

Maikon Passos Amilton Alves

**ONDAS DE FRIO INVERNAIS EM SANTA CATARINA E SUAS
RELAÇÕES COM AS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE
BAIXA FREQUÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Magaly
Mendonça.

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Alves, Maikon Passos Amilton
ONDAS DE FRIO INVERNAIS EM SANTA CATARINA E SUAS
RELAÇÕES COM AS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE BAIXA
FREQUÊNCIA / Maikon Passos Amilton Alves ; orientadora,
Magaly Mendonça - Florianópolis, SC, 2016.
158 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Ondas de Frio. 3. Variabilidades
Climáticas de baixa frequência. 4. Geada. 5. Regiões
agroecológicas. I. , Magaly Mendonça. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. III. Título.

Maikon Passos Amilton Alves

**ONDAS DE FRIO INVERNAIS EM SANTA CATARINA E SUAS
RELAÇÕES COM AS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE
BAIXA FREQUÊNCIA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Florianópolis, 29 de março de 2016.

Prof. Aloysio Martins de Araújo Júnior, Dr.
Coordenador do Programa - PPG

Banca Examinadora:

Prof.^a Magaly Mendonça, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina - CFH

Prof. Alberto Elvino Franke, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - CFH

Prof. Rosandro Boligin Minuzzi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - CCA

Prof. Hugo Romero Aravena, Dr.
Universidad de Chile - FAU

Dedico esta dissertação a meus pais, pela educação, incentivo e responsabilidade para formação como cidadão e profissional. Todo respeito e admiração a eles!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais e meus irmãos, pelo incentivo nos estudos, pois sem minha família nada seria possível.

A minha namorada Liz Brazeiro pela paciência, apoio e companheirismo nas horas difíceis.

A toda equipe, de meteorologistas e técnicos em meteorologia, do setor de Previsão de Tempo e Clima da Epagri/Ciram; a gerência e demais colegas que de alguma forma contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de laboratório, pela troca de conhecimentos durante as reuniões e eventos realizados no período do mestrado, especial a Bárbara Aguiar e Rafael Brito Silveira.

Um agradecimento mais do que especial aos meus professores e amigos, Alberto Elvino Frank pelas consultorias, ensino e ajuda em vários momentos da minha trajetória acadêmica e na presente dissertação; ao professor Rosandro Minuzzi por ter me orientado nos testes estatísticos e nas longas conversas durante algumas tardes.

A professora Marcia Fuentes por ter me apresentado o método utilizado nesta dissertação.

Aos convidados da banca que aceitaram o convite, e dispuseram de seu tempo para contribuir com sua experiência e conhecimento.

Não poderia deixar de escrever algumas palavras sobre meu parceiro e amigo, Rafael Brito Silveira. Ao longo da vida de estudante fiz muitos amigos, outros colegas, mas esse cara é uma das grandes amizades que fiz na vida, amigo é aquele de todas as horas. Rafa, grande abraço irmão.

Em especial a professora e orientadora desta dissertação a Prof.^a Dr.^a Magaly Mendonça, pela sua simplicidade, elegância, garra e determinação que muito me orgulha, na trajetória profissional, e principalmente exemplo de vida. Professora, o meu muito obrigado pelo interesse em orientar-me.

E por fim, a todos os professores que ao longo da minha graduação e agora do mestrado que compartilharam seus conhecimentos e experiências, colaborando com minha formação acadêmica.

“O mundo é formado não apenas pelo que já existe, mas pelo que pode efetivamente existir.”

(Milton Santos).

RESUMO

Foi desenvolvido um estudo climatológico sobre as ondas de frio inverniais em Santa Catarina, e suas possíveis relações com as variabilidades climáticas de baixa frequência como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), a Oscilação Antártica (AAO) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Utilizou-se como critério para classificar uma onda de frio o evento no qual a temperatura média diária do ar na superfície estava pelo menos dois desvios padrão abaixo do valor da média durante dois dias consecutivos ou mais. O desvio padrão (S) é igual ao valor médio interanual dos 365 desvios padrões diários de temperatura do ar (1º de janeiro a 31 de dezembro). Este trabalho analisa apenas as ondas de frio dos 92 dias do período de inverno (1º de junho a 31 de agosto). As variabilidades climáticas foram submetidas à análise estatística através dos testes de significância para as médias e variâncias, com um nível de significância de $\alpha = 5\%$. Para comparar as diferenças entre as médias utilizou-se o teste t de Student, e para a variância o teste F. Os resultados encontrados demonstram que as ondas de frio se distribuem de forma desigual nas regiões agroecológicas catarinenses, apresentando limiares de temperatura diferentes em sua caracterização. O mês de junho se destacou com as maiores ocorrências de ondas de frio e julho apresentou as ondas de frio mais extensas. As ondas de frio se correlacionam com as ocorrências de geadas durante o período invernal em Santa Catarina, exceção à estação de São José. Constatou-se que as variabilidades climáticas de baixa frequência (ENOS, OAA e ODP) possuem relação com as ocorrências das ondas de frio em (Itapiranga, Lages, Urussanga e Campos Novos), assim como na duração dos dias frios (Ituporanga) e nos episódios de geadas (Itajaí, São José, Chapecó, Ituporanga e Itapiranga) em Santa Catarina.

Palavras-chave: ondas de frio, Regiões Agroecológicas, Variabilidades Climáticas de Baixa Frequência, Geada.

ABSTRACT

This thesis presents a climatological study on the winter cold waves in the state of Santa Catarina, Brazil, and their possible connection to low-frequency climate variabilities such as the El Niño Southern Oscillation (ENSO), the Antarctic Oscillation (AAO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). The criterion adopted for the classification of a cold wave was an event in which the mean daily air temperature at the surface was at least two standard deviations below the mean of at least two consecutive days. The standard deviation (S) is equal to the interannual mean value of the 365 daily air temperature standard deviations in a year (from January 1st to December 31st). This work only analyzes the cold waves that took place during the 92 winter days (from June 1st to August 31st). The climate variabilities were subject to statistical analysis by means of significance tests for means and variances, with a significance level of $\alpha = 5\%$. In order to compare the differences between means, Student's t-test was employed; comparison between variances was carried out with the F-test. Results show that cold waves affect agroecological zones differently, with varying temperature thresholds in their characterization. The month of June was associated with the strongest cold waves, while the longest cold waves were found in July. The cold waves explain frosts during the winter period in the state of Santa Catarina, except at the São José weather station. It was determined that the low-frequency climate variabilities (ENSO, AAO and PDO) are related with occurrences of cold waves (in the cities of Itapiranga, Lages, Urussanga and Campos Novos), as well as with the duration of cold days (Ituporanga) and with frosts in (Itajaí, São José, Chapecó, Ituporanga and Itapiranga) in the state of Santa Catarina.

Keywords: cold waves, agroecological zones, low-frequency climate variabilities, frost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa com as Zonas agroecológicas do Estado de Santa Catarina.	32
Figura 2 - Esboço esquemático representando os centros de ação da América do Sul. Fonte: Monteiro (1962).	46
Figura 3 - Atuação das massas de ar no Brasil (inverno e verão).....	50
Figura 4 - Campo de pressão ao nível médio do mar para o dia 04 de julho de 2011 as 06 UTC.....	52
Figura 5 - Campo de pressão ao nível médio do mar para o dia 04 de agosto de 2010 as 12 UTC.	54
Figura 6 - Regiões dos Niños. Fonte: CPTEC/INPE (2014).	57
Figura 7 - Fases da Oscilação Decadal do Pacífico.....	61
Figura 8 - Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico. Destaque para período analisado nesta pesquisa. Fonte: JISAO, 2015.	61
Figura 9 - Modo Anular Sul.	65
Figura 10 - Série temporal do Índice de Oscilação Antártica. A curva em cor preta indica a tendência do índice, sugerindo variações decadais... ..	67
Figura 11 - Mapa de localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo, delimitado por regiões climaticamente homogêneas de Santa Catarina, de acordo com (THOMÉ et al., 1999).....	71
Figura 12 - Número de ocorrência das ondas de frio inverniais em Santa Catarina entre 1983 -2013.	90
Figura 13 - Mapa de frequência média anual de ondas de frio por estações, para Santa Catarina, no período de 1983-2013.	91
Figura 14– Frequência anual das ondas de frio inverniais em Santa Catarina, entre 1983 a 2013.....	95
Figura 15 – Ocorrência mensal de onda de frio em Santa Catarina no periodo invernal de 1983 a 2013.	96
Figura 16 – Frequência das ondas de frio por estação meteorológica no ENOS de Inverno Ano (0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	104
Figura 17 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica no ENOS de Inverno Ano (+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013.	107

Figura 18 - Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	109
Figura 19- Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.....	112
Figura 20 – Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	117
Figura 21 – Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	119
Figura 22 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	121
Figura 23 - Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	123
Figura 24 - Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	125
Figura 25 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	127
Figura 26- Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	129
Figura 27 - Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas convencionais, e suas respectivas Zonas agroecológicas.	72
Quadro 2 - Classificação das geadas quanto às temperaturas mínimas de relva.	76
Quadro 3- Limiares de caracterização de uma onda de frio para o mês de junho em Santa Catarina.	Erro! Indicador não definido.
Quadro 4- Limiares de caracterização de uma onda de frio para o mês de julho em Santa Catarina.	Erro! Indicador não definido.
Quadro 5-Limiares de caracterização de uma onda de frio para o mês de agosto em Santa Catarina.	Erro! Indicador não definido.
Quadro 6 - Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e o número de ondas de frio por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina. (Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015. Nota: SR (Sem Registro).	103
Quadro 7 - Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e a duração das ondas de frio n° de dias por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina. (Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015.)	110
Quadro 8- Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e as ocorrências de geada por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina.....	115
Quadro 9 - Anos com as maiores e menores ocorrências de ondas de frio inverniais em Santa Catarina entre 1983-2013, Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e suas respectivas fases.	133
Quadro 10 - Anos com as ondas de frio de maior abrangência temporal em SC (1983 a 2013), Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e suas respectivas fases.	134

Quadro 11 – Anos com maiores e menores registros de geada em SC no período de 1983 a 2013, durante as ondas de frio inverniais e Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA).136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Zonas Agroecológicas do Estado de Santa Catarina com suas respectivas aéreas em quilômetros quadrados e em percentagem.	33
Tabela 2 - Estações meteorológicas convencionais, seus respectivos períodos da série de dados e os dados faltantes.....	72
Tabela 3 – Classificação do Índice Oceanic Niño (ONI) para região Niño 3.4 de 1983 e 2013.	78
Tabela 4 - Índice mensal da Oscilação Decadal do Pacífico no período de 1983 a 2013.	79
Tabela 5 - Índice mensal da Oscilação Antártica no período de 1983 a 2013.....	80
Tabela 6 - Anos com maiores ocorrências de ondas de frio e as ondas mais prolongadas por região agroecológica.	92
Tabela 7– Frequência das ondas de frio inverniais em Santa Catarina por região agroecológica, no período de 1983 a 2013.....	92
Tabela 8 - Porcentagem da duração das ondas de frio em Santa Catarina por região agroecológica, no período de 1983 a 2013.....	94
Tabela 9 - Ondas de frio com maior abrangência temporal em SC (1983 a 2013).....	97
Tabela 10 – Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina, no período invernal de 1983 a 2013.	99
Tabela 11 - Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina mensal (junho, julho e agosto) no período de 1983 a 2013.....	101
Tabela 12 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	105
Tabela 13 - Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013.....	106
Tabela 14 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	107

Tabela 15 - Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	108
Tabela 16 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	111
Tabela 17 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	111
Tabela 18 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	113
Tabela 19 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	113
Tabela 20- Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	117
Tabela 21 - Resultados das variâncias para os números das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	118
Tabela 22 - Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	120
Tabela 23 - Resultados da variância para os números das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	120
Tabela 24 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	122
Tabela 25- Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	122
Tabela 26 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	123

Tabela 27 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	124
Tabela 28 - Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	126
Tabela 29 - Resultados das variâncias para ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	126
Tabela 30 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	128
Tabela 31 - Resultados das Variâncias para os números de ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	128
Tabela 32 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	129
Tabela 33 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	130
Tabela 34- Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.	131
Tabela 35 - Resultados das variâncias para as ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.....	132

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AAO - Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation*)
AN – Ano neutro (neutralidade)
AOI - Índice de Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation Index*)
APM - Anticiclone Polar Migratório
ASAS - Anticiclone Semi-fixo do Atlântico Sul
CCM’S - Complexos convectivos de Mesoescala
Cf - Clima mesotérmico úmido
Cfa - Clima subtropical
Cfb - Clima temperado
CPC - Climate Prediction Center
CPTEC/INPE - Centro de Previsão e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
EN- El Niño
ENOS - El Niño-Oscilação Sul
EOF - Funções Ortogonais Empíricas (*Empirical Orthogonal Function*)
EPAGRI/CIRAM - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia
GUP’s - Grandes Unidades de Paisagem
HS - Hemisfério Sul
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IOS - Índice de Oscilação Sul
LN - La Nia
mEc - Massa de ar Equatorial Continental
mPm - Massa Polar Marítima
mTa - Massa Tropical Atlântica
mTc - Massa de ar Tropical Continental
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration
ODP - Oscilação Decadal do Pacífico
ONI - Índice Oceanic Nio
PDO - Pacific Decadal Oscillation
PIB - Produto Interno Bruto
SAM - Modo Anular do Sul (*Southern Annular Mode*)
TSM - Temperatura da Superfície do mar
UTC - Universal Time Coordinated

VBF - Variabilidade de Baixa Frequência

ZAE-SC - Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	27
1.1. OBJETIVOS	30
1.1.1. Objetivo Geral.....	30
1.1.2. Objetivos Específicos	30
2. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	31
2.1.1. Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina	32
2.2.1. Aspectos Naturais e Ecológicos.....	35
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS CONCEITUAIS	39
3.1. ONDA DE FRIO	39
3.2. GEADA	42
3.3. ANTICICLONE.....	45
3.3.1. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul	46
3.3.2. Anticiclones Polares Migratórios.....	47
3.4. MASSAS DE AR.....	49
3.4.1. Massa de Ar Tropical Atlântica	50
3.4.2. Massa de Ar Polar Atlântica	51
3.4.3. Massa de Ar Tropical Continental	54
3.5. VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA NA AMÉRICA DO SUL	56
3.5.1. El Niño Oscilação Sul – ENOS - (La Niña e El Niño)	56
3.5.2. Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).....	60
3.5.3. Oscilação Antártida (AAO)	63
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	69
4.1. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS.....	69
4.2. MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO ..	73
4.3. DADOS REFERENTES À OCORRÊNCIA DE GEADA	75
4.4. RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE BAIXA FREQUÊNCIA (ENOS, OAA E ODP) COM AS ONDAS DE FRIO	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
5.1. OCORRÊNCIA DAS ONDAS DE FRIO EM SANTA CATARINA	83

5.1.1. Distribuição espaço-temporal das ondas de frio por estação meteorológica (Zona Agroecológica)	89
5.1.2. Comportamento geral das ondas de frio	94
5.2. RELAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO COM A OCORRÊNCIA DE GEADAS	97
5.2.1. Análise do Inverno	97
5.2.2. Análise Mensal	99
5.3.1. Relação das ondas de frio com o ENOS	102
5.3.2. Relação das ondas de frio com o OAA.....	121
5.3.3. Relação das ondas de frio com a ODP.....	126
5.4. ANÁLISE CONJUNTA DA RELAÇÃO DAS FORÇANTES CLIMÁTICAS (ENOS/OAA/ODP) COM AS ONDAS DE FRIO E AS OCORRÊNCIAS DE GEADAS	132
6. CONCLUSÕES.....	137

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina está localizado numa região de forte contraste de massas de ar tropicais e polares, resultando em diversas condições de tempo. Os diferentes tipos de tempo por sua sucessão habitual definem as condições climáticas do Estado catarinense. É um local de transição entre os trópicos e as latitudes mais altas, com clima subtropical, caracterizado por apresentar distribuição regular de precipitação durante todo o ano e temperaturas que sofrem forte influência da altitude, com os menores valores registrados nos pontos de cota mais elevada (WREGGE et al., 2011).

A situação geográfica da região sul brasileira, no subtropico, garante a maior amplitude térmica no ciclo anual, com maior diferença entre inverno e verão. As serras e o planalto meridional determinam contrastes na distribuição de temperatura, sendo esta a única região do Brasil com precipitação nival, podendo registrar temperaturas consideravelmente frias (GRIMM, 2009).

No inverno austral, as condições de tempo são influenciadas pelas passagens das massas de ar polar, oriundas do continente antártico. O ar frio chega ao sul do Brasil pela aproximação dos anticiclones. A atuação dos anticiclones migratórios pode causar acentuado declínio de temperatura em grandes porções da atmosfera, caracterizando as ondas de frio (MONTEIRO, 2001; MENDONÇA; ROMERO, 2012).

As incursões de ar frio na região Sul do Brasil, particularmente em Santa Catarina, atuam acentuando a redução da temperatura, às vezes com valores próximos ou abaixo de 0°C (NIMER, 1979). A temperatura do ar está entre as variáveis climatológicas mais importantes, por conduzirem a um ambiente que seja propício ao homem, aos animais e às plantas (COSTA, 2008).

Para Vavrus et al. (2006) um extremo de frio é definido como uma ocorrência de dois dias ou mais consecutivos, durante o qual a temperatura média diária do ar na superfície, é pelo menos duas vezes o desvio padrão abaixo da temperatura média do local de inverno.

O domínio do anticiclone polar acaba contribuindo para a perda de calor noturno por resfriamento radiativo, associado à baixa umidade e céu claro, fazendo com que as temperaturas caiam a seus níveis mais baixos devido à intensa perda de radiação noturna (NIMER, 1979; ESCOBAR, 2007). É nestas circunstâncias que ocorrem as condições favoráveis às geadas, que produzem vários impactos na sociedade, tanto

de ordem social como econômica. O ar resfriado, por ser mais denso, acumula-se nas camadas atmosféricas próximas da superfície e as altas pressões resultantes fornecem a energia necessária ao deslocamento das mesmas, no sentido sul-norte.

As ondas de frios diferem das geadas ou esfriamentos locais, pois abrangem grandes porções da atmosfera. A atmosfera durante as ondas de frio caracteriza-se por pressões atmosféricas anormalmente altas, céu claro, redução ou substituição da precipitação líquida e período de geadas e temperaturas anormalmente baixas (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Mendonça e Romero (2012) ao estudarem os impactos socioambientais das ondas de frio, associadas aos índices de oscilação das variabilidades de baixa frequência na América do Sul, constataram que as ondas de frio intercontinentais por vezes provocam enfermidades e mortes de pessoas e perdas econômicas, o que acaba impactando o desenvolvimento das atividades na cidade e no campo, danificando paisagens e culturas em diversos países da América do Sul.

Além dos fatores geográficos como latitude, relevo, altitude, continentalidade e maritimidade, que acabam influenciando as temperaturas no estado (AGUIAR; MENDONÇA, 2004) há também o impacto das variações nos padrões atmosféricos, como as variabilidades climáticas de baixa frequência, na escala interanual o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Antártica (AAO) e na escala decadal a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). As escalas temporais da variabilidade climática são: intrasazonal (variações mensais, que ocorrem ao longo de uma mesma estação do ano), interanual (variações anuais de médias anuais ou sazonais) e decenal/secular (variações de década para década ou de século para século) (WALLACE; HOBBS, 2006).

Grimm e Togtliam (2002) estudaram a relação do ENOS com as ondas de frio e calor no Cone Sul da América do Sul, em uma de suas considerações demonstraram o aumento da frequência de eventos severos frios durante a La Niña e diminuição em anos de El Niño.

Mendonça e Romero (2012) p-5, a respeito das ondas de frio, argumentam que:

As ondas de frio ocorrem regularmente, porém as de maior magnitude e alcance espacial se devem à sinergia de um conjunto de fatores: Fase Positiva da Oscilação Sul, com fenômeno La Niña, Fase Fria da Oscilação Decadal do Pacífico, Fase

Positiva da Oscilação Antártica e Fase Negativa da Oscilação do Atlântico Norte (NAO).

Conhecer a variabilidade das ondas de frio pode auxiliar no melhor entendimento do clima da região Sul, especialmente do estado catarinense, tendo em vista a dependência econômica do Estado em relação às atividades agrícolas, pecuária, industrial e a vocação turística. Estas atividades para que tenham êxito necessitam de condições climáticas favoráveis ou de planejamento para o enfrentamento das adversidades.

Por outro lado, o frio tem sido subestimado como um desastre socionatural, pois nem toda a população é atingida igualmente, e as atividades urbanas de comércio e serviços muitas vezes se beneficiam das quedas de temperatura. O frio, entretanto, ao atingir populações carentes, pode significar exigências sobre serviços de saúde e assistência social, o que deveria mobilizar as instituições governamentais para também se planejarem quanto à sazonalidade do frio e suas variabilidades, visando atender através de políticas públicas, as populações mais vulneráveis.

Os danos provocados pelas ondas de frio estão mais diretamente relacionados com a vulnerabilidade de determinadas populações, do que com a magnitude do evento (CASTRO, 2003). As populações mais vulneráveis são constituídas por idosos, enfermos, crianças e animais de rua, principalmente quando estes, são pertencentes a populações de baixa renda, ou quando desabrigados e desprovidos de agasalhos. Por vezes, mortes são registradas como consequência de ondas de frio especialmente entre mendigos, por dormirem ao relento.

Dentro deste contexto, é de fundamental importância conhecer a variabilidade das ondas de frio inverniais em Santa Catarina, para que possamos conhecer, sua distribuição e as possíveis relações destas ondas com as variabilidades climáticas de baixa frequência.

Como principal problemática da presente pesquisa está o questionamento de qual é a variabilidade das ondas de frio nas diferentes regiões de Santa Catarina, e suas possíveis relações com as variabilidades climáticas de baixa frequência?

Partiu-se da hipótese de que as ondas de frio atuam de forma desigual entre as regiões catarinenses, e que as variabilidades climáticas de baixa frequência influenciam na frequência das ondas (ou nas temperaturas) de frio em Santa Catarina.

O estudo está organizado da seguinte forma: no **capítulo 2** se expõe a apresentação da área de estudo, com a caracterização dos aspectos socioeconômicos, naturais e ecológicos, além de uma breve descrição do zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina. No **capítulo 3** é apresentada a fundamentação teórica, com os principais tópicos contextualizados e suas definições. Os materiais e métodos utilizados neste estudo são explicados no **capítulo 4**. O **capítulo 5** apresenta os resultados e as discussões do tema, propostos nos objetivos, seguindo a metodologia estabelecida no capítulo 3. Ao final são apresentadas as conclusões e referências.

1.1. OBJETIVOS

Nesse contexto, os objetivos definidos para essa pesquisa são:

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar as ondas de frio inverniais em Santa Catarina no período de 1983 a 2013, relacionando-as com as variabilidades climáticas de baixa frequência.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar as ondas de frio inverniais em Santa Catarina.
- Caracterizar a distribuição espaço-temporal das ondas de frio nas regiões agroecológicas catarinense.
- Correlacionar as ondas de frio com a ocorrência das geadas ao longo do período proposto.
- Analisar a influência das variabilidades climáticas de baixa frequência como os índices do El Niño Oscilação Sul (ENOS), a Oscilação Antártica (AAO) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) nas ondas de frio e nos episódios de geadas em Santa Catarina.

2. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo traz uma apresentação da área de estudo, mostrando a localização e caracterização dos aspectos socioeconômicos, físicos e ecológicos.

