais de HF dos períodos frequentemente empregados no monitoramento do frio hibernal (maio a agosto - 322 HF; e maio a setembro - 356 HF) (Junges et al., 2024). As médias de HF em invernos neutro (292 HF), El Niño (237 HF) e La Niña (319 HF) não diferiram entre si (Tabela 3). Radin et al. (2024), ao analisar os dados de HF (acumuladas no

período maio a setembro) de 24 estações meteorológicas no Rio Grande do Sul destacaram que, com exceção das estações de Vacaria e São José dos Ausentes, na região de maior altitude, não houve diferença na média de HF em anos classificados como El Niño, La Niña ou neutro.

Em invernos El Niño, o coeficiente de variação (39,2%) foi o maior observado (Tabela 3), sendo que a maior variabilidade das HF quando da ocorrência deste evento também foi confirmada via diagrama de dispersão de dados (Figura 3).

Os diagramas de dispersão das HF do inverno nos eventos ENOS também indicaram que, apesar de não haver diferença entre médias (dada a elevada variabilidade das HF nos eventos), a distribuição é, comparativamente, mais simétrica em invernos neutro e La Niña, em relação a El Niño, nos quais houve maior diferença entre média e mediana (a média foi menor que a mediana, ou seja, existem muitos valores na base da distribuição) (Figura 3).

O valor máximo de HF da série ocorreu em um inverno La Niña (464 HF em 2000), seguido pelo inverno neutro de 2016 (442 HF) (Tabela 3, Figura 3). É importante destacar que, embora o inverno de 2016 tenha sido classificado como neutro (anomalia de TSM de  $-0,4^{\circ}C$ ), no trimestre consecutivo seguinte (julho-agosto-setembro), a La Niña já estava plenamente configurada, de modo que pode ter havido uma eventual influência do início do fenômeno nas baixas temperaturas do ar registradas (e, consequentemente, nas HF).

Da mesma maneira, o valor mínimo em invernos La Niña foi 157 HF, em 1998 (Tabela 3, Figura 3). Apesar deste valor mínimo ser superior aos mínimos registrados em invernos neutro e El Niño, também em 1998 pode ter havido uma certa interferência do final do evento El Niño de 1997, haja vista junho-julho-agosto de 1998 ter sido o primeiro trimestre com anomalia negativa de TSM ( $-0,8^{\circ}C$ ) após o El Niño de 1997, classificado como muito forte. De acordo com Berlato (2024), o final do muito forte El Niño 1997-1998 foi caracterizado pela rápida queda da TSM, em uma taxa equivalente a mais de dez vezes a taxa de resfriamento normal dessa época do ano, dando lugar à longa La Niña de 1998-2001. Destaca-se, portanto, que, apesar da queda abrupta de TSM e do rápido surgimento da La Niña, os efeitos nas HF registradas podem não ter sido imediatos (inverno de 1998).

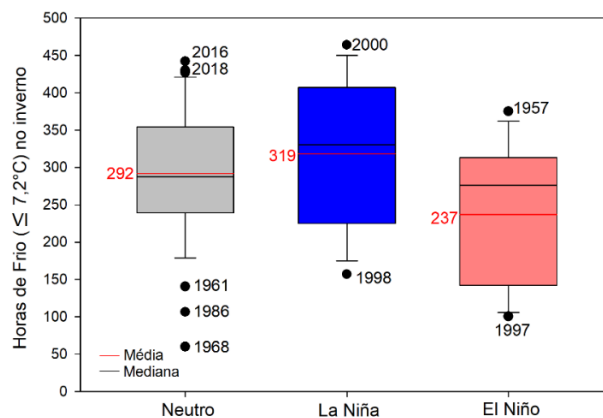


Figura 3. Diagramas de dispersão, médias e anos extremos das horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) do inverno (trimestre junho-julho-agosto) em eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) (neutro, La Niña e El Niño) na série 1956-2021 de Veranópolis.

No inverno de 1997 (El Niño) foram registradas apenas 101 HF, o segundo menor valor da série (Tabela 3, Figura 3). O valor mínimo ocorreu no inverno neutro de 1968 (60 HF) (Tabela 3, Figura 3). Em 1968, a anomalia de TSM no inverno foi de  $0,6^{\circ}C$ , ou seja, uma anomalia positiva e acima de  $0,5^{\circ}C$ , o que poderia indicar a formação de El Niño e um possível impacto deste sobre o baixo valor de HF registrado. No entanto, de acordo com a tabela NOAA, como não foram registrados três trimestres consecutivos com anomalia positiva e acima de  $0,5^{\circ}C$  (especificamente o trimestre agosto-setembro-outubro registrou  $0,4^{\circ}C$ ), o inverno foi classificado como neutro e o El Niño configurou-se a partir da primavera (setembro-outubro-novembro).