2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O Estado de Santa Catarina (figura1) está situado na Região Sul do Brasil e possui uma área oficial de 95.483 km², com mais 502 km² de águas territoriais, totalizando 95.985 km², correspondente a 1,12 % da área brasileira e 16,61% da Região Sul. O território catarinense acha-se entre as latitudes 26°00'S a 30°00'S, e longitudes 48°30'W a 54°00'W (SANTA CATARINA, 1986) limitando-se ao norte com o Estado do Paraná, a leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado do Rio Grande do Sul e a oeste com a Argentina.

O Estado abrange um total de 295 municípios, uma população de 6.248.436 habitantes, densidade demográfica de 65,29 habitantes por Km² e crescimento de 1,9% ao ano (IBGE, censo/2010).

A economia do Estado de Santa Catarina baseia-se na atividade industrial, no extrativismo de minérios e na agropecuária, sendo bem distribuída a participação de todos os setores na economia. Os dados do censo de 2010 demonstram que o estado catarinense passou a figurar na 7ª posição da economia nacional com 152,48 bilhões, com um PIB de 4,04%, sendo o setor de serviços o grande responsável pelo PIB de Santa Catarina (IBGE, censo/2010).

Para efeito de regionalização utilizou-se a divisão delimitada pelas Zonas Agroecológicas de Santa Catarina, que entre outros fatores considera as regiões climaticamente homogêneas do Estado (figura1) de acordo com (THOMÉ et al., 1999).

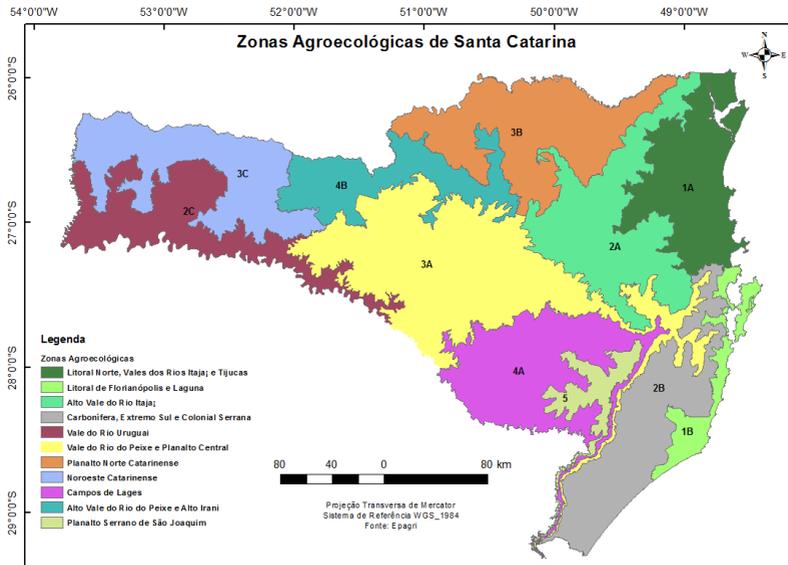


Figura 1 - Mapa com as Zonas agroecológicas do Estado de Santa Catarina.
Fonte: Epagri. Modificado por: Maikon Alves.

2.1.1. Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina

Prieto (1992) define Zoneamento Agroecológico como o processo de identificação de áreas relativamente homogêneas, caracterizadas em função de fatores físicos (clima, solo, formas da terra), biologia (vegetação, fauna) e socioeconômicos (presença do homem e suas atividades), além da avaliação destas mesmas áreas com relação a seu potencial de sustentabilidade para usos específicos.

De acordo com THOMÉ et al. (1999) o Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina (ZAE-SC) baseou-se em metodologias utilizadas no projeto Zonas Agroecológicas (FAO, 1997) e no Zoneamento Agroecológico do Nordeste (SILVA et al., 1993 apud THOMÉ et al., 1999). O ZAE-SC é uma adaptação entre ambas às metodologias. As Zonas Agroecológicas são definidas como aquelas que possuem combinações similares de clima e solo e o mesmo potencial biofísico para a produção agrícola,

enquanto o Zoneamento Agroecológico do Nordeste é caracterizado pelas zonas chamadas de “Grandes Unidades de Paisagem” (GUP’s).

O ZAE-SC de acordo com a metodologia adotada por Thomé et al. (1999) compreende no primeiro nível de leitura, as cinco Grandes Unidades de Paisagem (tabela 1), que refletem as características morfoestruturais e/ou geomorfológicas e/ou geográficas de determinada unidade de área. Sendo assim, as cinco Grandes Unidades de Paisagem resultam de agrupamentos de unidades de terra mais detalhadas (zonas agroecológicas/sub-regiões), em unidades maiores e mais generalizadas. O segundo nível consiste de onze zonas agroecológicas (tabela 1), mais homogêneas possível, definidas por características climáticas (principalmente do regime termopluiométrico), geomorfológicas, geológicas, vegetação primária predominante e atual, aptidão de uso das terras ao nível de macroclima, formando o segundo nível de referenciamento, juntamente com as zonas especiais. Já as características socioeconômicas, levantadas por base municipal, foram agregadas aos limites de cada zona agroecológica (THOMÉ et al., 1999).

Ainda segundo os autores citados acima, tanto a caracterização das cinco GUP’s como das onze zonas agroecológicas/sub-regiões foi realizada por meio de critérios de identificação e de agregação, na forma geográfica e tabular.

Tabela 1 - Zonas Agroecológicas do Estado de Santa Catarina com suas respectivas áreas em quilômetros quadrados e em percentagem.

Sub-Região	Localização	Área	
		(Km ²)	(%)
1A	Litoral Norte, Vales dos Rios Itajaí e Tijucas	8.241,2	8,6
1B	Litoral de Florianópolis e Laguna	2.619,1	2,7
2A	Alto Vale do Rio Itajaí	10.483,5	11
2B	Carbonífera, Extremo Sul e Colonial Serrana	8.946,2	9,4
2C	Vale do Rio Uruguai	8.051,3	8,4
3A	Vale do Rio do Peixe e Planalto Central	19.045,8	20
3B	Planalto Norte Catarinense	10.778,8	11,3
3C	Noroeste Catarinense	9.061,5	9,5
4A	Campos de Lages	9.768,5	10,2
4B	Alto Vale do Rio do Peixe e Alto Irani	6.263,4	6,6
5	Planalto Serrano de São Joaquim	2.183,6	2,3
Total		95.442,9	100

Fonte: Thomé et al. (1999).

2.2. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS NATURAIS E ECOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta seção serão descritos os principais aspectos naturais e ecológicos da área de estudo.

2.2.1. Aspectos Naturais e Ecológicos

O estado de Santa Catarina apresenta de leste para oeste três grandes unidades topográficas: as Planícies Costeiras, as Serras Litorâneas e o Planalto Ocidental. As Planícies Costeiras estão em contato direto com o oceano Atlântico, as Serras ficam dispostas obliquamente à linha de costa e o Planalto constitui a unidade mais continental e extensa do território catarinense (ROSA; HERRMANN, 1986).

A geologia de Santa Catarina é descrita por Scheibe (1986) no sentido leste - oeste iniciando pelo afloramento dos sedimentos recentes do litoral, uma faixa de rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, a sucessão das rochas sedimentares gondwanicas, e os derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da Serra Geral. A respeito do relevo de Santa Catarina, Peluso Jr, (1986, p.8) descreve que “o território catarinense caracteriza-se por apresentar um altiplano levemente inclinado para oeste e uma área que se desenvolve da borda do planalto até o mar, conhecidos, respectivamente, por Região do Planalto e Região do Litoral e Encostas”. Entre essas duas formações estão a Serra do Mar, que delimita um corredor separando planalto e litoral.

Do ponto de vista da hidrografia, Santa Catarina apresenta dois sistemas independentes de drenagem, são eles: o sistema integrado da vertente do interior (Bacia do Prata) comandado pelas bacias dos rios Paraná e Uruguai, que leva as águas para o Rio Uruguai e o sistema da vertente do Atlântico (litoral de Santa Catarina), formado por um conjunto de bacias isoladas que leva as águas para o Oceano. Essas vertentes não têm ligação entre si, e são divididas ao Norte pela Serra do Mar e ao Sul pela Serra Geral (SANTA CATARINA, 1991), ou pela escarpa do planalto, onde a declividade é muito forte.

Segundo a classificação de KÖPPEN o Estado de Santa Catarina caracteriza-se pelo clima mesotérmico úmido, sem estação seca - Cf, incluindo dois subtipos: Cfa (Clima subtropical); temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente

acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, e Cfb (Clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C) (SANTA CATARINA, 1991). Esses subtipos estão bastante associados à topografia e maritimidade, o Cfa relacionado às planícies e serras costeiras e vales (planícies colúvio aluvionares) e o Cfb aos planaltos regionais.

Santa Catarina, por sua posição subtropical, apresenta características climáticas controladas pela penetração, atuação e choque das massas Polar Marítima (mPm) e Tropical Marítima do Atlântico (mTa), com verões quentes e invernos frescos (NIMER, 1979). O regime de precipitação em Santa Catarina caracteriza-se por ser distribuído ao longo do ano. Em geral, as chuvas estão associadas aos sistemas de escala sinótica (sistemas frontais que atingem as latitudes médias) os que mais interferem nas condições de tempo na Região Sul e por consequência nas chuvas (MONTEIRO, 2001). Segundo Nimer (1979), na estreita área do litoral catarinense, o máximo pluviométrico ocorre no verão (janeiro, fevereiro e março), enquanto o índice mínimo, na maioria das vezes, é registrado no inverno e secundariamente, no outono. As temperaturas sofrem forte influência da altitude, com os menores valores registrados nos pontos de cota mais elevada. Segundo Thomé et al. (1999), na região Sul a temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3°C. A temperatura média das máximas varia de 23,4 a 25,9°C, e das mínimas de 12,0 a 15,1°C.

Conforme Monteiro (2001) no verão as massas de ar continentais tornam-se mais aquecidas e passam a predominar na região Sul do Brasil. O acumulado de chuva nesta estação do ano está associado à convecção tropical e também pela passagem dos sistemas frontais.

No outono, período de transição ocorre as primeiras incursões de massas de ar frio após a passagem das frentes frias, caracterizando períodos de estabilidade, sem ocorrência de chuva (MONTEIRO, 2001). Nesta época do ano, também é comum a formação de bloqueios atmosféricos que impedem o avanço das frentes frias para menores latitudes. Outro fator que contribui para a queda pluviométrica nesta época é a diminuição da convecção tropical, pois as temperaturas nesta fase tendem a diminuir, devido à menor incidência dos raios solares impostas pela inclinação terrestre (NIMER, 1979).

No inverno as condições do tempo são influenciadas pela sucessão de massas de ar polar. O ar frio é trazido pela aproximação dos

anticiclones que se deslocam sobre a Argentina em direção a Região Sul do Brasil, proporcionando tempo estável, com predomínio de céu claro e temperaturas amenas. No inverno também é frequente a passagem dos sistemas frontais a superfície e os vórtices ciclônicos em altitude são os principais responsáveis pelas precipitações nesse período (MONTEIRO, 2001).

Na primavera, época de transição, as condições de tempo são muito instáveis nos meses de setembro e outubro e mais estáveis em novembro. Os Complexos convectivos de mesoescala (CCM'S) apresentam grande frequência nesta época, favorecendo a ocorrência de chuva forte, trovoadas, acompanhada de granizo e rajadas de vento (MONTEIRO, 2001).

Já a vegetação é bastante diversificada (Klein et al., 1986; e Peluso Júnior, 1991), sendo as principais formações vegetais de Santa Catarina: Mata Atlântica (abrange as planícies próximas ao litoral, diretamente influenciada pela umidade vinda do Oceano Atlântico, possuindo espécies como o cedro, a peroba e a canela, estas remanescentes da Mata Atlântica); Mata de Araucárias (variando entre campos gramíneos, onde existem regiões planas com ondulações leves e florestas de araucárias em locais com inclinações mais elevadas encontradas no planalto; tendo como exemplares de destaque a araucária, a erva-mate e a imbuia); Floresta Decidual (que ocupa áreas da região Oeste de Santa Catarina na bacia do Rio Uruguai, próximas a divisa com o Rio Grande do Sul). A principal característica da vegetação decidual é a perda das folhas no inverno; Estepes (ocupam áreas de relevo elevado e clima frio e são formados principalmente por plantas rasteiras, como as gramíneas, como exemplo, os Campos de Lages, na serra catarinense); e a Vegetação Litorânea que são formações vegetais que se formam próximas ao litoral e são bastante influenciadas pelas águas oceânicas. A restinga e o mangue são as principais vegetações litorâneas em Santa Catarina.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS CONCEITUAIS

Neste capítulo é apresentada a revisão de literatura, sendo fundamentado o tema em estudo, com os principais tópicos contextualizados: ondas de frio, geada, anticiclone, massas de ar, assim como os índices de variabilidade climática de baixa frequência na América do Sul (ENOS, AAO e ODP).

3.1. ONDA DE FRIO

A temperatura do ar é uma das variáveis climatológicas que mais influenciam nas condições atmosféricas (BARBOSA et al., 2006; COSTA, 2008).

Para Dias Cardoso et al. (2012, p.119) “o estudo da temperatura é de grande importância para o entendimento de como se comporta o clima de uma determinada região, além de auxiliar no planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo”. O comportamento desta variável influi diretamente no cotidiano das pessoas, na vestimenta, construção civil, turismo e muitos outros serviços.

A Região subtropical da América do Sul é afetada por bruscos declínios de temperatura, durante o período de inverno. Estas quedas nas temperaturas são resultados da passagem de sistemas frontais oriundos do extremo sul do continente. Na retaguarda destes sistemas frontais, por vezes tem-se intensas massas de ar frio, a qual tende a persistir por vários dias consecutivos, conseqüentemente gerando uma onda de frio (ESCOBAR, 2007).

Os acentuados declínios de temperatura associados às incursões de massas de ar frio nas regiões sul e sudeste do Brasil tem grande impacto social, pois costumam ocasionar prejuízos, principalmente no setor agrícola (ESCOBAR, 2007). Estas quedas bruscas de temperatura normalmente vêm acompanhadas de ventos frios, que contribuem para acentuar a sensação de desconforto térmico.

Não há consenso na definição de onda de frio. Encontram-se várias formas de defini-la como nos trabalhos de Boyle, (1986); Konrad, (1996); Walsh et al., (2001); Escobar, (2007); Vavrus et. al., (2006); Firpo, (2008). Alguns trabalhos definem onda de frio como um evento específico, outros definem as ondas de frio como a queda extrema ou

anômala da temperatura do ar, sem definir um limiar de temperatura e a periodicidade.

Titarelli (1972) realizou um estudo sobre a onda de frio de abril de 1971 que atingiu diversas regiões brasileiras, baseando-se apenas na abrangência e nos sistemas meteorológicos atuantes no evento, o autor classificou como onda de frio.

De acordo com Mesommo e Diniz (2005) as ondas médias de uma determinada localidade ou região, demonstram além da sua variabilidade, um comportamento de manutenção, elevação ou diminuição de seus valores, através da obtenção das anomalias positivas ou negativas. O conhecimento deste comportamento torna-se importante para o planejamento agrícola.

Para Llorens (2013) entende-se como onda de frio uma situação atmosférica que gera diminuição da temperatura em relação à média climatológica do período, a qual é resultante da invasão de uma massa de ar frio, que pode abranger milhares de quilômetros quadrados, podendo durar mais de um dia.

Já para Sartori (2003) as ondas de frio representam períodos de duração variável (de 3 a 9 dias) com fortes quedas na temperatura, embora na maioria dos casos não ultrapassem 4 dias. A autora afirma ainda que nem todos os domínios de massas polares provocam abaixamentos de temperaturas na qual caracterizam uma onda de frio, pois depende da trajetória do anticiclone ou da posição de seu centro, onde o frio se torna mais intenso.

Rusticucci e Vargas (2001) definem ondas como sequências diárias de anomalias de temperaturas com o mesmo sinal. São considerados três parâmetros neste evento: o comprimento ou persistência (número de dias ininterruptos da anomalia), o valor máximo (anomalia positiva) ou mínimo para onda de frio (anomalia negativa) e por último a intensidade (média de anomalia da onda).

Utilizando dados diários do período de 1959 a 1996 sobre a Argentina, Rusticucci e Vargas (2001) analisaram a variabilidade das anomalias de temperaturas extremas (mínimas e máximas), e observaram que esta variabilidade apresenta duas escalas: uma bianual e outra com uma frequência maior que 10 anos. A variabilidade interanual das ondas de frio foi maior logo após os anos 1980 e na década de 1990.

As ondas de frio que atingem a América do Sul durante o período de inverno possuem grande relevância, tanto do ponto de vista social (agricultura, transportes, turismo, saúde pública) quanto do propósito da

pesquisa, quando pensamos em uma melhor previsibilidade do fenômeno (PEZZA; AMBRIZZI, 2005).

No ano de 2010, em julho uma intensa onda de frio atingiu vários países do Cone Sul, o que ocasionou enfermidades respiratórias e mortes em decorrência de hipotermia especialmente em pessoas pobres que vivem em áreas urbanas e rurais, pela falta de aquecimento em suas habitações e adequada assistência médica, além de perdas significativas na agricultura e pecuária (MENDONÇA; ROMERO, 2012). Prejuízos semelhantes também se repetiram no ano seguinte (2011) oriundos da passagem de ondas de frio, como por exemplo, os danos causados pela neve ao longo do altiplano árido Andino e vales semiáridos do Chile, que são especializados em cultivos de uvas de mesa e paltas (abacate) produto voltado para exportação (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

No Manual de Desastres Naturais Castro et al. (1995, p.21) caracterizam uma onda de frio por um evento de rápida e grande queda na temperatura, sobre uma extensa área, permanecendo por varias horas, dias e por vezes uma semana ou mais. Segundo este trabalho, na América do Sul as ondas de frio são mais recorrentes entre os meses de maio e setembro, com predominância nos meses invernais de julho e agosto; normalmente os episódios duram de quatro a cinco dias.

Firpo (2008) ao realizar um estudo climatológico das ondas de frio e de calor no Rio Grande do Sul e sua relação com o ENOS, no período de 1967 a 2005, com dados diários de temperatura mínima de 13 estações meteorológicas, obteve entre os seus resultados, que o número médio das ondas de frio apresentou um comportamento senoidal, sendo maior nos meses mais frio e menor nos meses mais quentes.

Pezza e Ambrizzi (2005) realizaram uma compilação das mais intensas ondas de frio que atingiram a América do Sul, entre 1888 e 2003, enfatizando casos extremos observados no Brasil e na Argentina. Apesar do aumento da temperatura média em boa parte do continente sul americano.

Vavrus et al. (2006) em seus estudos sobre o comportamento dos focos extremos de ar frio sobre o efeito estufa, em partes da América do Norte, Europa e Ásia, propuseram uma definição de onda de frio, com período de dois dias ou mais consecutivos, durante o qual a temperatura média diária do ar na superfície é pelo menos duas vezes o desvio padrão abaixo da temperatura média do local no período de inverno.

Definição a qual será seguida no decorrer desta pesquisa para considerar uma onda de frio.

Alves et al. (2014) utilizaram o método de Vavrus et al. (2006) para analisar o período invernal no município de São Joaquim /SC, ao longo de toda série histórica da estação meteorológica, 1983 a 2013. O estudo demonstrou que 17 entre os 31 invernos analisados, apresentaram ondas de frio, correspondendo a 58,6% do período estudado. Neste período constataram-se 24 ondas de frio. Todavia, os autores utilizaram apenas o trimestre invernal (junho, julho e agosto) para o cálculo da média diária, devido a isso o limiar de temperatura para caracterizar uma onda de frio não foi o correto de acordo com o método original de Vavrus et al. (2006), uma vez que se utilizaram apenas 92 dias do ano no cálculo da média, referente ao período invernal; o número de ondas de frio foi subestimado.

3.2. GEADA

Em Santa Catarina, é comum no início do outono ocorrer às primeiras incursões de massas de ar polares, as quais provocam o declínio das temperaturas, além de favorecer a formação de geadas, principalmente nas regiões do Planalto e Oeste do estado. Mas, é no período invernal que o anticiclone polar se desloca mais sobre a Argentina em direção ao sul do Brasil, invadindo o território catarinense e provocando acentuada queda de temperatura e ventos fortes do quadrante sul (MONTEIRO, 2001). No domínio do Anticiclone polar, o ar torna-se seco, e o céu limpo, fazendo com que as temperaturas desçam a seus níveis mais baixos devido à perda de radiação durante a noite (NIMER, 1979).

As geadas no Sul do Brasil estão vinculadas às incursões de intensas frentes frias, que em sua retaguarda dão lugar à entrada de anticiclones migratórios provenientes do Sul da Argentina (SELUCHI et al.; 1992). A ausência de nebulosidade, associada à diminuição da velocidade do vento, geram condições propícias a formação de geadas que são típicas da estação de inverno.

Do ponto de vista meteorológico, define-se a ocorrência de geada quando há deposição de gelo sobre plantas e objetos expostos ao relento (PEREIRA et al., 2002).

A geada é um fenômeno meteorológico registrado visualmente pelos observadores, geralmente nas estações convencionais, ou pode ser estimada a sua ocorrência mediante análise de outras variáveis

meteorológicas registradas como a temperatura em relva (ou do solo), temperatura do ar horária e, ou, temperatura mínima diária, umidade relativa do ar, molhamento foliar, etc (MINUZZI, 2010).

Os fatores geográficos como latitude, maritimidade, continentalidade, relevo, solo e vegetação influenciam significativamente em grande parte na intensidade, duração e distribuição das geadas em Santa Catarina (AGUIAR; MENDONÇA, 2004).

As geadas ocorrem quando a temperatura do ar próxima à superfície exposta cai abaixo de 0°C . Dependendo da quantidade de vapor d' água no ar, ela pode vir ou não acompanhada de cristais de gelo sobre qualquer superfície exposta. A temperatura do ar abaixo de 0°C , por vezes danifica e pode até matar os tecidos das plantas (AGUIAR; MENDONÇA, 2004).

Quando a temperatura na superfície do solo atingir valores abaixo de 0°C , a temperatura da camada de ar que se encontra a 2m da superfície pode estar mais elevada, pois após o por do sol a perda de energia por emissão de radiação de onda longa se acentua, provocando a rápida diminuição da temperatura do ar próximo ao solo (PEREIRA et al., 2002). Assim, ocorre à chamada inversão térmica, a temperatura do ar na troposfera aumenta com a altura, ao invés de decrescer. Devido a esta configuração, por vezes pode-se observar a formação de geadas mesmo quando a temperatura do ar no abrigo meteorológico é positiva. Em geral, utilizam-se valores de temperatura em torno de 3°C , no abrigo meteorológico, para se definir ocorrência de geada (FIRPO, 2008, p.25).

Kim et al. (2003) analisaram a ocorrência de geada no Estado do Paraná, com base em critérios comumente adotados na região, onde a temperatura mínima no abrigo é $\leq 3^{\circ}\text{C}$ nos casos de geada, e observação visual. Encontraram que esses padrões não apontam boa precisão, pois em 71% das estações meteorológicas o número de geadas observadas é maior que as determinadas pelo critério de temperatura mínima $\leq 3^{\circ}\text{C}$.

Minuzzi (2009) utilizou métodos estatísticos como análise de regressão e distribuição cumulativa para analisar o comportamento dos valores negativos da temperatura de relva ($T_{\text{rel}} \leq 0^{\circ}\text{C}$) e relacionou com a temperatura mínima de abrigo (T_{min}) entre os meses de maio a setembro de 1983 a 2008, para os municípios de Lages e Chapecó. Os resultados mostraram que não há tendência temporal significativa no número de ocorrências de $T_{\text{rel}} \leq 0^{\circ}\text{C}$, mas existe correlação com a T_{min} que permite estimar o número de dias com $T_{\text{rel}} \leq 0^{\circ}\text{C}$ baseado na T_{min} mensal.

Aguiar e Mendonça (2004) realizaram uma climatologia das geadas em Santa Catarina ao longo de 24 anos no período de 1980 a 2003, verificando que as geadas atingem com maior frequência as mesorregiões do Planalto Sul, Meio-Oeste, Planto Norte e porção Nordeste da mesorregião Oeste. Estes resultados se assemelham com a caracterização climática de Santa Catarina realizada por Monteiro (2001, p.75-76), que afirma que o fenômeno da geada tem mais frequência no Planalto e nos municípios mais ao norte das regiões Meio-Oeste e Oeste, e que na faixa costeira as chances são menores, porém as possibilidades aumentam nas proximidades das encostas das Serras Geral e do Mar.

Spinelli e Alves (2014) ao analisarem a distribuição espaço-temporal das geadas em Santa Catarina, entre 1980 e 2010, chegaram a totalizar 876 casos de ocorrência de geada, nos 31 anos analisados, com destaque para uma maior frequência nos municípios de São Joaquim e Lages, as quais certamente estiveram associadas a prejuízos econômicos.

As geadas são classificadas em brancas e negras. As brancas estão associadas ao depósito de gelo cristalino no solo, nas plantas, ou em outra superfície exposta. Seu processo de formação se dá quando ocorre o congelamento do orvalho (passagem do estado líquido para o sólido) quando a temperatura da relva cai a zero grau Celsius. No entanto quando o ar está muito seco e a temperatura do seu ponto de orvalho está abaixo de 0°C, pode ocorrer geada sem que haja a formação de cristais de gelo sobre a superfície (TUBELIS; NASCIMENTO, 1983). Nessas condições é que ocorre a chamada geada negra, que se torna mais prejudicial para as plantas do que a geada branca, pois a temperatura da superfície fica menor que 0°C, congelando e queimando os tecidos das plantas (AGUIAR; MENDONÇA, 2004, SPINELLI; ALVES, 2014).

As geadas podem ser derivadas por dois processos, advectivos e radiativos. As geadas advectivas são provocadas pelo avanço da massa de ar polar, muitas vezes associada ao deslocamento de uma frente fria. Já as geadas de irradiação ocorrem quando as condições meteorológicas proporcionam perda de calor do solo durante a noite, atingindo valores negativos. Essas condições ocorrem geralmente em situações de vento calmo e ausência ou pouca nebulosidade (SELUCHI, 2009).

As geadas afetam diretamente e de maneira negativa, o setor agrícola, que representa uma importante parcela da economia catarinense. Os danos as mais variadas culturas, dependem da

intensidade da geada da duração e da época de ocorrência em função do estágio fenológico dos cultivos. Quanto mais intenso e prolongado o fenômeno, maior o dano à produção agrícola. O impacto social e econômico torna-se maior, se os danos à produção repercutirem no preço dos alimentos (AGUIAR; MENDONÇA, 2004).

3.3. ANTICICLONE

Os anticiclones também conhecidos por altas pressões são definidos como os centros de ação de massas de ar, que abrangem milhares de quilômetros quadrados e têm como característica principal a uniformidade de temperatura, umidade e pressão atmosférica. Pelo menos nas camadas próximas à superfície os anticiclones também são caracterizados pela subsidência do ar, que acaba tornando difícil a formação de nuvens e de precipitação (MONTEIRO, 2007).

Para Monteiro; Furtado (1995), à compreensão da dinâmica atmosférica a nível local, torna-se necessária à observação dos Anticiclones polares, centros de ação das massas polares e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), centro de ação da Massa Tropical Atlântica (mTa) (figura 2). Os centros de ação positivos, sobre o oceano Pacífico e Atlântico são denominados como anticiclones permanentes e semifixos oceânicos. São dinâmicos e tem atuação durante todo o ano, estando presentes no cinturão das altas pressões subtropicais do Hemisfério Sul (CARDOSO, 2011).

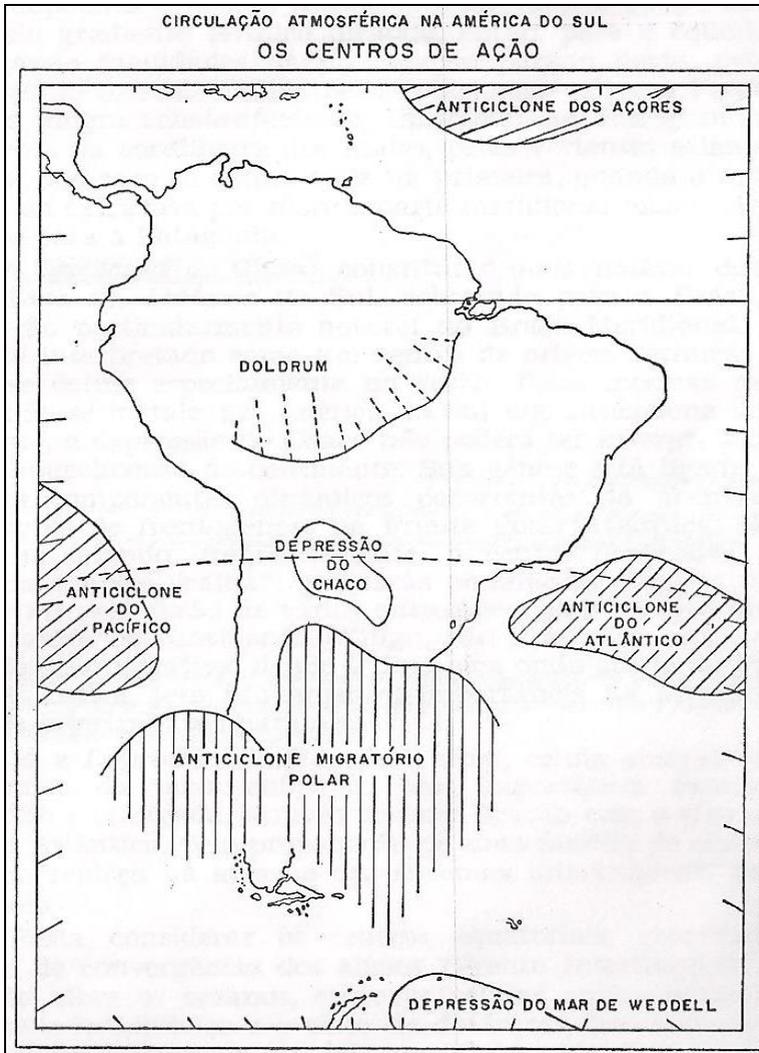


Figura 2 - Esboço esquemático representando os centros de ação da América do Sul. Fonte: Monteiro (1962).

3.3.1. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

O Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um sistema atmosférico que possui seu centro de ação nas proximidades do

Trópico de Capricórnio, sobre o oceano Atlântico. No entorno de seu centro o ar fica muito estável, devido à subsidência do ar. A maior estabilidade deste anticiclone no inverno chega muitas vezes a impedir a entrada de frentes frias no Sul do Brasil (BASTOS; FERREIRA, 2000).

O ASAS, origem do centro de ação da mTa, se caracteriza por altas temperaturas e elevada umidade específica sobre o oceano, devido à intensa radiação solar (NIMER, 1979). Entretanto, mesmo com essas características, o sistema não gera precipitação pluvial significativa, pois a umidade e nebulosidade associadas a ele se restringem a uma faixa estreita da atmosfera, próxima a superfície marinha (MOREIRA, 2002).

Vianello e Maia (1986) ponderam que o -ASAS- é determinante na definição de grande parte das condições de tempo no continente sul americano. O deslocamento longitudinal (zonal) do Anticiclone Subtropical ao longo do ano, afeta amplamente o clima da América do Sul (MOLION et al., 2004).

Durante o verão, o aquecimento do continente e a alta disponibilidade de umidade, provocam condições de instabilidade na atmosfera. O ar aquecido por ser menos denso, ascende, transportando umidade em altitude, o que favorece a formação de nuvens espessas, e consideráveis volumes de chuva. Nessas condições atmosféricas, o ASAS encontra-se reduzido ao Oceano Atlântico, o que acarreta na inibição da atividade convectiva, por consequência, redução da precipitação e aumento das temperaturas (NIMER, 1979).

Já no período invernal, o ASAS se estabelece persistente sobre o interior da América do Sul, provocando forte subsidência atmosférica e diminuição da umidade. A atuação do ASAS no continente ocorre pela sua região alongada de alta pressão (crista), devido a sua subsidência, é responsável por dias de céu limpo, ausência de chuvas e agravamento da poluição atmosférica (VIANELLO; MAIA, 1986).

3.3.2. Anticiclones Polares Migratórios

Os Anticiclones Polares Migratórios (APM) são sistemas transientes que periodicamente invadem o continente sul-americano com ventos de oeste a sudoeste. É originado em latitudes subpolares, que ao invadir o continente sul-americano modifica as condições de tempo no Brasil (CARDOSO, 2011). Sua atuação é mais intensa e frequente entre o outono e o inverno, apesar de ocorrerem em qualquer época do ano (NIMER, 1979). Constituem a Massa Polar Marítima ou Continental proveniente das latitudes altas, com características de ar frio, denso e

seco em sua origem. No decorrer de seu curso, rumo aos trópicos, os APM têm suas características iniciais alteradas e tornam-se menos frios e secos (NIMER, 1979).

Quanto à trajetória do anticlone polar na Região Sul do Brasil, Monteiro (2007) descreve:

Quando a trajetória é mais continental, o anticlone cruza os Andes ou se organiza entre as latitudes de 25° e 35°S, determinando ar seco no Sul do Brasil. A ausência de vapor d'água na atmosfera inibe a formação de nuvens e favorece a ocorrência de grande amplitude térmica o que resulta em temperaturas muito baixas na madrugada, com formação de geadas nas áreas mais altas, e em elevação no decorrer da manhã até aproximadamente às 14 horas quando ocorre a máxima do dia. Esse tipo de tempo dura em torno de 72 a 96 horas, quando então, o ASAS passa a influenciar as condições de tempo [...] Quando a trajetória do anticlone polar é marítima, ou seja, quando se desloca sobre o Atlântico a leste do Uruguai e do Rio Grande do Sul provoca aumento de nuvens e favorece quase sempre a ocorrência de chuva isolada em toda a zona costeira da Região Sul devido à circulação marítima. Com ventos de sudeste a leste, o tempo fica mais instável com presença de muitas nuvens e chuvas mais frequentes no leste do Rio Grande do Sul e zona costeira do sul catarinense, especialmente entre Porto Alegre e Laguna. (MONTEIRO, 2007, p.50-51).

Para Monteiro (2007) circulação marítima ou oceânica são ventos úmidos que chegam à zona costeira oriundos dos anticlones polares, quando suas trajetórias são marítimas, ou seja, quando se deslocam sobre o Atlântico a leste do Uruguai e Sul do Brasil em direção ao sudeste.

Maia (1986) ressalta que durante o inverno, os APM possuem mais energia e maior dimensão. Já no verão, tem pequena penetração no

continente, são menos baroclínicos e tem pouca influência nas temperaturas.

3.4. MASSAS DE AR

A circulação geral da atmosfera torna-se possível graças aos gradientes térmicos, higrométricos e barométricos entre as diversas porções de ar que constituem a atmosfera terrestre. As porções de ar ou massas de ar apresentam grande extensão vertical e horizontal, e possuem características termodinâmicas homogêneas, temperatura e umidade. É resultante das variações da intensidade do aquecimento que ocorre próximo a superfície, e da disponibilidade de água.

As massas de ar têm na latitude o principal fator para definição de suas características (NIMER, 1979). Em regiões tropicais, devido à maior incidência da radiação solar, as massas são quentes. Nas latitudes polares são frias. O deslocamento das massas de sua região de origem pode influenciar as condições termohigrométricas de outras áreas, ou serem influenciadas por elas.

As atuações dos centros de ação positivos (anticiclones) e negativos (depressões ou ciclones) na América do Sul são as principais fontes das massas de ar (CARDOSO, 2011). A classificação de uma massa de ar é baseada nas diferenças de temperatura e umidade.

Para Monteiro (1968) a Região Sul do Brasil tem atuação das quatro principais massas de ar da vertente atlântica da América do Sul (figura 3): Massa de ar Tropical Atlântica (mTa); Massa de ar Polar Atlântica (mPa); Massa de ar Tropical Continental (mTc) e a Massa de ar Equatorial Continental (mEc) guiadas pelos sistemas de circulação e orientadas pelo relevo, produzindo quatro grandes correntes de perturbação ou de discontinuidades que atravessam a região.

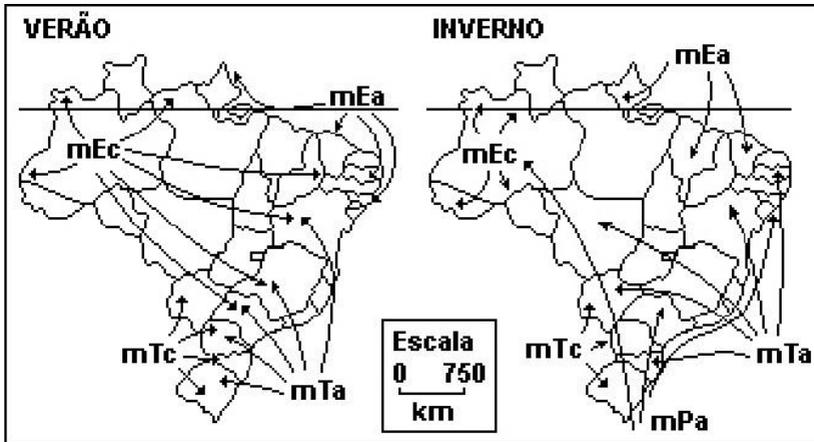


Figura 3 - Atuação das massas de ar no Brasil (inverno e verão).

Fonte: Tubelis; Nascimento (1992).

3.4.1. Massa de Ar Tropical Atlântica

A mTa tem como centro de ação o ASAS. Com origem na região marítima quente do Atlântico Sul, próxima ao Trópico de Capricórnio, tem características termodinâmicas de temperaturas elevadas e alta umidade. Esta umidade fica mais retida nas camadas mais baixas devido à subsidência superior. Apresenta no seu centro maior estabilidade, devido à forte subsidência; já a sua periferia, principalmente no lado leste da Região Sul, a subsidência se eleva acima de 1500 metros (NIMER, 1979).

Na região Sul do Brasil, tem-se atuação da mTa durante todo o ano, com ventos de NE e E; seus efeitos variam conforme a época do ano. No verão, torna-se mais instável por baixo, por consequência do contato da massa com o continente. Durante o período invernal ela apresenta características de estabilidade no tempo, devido à subsidência de ar superior (CARDOSO, 2011).

Monteiro (1968), ao descrever a dinâmica das massas de ar, comenta que:

A Massa Tropical Atlântica, pela ação persistente do anticiclone oceânico, tem ação muito relevante no decorrer de todo o ano. [...] Seus efeitos sobre a região variam segundo a época do ano se bem que, de modo geral, a subsidência superior do centro de ação favoreça a estabilidade do tempo.

No verão, a massa torna-se inferiormente instável pelo aquecimento basal que sofre ao contato com o continente e que é agravado, de início, pelo efeito orográfico do sistema atlântico. Durante o inverno, o resfriamento basal aumenta a estabilidade superior contribuindo mais para a ocorrência de bom tempo (p.122).

As condições de tempo durante a atuação da mTa são de dias agradáveis, pouca nebulosidade, ventos fracos, umidade relativa do ar máxima no período da manhã em torno de 95 %, mínima próxima de 70% à tarde. Em relação à temperatura, não ocorrem grandes variações diárias, as temperaturas máximas chegam a 30°C e as mínimas, 22°C. Por vezes, por causa do aquecimento, pode formar nebulosidade cumuliforme sobre as encostas, com pancadas isoladas de chuva (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

3.4.2. Massa de Ar Polar Atlântica

Durante o início do outono as massas continentais são empurradas para regiões de menores latitudes, devido ao início das primeiras incursões polares, que tem deslocamento neste período mais continental. Estas incursões são de fraca intensidade por causa do aquecimento que ainda permanece nas latitudes, inferiores a 35°S, no entanto já resultam em um começo de queda das temperaturas, em meados de abril (MONTEIRO; FURTADO, 1995). Mais é durante o inverno, quando se tem uma regularidade frontal deslocando-se de SW para NE, quando a mPa penetra com maior intensidade na região Sul do Brasil.

A mPa tem como centro de ação o APM, tendo sua fonte de energia sobre o oceano Atlântico, na região da Patagônia. Esta massa de ar tem características de ar frio e úmido, com participação durante todo o ano no Sul do Brasil, nas demais regiões a participação é mais expressiva no inverno (MONTEIRO, 2007; CARDOSO, 2011).

Quanto á trajetória e/ou deslocamento a mPa possui dois ramos, um mais continental e outro marítimo. Em seu ramo continental (figura 4), o ar frio e seco da mPa é conduzido ao Brasil por uma calha natural – a Planície do Chaco. Nesse percurso, sua influência sobre a temperatura

e a umidade é ocasionalmente sentida até próximo à linha do equador, como exemplificado pelo conhecido fenômeno da friagem na Amazônia meridional (MOLION, 1987). Segundo Monteiro (2007), durante o inverno, o ramo continental da mPa é responsável pela redução da umidade relativa do ar no centro-sul do Brasil, além de acentuadas quedas de temperatura durante as madrugadas e formação de geadas nas áreas mais elevadas do Sul e Sudeste do país.

Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa)
04072011 - 06z

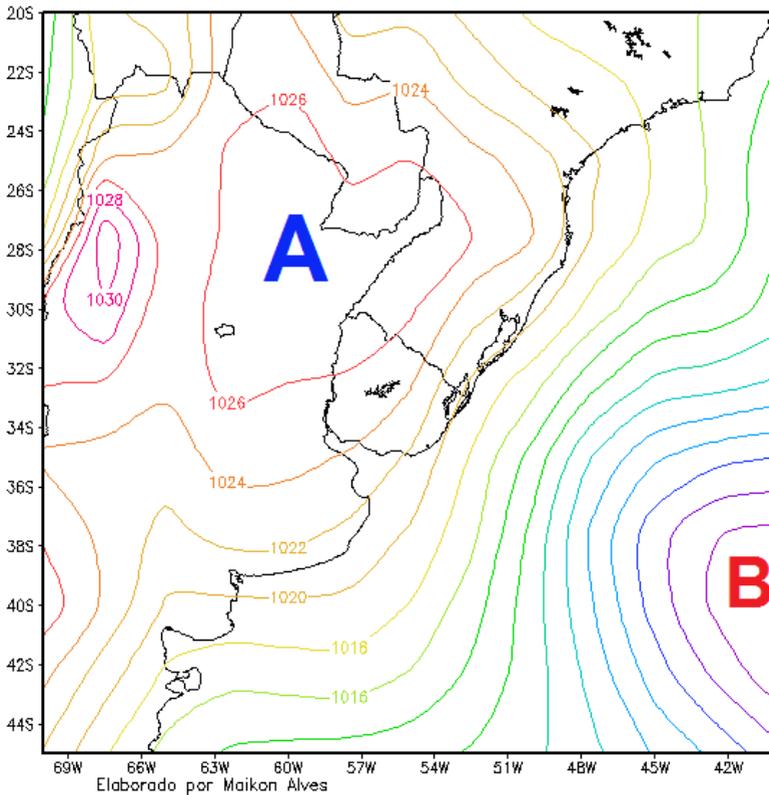


Figura 4 - Campo de pressão ao nível médio do mar para o dia 04 de julho de 2011 às 06 UTC.

De acordo com Souza (2002) a ocorrência de neve é mais frequente sob domínio do anticiclone polar com trajetória mais

continentalizada; em Santa Catarina ocorre principalmente em julho e agosto, apresentando um maior número de dias no Planalto Sul.

Quando desenvolve seu ramo marítimo pelo Oceano Atlântico (figura 5), a mPa adquire umidade e, devido à maior incidência de radiação tropical e subtropical, absorve calor (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992). Nessa trajetória, o sistema é capaz de provocar ligeira queda de temperatura e aumento de nebulosidade estratiforme no litoral e parte do interior das regiões Sul e Sudeste do país. Em alguns casos, o transporte de umidade do oceano para o continente é tão intenso que gera precipitações fracas e contínuas. Tais efeitos, decorrentes da infiltração marítima, estão relacionados à circulação anticiclônica de sudeste (VIANELLO; MAIA, 1986). Ainda nessa trajetória, não são raros episódios em que a tropicalização do sistema polar o modifica de tal forma a permitir sua incorporação ao ASAS, fortalecendo este último (MONTEIRO, 2007).

Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa)
04082010 - 12z

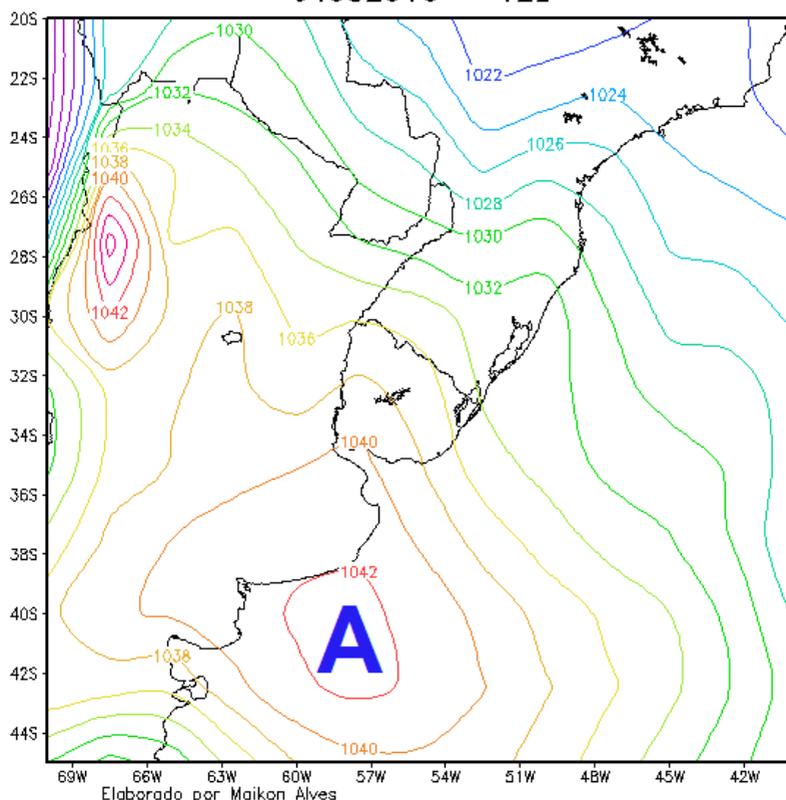


Figura 5 - Campo de pressão ao nível médio do mar para o dia 04 de agosto de 2010 as 12 UTC.

3.4.3. Massa de Ar Tropical Continental

A mTc é uma massa de ar quente e seca que atua principalmente no Centro-Oeste do Brasil, responsável pelos baixos totais de precipitação e de umidade do ar daquela região de outono ao início da primavera. No Sul do Brasil é de ocorrência bem menos notável e mais restrita ao verão (MONTEIRO, 1968).

Esta massa, diferentemente da mTa e das polares, não possui anticiclone à superfície; ao contrário, por vezes, ocorre convergência e surge uma baixa pressão, especialmente quando ocorre frontogênese

(formação de frente) sobre o Paraguai (MONTEIRO, 2007). Esta baixa pressão denominada de Baixa do Chaco (estreita zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do Tropic) é que origina a mTc (NIMER, 1979).