Em termos de distribuição de frequência relativa, para invernos neutro, a classe de maior ocorrência foi a de 250 a 300 HF (17% dos dados), na qual se situou a média da série (285 HF) (Figura 4). Houve maior porcentagem de invernos neutros

nas classes de HF acima da de maior frequência (27%), do que nas classes abaixo (16%) (Figura 4). No caso de invernos El Niño, a classe de maior frequência também foi a de 250 a 300 HF (6,5% dos dados) e a soma das ocorrências em classes acima desta foi inferior (5%) a de classes abaixo (9,5%), demonstrando que invernos El Niño com HF abaixo da média foram mais frequentes. Para La Niña, ocorreu o inverso: houve maior frequência relativa nas classes acima da média (13%) do que nas abaixo (6%), sendo que, apenas para La Niña a classe 250 a 300 HF não foi a mais frequente, e sim as classes imediatamente acima (300 a 350 HF) e abaixo (200 a 250 HF), com 5% dos dados em cada. Foram mais frequentes invernos La Niña com registros que se enquadraram nas classes com os valores mais altos de HF (em relação à classe da média), enquanto que, no caso de El Niño, predominaram invernos com somas de HF situadas nas classes abaixo da média da série.

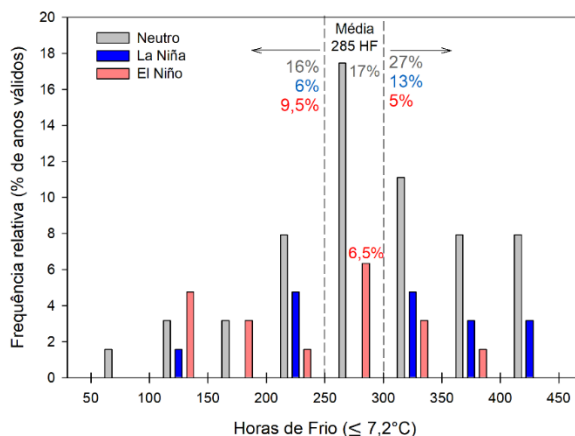


Figura 4. Frequência relativa (% em relação aos anos válidos – 63) de horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) do inverno (trimestre junho-julho-agosto) e soma das frequências relativas acima e abaixo da média da série 1956-2021 em eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) (neutro - cinza, La Niña - azul e El Niño - vermelho) na série 1956-2021 de Veranópolis

Em relação às anomalias de HF, considerando os invernos classificados como neutro, 53% (20 anos) tiveram valores de HF acima da média histórica (anomalias positivas) e 47% abaixo (anomalias negativas) (18 anos); enquanto

que, em invernos La Niña, 67% (oito anos) apresentaram anomalia positiva e 33% (quatro anos) negativas. No caso de El Niño, a distribuição foi 62% com anomalias negativas (oito anos) e 38% (cinco anos) com positivas (Figura 5).

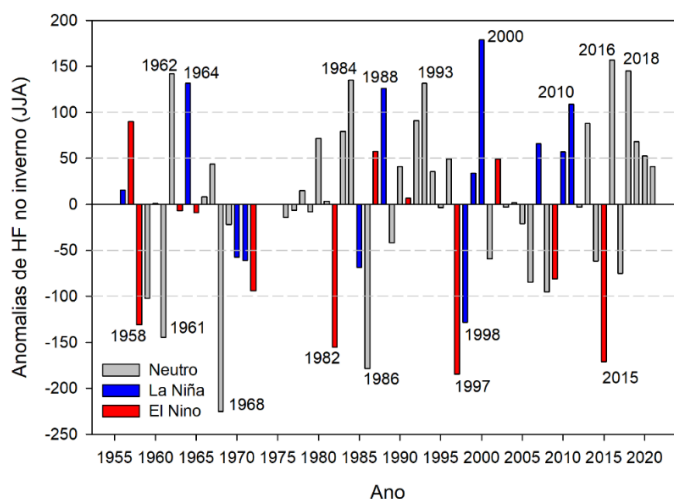


Figura 5. Transcurso temporal das anomalias de horas de frio (HF  $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) do inverno (trimestre junho-julho-agosto) em eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) na série 1956-2021 de Veranópolis

Houve frequência maior de invernos La Niña registrarem HF acima da média e de invernos El Niño apresentarem valores abaixo da média e uma distribuição praticamente idêntica no caso de neutro: no caso de invernos neutro, a maior parte apresentou anomalias relativamente baixas, em torno de 50 HF, tanto positivas quanto negativas (Figura 5). Em invernos La Niña, foram mais frequentes as anomalias positivas de até 100 HF e 200 HF. No caso de El Niño, duas classes apresentaram a maior frequência: a de 0 a +50 HF e a de -150 a -200 HF (Figura 5). Avaliando-se o transcurso temporal das anomalias de HF na série, observou-se que a maior anomalia positiva foi registrada no inverno La Niña de 2000 (+181 HF) e, no caso de negativas, os maiores valores ocorreram no inverno neutro de 1968 (-225 HF) e no El Niño de 1997 (-183 HF) (Figura 5).

Apesar da maior frequência de anomalias positivas, alguns invernos classificados como La Niña apresentaram anomalias negativas. Porém, nestes casos, os valores foram relativamente baixos e em torno de 50 HF, com exceção de 1998 (inverno La Niña logo após El Niño muito forte de 1997) (Figura 6). Da mesma maneira, invernos El Niño, em alguns casos, apresentaram anomalias positivas de HF, porém, assim como para La Niña, foram anos de anomalias em torno de 50 HF (com exceção de 1957, com anomalia positiva de 92 HF)

(Figura 5). Maiores anomalias positivas (acima de 100 HF) foram registradas em nove invernos (quatro La Niña e cinco neutro) e, no caso de negativas, em oito invernos, dos quais três foram neutro e cinco foram El Niño (incluindo os três únicos El Niños classificados como muito fortes: 1982, 1997 e 2015) (Figura 5).