Esta massa apresenta convergência à superfície e logo nos primeiros níveis de altitude, surge circulação anticiclônica. A baixa umidade desta massa dificulta a formação de nebulosidade, e por consequência a ocorrência de precipitação, e quando há alguma condição de chuva, esta dificilmente atinge o solo, em decorrência do calor que a evapora a alguns metros da base da nuvem (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

As condições de tempo características da atuação da mTc, segundo Monteiro; Furtado (1995) é de tempo desagradável, em virtude do forte calor que se mantém mesmo durante a noite. Com os ventos de pouca intensidade, a sensação é de “efeito estufa”, mesmo sendo uma massa seca.

Durante a atuação da mTc, o ar continuará seco e a persistência dessa estabilidade resulta em episódios de estiagem, principalmente no interior da Região Sul (MONTEIRO; MENDONÇA, 2014). A maior frequência da mTc na Região Sul, principalmente em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul ocorre nos meses de janeiro e fevereiro (MONTEIRO, 2007).

3.4.4. Massa de Ar Equatorial Continental

A mEc tem origem na planície Amazônica, com características de ar quente e com alta umidade (MONTEIRO; FURTADO, 1995; CARDOSO, 2011). Sua atuação acontece principalmente no verão, quando se desloca do norte amazônico, principalmente sobre o Estado de Roraima, atinge a região Centro-Oeste, o Sudeste e o Sul do Brasil (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

Durante a atuação da mEc, os dias ficam típicos de clima amazônico, quente e úmido. Ocorre a formação de forte nebulosidade que se desloca de noroeste para sudeste, acompanhadas de trovoadas e rajadas de vento. Esse tipo de tempo tem normalmente entre 14 e 17 horas, duração passageira, contribuindo de forma significativa nos acumulados de chuva registrados no verão no litoral catarinense (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

3.5. VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA NA AMÉRICA DO SUL

O clima de uma determinada região, por ser algo extremamente complexo, exhibe nas séries temporais das normais climatológicas alguns desvios em relação às médias relacionados à variabilidade climática. Angelocci e Sentelhas (2007) definem a variabilidade climática como a variação das condições climáticas em torno da média climatológica. A Variabilidade de Baixa Frequência (VBF) é normalmente utilizada para descrever a variabilidade irregular em escalas maiores que dos transientes. Ela é de extrema importância na elaboração da previsão do tempo e clima, pois modula eventos de escala menores com os eventos sinóticos e de mesoescala. A VBF está na escala planetária que pode ser dividida em: Intrazonal (10-100 dias); Interanual (1-10 anos) e Interdecadal, mais de 10 anos, (DA SILVA, 2010).

Os fenômenos relacionados à VBF são apresentados através de padrões de Teleconexão, e em geral encontrados através de técnicas estatísticas como correlações e Funções Ortogonais Empíricas (DA SILVA, 2010).

Nesta seção serão abordados os conceitos de alguns dos índices de VBF que são importantes para a América do Sul em escala interanual (ENOS) e (AAO) e escala interdecadal (ODP).

3.5.1. El Niño Oscilação Sul – ENOS - (La Niña e El Niño)

Para Grimm et al. (1998) o ENOS preliminarmente pode ser considerado a principal fonte de variabilidade climática interanual global.

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de larga-escala que ocorre no Oceano Pacífico tropical, o qual se refere a uma combinação de dois mecanismos que demonstram a interação existente entre oceano e a atmosfera (BERLATO; FONTANA, 2003; FIRPO, 2008). O El Niño representa o componente oceânico, que ocorre quando há um aquecimento das águas superficiais nas porções centrais e leste do Oceano Pacífico. Já a Oscilação Sul representa a componente atmosférica e o índice de Oscilação Sul (IOS) é utilizado no monitoramento deste componente, sendo a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Oceano

Pacífico: Taiti na Polinésia Francesa (17,5°S; 149,6°W), e Darwin, no norte da Austrália (14,4°S; 130,9°E) (BERLATO; FONTANA, 2003).

O ENOS é caracterizado por alterações ou anomalias da temperatura de superfície do mar (TSM) na região do Pacífico Equatorial, nas proximidades da Costa Oeste da América do Sul e que afeta o tempo e o clima em diversos locais do mundo (GRIMM et al., 1998). Apresenta duas fases, a fase quente ou positiva chamada de El Niño e a fase fria ou negativa chamada de La Niña (GRIMM et al., 1998, MOLION, 2007).

A região Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W) sobre o Pacífico Equatorial (figura 6) é considerada aquela em que as anomalias de TSM mais possuem impactos sobre o regime de circulação atmosférica da América do Sul (DA SILVA, 2010).

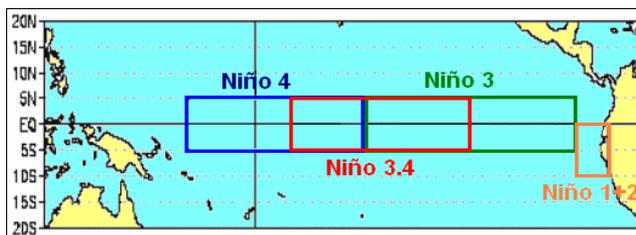


Figura 6 - Regiões dos Niños. Fonte: CPTEC/INPE (2014).

Para analisar os possíveis impactos das alterações dos padrões climatológicos da TSM do Pacífico na atmosfera, também é preciso verificar como se encontra a atmosfera em superfície. Com isso foi desenvolvido um índice chamado de Índice de Oscilação Sul (IOS), o qual representa a diferença da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM) entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália), (DA SILVA, 2010). Na neutralidade ou fase neutra, o Pacífico Equatorial apresenta anomalias de TSM de até 0,5°C no centro-oeste e em torno de -0,5°C ao leste, o IOS fica próximo de zero. Na fase quente (El Niño) o IOS assume valores negativos e maiores que $|0,5|$, com as anomalias positivas de TSM posicionadas sobre o centro-leste do Pacífico Equatorial com valores superiores a 0,5°C e ao oeste predominam valores negativos. Já na fase fria (La Niña) o IOS apresenta valores positivos e maiores a 0,5°C, com as anomalias de TSM negativas sobre o centro-leste com valores inferiores a -0,5°C e ao oeste

do Pacífico Equatorial predominam anomalias positivas de TSM (DA SILVA, 2010).

O El Niño é o aquecimento ocasional das águas superficiais (TSM) no Oceano Pacífico central e oriental. Está associado ao enfraquecimento dos ventos alísios. O aquecimento das águas superficiais sobre o centro-leste do Pacífico Equatorial provocam mudanças na circulação da atmosfera nos baixos e altos níveis, e consequentes mudanças nos padrões de transporte de umidade, contribuindo para variações nas distribuições das chuvas nas regiões tropicais e de latitudes médias e altas (SALINI, 2011).

No El Niño caracteriza-se um aumento nas diferenças de temperatura do ar entre os polos (Sul e Norte) e o equador, que acaba contribuindo na intensificação das Correntes de Jato, que favorecem que as frentes frias fiquem estacionadas sobre a região Sul do Brasil (DA SILVA, 2010).

Já a La Niña, ao contrário, é caracterizada pela diminuição da temperatura do ar ocasionada pelo aumento da força dos ventos alísios (GRIMM et al., 1998). O resfriamento das águas superficiais sobre o centro-leste do Pacífico Equatorial provoca mudanças na circulação da atmosfera e no transporte de umidade, que contribuem para variações nas distribuições das chuvas nas regiões tropicais e de latitudes médias e altas, com efeitos opostos ao do EN (SALINI, 2011; DA SILVA, 2010).

Os eventos de El Niño e La Niña têm uma tendência a se alternar cada 3-7 anos. Porém, de um evento ao seguinte o intervalo pode mudar de 1 a 10 anos; os episódios de La Niña têm duração de aproximadamente 09 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 02 anos, como o El Niño (CPTEC/INPE, 2014).

Na ocorrência de La Niña, as diferenças de temperaturas entre o equador e os Polos ficam menores, o que acaba enfraquecendo as Correntes de Jato, o que contribui para que as frentes frias passem mais rápido pela região Sul do Brasil, por vezes atingindo latitudes tropicais (DA SILVA, 2010).

Durante os eventos ENOS ocorrem mudanças na circulação atmosférica, que geram condições anômalas que afetam as condições climáticas em diversas regiões do mundo, sendo de esperar que estes eventos afetem também as temperaturas a superfície (FIRPO, 2008).

Pittock (1980) encontrou correlação negativa significativa entre a temperatura anual da superfície e o índice de Oscilação Sul sobre a parte central do Chile e sua costa sul. Rusticucci e Vargas (2001) ao analisarem o possível efeito do EN na ocorrência das ondas extremas

sobre a Argentina apontaram que as ondas de calor no inverno são mais persistentes no ano de ocorrência de EN e mais intensas no inverno seguinte. Nas ondas de frio que alcançam o norte da Argentina, estas são mais persistentes em meses de LN, com o risco das massas de ar frio alcançar latitudes menores nesta fase do ENOS.

Segundo Grimm et al.(1998) as fases extremas (El Niño e La Niña) do ENOS provocam significativas alterações nos totais de precipitação mensais e sazonais no Sul do Brasil. O El Niño traz precipitações mais abundantes, principalmente na primavera. E a La Niña diverge dos efeitos causados pelo El Niño. Ela ocasiona períodos mais secos, prolongados, com destaque para a primavera. Além de produzirem alterações na precipitação, o ENOS, produz perturbações também no campo de temperatura na superfície (GRIMM, TOGATLIAN, 2002; CPTEC/INPE, 2014). As maiores e mais consistentes perturbações sazonais na temperatura na superfície durante a atuação de eventos de EN e LN, ocorrem principalmente durante o inverno (junho, julho e agosto), com temperaturas acima do normal em quase todo o Cone Sul durante eventos de EN e abaixo do normal durante a ocorrência da LN (GRIMM, TOGATLIAN, 2002).

De acordo com Bidegain; Remon (2002) o ENOS influencia claramente as localidades uruguaias mais quentes continentais. Constataram ainda, que em períodos de LN as temperaturas mínimas são menores que as normais e as máximas maiores que o esperado, ou seja, uma amplitude térmica maior, que quando na atuação do EN (fase quente) a amplitude térmica diária foi menor.

Grimm e Togatlian (2002) ao analisarem a relação entre os eventos EN e LN e os extremos de frio e calor no Cone Sul da América do Sul, concluíram que o aumento da frequência de eventos severos frios durante LN é maior do que a diminuição de eventos severos quentes; assim como o aumento da frequência de eventos severos quentes durante o EN é maior que a diminuição de eventos severos frios; percebe-se assim que estes eventos contribuem para aumentar a variabilidade da temperatura diária.

Em relação aos impactos do fenômeno ENOS sobre a temperatura no Brasil, Guimarães e Dos Reis (2012) comentam que os eventos de EN contribuíram para o aumento das temperaturas máximas e mínimas, enquanto na atuação da LN o inverso ocorre, exceto para a região Amazônica. Estes impactos, ainda segundo os autores, se fazem mais presentes nos meses de inverno e primavera.

Firpo et al. (2012) concluíram pela influência defasada dos eventos de EN sobre a ocorrência de temperatura acima da média e dos eventos de LN sobre temperaturas abaixo da média no Rio Grande do Sul.

Aguiar e Mendonça (2004) ao fazerem um estudo da climatologia das geadas em Santa Catarina, perceberam que o período de maior frequência da ocorrência de geadas compreendeu-se de maio a setembro, e que se verificou que no estado catarinense em anos de LN houve maior frequência de geadas do que em anos normais ou EN.

3.5.2. Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

De acordo com Francis e Lebre (1994) apud Rebello (2006) os primeiros estudos sobre as variações interdecadais foi relacionada à produção de salmão no Alasca com alternância nos regimes de produção baixa (1949 e início do ano 1950) e alta (metade dos anos 70). Estudos mais recentes caracterizaram as fases quente e fria no Oceano Pacífico Norte como “Oscilação Decadal do Pacífico” (REBELLO, 2006).

Mantua et al. (1997) evidenciaram a existência de uma variabilidade de longo prazo na configuração das TSM do Oceano Pacífico, parecido ao ENOS, a qual se denominou Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP ou Pacific Decadal Oscillation – PDO) trata-se de uma mudança nos padrões de temperatura do Oceano Pacífico do Norte (que também se reconhece no Pacífico Sul) (Uribe, 2007) que ocorre em períodos de 20 a 30 anos (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

A denominação Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) foi dado pelo biólogo Steve Hare da Universidade de Washington em 1996, junto com outros pesquisadores como, Nathan Mantua, Yuan Zhang, Robert Francis e Mike Wallace, que descobriram esse padrão decadal de trabalhos feitos sobre a variação da população dos peixes no Pacífico norte (MANTUA et al., 1997).

Assim como o ENOS, a ODP apresenta duas fases, fria e quente (figura 7). A fase negativa ou fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e ao longo da costa oeste das Américas e nos extratropicais anomalias positivas. Já a fase positiva ou quente apresenta a configuração oposta, ou seja, com anomalias positivas no Pacífico Tropical e negativas fora dos trópicos (MOLION, 2007; MANTUA et al., 1997).

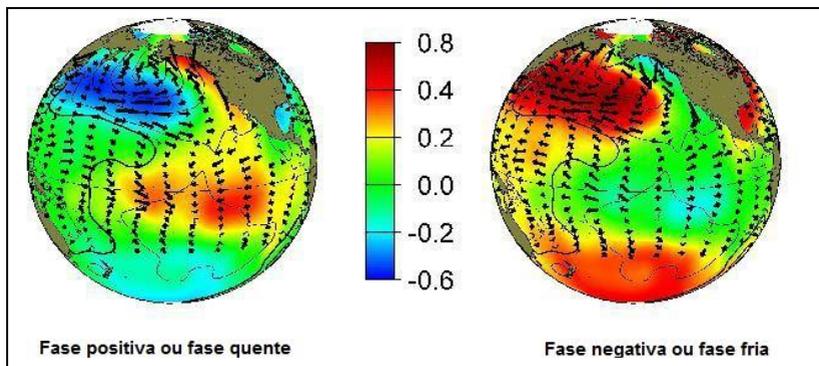


Figura 7 - Fases da Oscilação Decadal do Pacífico.

Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo/>

A ocorrência e a duração das fases da PDO (figura 8) mostra que foram identificadas quatro fases (Quentes e Frias) da ODP; a fase que vai de 1900-1924 não está bem definida, mas as outras fases 1925-1946, 1947-1976, 1977-1997 estão bem definidas, e atualmente (1998 -?) está se definindo como águas mais quente no Pacífico Norte e índices de ODP negativo (REBELLO, 2006).

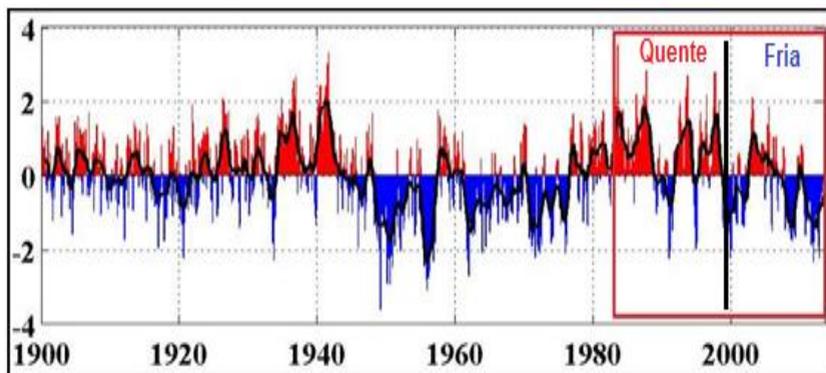


Figura 8 - Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico. Destaque para período analisado nesta pesquisa. Fonte: JISAO, 2015.

A última fase quente começou em 1977 e há um consenso que tenha terminado em 1998, e desde então, a ODP está em uma nova fase

fria, que deve durar pelos próximos 20 anos (MOLION, 2007). Portanto teríamos aproximadamente mais 12 anos de fase fria da ODP.

O índice de ODP se correlaciona com muitos registros climáticos do Pacífico Norte e do Noroeste, incluindo a pressão ao nível do mar, temperatura e precipitações. Também há correlações entre a ODP e o ENOS, que cria um efeito que atua como construtivo quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase, e destrutivo quando eles estão em fases opostas (KAYANO; ANDREOLI, 2007). Isto pode significar que em anos de La Niña e fase fria de ODP, o padrão de anomalia negativa da temperatura seja mais evidente do que quando ocorre El Niño e fase fria da ODP ou ainda La Niña e a fase quente da ODP (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Durante a ocorrência da fase positiva ou quente da ODP, há a tendência de maior número de episódios de EN e mais intensos, e menor número de LN e menos intensas. Já durante a fase negativa ou fria da ODP, há maior ocorrência de episódios de LN, que tendem a ser mais intensos, e menor frequência de EN, os quais se tornam menos intensos e curtos (KAYANO; ANDREOLI, 2007).

A ODP é responsável pela variabilidade interdecadal de alguns elementos meteorológicos em diferentes regiões da terra (MANTUA; HARE, 2002; SCHNEIDEIR; CORNUELLE, 2005; GARCIA; KAYANO, 2008). Na Califórnia, EUA, no período de 1950-2000, em 83% das estações meteorológicas houve uma correlação significativa entre a temperatura mínima média do ar e a ODP (LADOCHY et al., 2007). Paiva et al. (2009) constataram que as temperaturas do ar, dos períodos 1940-1969 e 1970-2004, no México, variaram mais com as fases da ODP que do ENOS.

Spinelli (2012) ao investigar a variabilidade pluviométrica na Bacia Rio do Peixe em Santa Catarina, pode concluir que a variabilidade anual e sazonal da precipitação teve maior relação com as fases da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Os fenômenos de El Niño e La Niña influenciaram de forma significativa na ocorrência de anos poucos chuvosos e chuvosos, já nos extremos, anuais, muito pouco chuvosos e muito chuvosos, houve menor relação.

Molion (2005) observou uma maior frequência e intensidade de eventos de LN (EN) entre 1947 -1976 (1977-1998), fase fria (fase quente) da ODP, assim como uma redução (aumento) nas temperaturas média globais.

Em estudo sobre a variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Streck et al. (2011) dentre outros resultados, encontraram que durante a fase fria da ODP, de 1947-1976, houve decréscimo nas temperaturas mínimas e máximas. Nas duas fases quentes, 1925-1946 e de 1977-1998, houve um aumento na temperatura mínima no primeiro período e na temperatura máxima no segundo período.

O trabalho de Spinelli e Alves (2014) apresentou relação entre a fase fria da ODP com ocorrência de geadas extremas em Santa Catarina. Os mesmos afirmam ainda, que o maior registro de geada ocorreu em 1999 e 2000, durante o fenômeno de La Niña e fase fria da ODP.

Alves et al.(2014) ao investigarem as ocorrências de ondas de frio inverniais no município de São Joaquim, Santa Catarina, tiveram entre outros resultados, que há correlação entre a ocorrência de ondas de frio e a fase fria da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). O mesmo não pode ser dito em relação ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

3.5.3. Oscilação Antártida (AAO)

No Hemisfério Sul o padrão dominante de variabilidade climática é o Southern Annular Mode (SAM) ou Modo Anular do Hemisfério Sul (HS), também conhecido como Antarctic Oscillation (AAO) Oscilação Antártica (CARVALHO et al., 2005).

A AAO foi originalmente identificada por Walker (1928), como variações de pressão num cinturão que atravessa o Chile e Argentina, em oposição ao cinturão que cruza a região dos mares de Weddell e Bellingshausen (BOIASKI, 2007). Estudos subsequentes determinaram que a AAO é uma flutuação zonal de pressão e altura geopotencial entre as latitudes médias e altas no HS (GONG; WANG, 1999; THOMPSON; WALLACE, 2000; CARVALHO et al., 2005). Assim, a Oscilação Antártica foi identificada como um dos modos de variabilidade nas médias e altas latitudes do HS (GONG; WANG,

1998). Estes autores definiram AAO como uma oscilação ao nível do mar entre os cinturões de pressão das latitudes médias e altas do HS e uma alternância de grande escala de massa atmosférica entre estes cinturões de pressão.

Gong e Wang (1999) descobriram que a Antártica e adjacências representam um centro de mesmo sinal enquanto as latitudes 40-50°S são cobertas por um centro de sinal oposto, e que esta “gangorra” de pressão ao nível do mar entre os diferentes cinturões de pressão é estável e significativa. Quando a pressão ao nível do mar em torno de 40°S está alta, nas latitudes de 60-70°S ela se torna baixa e vice versa. Estes autores definiram um índice objetivo para a AAO na tentativa de compreender a estrutura espacial do campo de pressão ao nível do mar e a variabilidade da Oscilação Antártica e sua possível conexão com anomalias climáticas do HS. Os referidos autores denominaram o Índice de Oscilação Antártica (Antarctic Oscillation Index-AOI), a diferença de pressão ao nível do mar média zonal normalizada entre as latitudes de 40° e 65°S. Assim, a definição numérica do Índice dada por Gong e Wang (1999) é a seguinte:

$$AOI = P_{40^{\circ}S} - P_{65^{\circ}S}$$

Onde $P_{40^{\circ}S}$ e $P_{65^{\circ}S}$ representam a pressão ao nível do mar média zonal normalizada em 40°S e 65°S, respectivamente. Os valores positivos (negativos) do índice estão associados com anomalias negativas (positivas) de pressão ao nível do mar nas altas latitudes e anomalias positivas (negativas) de pressão ao nível do mar nas latitudes médias (GONG; WANG, 1999; THOMPSON; WALLACE, 2000; LEFEBVRE et al., 2004).

Thompson e Wallace (2000) identificaram o que eles chamaram de “Modo Anular” em dados mensais de anomalias de altura geopotencial em ambos os hemisférios. Estes modos de variabilidade são caracterizados pelas simetrias zonalmente profundas ou estruturas em forma de anel, indicando trocas de massa entre as latitudes médias e altas. O Climate Prediction Center (CPC) no NCEP calcula o índice de AAO projetando a média mensal da altura de 700 hPa sobre o primeiro modo da Função Ortogonal Empírica, aplicado a média mensal das anomalias da altura de 700hPa ao sul da latitude 20°S.

Na fase positiva (figura 9) predominam anomalias negativas de geopotencial (cores azuladas) na região da Antártica e positiva ao redor da região de latitudes médias (cores avermelhadas). Sendo assim,

climatologicamente a atividade dos transientes, como os ciclones extratropicais e frentes frias, que são observados em latitudes médias, ficam deslocadas para as regiões próximas à Antártica. Já em latitudes médias o predomínio do cinturão de altas pressões modifica a trajetória e intensidade de sistemas transientes. Na fase negativa, ocorre justamente o contrário da fase positiva, ou seja, uma maior frequência de ciclones extratropicais e frentes frias são esperadas na região de latitudes médias.

Leading EOF (27%) shown as regression map of 700mb height (m)

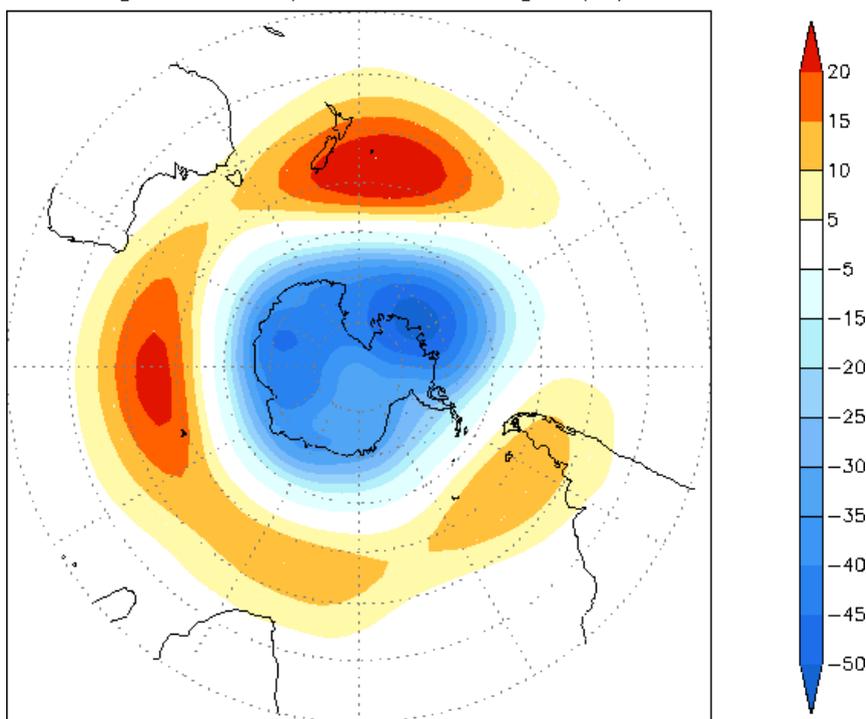


Figura 9 - Modo Anular Sul.

Fonte: <http://www.cpc.noaa.gov/>

A Oscilação Antártica (AAO) é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica extratropical do HS (THOMPSON; WALLACE, 2000). Ela é responsável por aproximadamente 35% do

total da variabilidade climática no HS, atuando em escalas temporais que variam de intrasazonal e interanual. Por definição a AAO é uma estrutura anular com anomalias de pressão zonalmente simétricas e com sinais opostos em altas e médias latitudes. A fase positiva da AAO está associada com anomalias negativas na temperatura e altura geopotencial sobre o continente Antártico e anomalias positivas nas latitudes médias. Nesta fase observa-se o aumento de temperatura na Península Antártica e Shetland do Sul, intensificação dos ciclones sobre o Oceano Austral e dos ventos de leste em torno de 60°S. Já a fase negativa, ou baixos índices de polaridade são marcados por anomalias no sentido oposto (THOMPSON; WALLACE, 2000, THOMPSON; SOLOMON, 2002, MARSHAL, 2007, JUSTINO; PELTIER, 2008, LINDEMANN, 2012).

Santos e Franco (2010) indicam que na fase positiva há configuração de bloqueios com início nos setores central e leste do Oceano Pacífico Sul e persiste sobre a costa leste da América do Sul e Oceano Atlântico Sul. O Pacífico Sul ativa um padrão de circulação que conduz a um sistema de bloqueios sobre o setor oceano leste e sul aumentando os períodos de estiagem na fase positiva da AAO. Sobre a costa leste da América do Sul, a fase positiva contribui para um clima mais úmido que o normal no norte da Argentina e sul do Brasil (ROMERO; MENDONÇA, 2012).

O Índice de Oscilação Antártica corresponde à diferença estandarizada da pressão atmosférica zonal ao nível do mar entre as latitudes 40 e 65°S. Os padrões de pressão atmosférica associados à AAO são anulares, em torno a um grande centro de baixas pressões, centrado no Polo Sul e que se elevam até anéis de alta pressão localizados nas latitudes médias. Quando o SAM é alto se produzem importantes anomalias dos ventos zonais (Oestes) que aumentam suas velocidades em uma ampla banda ao redor dos 55°S. Uma elevação do Índice da Oscilação Antártica provoca condições anormalmente secas no sul da América do Sul, Austrália e Sul da África, ao mesmo tempo em que os fortes ventos zonais aumentam o isolamento da Antártica, reduzindo o intercâmbio de calor com os trópicos e provocando um esfriamento deste continente e dos mares que o rodeiam, originando as massas de ar que são responsáveis pelas ondas de frio (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Gong e Wang (1999) mostraram que a AAO permanece durante todo o ano na troposfera, mas se amplifica com a altura em direção à estratosfera em certos períodos. Thompson e Wallace (2000) demonstraram que a estação mais ativa no HS da AAO é no final da

primavera e que a AAO parece modular a intensidade da circulação média na baixa estratosfera e altura da tropopausa sobre latitudes médias e altas.

De acordo com Thompson et al. (2000) a tendência da AAO nas últimas décadas a uma fase positiva, está relacionada ao aumento dos ventos de leste em latitudes médias e as condições frias sobre a maior parte da Antártica, exceto sobre a Península, onde existe aquecimento devido à advecção de ar quente das regiões oceânicas.

Gong e Wang (1999) afirmaram que o índice (figura 10) apresentou valores baixos durante os anos 60 e meados dos anos 70, enquanto valores mais elevados foram registrados nos anos 80 e 90. De acordo com esses autores, deve-se atentar para a variabilidade decadal da AAO e sua relação com as mudanças climáticas.

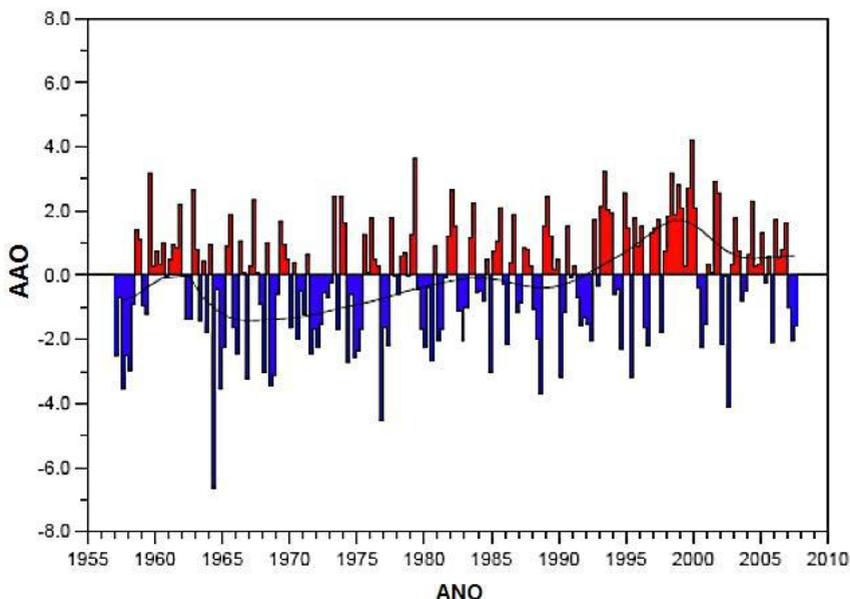


Figura 10 - Série temporal do Índice de Oscilação Antártica. A curva em cor preta indica a tendência do índice, sugerindo variações decadais.

Fonte: (OLIVA, 2011).

Silvestre e Vera (2003) analisaram a influência das fases da AAO no sudeste da América do Sul (leste dos Andes entre as latitudes de 10-40°S). Sugeriram que, durante a primavera, a fase positiva (negativa) da

AAO ocasiona uma diminuição (aumento) da precipitação sobre sudeste da América do Sul.

Gillet et al. (2006) estudando as variáveis temperatura e precipitação observadas em estações de superfície identificaram a influência da AAO em todo o HS. Eles mostraram que a fase positiva da AAO está relacionada com um aquecimento significativo sobre a Argentina e secas sobre o sul da América do Sul.

Carvalho et al. (2005) expuseram que a intensificação do jato subtropical, seu deslocamento em direção ao equador e o enfraquecimento do jato polar invertem as características do vento anular, levando a AAO para a fase negativa. Na fase positiva, o jato subtropical desloca-se em direção ao polo e o jato polar intensifica-se. Durante a fase negativa da AAO, a atividade ciclônica tende a se mover para as latitudes mais baixas (abaixo de 40°S), e os ciclones apresentam uma pressão central mais elevada em comparação com suas fases positivas (CARVALHO et al., 2005).

A AAO proporciona uma forma de acoplamento entre o clima antártico com o clima de latitudes mais baixas. Assim, variações no ENOS podem afetá-las (Carvalho et al., 2005). A fase negativa (positiva) da AAO durante o verão austral está associada com padrões de temperatura da superfície do mar (TSM), convecção e anomalias de circulação que se assemelham a fase El Niño (La Niña) do ENOS (CARVALHO et al., 2005). Gong et al. (2010) mostraram que este fato pode estar relacionado ao escoamento básico troposférico associado com El Niño (La Niña) e a consequente convergência/divergência de fluxo de momentum turbulento que guia a fase negativa (positiva) da AAO.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa consistem na identificação e análise das ondas de frio em Santa Catarina no período de 1983 a 2013, relacionando-as com as variabilidades climáticas de baixa frequência.

A realização deste trabalho está dividida em duas partes principais, a primeira com intuito de identificar as ondas de frio no período invernal de 1983 a 2013 nas diferentes regiões agroecológicas do Estado catarinense, e a segunda com objetivo de analisar a possível relação entre as ondas de frio e as variabilidades climáticas de baixa frequência (ENOS, AAO e ODP).

4.1. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS

Foram utilizados dados de temperatura média do ar diária de 11 estações meteorológicas convencionais (quadro 1) pertencentes à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia (EPAGRI/CIRAM) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A série temporal de dados de temperatura média do ar diária, medida em graus Celsius (C°), compreende os anos de 1983 a 2013, no período invernal (junho, julho e agosto), totalizando 31 anos de dados.

No Brasil, a temperatura média diária do ar, em cada estação meteorológica convencional, é geralmente estimada através de um parâmetro que se convencionou chamar de “temperatura compensada” (Equação 1). Para seu cálculo emprega-se a fórmula abaixo, desenvolvida por Serra, em 1938 (Serra, 1974):

$$T_c = \frac{2t_{00} + t_{12} + t_x + t_n}{5} \dots\dots\dots [1]$$

Onde t00 e t12 são, respectivamente, as temperaturas observadas a 00 e às 12UTC (Universal Time Coordinated), tx é a temperatura máxima do dia em questão (obtida a partir do termômetro de máxima) e tn especifica a temperatura mínima desse mesmo dia (resultante da leitura do termômetro de mínima).

A localização das estações de acordo com as suas respectivas Zonas Agroecológicas do Estado de Santa Catarina, são representadas na figura 11. As respectivas latitudes em (em graus, minutos e segundos), longitudes (graus, minutos e segundos) e altitude (em metros) das estações meteorológicas são destacadas no quadro 2.

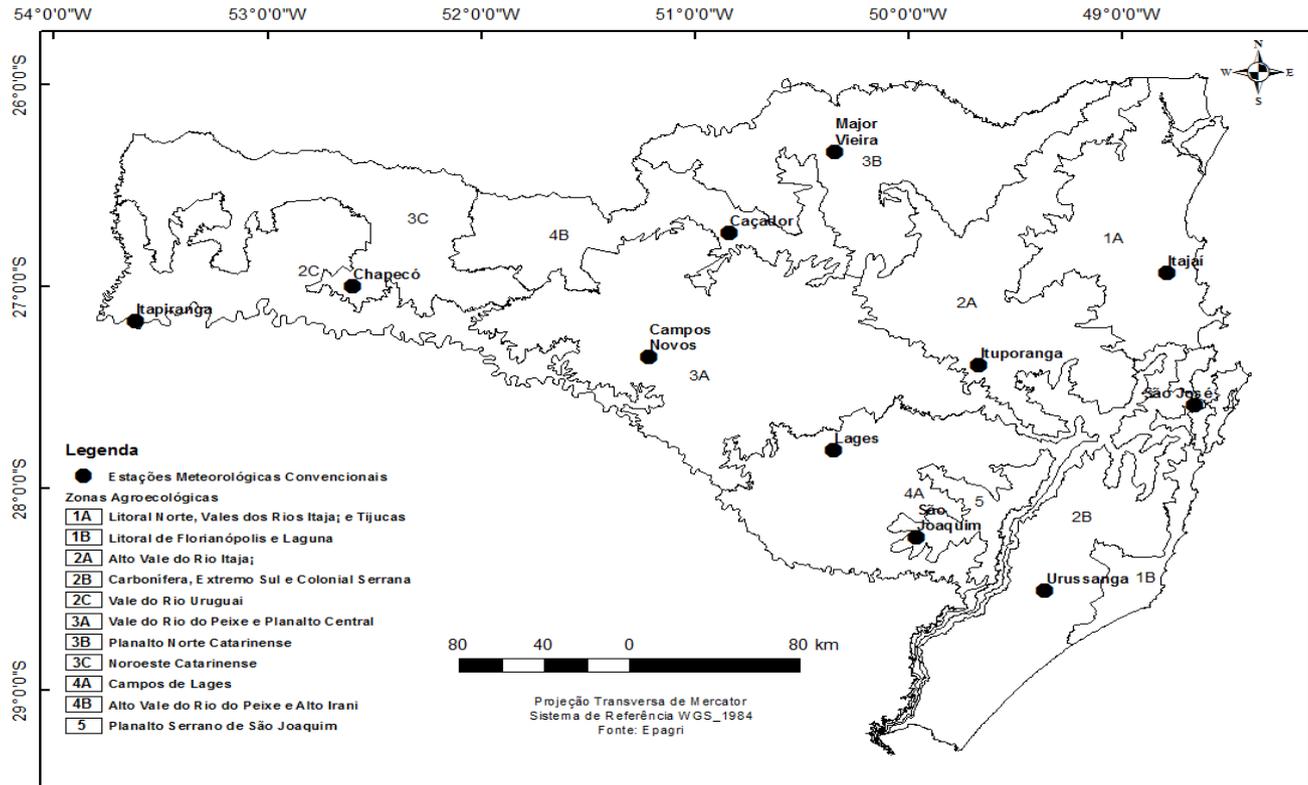


Figura 11 - Mapa de localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo, delimitado por regiões climaticamente homogêneas de Santa Catarina, de acordo com (THOMÉ et al., 1999).

Fonte: Epagri. Modificado por: Maikon Alves

Município/ Estações	Zona Agroecológica	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Itajaí	1A	26°57'05"	48°45'45"	5 m
São José	1B	27°36'11"	48°37'15"	2 m
Ituporanga	2A	27°25'08"	49°38'47"	475 m
Urussanga	2B	28°31'56"	49°18'54"	48 m
Itapiranga	2C	27°10'47"	53°38'44"	200 m
Campos Novos	3A	27°23'01"	51°12'58"	965 m
Major Vieira	3B	26°21'54"	50°20'14"	765 m
Chapecó	3C	27°05'27"	52°38'03"	679 m
Lages	4A	27°48'31"	50°19'48"	937,73 m
Caçador	4B	26°49'10"	50°59'09"	960 m
São Joaquim	5	28°16' 33"	49°56'06"	1376 m

Quadro 1 - Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas convencionais, e suas respectivas Zonas agroecológicas.

Fonte: Epagri/Ciram e INMET.

Os dados diários de temperatura média do ar utilizados neste trabalho passaram por um controle de qualidade de dados, realizado pela Epagri/Ciram, na qual são consistidos através do critério dos limites climatológicos. Foram selecionadas, para este estudo, as estações meteorológicas convencionais que possuíam um período de dados mais completo afim de não influenciar no cálculo das frequências sazonais. O período de falhas e/ou falta de leitura (ausência de informações) não foram usados na análise e são mostradas na tabela 2.

Tabela 2 - Estações meteorológicas convencionais, seus respectivos períodos da série de dados e os dados faltantes.

Estações	Zonas Agroecológicas	Série Temporal	Períodos com ausência de dados
Itajaí	1A	Jun/1983 a Jun/2013	16 a 28 de Jul/1987 e 29 de Jul/2002 a 07/Ago de 2002
São José	1B	Jun/1983 a Ago/2013	Sem ausência de dados
Ituporanga	2A	Jun/1984 a Ago/2013	Sem ausência de dados
Urussanga	2B	Jun/1983 a Ago/2013	Sem ausência de dados
Itapiranga	2C	Jul/1987 a Ago/2013	Jun/1987, Jun/Jul/Ago 1999, Ago/2002, 15 de Jun a 12 Ago/2007, e Jun/Jul/Ago de 2010.
Campos Novos	3A	Jun/1983 a Ago/2013	Sem ausência de dados
Major Vieira	3B	Jul/1988 a Ago/2013	01 de Jun/1996 a 30/Ago de 1996, 13 a 23 de Jun/1997 e 01 de Jun/2010 a 11 Jul/2010
Chapecó	3C	Jun/1983 a Ago/2013	02 a 13 de Ago /2008 e 01 a 29 Jun/2010
Lages	4A	Jun/1983 a Ago/2013	Sem ausência de dados
Caçador	4B	Jun/1983 a Ago/2013	Sem ausência de dados
São Joaquim	5	Jun/1984 a Ago/2013	Sem ausência de dados

Fonte: Epagri/Ciram

4.2. MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO

Não há consenso na definição de onda de frio. Encontram-se várias formas de definir ondas de frio como, por exemplo, nos trabalhos de Boyle, (1986); Konrad, (1996); Walsh et al., (2001); Escobar, (2007); Vavrus et. al., (2006); Firpo, (2008).

Neste estudo foi considerado como onda de frio o evento no qual a temperatura média diária do ar na superfície estava pelo menos duas

vezes o desvio padrão abaixo do valor da média durante dois dias consecutivos ou mais, no período invernal, conforme metodologia empregada por (VAVRUS et al., 2006). O desvio padrão (S) usado foi o valor médio dos 365 desvios padrões diário de temperatura do ar interanuais (1º de janeiro a 31 de dezembro). Este trabalho estuda apenas as ondas de frio dos 92 dias do período de inverno (1º de junho a 31 de agosto).

Em outras palavras, para identificação das ondas de frio, verificou-se a média da temperatura média diária de todos os dias do ano, entre 1983 e 2013 (Equação 2).

$$\overline{Tm} = \frac{\sum_{i=1}^n Tm_i}{n}$$

.....[2]

Onde: \overline{Tm} = média das temperaturas médias diárias, Tm_i = temperatura média diária.

Após isso se estabeleceu o desvio padrão de cada dia (Equação 3).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Tm_i - \overline{Tm})^2}{n-1}} \dots\dots\dots[3]$$

Onde: S = desvio padrão da temperatura média diária.

Posteriormente foi calculada a média de todos os desvios padrão diários (Equação 4).

$$\overline{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \dots\dots\dots[4]$$

Onde: \overline{S} = média de todos os desvios padrões diários.

Por último calculou-se a média diária de todos os dias individualmente menos duas vezes o desvio padrão geral encontrado (Equação 2), estabelecendo o limiar diário específico para cada dia do ano. Sendo assim, é classificado como dia frio, aquele que registrar a temperatura média do ar abaixo ou igual o limiar identificado para sua data (Equação 5).

$$Tm_i \leq (2 \times \overline{S}) \dots\dots\dots[5]$$

Onde: Tm_i = temperatura média diária, \bar{S} = média de todos desvios padrões diários.

Conforme Vavrus et. al. (2006), esta definição de onda de frio identifica apenas ondas extremas; mesmo assim, pode fornecer uma quantidade razoavelmente grande de eventos extremos.

Sendo assim, é classificado como dia frio, aquele dia que registrar a temperatura média do ar abaixo ou igual ao limiar identificado para sua data e; para ser classificada como onda de frio é necessário que isso ocorra por dois dias consecutivos ou mais. É possível afirmar que está análise pode ser identificada como uma climatologia para classificação dos dias frios em Santa Catarina e também para identificação das ondas de frio, em virtude dos 31 anos analisados.

Convencionou-se que ondas que iniciam e finalizam em meses diferentes, foram consideradas ou contadas para o mês que iniciar a onda de frio. Isso se justifica pelo fato de que a análise das ondas será feita mensalmente. Obteve-se a frequência dessas ondas e os meses e anos de maior ocorrência.

Com a aplicação da metodologia proposta por Vavrus et al. (2006) foi possível encontrar os limiares de temperatura para caracterizar uma onda de frio, nas diferentes regiões agroecológicas de Santa Catarina.

4.3. DADOS REFERENTES À OCORRÊNCIA DE GEADA

A série temporal com dados observacionais diários de ocorrência de geadas relativos aos meses de junho, julho e agosto corresponde aos anos de 1983 a 2013, num total de 31 anos, da qual foram analisadas 11 estações (quadro 2).

Para análise dos episódios de geadas utilizou-se os dados de registro de fenômenos das estações meteorológicas, as quais são registradas por um observador nos horários sinóticos de observação (Anexo A), que no Brasil são as 9, 15 e 21 horas, horário de Brasília (desconsiderando o horário de verão). Esses dados de ocorrência de geada registrados nas estações meteorológicas da Epagri/Ciram têm classificada sua intensidade variando desde fraca a excepcional, que é medida pela temperatura mínima da relva, conforme quadro 4. Este trabalho levou em consideração somente a ocorrência ou não do fenômeno de geada e não sua intensidade.

Classificação/Intensidade	Temperatura da Relva
Fraca	0°C a -2°C
Moderada	-2°C a -4°C
Mediana	-4°C a -6°C
Forte	-6°C a -8°C
Muito Forte	-8°C a -10°C
Extremamente Forte	-10°C a -12°C
Excepcional	Abaixo de -12°C

Quadro 2 - Classificação das geadas quanto às temperaturas mínimas de relva.
Fonte: Epagri/Ciram e INMET.

Foi verificada a correlação entre as geadas e as ondas de frio, através do cálculo do coeficiente de correlação Pearson que de acordo com Spiegel (1985), é dado por:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde:

r é o coeficiente de correlação linear;

σ_X e o desvio padrão da variável X;

σ_Y e o desvio padrão da variável Y;

σ_{XY} e a covariância de X e Y.

Além do cálculo do coeficiente de correlação, realizou-se a verificação do grau de significância das correlações através do teste t de Student, considerando um nível de significância de $\alpha = 5\%$.

4.4. RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE BAIXA FREQUÊNCIA (ENOS, OAA E ODP) COM AS ONDAS DE FRIO

As relações disponíveis como o histórico de ocorrências de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades podem diferir uma das outras, dependendo do critério adotado para tais definições.

As análises relacionadas aos eventos de ENOS foram efetuadas com base nos dados do Índice Niño Oceanic (ONI) obtidos do Serviço Climatológico Nacional dos Estados Unidos (NOAA- National Weather Service) de acordo com a tabela 3, que considera como um evento ENOS, o limite de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para a anomalia da TSM da região Niño 3.4 observadas em pelo menos cinco trimestres seguidos.

A tabela apresenta-se dividida em trimestres e os valores médios do ONI, que caracterizam eventos de El Niño (fonte na cor vermelha), La Niña (fonte na cor azul) e período de neutralidade (fonte na cor preta).

Os episódios de EN e LN geralmente iniciam no outono ou no inverno austral em um ano (0) e terminam sempre no ano seguinte (+1), com um pico nas anomalias de TSM de novembro a janeiro (TRENBERTH, 1997).

Este trabalho considerou os trimestres de abril/maio/junho até agosto/setembro/outubro por abrangerem pelo menos um dos meses de inverno. Verificou-se a influência de uma das fases do ENOS para cada ano da série de dados (período invernal), de acordo com o ciclo médio EN/LN, sendo o inverno/ano de início do evento denominado de ano (0) e o inverno/ano seguinte de ano (+1). Os trimestres (junho/julho/agosto; julho/agosto/setembro e agosto/setembro/outubro) foram considerados no ano (0) e são ponderados de ano (+1) os trimestres (abril/maio/junho e maio/junho/julho).

Tabela 3 – Classificação do Índice Oceanic Niño (ONI) para região Niño 3.4 de 1983 e 2013.