Os resultados concordaram com Radin et al. (2024) que verificaram que, para maior parte das 24 localidades avaliadas no Rio Grande do Sul, desvios positivos de HF (entre 10 e 20% em relação às médias dos locais) e os valores máximos de HF ocorreram em anos de La Niña; enquanto que desvios negativos de HF e valores mínimos ocorreram em anos de El Niño. Os resultados também foram coerentes com demais autores que, analisando a variável original (temperatura do ar) no Rio Grande do Sul, verificaram que a temperatura média em anos de La Niña é inferior à normal, em praticamente todos os meses do ano. Apesar da maior redução da temperatura mínima do ar ocorrer na primavera-início de verão do primeiro ano de ocorrência do fenômeno La Niña (Berlato, 2024), ou seja, não seriam esperados maiores valores de HF no inverno (e sim na primavera); em anos de El Niño a temperatura média mínima do outono-início de inverno é superior à média climatológica (Berlato, 2024),

concordando com a redução das HF em invernos El Niño.

Firpo et al. (2012) também indicaram que, para maioria dos meses, ocorrem mais ondas de frio em eventos La Niña, porém, salientam que o impacto da La Niña foi menos evidente no mês central do inverno (julho) do que o observado no caso de El Niño, quando julho é o mês com as relações mais significativas em relação à associação deste evento com a ocorrência de ondas de calor (que, por sua vez, seriam potenciais causadoras da redução do número de HF).

Analisando a ocorrência de geadas na região Sul do Brasil, Bueno et al. (2020) verificaram que, embora menos frequentes em condições de El Niño e de maior intensidade no caso de La Niña, a maior frequência de ocorrência de geadas é sob condição de neutralidade. Embora sejam variáveis distintas, pode-se considerar que as geadas, por serem decorrentes da redução da temperatura do ar, levariam a uma condição favorável ao acúmulo de HF.

Já Custódio et al. (2016), analisando o índice de nebulosidade diurna (IND), observaram que este é maior em eventos El Niño em nove meses do ano; e as maiores diferenças entre El Niño

e neutro ocorreram no inverno. Os meses junho e agosto apresentaram alto IND em eventos quentes de ENOS, sendo que, quando da ocorrência de La Niña, as diferenças não foram tão evidentes. Berlatto e Cordeiro (2017) destacam que o El Niño, comprovadamente, provoca, no Rio Grande do Sul, aumento de precipitação pluvial, aumento da nebulosidade e da umidade do ar e essas condições, à noite, provocam menor perda de radiação de onda longa da superfície e, portanto, uma maior temperatura mínima do ar, o que poderia ocasionar uma redução das HF.

Os resultados da análise de agrupamentos indicaram a possibilidade formação de grupos nos quais os anos foram considerados semelhantes em relação à HF ocorridas no inverno e eventos ENOS, pois a estatística de Hopkins resultou em 0,56, indicando tendência significativa de agrupamento dos dados. O número ótimo de clusters foi quatro, ou seja, houve a formação de quatro grupos, os quais também se mostraram distintamente espacializados (Figura 6). A qualidade do agrupamento (alta coesão intra-grupos com alta separação entre grupos) resultou no valor de 0,71, que indica satisfatório ajuste.

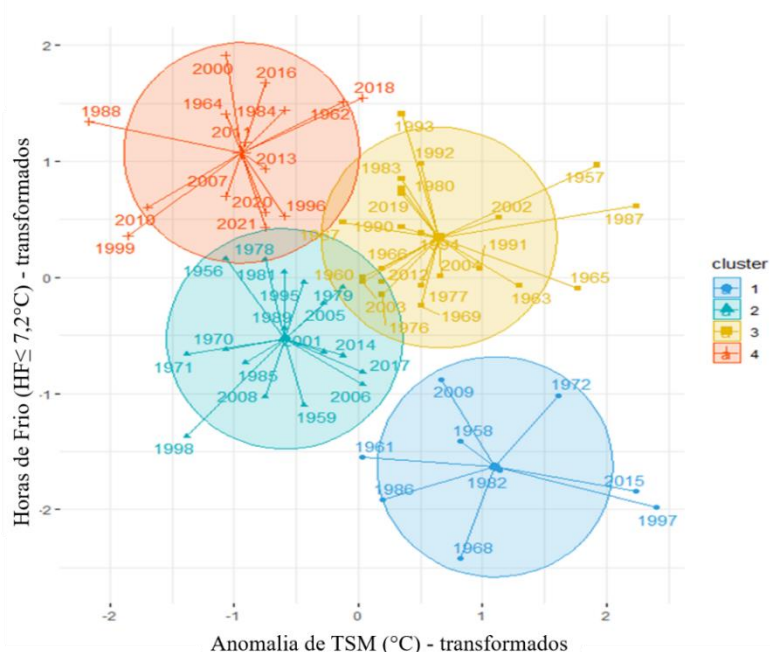


Figura 6. Gráfico de similaridade entre agrupamentos (clusters) em função da variação das horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) e das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) ( $^{\circ}\text{C}$ ) em invernos (trimestre junho-julho-agosto) da série 1956-2021 de Veranópolis. *Dados transformados. Elipses representam a distância euclidiana dos anos em relação aos centroides de cada cluster.*

O agrupamento três, com média de 317 HF foi o composto pelo maior número de anos (22, ou 35% dos invernos), seguido pelos agrupamentos dois (27%) e quatro (24%), sendo esse último o que apresentou a maior média de HF (386 HF) (Tabela 4). Apenas nove invernos (14%) enquadraram-se no agrupamento um, cuja média (133 HF) foi a menor dentre os grupos formados (Tabela 4).