Season			JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ
1982	-	1983	0.8	1	1.5	1.9	2.1	2.1	2.1	1.8	1.5	1.2	1	0.7
1983	-	1984	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
1984	-	1985	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
1985	-	1986	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0
1986	-	1987	0.2	0.4	0.7	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.1	1	0.9	1.1
1987	-	1988	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2
1988	-	1989	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4
1989	-	1990	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
1990	-	1991	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6
1991	-	1992	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4	1.6	1.5	1.4	1.2	1	0.8
1992	-	1993	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6
1993	-	1994	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4
1994	-	1995	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0
1995	-	1996	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1	-0.9	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2
1996	-	1997	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1
1997	-	1998	1.4	1.7	2	2.2	2.3	2.3	2.1	1.8	1.4	1	0.5	-0.1
1998	-	1999	-0.7	-1	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4	-1.4	-1.2	-1	-0.9	-0.9	-1
1999	-	2000	-1	-1	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7
2000	-	2001	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
2001	-	2002	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7
2002	-	2003	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1
2003	-	2004	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3
2004	-	2005	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2
2005	-	2006	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.1
2006	-	2007	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2
2007	-	2008	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5
2008	-	2009	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4
2009	-	2010	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.3	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4
2010	-	2011	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2
2011	-	2012	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1
2012	-	2013	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
2013	-	2014	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0
2014	-	2015	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0

Fonte: Golden Gate Weather Services (2015).

Para a análise relacionada à ODP, foram utilizados os dados mensais do índice da ODP (tabela 4) calculado por Mantua et al. (1997), selecionados para o período de 1983 a 2013. O índice é calculado considerando a oposição entre anomalias da TSM/SST (temperatura da superfície do mar) na Costa Oeste da América do Norte e o restante da bacia norte do Pacífico.

Tabela 4 - Índice mensal da Oscilação Decadal do Pacífico no período de 1983 a 2013.

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1983	0,56	1,14	2,11	1,87	1,8	2,36	3,51	1,85	0,91	0,96	1,02	1,69
1984	1,5	1,21	1,77	1,52	1,3	0,18	-0,18	-0,03	0,67	0,58	0,71	0,82
1985	1,27	0,94	0,57	0,19	0	0,18	1,07	0,81	0,44	0,29	-0,75	0,38
1986	1,12	1,61	2,18	1,55	1,16	0,89	1,38	0,22	0,22	1	1,77	1,77
1987	1,88	1,75	2,1	2,16	1,85	0,73	2,01	2,83	2,44	1,36	1,47	1,27
1988	0,93	1,24	1,42	0,94	1,2	0,74	0,64	0,19	-0,37	-0,1	-0,02	-0,43
1989	-0,95	-1,02	-0,83	-0,32	0,47	0,36	0,83	0,09	0,05	-0,12	-0,5	-0,21
1990	-0,3	-0,65	-0,62	0,27	0,44	0,44	0,27	0,11	0,38	-0,69	-1,69	-2,23
1991	-2,02	-1,19	-0,74	-1,01	-0,51	-1,47	-0,1	0,36	0,65	0,49	0,42	0,09
1992	0,05	0,31	0,67	0,75	1,54	1,26	1,9	1,44	0,83	0,93	0,93	0,53
1993	0,05	0,19	0,76	1,21	2,13	2,34	2,35	2,69	1,56	1,41	1,24	1,07
1994	1,21	0,59	0,8	1,05	1,23	0,46	0,06	-0,79	-1,36	-1,32	-1,96	-1,79
1995	-0,49	0,46	0,75	0,83	1,46	1,27	1,71	0,21	1,16	0,47	-0,28	0,16
1996	0,59	0,75	1,01	1,46	2,18	1,1	0,77	-0,14	0,24	-0,33	0,09	-0,03
1997	0,23	0,28	0,65	1,05	1,83	2,76	2,35	2,79	2,19	1,61	1,12	0,67
1998	0,83	1,56	2,01	1,27	0,7	0,4	-0,04	-0,22	-1,21	-1,39	-0,52	-0,44
1999	-0,32	-0,66	-0,33	-0,41	-0,68	-1,3	-0,66	-0,96	-1,53	-2,23	-2,05	-1,63
2000	-2	-0,83	0,29	0,35	-0,05	-0,44	-0,66	-1,19	-1,24	-1,3	-0,53	0,52
2001	0,6	0,29	0,45	-0,31	-0,3	-0,47	-1,31	-0,77	-1,37	-1,37	-1,26	-0,93
2002**	0,27	-0,64	-0,43	-0,32	-0,63	-0,35	-0,31	0,6	0,43	0,42	1,51	2,1
2003**	2,09	1,75	1,51	1,18	0,89	0,68	0,96	0,88	0,01	0,83	0,52	0,33
2004**	0,43	0,48	0,61	0,57	0,88	0,04	0,44	0,85	0,75	-0,11	-0,63	-0,17
2005**	0,44	0,81	1,36	1,03	1,86	1,17	0,66	0,25	-0,46	-1,32	-1,5	0,2
2006**	1,03	0,66	0,05	0,4	0,48	1,04	0,35	-0,65	-0,94	-0,05	-0,22	0,14
2007**	0,01	0,04	-0,36	0,16	-0,1	0,09	0,78	0,5	-0,36	-1,45	-1,08	-0,58
2008**	-1	-0,77	-0,71	-1,52	-1,37	-1,34	-1,67	-1,7	-1,55	-1,76	-1,25	-0,87
2009**	-1,4	-1,55	-1,59	-1,65	-0,88	-0,31	-0,53	0,09	0,52	0,27	-0,4	0,08
2010**	0,83	0,82	0,44	0,78	0,62	-0,22	-1,05	-1,27	-1,61	-1,06	-0,82	-1,21
2011**	-0,92	-0,83	-0,69	-0,42	-0,37	-0,69	-1,86	-1,74	-1,79	-1,34	-2,33	-1,79
2012**	-1,38	-0,85	-1,05	-0,27	-1,26	-0,87	-1,52	-1,93	-2,21	-0,79	-0,59	-0,48
2013**	-0,13	-0,43	-0,63	-0,16	0,08	-0,78	-1,25	-1,04	-0,48	-0,87	-0,11	-0,41

Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>

** Derivado de campos OI.v2 SST.

Já para a análise relacionada à OAA, utilizaram-se os dados de médias mensais do índice de Oscilação Antártica (tabela 5) obtidos através do Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction (CPC/NCEP) para o período compreendido entre 1983 a 2013. O CPC computa o Índice de Oscilação Antártica diariamente através da projeção das anomalias de altura geopotencial em 700 hPa sobre o modo principal das Funções Ortogonais Empíricas EOF (EOF-1) derivado de médias mensais de anomalias de altura geopotencial em 700 hPa de 20° a 90° S. EOF-1 captura o Máximo de variância explicada.

Tabela 5 - Índice mensal da Oscilação Antártica no período de 1983 a 2013.

YEAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1983	-1,34	-1,08	0,16	0,15	-0,43	-0,26	1,11	0,79	-0,69	1,19	0,72	0,47
1984	-1,09	-0,55	0,25	-0,2	-1,23	0,42	0,89	-0,55	0,32	-0,01	-0,02	-1,48
1985	-0,79	0,21	-0,13	0,03	-0,06	-0,33	1,91	0,59	1,5	0,47	1,08	1,24
1986	-0,95	-1,59	-0,77	-0,08	-1,84	-0,61	0,08	-0,15	0,84	0,3	-0,22	0,88
1987	-0,61	-0,7	-0,13	-0,28	0,04	-0,7	-1,53	1,48	-0,79	0,45	1,06	0,27
1988	0,62	0,55	-0,21	-0,77	-0,74	-1,05	0,57	-0,74	-0,68	-2,31	0,4	1,07
1989	0,61	0,84	0,63	-0,52	2,69	1,99	1,45	-0,13	-0,12	0,13	0,57	-0,44
1990	-0,35	1,15	0,41	-1,87	-1,8	0,09	-1,21	0,46	1,48	0,13	-0,35	-0,31
1991	0,87	-0,85	0,52	-0,63	-0,53	-1,15	-1,22	0,03	-0,51	-0,62	-0,8	-2,06
1992	0,07	-1,62	-1,01	-0,43	-2,03	-2,19	-0,56	-0,35	0,45	-0,31	0,11	0,24
1993	-2,02	0,43	-0,37	0,08	1,26	1,21	1,95	1,08	1,06	0,74	0,32	1,02
1994	0,72	1,15	0,69	-0,5	-0,15	-1,68	-0,49	1,91	-0,94	-0,57	-0,79	0,93
1995	1,45	0,53	-0,15	0,64	1,39	-0,8	-3,01	-0,69	1,17	-0,05	0,14	1,47
1996	0,33	-0,52	0,54	0,11	0,98	-0,25	0,02	-1,5	-1,31	0,96	-1,66	-0,23
1997	0,37	-0,24	0,7	-0,45	1,02	-0,45	0,78	0,76	0,12	-0,59	-1,9	-0,83
1998	0,41	0,39	0,73	1,92	-0,3	1,03	1,45	0,9	-0,12	0,4	0,81	1,43
1999	0,99	0,45	0,18	0,94	1,63	-1,32	0,31	0,04	-0,01	1,65	0,9	1,78
2000	1,28	0,62	0,13	0,23	1,12	0,11	0,05	-0,67	-1,85	0,34	-1,85	0,34
2001	-0,48	-0,26	-0,55	0,51	-0,26	0,38	-0,92	0,91	1,16	1,27	0,99	1,47
2002	0,75	1,33	-1,82	0,16	-2,79	-1,11	-0,59	-0,09	-0,86	-2,56	-0,92	1,3
2003	-0,99	-0,35	-0,18	0,22	0,38	-0,77	0,72	0,67	-0,32	-0,2	-0,71	-1,32
2004	0,81	-1,18	0,43	0,15	0,46	1,19	1,47	0,07	0,25	-0,04	-0,24	-0,97
2005	-0,13	1,24	0,15	0,35	-0,29	-1,42	-0,25	0,22	0,24	0,03	-0,55	-1,96
2006	0,34	-0,21	0,5	-0,16	1,69	0,43	0,92	-1,72	-0,32	0,87	0,1	0,63
2007	-0,08	0,07	-0,57	-1,03	-0,61	-1,19	-2,63	-0,1	0,03	-0,43	-0,98	1,92
2008	1,21	1,14	0,58	-0,87	-0,49	1,34	0,32	0,08	1,38	1,21	0,92	1,19
2009	0,96	0,46	0,6	0,02	-0,73	-0,47	-1,23	-0,68	-0,01	0,08	-1,91	0,6
2010	-0,76	0,75	0,1	0,37	1,02	2,07	2,42	1,51	0,4	1,33	1,51	0,2
2011	0,52	1,07	-0,29	-0,87	1,26	-0,09	-1,38	-1,2	-1,25	0,38	-0,9	2,57
2012	1,59	-0,28	0,27	0,66	0,15	-0,19	1,25	0,48	0,56	-0,44	-1,7	-0,76
2013	0,07	0,71	1,37	0,61	0,36	-0,27	0,94	-1,56	-1,65	-0,45	0,18	0,06

Fonte:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/aao/monthly.aao.index.b79.current.ascii.table

Com os dados do ENOS, ODP e OAA disponíveis, buscou-se a relação destas variabilidades nos episódios inverniais de ondas de frio, através de gráficos e tabelas comparativas, de acordo com datas de ocorrências das ondas de frio para cada estação e/ou região agroecológica.

Posteriormente as variabilidades foram submetidas à análise estatística através dos testes de significância para as médias e variâncias, com nível de $\alpha = 0,05\%$ de probabilidade de erro. Para comparar as diferenças entre as médias utilizou-se o teste t de Student, e para a

variância foi utilizado o teste F. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2008).

4.5. PROGRAMAS UTILIZADOS

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os programas Arcgis (mapa de localização), Microsoft Office Excel (tabelas e gráficos) e o programa estatístico *Past* (Palaeontological Statistics) onde foram realizados os testes de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura deste capítulo está baseada no que foi proposto nos objetivos e a metodologia estabelecida no capítulo 4.

5.1. OCORRÊNCIA DAS ONDAS DE FRIO EM SANTA CATARINA

Primeiramente buscou-se identificar as ondas de frio nas diferentes regiões de Santa Catarina no período relacionado. Com o método de Vavrus et al. (2006) foi possível chegar a um limiar do que é onda de frio para cada região no período de inverno (quadros 3, 4 e 5). Regiões estas representadas pelas onze estações meteorológicas citadas na metodologia.

Analisando os quadros (quadro 3,4 e 5) percebe-se que as regiões possuem valores diferentes para caracterizar uma onda de frio, com limiares diários de temperatura média para cada estação meteorológica. As estações de São Joaquim, Lages, Caçador e Campos Novos expõem os menores valores. Já São José, Itajaí e Urussanga aparecem com os limiares mais elevados. Por exemplo, o limiar para o dia 05 de junho (quadro 3), São Joaquim apresenta limite de (3,82°C); Lages (5,87°C); São José (13,18°C) e Itajaí (12,36°C).

Estas diferenças de valores em cada região devem-se a ampla diversidade dos fatores geográficos presente no Estado catarinense, tais como relevo, altitude, continentalidade e maritimidade. Destacam-se as maiores altitudes, o relevo e a continentalidade nas estações com baixos limiares, e a influência da maritimidade naquelas estações mais litorâneas, onde a ação termorreguladora do oceano torna-se fator preponderante para não termos valores tão extremos.

5.1.1. Distribuição espaço-temporal das ondas de frio por estação meteorológica (Zona Agroecológica)

Durante os 31 invernos analisados (1983 a 2013) observa-se que as ocorrências das ondas de frio se distribuíram de forma desigual nas regiões agroecológicas catarinenses (figura 12). As estações de Chapecó e Caçador apresentaram maior número de ocorrência, 93 e 77, respectivamente, seguidas por Campos Novos (71); São Joaquim (69); Lages (64); Itajaí (58); Ituporanga 56; Urussanga (54); São José (52); Major Vieira (50) e Itapiranga (48). A média de ocorrência foi de (62,8) ondas de frio nas onze estações de Santa Catarina, no período de 1983 a 2013. Ressalta-se que algumas estações possuem período de dados distintos: Itapiranga (1987 a 2013); Major Vieira (1988 a 2013) e as estações de São Joaquim e Ituporanga (1984 a 2013).

De modo geral as regiões com altitudes elevadas apresentaram maior número de ocorrência de onda de frio, salientando a influência do relevo e altitude no comportamento da temperatura no Estado. Outro fato importante que pode justificar essa distribuição espacial das ondas de frio são as trajetórias sazonais dos sistemas polares, que em seu deslocamento mais continental, acabam por penetrarem pela região mais a oeste/sudoeste do Estado. Em Santa Catarina, a continentalidade, o relevo, a altitude e a maritimidade são os fatores que possuem maior interação com os sistemas atmosféricos, portanto, são os mais influentes (MONTEIRO; MENDONÇA, 2014, p.5).

Condições geográficas por si só não explicam o tempo e o clima de uma determinada região. O clima é formado pela interação entre os fatores estáticos (relevo, maritimidade, continentalidade, latitude, altitude, vegetação, entre outros) e fatores dinâmicos, que são os sistemas meteorológicos e a sucessão dos tipos de tempo. Mostrando assim a necessidade de uma análise baseada na multiescalaridade para explicar eventos locais e regionais.

Fritzsons et al. (2008) ao realizarem estudos sobre a relação entre altitude e temperatura para o zoneamento climático no Estado do Paraná, constaram que a altitude foi o fator que mostrou maior influência sobre a temperatura, seguido pela latitude e continentalidade. A relação da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais onde uma diferença altitudinal de

algumas centenas de metros e a exposição das vertentes tende a provocar mudanças sensíveis no ambiente e adaptação da biota.

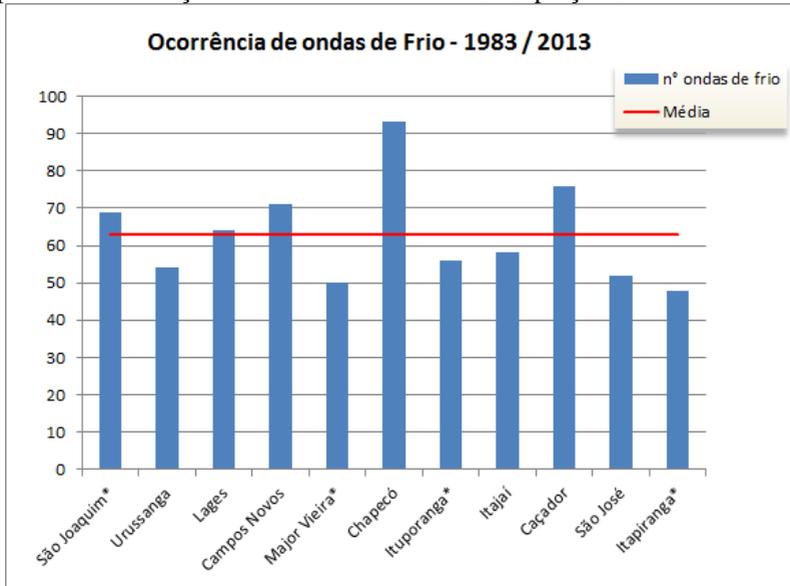


Figura 12 - Número de ocorrência das ondas de frio inverniais em Santa Catarina entre 1983 -2013.

Nota: (*) Estações com menores séries de dados. Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 13, onde é exposto à variabilidade média das ondas de frio em Santa Catarina por estações, nota-se certa heterogeneidade dos valores para a maioria destas. As estações que apresentaram as maiores médias anuais de ondas de frio foram: Caçador, São Joaquim, Campos Novos e Chapecó, que variaram entre 2,1 a 3 eventos ao ano. Já as estações que registraram menor incidência de ondas de frio (entre 1,7 a 1,8) foram São José, Urussanga, Itajaí e Itapiranga. Nesta distribuição influem além das trajetórias sazonais dos sistemas polares, também os fatores geográficos. A presença de uma área litorânea em concomitância com uma região continental exerce grande influência nas temperaturas, gerando regiões agroecológicas diversificadas. A altitude, devido aos distintos relevos e a exposição de vertente que o Estado apresenta, ocorrendo uma variabilidade muito grande de região para região.

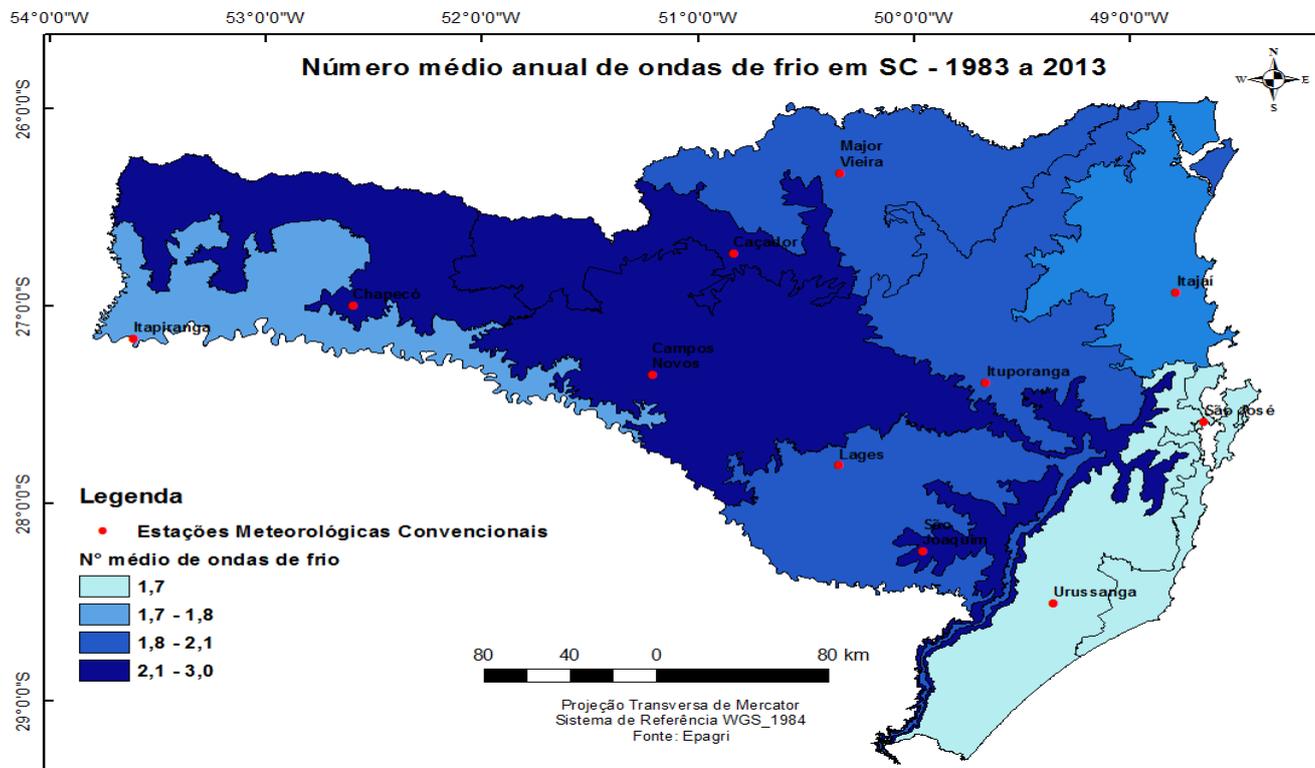


Figura 13 - Mapa de frequência média anual de ondas de frio por estações, para Santa Catarina, no período de 1983-2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as tabelas 6 e 7 os anos de 1990,1993 e 2011 foram os de maior ocorrência de ondas de frio (4 a 6 eventos) em grande parte das regiões agroecológicas de Santa Catarina, com exceção de Chapecó que teve no ano 1992, 6 ondas de frio. Ressalta-se que 1993 foi o ano de maior ocorrência envolvendo a maioria das estações simultaneamente. As mais extensas ondas de frio ocorreram em 1990, 1994, 2000, 2003, 2011 (tabela 6). Em julho de 2000, em Campos Novos ocorreu à onda de frio mais extensa de todo período, totalizando 9 dias. O mês de julho se destacou como o que teve as ondas de frio mais extensas em nove, das onze estações analisadas. Major Vieira e São Joaquim, apresentaram junho e agosto, respectivamente, com as ondas mais extensas (tabela 6).

Tabela 6 - Anos com maiores ocorrências de ondas de frio e as ondas mais prolongadas por região agroecológica.

Zonas/Estações	Ano	Nº de ocorrência	Ano	Mês	Período	Nº de dias
1A - Itajaí	1984/1988/1990/ 1993/2000/2011	4	2000	julho	13 a 19	7
1B - São José	1993	6	2011	julho	03 a 08	6
2A - Ituporanga	1993	5	2011	julho	04 a 09	6
2B - Urussanga	1993	6	2000	julho	13 a 20	8
2C - Itapiranga	1993/1996	4	2011	julho	02 a 08	7
3A - Campos Novos	1990	6	2000	julho	12 a 20	9
3B - Major Vieira	1993	6	1994	junho	23 a 29	7
3C - Chapecó	1992	6	1984	agosto	24 a 29	5
			1987	junho	14 a 18	
			2000	julho	16 a 20	
			2003	agosto	25 a 29	
			2011	julho	03 a 07	
			2012	junho	05 a 09	
4A - Lages	2011	5	1990	julho	27 a 01/08	6
			2003	agosto	25 a 30	
4B - Caçador	1993 / 2011	5	2011	julho	03 a 08	6
5 - São Joaquim	1990	6	2003	agosto	25 a 30	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os anos com menor frequência de onda de frio/invernais foram 1986, com um registro em Chapecó e Campos novos, e em 1998 onde foi registrada uma ocorrência de onda de frio em Major Vieira (tabela 7).