Formaram-se, dessa maneira, dois agrupamentos opostos em termos de acúmulo de HF: o um (menor média: 133 HF) e o quatro (maior média: 386 HF) (Tabela 4) (Figura 7). No agrupamento um, 67% dos invernos foram classificados como El Niño e não houve invernos La Niña. A média de TSM do agrupamento foi positiva (+0,8°C), atingindo 1,0°C no caso dos invernos El Niño. Mesmo os anos neutros que compuseram este grupo apresentaram anomalia positiva de TSM (0,3°C) (Tabela 4). No agrupamento um foram incluídos os únicos três El Niño classificados como muito forte de toda série NOAA (1982, 1997 e 2015), além de dois casos de El Niño forte (1958 e 1972) e apenas um moderado (2009) (Figura 8).

**Tabela 4.** Número e porcentagem de anos, média de horas de frio (HF  $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) e de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) ( $^{\circ}\text{C}$ ) em invernos classificados como El Niño (EN), La Niña (LN) e neutro nos agrupamentos um a quatro; série 1956-2021 de Veranópolis.

| Agrupamento | Total    | EN     | LN     | Neutro  |
|-------------|----------|--------|--------|---------|
| Anos (%)    | 9 (100)  | 6 (67) | 0      | 3 (33)  |
| 1 Média HF  | 133      | 149    | -      | 102     |
| Média TSM   | 0,8      | 1,0    | -      | 0,3     |
| Anos (%)    | 17 (100) | 0      | 5 (29) | 12 (71) |
| 2 Média HF  | 236      | -      | 225    | 241     |
| Média TSM   | -0,3     | -      | -0,7   | -0,2    |
| Anos (%)    | 22 (100) | 7 (32) | 0      | 15 (68) |
| 3 Média HF  | 317      | 312    | -      | 320     |
| Média TSM   | 0,5      | 1,0    | -      | 0,3     |
| Anos (%)    | 15 (100) | -      | 7 (47) | 8 (53)  |
| 4 Média HF  | 386      | -      | 385    | 386     |
| Média TSM   | -1,0     | -      | -1,0   | -0,3    |

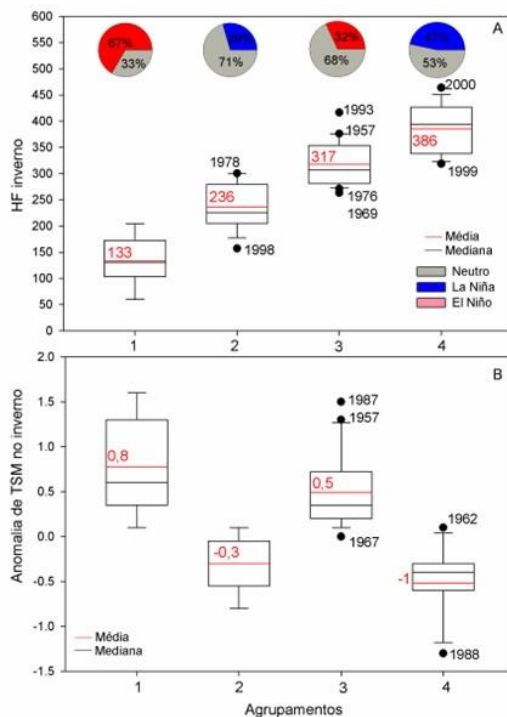


Figura 7. Diagramas de dispersão das horas de frio (HF  $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) (A) e anomalias de TSM (B) nos agrupamentos um a quatro e porcentagem de invernos classificados como neutro, El Niño e La Niña em cada agrupamento (gráficos de pizza em A).

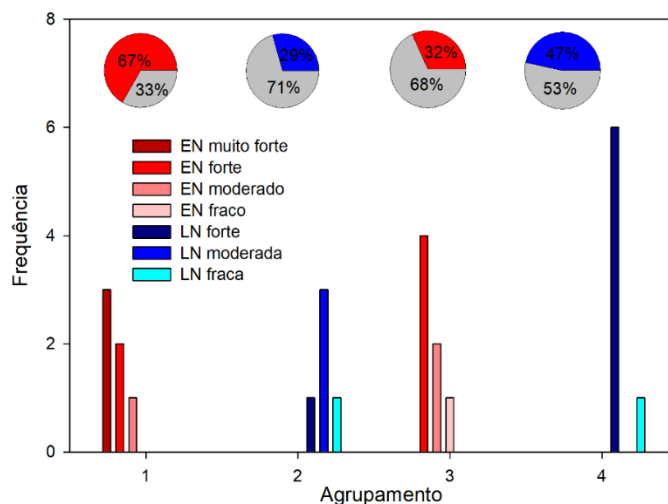


Figura 8. Frequência de eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) nos agrupamentos um a quatro de acordo com a intensidade (muito forte, forte, moderado e fraco); porcentagem de invernos classificados como neutro, El Niño e La Niña em cada agrupamento (gráficos de pizza).

No extremo oposto em termos de média de HF, o agrupamento quatro foi formado por uma proporção muito próxima de invernos La Niña (47%) e neutros (53%), não havendo El Niño nesse grupo (Figura 7, Tabela 4). As médias de TSM foram negativas e atingiram  $-1,0^{\circ}\text{C}$  (Tabela 4). Mesmo os anos neutros apresentaram anomalia negativa de TSM ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ ) e HF acima de 300 HF. Das sete La Niña incluídas nesse grupo, seis foram classificadas como fortes (1988, 1999, 2000, 2007, 2010 e 2011) (Figura 8), salientando que, ao contrário de El Niño, não há, para La Niña, a classificação muito forte, logo, a forte é a maior possível.

Os dois grupos intermediários (dois e três) apresentaram-se da seguinte maneira: o agrupamento três, que, assim como o um, não apresentou invernos La Niña e as anomalias de TSM foram positivas (média de  $0,5^{\circ}\text{C}$ , porém atingindo  $1,0^{\circ}\text{C}$  no caso dos invernos El Niño que compuseram esse grupo) e o agrupamento dois, que assim, como o quatro não possui invernos El Niño e as anomalias de TSM foram todas negativas, embora com valores inferiores às do grupo quatro (Figura 7, Tabela 4). Seria esperado que, por não apresentar invernos El Niño, o agrupamento dois tivesse uma maior média, comparativamente ao agrupamento três (que não tem La Niña), porém foi verificado o inverso. Os sete El Niño do agrupamento três tiveram uma média relativamente elevada de HF (312 HF; 75 HF acima da média dos eventos El Niño – Figura 3). Analisando-se estes casos observou-se que todos tiveram registros de

HF elevados (a média elevada não decorreu de um ou dois extremos: variação 276 a 375 HF) e, em termos de intensidade, verificou-se inclusive que, quatro dos sete El Niño foram de classificação forte, dois de moderado e apenas um foi classificado como fraco (Figura 8). Nestes casos, presume-se que outros eventos meteorológicos, especialmente aqueles que atuam na formação das frentes frias que atingem o Estado do Rio Grande do Sul, tenham influenciado os registros de valores relativamente altos de HF. Da mesma maneira, no grupo dois, a média de HF das cinco La Niñas (225 HF) foi muito inferior (94 HF) à média destes eventos (319 HF – Figura 3). Nestes casos, com exceção da La Niña de 1956 (301 HF), os valores ficaram entre 157 HF e 228 HF e, de modo geral, foram eventos fracos ou moderados (Figura 9), o que pode ajudar a explicar os baixos valores de HF destes casos.

Apesar de ser importante considerar que vários são os fatores que atuam na ocorrência de baixas temperaturas do ar e, como consequência, devam ser levados em consideração como determinantes das HF, os resultados da análise de agrupamento foram coerentes e identificaram que eventos ENOS possuem associação com as HF ocorridas no inverno. Anomalias positivas de TSM que caracterizam El Niño, de modo geral foram associadas a HF abaixo da média e, inclusive abaixo de média-IDP (com exceção dos eventos de 1957 e 1987); assim como La Niñas fracas e moderadas também tendem a apresentar valores de HF abaixo da média, porém, de modo geral, não

abaixo de média-1DP; com exceção da de 1998 (Figura 10). Por sua vez, eventos fortes de La Niña foram associados a HF acima da média e à maioria

dos casos de HF acima de 400 HF no inverno e acima de média +1DP (Figura 9).