Tabela 7– Frequência das ondas de frio invernais em Santa Catarina por região agroecológica, no período de 1983 a 2013.

Ano	Regiões Agroecológicas/Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	MajorVieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
1983	3	1	*	1	*	*	*	3	3	4	*
1984	4	3	*	3	*	*	*	4	3	3	3
1985	1	0	0	1	*	0	*	3	2	4	2
1986	0	0	0	0	*	1	*	1	0	0	0
1987	3	3	4	3	1	5	*	5	4	4	4
1988	4	3	2	3	3	4	1	5	3	4	4
1989	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
1990	4	4	4	4	3	6	5	4	3	4	6
1991	3	1	4	3	2	3	4	3	4	4	1
1992	3	2	3	2	3	4	3	6	2	2	3
1993	4	6	5	6	4	3	6	5	3	5	4
1994	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2
1995	0	0	0	2	2	2	0	2	1	1	1
1996	3	3	2	3	4	2	0	1	1	2	1
1997	1	1	1	1	1	2	0	3	1	2	1
1998	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1999	3	2	2	1	0	1	3	1	1	1	2
2000	4	4	3	2	3	3	4	4	4	4	4
2001	2	1	1	1	2	3	1	3	2	1	2
2002	1	1	1	1	0	2	0	2	1	1	1
2003	1	0	2	2	1	2	2	2	2	1	2
2004	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
2005	1	1	2	0	1	2	1	4	1	1	2
2006	1	2	1	2	2	2	1	3	2	2	3
2007	1	2	1	2	1	3	2	3	2	3	2
2008	1	1	2	1	3	2	2	3	1	2	3
2009	1	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1
2010	1	0	2	1	0	3	0	3	2	2	3
2011	4	3	4	2	2	5	4	5	5	5	5
2012	0	1	1	1	0	1	1	2	1	2	1
2013	0	2	3	1	3	3	3	4	3	3	3
Total	58	52	56	54	48	71	50	93	64	76	69

Fonte: Elaborado pelo autor. Nota: (*) dados faltantes.

Considerando as informações da tabela 8, observa-se que em média 51,4% das ondas de frio registradas abrangeram dois dias, número mínimo de dias para se considerar uma onda, de acordo com o critério adotado neste estudo; 30,7 % foram de três dias consecutivos; 9,7% de 4 dias; 5,5% com 5 dias e o restante divididos entre 6, 7,8 e 9 dias consecutivos.

Tabela 8 - Porcentagem da duração das ondas de frio em Santa Catarina por região agroecológica, no período de 1983 a 2013.

Estações Meteorológicas/Regiões Agroecológicas	Número de dias consecutivos									total
	2	3	4	5	6	7	8	9		
	%									
Itajaí (1A)	44,9	29,3	15,5	6,9	1,7	1,7	0	0	100	
São José (1B)	53,8	28,8	9,6	5,8	1,9	0,0	0,0	0,0	100	
Ituporanga (2A)	48,2	35,7	7,1	7,1	1,8	0,0	0,0	0,0	100	
Urussanga (2B)	53,7	29,6	9,3	1,9	3,7	0,0	1,9	0,0	100	
Itapiranga (2C)	43,8	35,4	12,5	2,1	4,2	2,1	0,0	0,0	100	
Campos Novos (3A)	57,7	25,4	11,3	2,8	1,4	0,0	0,0	1,4	100	
Major Vieira (3B)	52,0	34,0	6,0	6,0	0,0	2,0	0,0	0,0	100	
Chapecó (3C)	54,8	26,9	10,8	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100	
Lages (4A)	53,1	31,3	9,4	3,1	3,1	0,0	0,0	0,0	100	
Caçador (4B)	48,1	33,8	5,2	11,7	1,3	0,0	0,0	0,0	100	
São Joaquim (5)	55,1	27,5	10,1	5,8	1,4	0,0	0,0	0,0	100	
Média	51,4	30,7	9,7	5,5	1,9	0,5	0,2	0,1	100	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2. Comportamento geral das ondas de frio

Neste item foram analisadas as ondas de frio inverniais avaliando o Estado como um todo, sem considerar as especificidades de cada estação e sua respectiva zona agroecológica. Portanto a contabilização das ondas foi atribuída levando em consideração a data de ocorrência e não apenas a estação. Como exemplo, quando uma onda de frio abrangeu uma ou mais regiões no mesmo período de tempo, foi contabilizado apenas como uma única ocorrência, e não como um registro por zona agroecológica.

Em todos os invernos analisados ocorreram onda de frio em pelo menos uma das onze estações avaliadas. Foram encontradas 131 ondas de

frio, média de 4,22 eventos por ano/invernal (Apêndice A). Analisando a figura 14, os anos em que ocorreram maior número de ondas de frio foram 1993 (11 ocorrências) e 1990 (7 ocorrências). Já 1986, 1989 e 1998 foram os anos que tiveram os invernos com a atuação de apenas 1 evento de onda de frio .

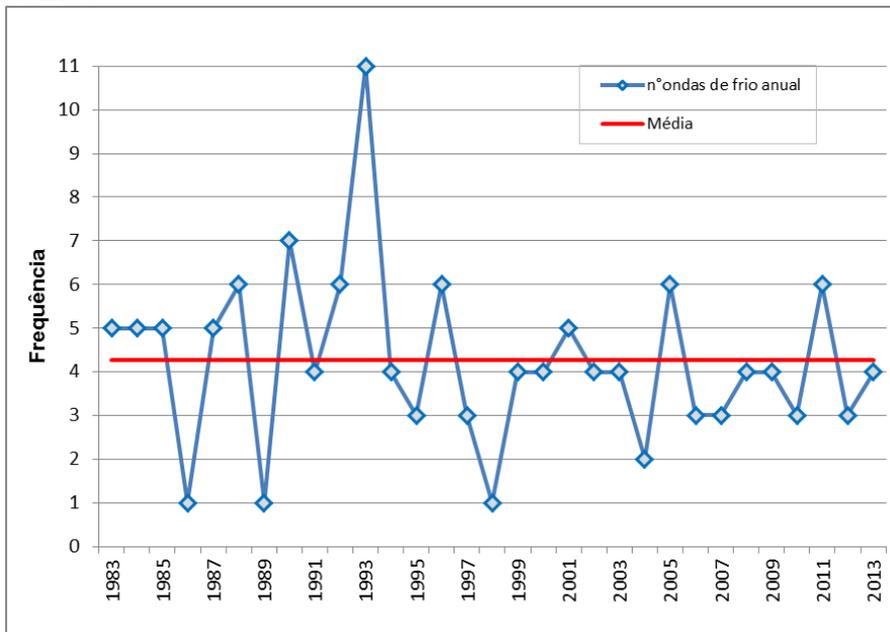


Figura 14– Frequência anual das ondas de frio inverniais em Santa Catarina, entre 1983 a 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 15, aborda a análise mensal das ondas de frio encontradas, 48 (36,6%) ocorreram no mês de junho, 47 (35,9%) em agosto e 36 (27,5%) no mês de julho. Resultado semelhante ao trabalho de Firpo (2008) que ao investigar a climatologia das ondas de frio para o Estado do Rio Grande do Sul, verificou o mês de junho como o de maior ocorrência, seguido por agosto e julho.

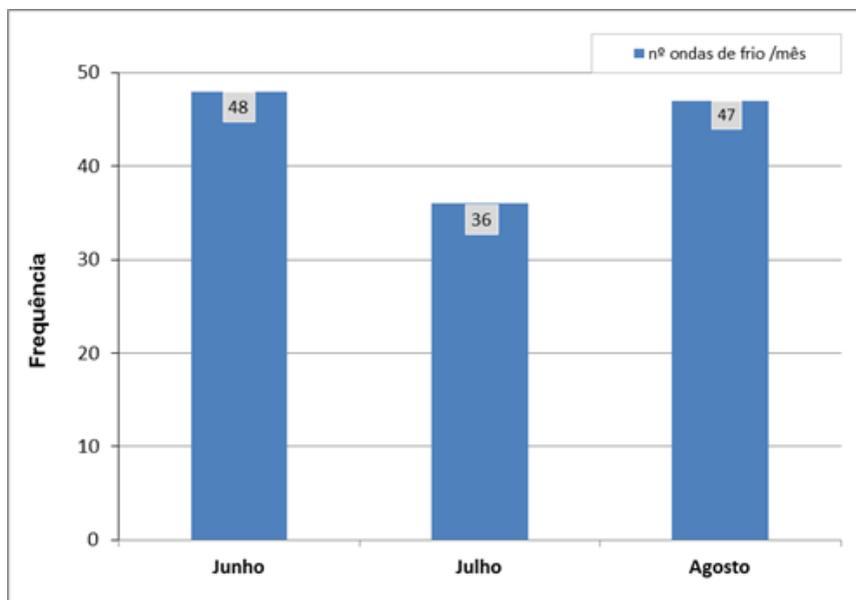


Figura 15 – Ocorrência mensal de onda de frio em Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 9, mostra que em 14 invernos, houve ondas de frio que abrangeram espacialmente todas as regiões agroecológicas de Santa Catarina, destaque para os anos de 1990 e 2000, que apresentaram dois eventos por ano que compreenderam todo Estado. A onda de julho de 2000 entre os dias 12 a 20 foi a de maior extensão temporal (9 dias); na sequência a de julho de 2011 (2 a 9) que atuou por 8 dias e a ondas de frio de junho de 1987 (15 a 20) e junho de 1994 (24 a 29) durando 6 dias.

Tabela 9 - Ondas de frio com maior abrangência temporal em SC (1983 a 2013).

Abrangência temporal das ondas de frio			
Ano	Mês	Intervalo	N° de dias
1987	Junho	15 a 20	6
1989	Julho	5 a 9	5
1990	Julho	20 a 23	4
	Agosto	28 a 30	3
1991	Agosto	1 a 4	4
1993	Julho	30 a 02/08	4
1994	Junho	24 a 29	6
	Julho	8 a 11	4
1999	Agosto	13 a 16	4
2000	Julho	12 a 20	9
	Julho	23 a 27	5
2004	Junho	12 a 14	3
2006	Agosto	19 a 21	3
2007	Julho	25 a 29	5
2008	Junho	15 a 18	4
2011	Julho	2 a 9	8
2013	Julho	21 a 25	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. RELAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO COM A OCORRÊNCIA DE GEADAS

5.2.1. Análise do Inverno

Na tabela 10, têm-se os valores dos coeficientes de correlação Pearson (r) entre as ondas de frio e as ocorrências de geada no período de inverno, para os anos 1983 a 2013 em Santa Catarina, considerando um nível de significância de 5% (Anexo B).

Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003, p.90) o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$, existe fraca correlação linear;

se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$, existe moderada correlação linear;

se $0,60 \leq \hat{\rho} < 0,90$, existe forte correlação linear;

se $0,90 \leq \hat{\rho} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Verificou-se através de regressão linear que o coeficiente de correlação (r) para as estações de Caçador, Lages, Major Vieira, São Joaquim, Ituporanga e Urussanga é de forte correlação linear. Já São José ($r=0,347$) e Itajaí ($r = 0,424$) apresentaram correlação linear moderada. Na região Sul, as geadas ocorrem devido à combinação de dois fatores principais: a incidência de sistemas frontais frios e anticlones migratórios, e a presença de uma topografia complexa (Seluchi, 2009). Entre os fatores geográficos que favorecem a ocorrência de geadas destacam-se as maiores altitudes, o relevo e a continentalidade. A estação de Urussanga foi à exceção, pois se encontra a 48 m de altitude e sujeita a influência da maritimidade, podendo a alta correlação das ondas de frio e geada neste município estarem associadas à exposição de suas vertentes. A baixa ocorrência de geadas nas estações de São José e Itajaí tem como fator preponderante a maritimidade, ou seja, a ação termorreguladora do oceano.

Um exemplo da importância da topografia no estado catarinense é o estudo de Massignam; Dittrich (1998) que utilizaram modelos probabilísticos e método de regressão para estimar o número médio mensal e a probabilidade mensal de ocorrência de geada para Santa Catarina com base na altitude.

Através do teste t (Student) se pode afirmar que esses valores de (r) são significativos a 5% para a maioria das estações, com exceção de São José (tabela 11), podendo a localização em área urbana da estação, ser fator preponderante para a não significância estatística.

Com base nos resultados encontrados na tabela 10, constatou-se correlação entre as ondas de frio e as ocorrências de geada em 10 das 11 estações analisadas, no período invernal.

Tabela 10 – Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina, no período invernal de 1983 a 2013.

INVERNO		
Estação	n° de observações	r
Itajaí	31	0,424*
São José	31	0,347 ^{ns}
Ituporanga	29	0,742*
Urussanga	31	0,795*
Itapiranga	27	0,453*
Campos Novos	29	0,624*
Major Vieira	26	0,851*
Chapecó	31	0,684*
Lages	31	0,878*
Caçador	31	0,891*
São Joaquim	30	0,815*

Nota: (*) Valores significativos a 5% de probabilidade; (^{ns}) valores não significativos a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.2. Análise Mensal

Numa análise mensal da correlação das ondas de frio e as ocorrências de geadas (tabela 11), nota-se para todos os meses há uma correlação positiva. Julho é o mês que apresenta as mais altas correlações, com destaque para São Joaquim ($r = 0,900$) e Major Vieira ($r = 0,915$) que representam uma correlação muito forte. Para as estações de Urussanga, Itapiranga e Chapecó, o mês de junho é o de maior correlação. Já o mês de

agosto apresenta valores de correlação mais baixos em relação a junho e julho em todas as estações. São José possui fraca correlação linear no mês de agosto, $r = 0,173$. Estes resultados podem ser explicados pela trajetória das frentes frias e dos anticiclones, mais continentais em junho e julho e marítimas a partir de agosto. As frentes frias são mais frequentes de junho a setembro entre as coordenadas de 25-30S e 50-55W, porém julho é o mês invernal com maior frequência, 3 em média (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009).

O que vem a reforçar o trabalho de Aguiar e Mendonça (2004) que encontraram os meses de junho e julho como os de maiores registros de geadas em quase todos os anos, no período de 1980 a 2003 em Santa Catarina. Do mesmo modo Minuzzi (2010) investigou as ocorrências de geadas em Santa Catarina e concluiu que julho é mês com as maiores ocorrências; assim como Spinelli e Alves (2014) que obtiveram resultados semelhantes a esta pesquisa.

Houve correlação significativa em todas as regiões catarinenses entre as ondas de frio e as ocorrências de geada para os meses de junho e julho. Isso se deve, nesta época do ano, a maior frequência de invasões de frentes frias e fluxo polares mais intensos no estado catarinense. Já em agosto para estação de São José o valor de r não é significativo a 5% (tabela 11).

Tabela 11 - Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina mensal (junho, julho e agosto) no período de 1983 a 2013.

Estação	n° de observações	r		
		Junho	Julho	Agosto
Itajaí	31	0,357*	0,364*	0,354*
São José	31	0,432*	0,596*	0,173 ^{ns}
Ituporanga	29	0,635*	0,874*	0,652*
Urussanga	31	0,821*	0,821*	0,693*
Itapiranga	27	0,615*	0,562*	0,444*
Campos Novos	29	0,727*	0,696*	0,479*
Major Vieira	26	0,783*	0,915*	0,800*
Chapecó	31	0,669*	0,765*	0,560*
Lages	31	0,840*	0,903*	0,676*
Caçador	31	0,727*	0,844*	0,691*
São Joaquim	30	0,724*	0,900*	0,821*

Nota: (*) Valores significativos a 5% de probabilidade; (^{ns}) valores não significativos a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3. RELAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO E AS OCORRÊNCIAS DE GEADA COM OS ÍNDICES DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA DE BAIXA FREQUÊNCIA – ENOS, ODP E OAA

Nesta seção serão tratadas as relações das ondas de frio e as ocorrências de geada com os índices de variabilidade climática de baixa

frequência, de escala interanual (ENOS e OAA) e de escala interdecadal (ODP), primeiramente analisando cada condicionante, e na sequência de maneira conjunta.

5.3.1. Relação das ondas de frio com o ENOS

Verificou-se a influência do ENOS para cada ano da série de dados (período invernal), de acordo com o ciclo médio El Niño (EN) /La Niña (LN), sendo o inverno/ano de início do evento (ano 0) e o inverno/ano seguinte (ano +1).

Para Grimm (1999) o efeito de ENOS sobre a temperatura não é tão forte quanto sobre a precipitação. A respeito da implicação do ENOS sobre a temperatura, Barros et al. (2002) detalharam os efeitos sobre o sudeste da América do Sul, incluindo o Sul do Brasil. Referente ao inverno (JJA) durante episódios EN (LN), o efeito mais forte foi constatado no ano (0), com anomalias positivas (negativas) de temperatura nos subtrópicos da América do Sul, com centro no norte da Argentina, estendendo-se sobre a região Sul do Brasil.

5.3.1.1. Ondas de Frio por Inverno Ano (0)

Analisando as ondas de frio sucedidas em Santa Catarina e a fases do ENOS para o inverno de início (0) entre 1983 a 2013 (quadro 6), observa-se que em todas as estações ocorreram maior frequência de ondas de frio em ano de neutralidade (figura 16), com destaque para Itapiranga 56% e Major Vieira 54%. Seguidas pela fase negativa (La Niña), sendo mais frequente do que em anos de El Niño (fase positiva), dentre a totalidade das estações analisadas.

Costa et al. (2007) ao pesquisarem a relação entre a ocorrência das ondas de frio e os eventos El Niño e La Niña, para o município de Santa Maria/RS no período de 1968-2004, concluíram que a frequência das ondas de frio é maior nos períodos de neutralidade do ENOS.

Quando comparado somente à frequência das ondas de frio em anos de atuação de El Niño e La Niña, os resultados demonstram similaridades com o trabalho de Firpo (2008), cujo maior número de ondas de frio ocorreu quando o ENOS estava na fase de La Niña. Grimm e Togatliam (2002) e Firpo et al. (2012) em seus resultados encontraram que nos eventos de La Niña o frio é mais frequente do que nos casos de El Niño.

Variabilidades Climáticas				Ano/Inverno	Estações Meteorológicas/Regiões Agroecológicas - Nº de ondas de frio											
ODP	ENOS - Inverno/Ano 0	ENOS - Inverno/Ano+1	OAA		Itajaí (1A)	São José (1B)	Ituporanga (2A)	Urussanga (2B)	Itapiranga (2C)	Campos Novos (3A)	Major Vieira (3B)	Chapecó (3C)	Lages (4A)	Caçador(4B)	São Joaquim (5)	
FASE QUENTE	Neuro	EN	POSITIVA	1983	3	1	SR	1	SR	SR	SR	3	3	4	SR	
	Neuro	Neuro	POSITIVA	1984	4	3	SR	3	SR	SR	SR	4	3	3	3	
	Neuro	LN	POSITIVA	1985	1	0	0	1	SR	0	SR	3	2	4	2	
	EN	Neuro	NEGATIVA	1986	0	0	0	0	SR	1	SR	1	0	0	0	
	EN	EN	NEGATIVA	1987	3	3	4	3	1	5	SR	5	4	4	4	
	LN	LN	NEGATIVA	1988	4	3	2	3	3	4	1	5	3	4	4	
	Neuro	LN	POSITIVA	1989	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
	Neuro	Neuro	POSITIVA	1990	4	4	4	4	3	6	5	4	3	4	6	
	EN	EN	NEGATIVA	1991	3	1	4	4	2	3	4	3	4	4	1	
	Neuro	EN	NEGATIVA	1992	3	2	3	2	3	4	3	6	2	2	3	
	Neuro	Neuro	POSITIVA	1993	4	6	5	6	4	3	6	5	3	5	4	
	Neuro	Neuro	NEGATIVA	1994	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	
	LN	Neuro	NEGATIVA	1995	0	0	0	2	2	2	0	2	1	1	1	
	Neuro	Neuro	NEGATIVA	1996	3	3	2	3	4	2	0	1	1	2	1	
	EN	EN	POSITIVA	1997	1	1	1	1	1	2	0	3	1	2	1	
	LN	EN	POSITIVA	1998	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	LN	LN	POSITIVA	1999	3	2	2	1	0	1	3	1	1	1	2	
LN	LN	POSITIVA	2000	4	4	3	2	3	3	4	4	4	4	4		
FASE FRIA	Neuro	Neuro	POSITIVA	2001	2	1	1	1	2	3	1	3	2	1	2	
	EN	EN	NEGATIVA	2002	1	1	1	1	0	2	0	2	1	1	1	
	Neuro	Neuro	POSITIVA	2003	1	0	2	2	1	2	2	2	2	1	2	
	EN	Neuro	POSITIVA	2004	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	Neuro	EN	NEGATIVA	2005	1	1	2	0	1	2	1	4	1	1	2	
	EN	Neuro	POSITIVA	2006	1	2	1	2	2	2	1	3	2	2	3	
	LN	Neuro	NEGATIVA	2007	1	2	1	2	1	3	2	3	2	3	2	
	Neuro	LN	POSITIVA	2008	1	1	2	1	3	2	2	3	1	2	3	
	EN	Neuro	NEGATIVA	2009	1	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1	
	LN	EN	POSITIVA	2010	1	0	2	1	0	3	0	3	2	2	3	
	LN	LN	NEGATIVA	2011	4	3	4	2	2	5	4	5	5	5	5	
	Neuro	Neuro	POSITIVA	2012	0	1	1	1	0	1	1	2	1	2	1	
	Neuro	Neuro	NEGATIVA	2013	0	2	3	1	3	3	3	4	3	2	3	
	Total					58	52	56	54	48	71	50	93	64	76	69

Quadro 3 - Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e o número de ondas de frio por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina. (Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015. Nota: SR (Sem Registro)).

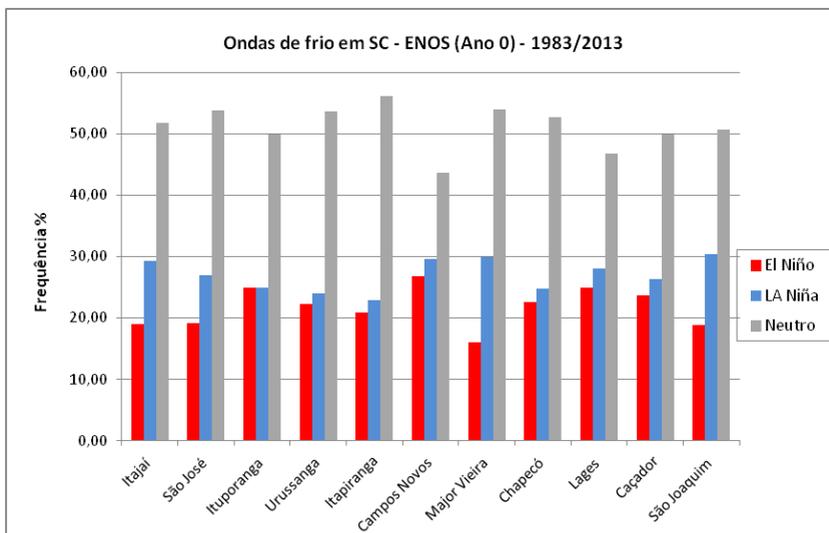


Figura 16 – Frequência das ondas de frio por estação meteorológica no ENSO de Inverno Ano (0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando aplicado o teste estatístico de significância para as médias (teste *t* de Student), com nível de significância de 5% (tabela 12) percebe-se que o número médio de ondas de frio em anos neutros é superior em grande parte das estações analisadas, exceção Itajaí, Campos Novos, Lages e São Joaquim onde as maiores ocorrências foram em anos de La Niña. Nenhuma estação apresentou um número médio de ondas de frio maior durante El Niño. No entanto essas médias não diferem significativamente, ou seja, para este estudo não se pode afirmar que há relação entre o número médio de ondas de frio e ENSO para o inverno de início (ano 0).