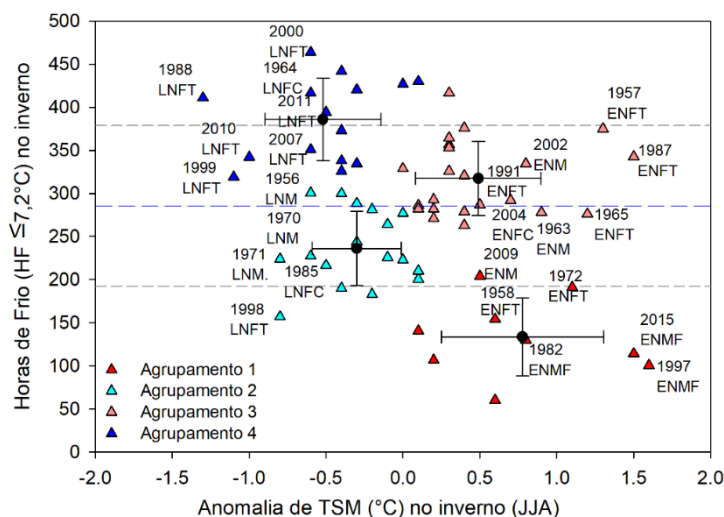


Figura 9. Agrupamentos (*clusters*) dos invernos (trimestre junho-julho-agosto: JJA) em função da variação das horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}C$ ) e das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) ( $^{\circ}C$ ) na série 1956-2021 de Veranópolis; com identificação dos eventos El Niño (EL) e La Niña (LN) de acordo com a intensidade (fraco: FC; moderado: M; forte: FT; muito forte: MF). *Dados originais. As barras representam os desvios-padrão de cada cluster. Linhas tracejadas indicam a média (azul) e o intervalo média  $\pm 1DP$  (cinza). Anomalias de TSM entre  $-0,5^{\circ}C$  e  $0,5^{\circ}C$  (área em cinza claro) indicam condição de neutralidade (invernos classificados como neutros); anomalias maiores que  $0,5^{\circ}C$  são El Niño e menores que  $-0,5^{\circ}C$  são La Niña.*

No caso de invernos neutros, quando as anomalias de TSM ficam entre  $-0,5^{\circ}C$  e  $+0,5^{\circ}C$ , as HF foram variáveis, porém concentraram-se em valores dentro do limite estabelecido por média  $\pm 1DP$ . É importante considerar, no entanto, que, embora tenha ocorrido uma associação entre ENOS e HF, é muito provável que outros eventos atuem conjuntamente na definição das HF, especialmente nos grupos intermediários, formados, prioritariamente, por invernos neutros. Observou-se que as médias de HF dos invernos neutros aumentou nos grupos formados, independente da proporção destes.

Em relação aos invernos classificados como neutros, é importante considerar a grande variabilidade observada em alguns estudos. Radin et al. (2023) encontraram invernos neutros associados tanto aos maiores quanto aos menores valores de HF na série analisada; destacando que, em 58% dos locais avaliados, os menores valores ocorreram em El Niño, porém, nos demais locais (42%) tal fato ocorreu sob condição de neutralidade. O inverno é o período de maior amplitude térmica no Rio Grande do Sul e os impactos nas temperaturas mínimas são maiores em função do maior número de passagens de frentes frias. Na condição de neutralidade, não ocorrem perturbações na atmosfera que alteram os

sistemas polares que se deslocam sobre a região Sul do país, como por exemplo, os bloqueios atmosféricos que impedem o avanço de sistemas frontais e a consequente geração de anomalias de temperatura (Firpo et al., 2012). Para Lin e Qian (2019), os períodos de neutralidade podem ser realmente variáveis climaticamente, apresentando anomalias extremas de TSM, de temperaturas do ar e de precipitação pluvial em todos os continentes. Para Bueno et al. (2020), embora La Niña seja definitivamente a fase fria do ENOS, é notória a elevação da frequência de geadas em períodos de neutralidade e, nestes casos, consideraram que períodos neutros apresentam elevada variabilidade, sem uma tendência definida para predominância de frio ou calor.

Deve-se considerar também que as HF podem ser associadas a outros padrões climáticos e/ou eventos de grande escala que influenciam na temperatura do ar no Rio Grande do Sul. Dentre estes pode-se citar a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), fenômeno de baixa frequência temporal associado à intensificação ou desintensificação dos eventos ENOS (Reis et al., 2022); as variações de TSM do Oceano Atlântico, cujas anomalias positivas produzem aumento da umidade do ar na baixa atmosfera (maior cobertura de nuvens baixas), o que provoca aumento das temperaturas

mínimas do ar, especialmente no inverno (Marques et al., 2005); e a Concentração de Gelo Marinho Antártico (CGMA). Blank et al. (2011) demonstraram haver conexão entre a CGMA e classes de temperatura mínima diária no Rio Grande do Sul. A América do Sul, e, em especial a região Sul do Brasil, sofre influência de massas polares durante todo ano, no entanto, tal influência é mais perceptível no período de outono-inverno, devido à maior intensidade de frio (Sartori, 1993). Pressupõe-se, dessa maneira, que a variabilidade e a dinâmica da CGMA, por influenciarem a frequência e intensidade das massas polares (frentes frias), também possam estar relacionadas às HF registradas no Estado.

O acúmulo de HF no inverno é fundamental no cultivo de frutíferas de clima temperado, pois cada espécie/cultivar possui uma quantidade de frio necessária à superação da dormência de gemas e adequada brotação e floração (Junges et al., 2024). Logo, a escolha do genótipo a ser implantado em uma determinada região deve ser feita com base na disponibilidade (e variabilidade) do frio hibernal, visando redução do risco climático (Wrege et al., 2016). Além disso, a variabilidade das HF é um dos principais desafios no manejo dos pomares; pois é diante da quantidade de frio registrada, a cada inverno, que os produtores avaliam, considerando as necessidades da espécie/cultivar que cultivam, se a quebra de dormência de gemas ocorrerá naturalmente ou se deve ser realizada a aplicação de indutores de brotação (Junges et al., 2024). Sendo assim, tendo em vista que Grimm et al. (2000) descrevem que a previsão de estabelecimento de El Niño e La Niña, e as transições em períodos de neutralidade, tem crescente previsibilidade com meses de antecedência, o estabelecimento da relação entre HF e eventos ENOS geram informações que podem auxiliar produtores e demais integrantes da cadeia produtiva de frutas de clima temperado na redução do risco climático e na tomada de decisão acerca do manejo dos pomares.

## Conclusão

Os meses com maior contribuição na variação interanual das HF são junho-julho-agosto, trimestre correspondente ao inverno climatológico.

Na série analisada (1956-2021; 66 anos), a maior parte dos invernos é neutro (60%) sendo a proporção de invernos El Niño (21%) muito próxima de La Niña (19%)

As médias de HF em invernos El Niño, La Niña e neutro não diferem entre si, no entanto, a

variabilidade interanual é maior no caso de El Niño. O valor máximo ocorreu em inverno classificado como La Niña forte (2000) e os valores mínimos em inverno neutro (1968) e El Niño muito forte (1997)

São mais frequentes invernos La Niña/El Niño que registram valores de HF acima/abaixo da média.

Há associação entre HF e eventos ENOS, sendo possível formar quatro grupos: no de menor média de HF, a maior parte dos invernos é classificada como El Niño e as anomalias de TSM são positivas e atingem +1°C; e, no caso do grupo com maior média de HF, há proporção semelhante de invernos classificados como La Niña e neutro, sendo a média de TSM de -1°C.

Apesar da elevada variabilidade interanual das HF em invernos neutros, os valores situam-se no intervalo compreendido por média  $\pm$  desvio-padrão

O estabelecimento da associação das HF aos eventos ENOS contribui para geração de informações que auxiliam a cadeia produtiva de frutíferas de clima temperado acerca das decisões de manejo dos pomares e na redução do risco climático.

Embora haja associação entre eventos ENOS e HF no inverno na região Sul do Brasil, não se descarta a influência de demais mecanismos meteorológicos e/ou eventos de grande escala na definição do frio hibernal.

## Referências

- Alizadeh, O. (2022). A review of the El Niño-Southern Oscillation in future. *Earth-Science Reviews*, 235, 104246. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104246>
- Anzanello, R. (2019). Evolution of the grapevine bud dormancy under different thermal regimes. *Semina Ciências Agrárias*, 40(6), 3419- 3428. <https://doi.org/10.5433/16790359.2019v40n6Supl3p3419>
- Anzanello, R. (2020). Temperaturas efetivas e necessidade de frio de dois cultivares de ameixeira. *Agropecuária Catarinense*, 33, 37-41, <https://doi.org/10.52945/rac.v33i3.1038>.
- Anzanello, R., Christo, M. C., Sartori, G.B.D. (2020) Superação da dormência em macieira: efeito do frio combinado com uso de indutor de brotação. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 26(1), 190-200. <https://doi.org/10.36812/pag.2020261190-200>.
- Anzanello, R., Fogaca, C.M., Sartori, G.B.D. (2021) Induction and overcoming of dormancy

- of grapevine buds in response to thermal variations in the winter period. *Ciência Rural*, 51(11), e20200887, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200887>.
- Anzanello, R., Fialho, F.B., Santos, H.P. (2022) Bud dormancy evolution in apple genotypes with contrasting chilling requirements. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(2), 1-11. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022868>.
- Anzanello, R. (2024) Requerimentos de frio de videiras ‘Riesling Itália’, ‘Tannat’ e ‘Cabernet Franc’ no período de dormência. *Revista Científica Eletrônica da UERGS*, 10(1), 22-30. <https://doi.org/10.21674/2448-0479.101.22-30>.
- Blank, D.M.P., Marques, J.R.Q., Justino, F.B. (2011). Análise dos quantis de temperatura mínima no Rio Grande do Sul e ligações com os setores da concentração de gelo marinho antártico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, 41-52. <https://doi.org/10.1590/S010277862011000100005>.
- Berlato, M.A. (2024). El Niño Oscilação Sul. In: Berlato, M.; Cunha, G.R.; Fontana, D.C. *El Niño Oscilação Sul: Clima, vegetação, agricultura*. (Ed.1, pp. 17-159). Edição dos autores.
- Bueno, N.M.M, Jadoski, S.O., Lima, V.A., Bueno, J.C.M. (2020). El Niño-Oscilação Sul e ocorrência de geadas na região de Guarapuava-PR. *Research, Society and Development*, 9, e689119596. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9596>.
- Buriol, G.A., Heldwein, A.B., Schneider, F.M., Estefanel, V., Oliveira, H.T., Didoné, M.A. (2000). Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul - distribuição geográfica. *Ciência Rural*, 30, 755-759. <https://doi.org/10.1590/S0103847820000005000001>.
- Cai, W., Ng, B., Geng, T., Jia, F., Wu, L., Wang, G., Liu, Y., Gan, B., Yang, K., Santoso, A., Lin, X., Li, Z., Liu, Y., Yang, Y., Jui, F., Collins, M., Mcphaden, M.J. (2023). *Nature Reviews Earth and Environment*, 4, 407-418. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8>.
- Chicon, P.M.M., Telocken, A.V. (2021). Otimização aplicada a técnica de clusterização. *Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 9, 13-27. <https://doi.org/10.33053/revint.v9i1.621>.
- Collischonn, W., Fan, F.M., Possanti, I., Dornelles, F., Paiva, R., Medeiros, M.S., Michel, G.P., Magalhães Filho, F.J.C., Moraes, S.R., Marcuzzo, F.F.N., Michel, R.D.L., Beskow, T.L.C., Beskow, S., Fernandes, E.H.L., Santos, L.L., Ruhoff, A., Kobiyama, M., Collares, G.L., Buffon, F., Duarte, E., Lima, S., Meirelles, F.S.C., Picilli, D.G.A. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. (2025) *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 30, e1. <https://doi.org/10.1590/23180331.302520240119>.
- Berlato, M. A. & Cordeiro, A. P. A. (2017) Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*, 25(2), 273-302. <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25884>.
- Custódio, M. S. (2016). Índice de nebulosidade do estado do Rio Grande do Sul: climatologia e impactos do El Niño Oscilação Sul. *Ciência e Natura*, 38, 382-392. <https://doi.org/10.5902/2179-460X18175>.
- Fadón, E., Herrera, S., Guerrero, B.I., Guerra, M.E., Javier, R. (2020). Chilling and heat requirements of temperate stone fruit trees (*Prunus* sp.). *Agronomy*, 10, 409. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030409>.
- Firpo, M. Â. F., Sansigolo, C. A., Assis, S. V. (2012). Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27, 95-106. <https://doi.org/10.1590/S010277862012000100010>.
- Grimm, A.M., Barros, V.R., Doyle, M.E. (2000). Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13, 35-58. [https://doi.org/10.1175/15200442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2).
- Junges, A.H., Tonietto, J. (2022). Caracterização climática da precipitação pluvial e temperatura do ar em Bento Gonçalves e Veranópolis, Serra Gaúcha, Brasil. *Agrometeoros*, 30, e027126. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30.e027126>.
- Junges, A. H., Anzanello, R., Fontana, D. C., Santos, H. P. (2024) Climatologia das horas de frio e relação com cultivo de frutíferas de clima temperado na Serra Gaúcha. *Agrometeoros*, 32, e027706. <https://doi.org/10.31062/agrom.v32.e027706>.
- Lin, J. & Qian, T. (2019). A new picture of the global impacts of El Niño Southern Oscillation. *Scientific Reports*, 9, 17543. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54090-5>.

- Marengo, J. A., Dolif, G., Cuartas, A., Camarinha, P., Gonçalves, D., Luiz, R., Silva, L., Alvala, R.C.S., Seluchii, M.E., Moraes, O., Soares, W.R., Nobre, C. (2024). O maior desastre climático do Brasil: Chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. *Estudos Avançados*, 38(112), 203-228. <https://doi.org/10.1590/s01034014.202438112.012>.
- Marques, J. R., Fontana, D.C., Mello, R.W. (2005). Estudo da correlação entre a temperatura da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico e o NDVI, no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 520-526. <https://doi.org/10.1590/S141543662005000400013>.
- Matzenauer, R., Bueno, A. C., Cargnelutti Filho, A., Didoné, I. A., Maluf, J. R. T., Hofman, G., Trindade, J. K., Stolz, A., Sawasato, J. T., Viana, D. R. (2005). Horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 11, 71-76.
- Matzenauer, R., Radin, B., Maluf, J.R.T. (2017). O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*, 25, 323-331. <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>.
- NOAA. (2024) National Oceanic and Atmospheric Administration. Climate Prediction Center. ENSO cold and warm episodes by season. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).
- Pertille, R. H., Citadin, I., Oliveira, L. S., Broch, J. C., Kvitschal, M. V., Araujo, L. (2022). The influence of temperature on the phenology of apple trees grown in mild winter regions of Brazil, based on long-term records. *Scientia Horticulturae*, 305, 111354. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111354>.
- R CORE TEAM. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>.
- Radin, B., Costa, B.P., Melo, R.W. (2024). El Niño Southern Oscillation and the accumulation of chilling hours for dormancy breaking in temperate fruit in Southern Brazil. *Ciência Rural*, 54, e20220340. <http://doi.org/10.1590/01038478cr20220340>.
- Reis, I.S., Silva, T.R., Klering, E.V., Lindemann, D.S., Maier, E.L.B. (2022). Análise da variabilidade da temperatura do ar em Rio Grande – RS (1913-2016). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1), 583-601. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p583-601>.
- Semaan, G., Fadel, A., Brito, J., Ochi, L. (2019). A hybrid heuristic with Hopkins statistic for the automatic clustering problem. *IEEE Latin America Transactions*, 17(1), 7-17. <https://latam.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/545>.
- Tazzo, I.F., Trentin, G., Cardoso, L.C., Junges, A.H. (2024). Distribuição espacial e temporal de geadas no Rio Grande do Sul entre 2003-2018. *Revista Caminhos de Geografia*, 25, 252-263. <https://doi.org/10.14393/RCG2510171617>.
- Wrege, M.S., Herter, F.G., Fritzsons, E. (2016). Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18, 108-121. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43087>.
- Sartori, M.G.B. (1993). Circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tempo no inverno do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Natura*, 15(15), 69-93. <https://doi.org/10.5902/2179460X26360>.
- Zhang, N., Pathak, T.B., Parker, L.E., Ostojia, E.M. (2021). Impacts of large-scale teleconnection indices on chill accumulation for specialty crops in California. *Science of the Total Environment*, 791, 148025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148025>.