Tabela 12 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,37 a	1,25 a	1,75 a	1,50 a	1,42 a	2,37 a	1,33 a	2,62 a	2,00 a	2,25 a	1,62 a
LN	2,12 a	1,75 a	1,75 a	1,62 a	1,37 a	2,62 a	1,87 a	2,87 a	2,25 a	2,50 a	2,62 a
Neutro	2,00 a	1,86 a	2,15 a	1,93 a	2,25 a	2,38 a	2,25 a	3,26 a	2,00 a	2,53 a	2,50 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela 13, apresentam-se os resultados do teste de significância para as variâncias, através do teste F, com nível de significância de 5%. A variação das ocorrências de ondas de frio é maior na fase negativa do ENOS (La Niña) em oito das onze estações. Atente-se para a estação de Lages, a qual apresenta diferenças estatísticas entre os valores médios das variâncias, o que sugere que em anos de La Niña (2,78) tem-se uma maior variação no número de ondas de frio em relação aos anos considerados neutros (0,71) ou sobre influência do El Niño. O que vem ao encontro das considerações realizadas por Marengo e Oliveira (1998) que ao estudarem eventos de La Niña ocorridos no passado, observaram uma maior variabilidade das condições de tempo e clima em relação aos eventos de El Niño.

Tabela 13 - Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,12 a	0,78 a	2,21 a	1,14 a	0,61 a	1,41 a	2,26 a	1,41 a	2,00 a	1,92 a	1,69 a
LN	3,26 a	2,50 a	1,92 a	0,83 a	1,69 a	2,55 a	2,69 a	3,36 a	2,78 b	3,14 a	2,83 a
Neutro	2,00 a	2,55 a	1,80 a	2,35 a	1,65 a	2,25 a	3,11 a	1,63 a	0,71 a	1,69 a	1,80 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1.2. Ondas de Frio por Inverno Ano (+1)

Ao considerar o inverno na fase final do ENOS (ano +1) (quadro 6), há unanimidade na maior frequência das ondas de frio durante os anos considerados neutros (figura 17), assim como, na fase inicial analisado anteriormente. No entanto, quando comparado somente às frequências das ondas de frio entre El Niño e La Niña, percebe-se um equilíbrio nas estações, diferente da fase inicial (ano 0), a qual em fase de La Niña tinha superioridade nas constâncias das ondas de frio.

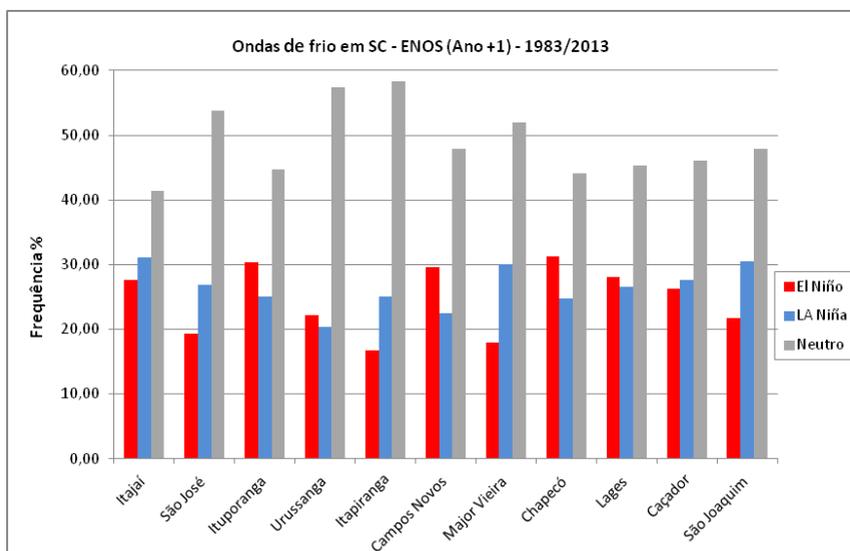


Figura 17 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica no ENOS de Inverno Ano (+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao contrário do ano inicial do ENOS, onde o número médio de ondas de frio em anos neutros é superior em grande parte das estações analisadas, no ano final predominaram os maiores valores durante a La Niña (tabela 14). Resultado semelhante ao encontrado por Firpo et al.(2012) que concluíram pela influência defasada dos eventos de La Niña sobre temperaturas abaixo da média no Estado do Rio Grande do Sul. Os valores médios da estação de Itapiranga foram os únicos a diferirem estatisticamente entre si, pressupondo que em anos de El Niño tenhamos menores registros de ondas de frio se comparados às condições de normalidade.

Tabela 14 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,77 a	1,11 a	2,12 a	1,33 a	1,00 b	2,62 a	1,28 a	3,22 a	2,00 a	2,22 a	1,87 a
LN	2,57 a	2,00 a	2,00 a	1,57 a	2,00 a	2,28 a	2,50 a	3,28 a	2,42 a	3,00 a	3,00 a
Neutro	1,60 a	1,86 a	1,78 a	2,06 a	2,15 a	2,42 a	2,00 a	2,73 a	1,93 a	2,33 a	2,20 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados do teste F para as variâncias na fase final do ENOS no período invernal (ano +1), também demonstram que na fase negativa (La Niña) ocorre uma maior variação nas ocorrências das ondas de frio, em grande parte das estações (tabela 15). Lages foi à estação que apresentou significância estatística de 5% em relação a suas variâncias. Assim como tinha ocorrido durante os testes para o ano inicial, em anos de La Niña espera-se maior dispersão no número médio de ondas de frio para a região de Lages.

Tabela 15 - Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,44 a	0,86 a	2,12 a	1,25 a	1,14 a	2,26 a	2,57 a	2,94 a	2,00 a	2,19 a	1,83 a
LN	2,28 a	2,00 a	1,66 a	0,61 a	1,60 a	3,23 a	1,90 a	2,23 a	2,16 b	2,66 a	2,00 a
Neutro	2,25 a	2,69 a	2,02 a	2,20 a	1,30 a	1,49 a	3,16 a	1,35 a	0,78 a	1,66 a	2,17 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1.3. Duração das ondas de frio Ano (0)

Quanto à duração das ondas de frio em número de dias (quadro 7) para os eventos ENOS em sua fase inicial inverno (0), a estação de Chapecó apresentou no total 252 dias de frio; seguida por Caçador 217 dias; Campos Novos 196 dias e 187 dias de frio na estação de São Joaquim.

Analisando a figura 18, em todas as estações meteorológicas ocorreu um maior percentual de dias frios durante a neutralidade do ENOS, principalmente em Major Vieira 54,7%; Itapiranga 53,1% e Urussanga com 52,3%. A fase negativa (La Niña) predominou em relação à fase positiva (El Niño) nos dias frios em praticamente todas as estações, salvo Ituporanga que teve 26,3% dos dias frios em eventos de El Niño contra 24,4% em período de La Niña.

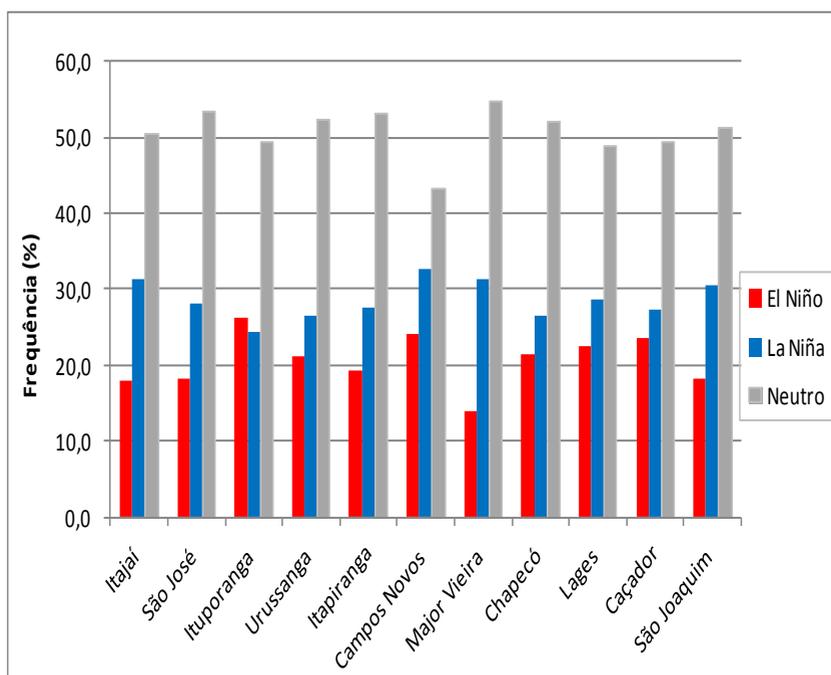


Figura 18 - Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor

Variabilidades Climáticas				Ano/Inverno	Estações Meteorológicas/Regiões Agroecológicas- Duração das ondas de frio (n° de dias)										
ODP	ENOS - Inverno/Ano 0	ENOS - Inverno/Ano-1	OAA		Itajaí (1A)	São José (1B)	Ituporanga (2A)	Urussanga (2B)	Itapiranga (2C)	Campos Novos (3A)	Major Vieira (3B)	Chapecó (3C)	Lages (4A)	Caçador(4B)	São Joaquim (5)
FASE QUENTE	Neutro	EN	POSITIVA	1983	7	2	0	3	0	0	0	9	7	10	0
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1984	12	11	0	11	0	0	0	12	9	10	10
	Neutro	LN	POSITIVA	1985	5	0	0	2	0	0	0	8	6	11	8
	EN	Neutro	NEGATIVA	1986	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
	EN	EN	NEGATIVA	1987	9	10	16	10	3	12	0	16	13	15	12
	LN	LN	NEGATIVA	1988	11	8	6	7	11	11	3	12	8	11	8
	Neutro	LN	POSITIVA	1989	4	3	4	2	6	2	5	4	2	5	3
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1990	13	12	14	11	11	17	16	11	11	11	16
	EN	EN	NEGATIVA	1991	9	2	11	7	5	6	10	7	8	10	3
	Neutro	EN	NEGATIVA	1992	7	4	6	4	8	8	6	12	4	4	6
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1993	13	16	14	16	9	9	14	12	8	13	9
	Neutro	Neutro	NEGATIVA	1994	8	6	9	6	6	5	10	7	6	9	6
	LN	Neutro	NEGATIVA	1995	0	0	0	5	6	4	0	6	2	2	2
	Neutro	Neutro	NEGATIVA	1996	6	6	4	6	9	5	0	3	3	5	3
EN	EN	POSITIVA	1997	3	3	3	4	4	6	0	7	3	5	2	
LN	EN	POSITIVA	1998	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
FASE FRIA	LN	LN	POSITIVA	1999	7	4	5	3	0	3	7	4	3	3	5
	LN	LN	POSITIVA	2000	15	14	6	10	11	13	13	12	12	12	13
	Neutro	Neutro	POSITIVA	2001	5	3	3	2	5	6	3	7	4	2	5
	EN	EN	NEGATIVA	2002	2	2	2	3	0	4	0	5	2	4	3
	Neutro	Neutro	POSITIVA	2003	2	0	4	8	4	9	5	8	8	5	8
	EN	Neutro	POSITIVA	2004	3	3	3	2	4	5	4	4	5	6	4
	Neutro	EN	NEGATIVA	2005	2	2	4	0	2	5	2	9	3	3	4
	EN	Neutro	POSITIVA	2006	2	4	2	4	7	6	2	7	4	4	8
	LN	Neutro	NEGATIVA	2007	4	4	4	4	2	6	6	6	4	8	4
	Neutro	LN	POSITIVA	2008	3	3	5	4	8	4	4	8	3	5	7
	EN	Neutro	NEGATIVA	2009	3	2	4	2	5	5	3	5	4	7	2
	LN	EN	POSITIVA	2010	3	0	4	2	0	9	0	11	5	5	11
	LN	LN	NEGATIVA	2011	14	10	13	9	10	18	12	16	16	18	14
	Neutro	Neutro	POSITIVA	2012	0	3	3	2	0	4	2	7	4	5	2
	Neutro	Neutro	NEGATIVA	2013	0	5	7	2	9	11	8	14	7	9	9
	Total					172	142	156	151	145	196	137	252	174	217

Quadro 4 - Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e a duração das ondas de frio n° de dias por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina. (Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015.)

As maiores médias na duração dos dias frios se dividiram nas fases de La Niña e neutralidade (tabela 16). Em nenhuma estação os picos de média ocorreram na atuação do El Niño. O teste t (Student) não mostrou diferenças estatisticamente significativas entre as médias. Do mesmo modo que nas ocorrências das ondas de frio, na duração (número de dias frios) também não se pode afirmar que há relação com o ENOS em sua fase inicial.

Tabela 16 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	3,87 a	3,25 a	5,12 a	4,00 a	3,50 a	5,87 a	2,37 a	6,75 a	4,87 a	6,37 a	4,25 a
LN	6,75 a	5,00 a	4,75 a	5,00 a	5,00 a	8,00 a	5,37 a	8,37 a	6,25 a	7,37 a	7,12 a
Neutro	5,80 a	5,06 a	5,13 a	5,26 a	5,13 a	5,66 a	5,00 a	8,73 a	5,66 a	7,13 a	6,40 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Salvo as estações de Urussanga e Itapiranga que tiveram suas maiores dispersões em fase neutra e em El Niño, respectivamente, as demais aconteceram durante La Niña (tabela 17). Novamente a estação de Lages foi à única que apresentou significância estatística entre as variâncias, entre anos de La Niña (29,35) e neutralidade (9,35), demonstrando a grande dispersão de dias frios sobre influência do fenômeno La Niña.

Tabela 17 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	10,98 a	8,78 a	29,83 a	10,00 a	6,00 a	7,26 a	11,98 a	16,21 a	16,12 a	20,26 a	15,07 a
LN	35,92 a	27,42 a	16,78 a	12,00 a	26,00 a	34,85 a	25,96 a	27,41 a	29,35 b	36,55 a	26,98 a
Neutro	18,45 a	20,92 a	19,26 a	19,92 a	15,26 a	21,52 a	25,71 a	9,35 a	6,95 a	11,69 a	15,40 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1.4. Duração das ondas de frio Ano (+1)

Analisando a figura 19, em todas as estações meteorológicas ocorreu um maior percentual de dias frios durante a neutralidade do ENOS, ou seja, o mesmo resultado encontrado para o ENOS em seu ano inicial. O que difere é a estação de Chapecó, que demonstrou percentual de dias frios elevados durante os eventos El Niño (30,2) em comparação a La Niña, já que na fase inicial encontrávamos os percentuais mais elevados em fase da La Niña.

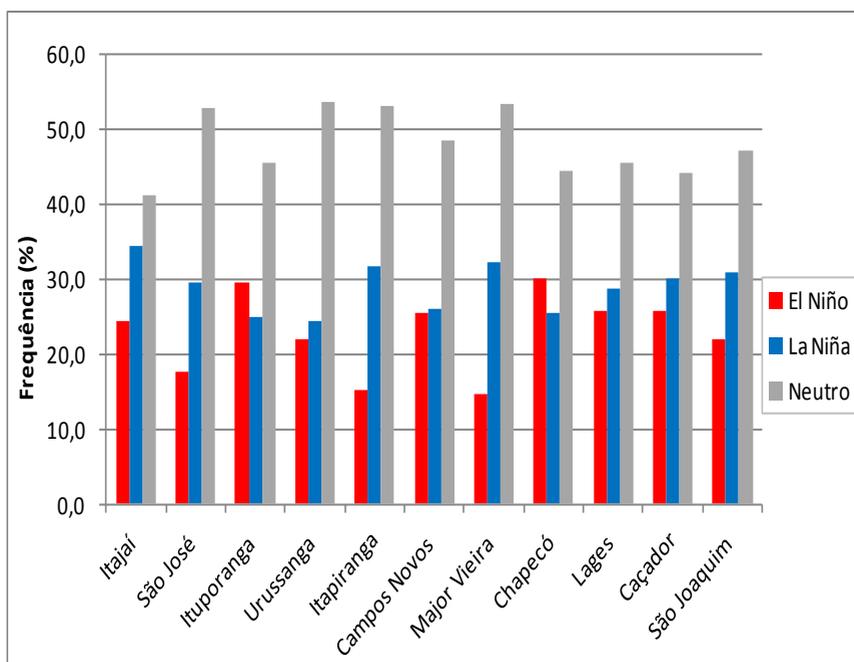


Figura 19- Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Predominaram as maiores médias sob influência da La Niña, para o ano +1 do ENOS. Entretanto não se encontrou relação entre a duração (número de dias frios) e a fase final do ENOS (tabela 18), pois as médias são estatisticamente iguais, resultado semelhante ao encontrado na fase inicial.

Tabela 18 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	4,66 a	2,77 a	5,11 a	3,66 a	2,44 a	5,55 a	2,22 a	8,44 a	5,00 a	6,22 a	4,55 a
LN	8,42 a	6,00 a	5,57 a	5,28 a	6,57 a	7,28 a	6,28 a	9,14 a	7,14 a	9,28 a	8,28 a
Neutro	4,73 a	5,00 a	4,73 a	5,40 a	5,13 a	6,33 a	4,86 a	7,46 a	5,26 a	6,40 a	5,86 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o ano/inverno final do ENOS, em grande parte das estações as maiores dispersões se sucederam na La Niña, da mesma forma que no ano de início (tabela 19). Chama-se novamente a atenção para a maior variabilidade da La Niña em relação ao El Niño nas características de tempo e clima (MARENGO; OLIVEIRA, 1998). O teste F, demonstrou que nenhuma estação apresentou significância estatística entre as variâncias, na fase final do fenômeno ENOS.

Tabela 19 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	11,25 a	8,94 a	27,86 a	10,25 a	8,02 a	15,52 a	12,44 a	20,52 a	15,00 a	20,94 a	19,02 a
LN	23,95 a	23,66 a	14,95 a	11,23 a	23,58 a	45,23 a	22,57 a	19,81 a	27,47 a	27,57 a	15,90 a
Neutro	22,35 a	21,85 a	20,06 a	19,54 a	12,55 a	15,66 a	25,98 a	11,41 a	8,35 a	13,25 a	17,41 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.3.1.5. Geadas no Inverno Ano (0)

Considerando as ocorrências de geadas durante as ondas de frio, em relação ao ENOS é possível averiguar que entre 1983 a 2013, São Joaquim registrou 124 geadas; seguida por Caçador 123; Lages e Major Vieira 108 e 106, respectivamente (quadro 8). Como era de se esperar, as

estações do litoral, São José (18) e Itajaí (20) apresentaram os menores registros. As ocorrências de geadas em Santa Catarina possuem maior frequência nas regiões do Planalto e nos municípios mais ao norte das regiões Oeste e Meio Oeste, e que na faixa litorânea as possibilidades são menores, mas aumentam nas proximidades das encostas das Serras Geral e do Mar (MONTEIRO, 2001; AGUIAR; MENDONÇA, 2004 e SPINELLI; ALVES, 2014).

Em relação à fase inicial do ENOS ano (0), grande parte das estações registrou mais geada em anos considerados normais (figura 20), com exceção de Itajaí (50%) e São José (55,6%), onde foi sob o fenômeno La Niña que as geadas mais aconteceram. Quando comparado somente às fases extremas do ENOS (La Niña e El Niño) as médias foram maiores durante a La Niña, exceção a Ituporanga, Lages e Urussanga que foi em eventos El Niño. O que vem a reforçar os trabalhos de Muller, (2006); Aguiar e Mendonça, (2004) e Firpo, (2008) que a partir de suas análises, comprovaram que a variabilidade anual na frequência da ocorrência de geadas é explicada em parte pela presença do ENOS, sendo nos anos de La Niña o número de geadas é superior aos anos de El Niño.

Variabilidades Climáticas - Fases				Ano/Inverno	Estações Meteorológicas/Regiões Agroecológicas - N° de ocorrência de geadas										
ODP	ENOS - Inverno/Ano 0	ENOS - Inverno/Ano+1	OAA		Itajaí (1A)	São José (1B)	Ituporanga (2A)	Urussanga (2B)	Itapiranga (2C)	Campos Novos (3A)	Major Vieira (3B)	Chapecó (3C)	Lages (4A)	Caçador(4B)	São Joaquim (5)
FASE QUENTE	Neutro	EN	POSITIVA	1983	0	0	SR	1	SR	SR	SR	2	4	5	SR
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1984	2	0	SR	0	SR	SR	SR	6	7	7	8
	Neutro	LN	POSITIVA	1985	0	0	0	0	SR	0	SR	4	1	4	0
	EN	Neutro	NEGATIVA	1986	0	0	0	0	SR	1	SR	1	0	0	0
	EN	EN	NEGATIVA	1987	4	2	9	7	0	5	SR	6	7	8	6
	LN	LN	NEGATIVA	1988	1	0	2	4	3	8	2	7	3	7	2
	Neutro	LN	POSITIVA	1989	1	0	1	0	3	1	5	2	1	0	2
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1990	0	0	3	6	6	8	9	6	6	5	12
	EN	EN	NEGATIVA	1991	1	1	6	5	4	5	10	5	7	9	2
	Neutro	EN	NEGATIVA	1992	0	1	3	2	1	3	5	3	3	2	3
	Neutro	Neutro	POSITIVA	1993	0	0	4	11	1	4	10	3	6	8	4
	Neutro	Neutro	NEGATIVA	1994	0	0	4	1	1	3	9	2	4	5	3
	LN	Neutro	NEGATIVA	1995	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	2
	Neutro	Neutro	NEGATIVA	1996	0	0	1	4	2	2	0	1	1	3	1
	EN	EN	POSITIVA	1997	0	0	0	3	2	5	0	3	3	3	0
	LN	EN	POSITIVA	1998	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	LN	LN	POSITIVA	1999	1	0	2	0	0	2	6	1	2	2	5
	LN	LN	POSITIVA	2000	8	7	5	7	3	11	13	5	8	8	9
	Neutro	Neutro	POSITIVA	2001	2	0	0	1	0	1	2	1	3	2	4
EN	EN	NEGATIVA	2002	0	0	1	1	0	2	0	1	2	1	3	
Neutro	Neutro	POSITIVA	2003	0	0	3	2	0	6	3	5	6	4	8	
EN	Neutro	POSITIVA	2004	0	1	2	2	1	3	4	2	4	4	3	
Neutro	EN	NEGATIVA	2005	0	1	3	0	0	2	2	2	2	2	3	
EN	Neutro	POSITIVA	2006	0	0	2	2	1	5	2	3	4	4	8	
LN	Neutro	NEGATIVA	2007	0	1	3	1	0	3	6	2	3	5	4	
Neutro	LN	POSITIVA	2008	0	1	4	3	1	2	2	2	2	2	7	
EN	Neutro	NEGATIVA	2009	0	0	4	2	0	3	3	2	3	4	1	
LN	EN	POSITIVA	2010	0	0	0	1	0	3	0	2	2	2	7	
LN	LN	NEGATIVA	2011	0	2	3	5	3	8	5	8	8	9	11	
Neutro	Neutro	POSITIVA	2012	0	0	1	2	0	4	2	3	2	3	2	
Neutro	Neutro	NEGATIVA	2013	0	1	3	1	0	0	4	4	3	4	4	
Total					20	18	69	76	33	101	106	95	108	123	124

Quadro 5- Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e as ocorrências de geada por estação meteorológica no período de 1983 a 2013 em Santa Catarina.

Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015, CPC/NOAA, 2015 e EPAGRI/CIRAM, 2015. Nota: SR (Sem Registro).

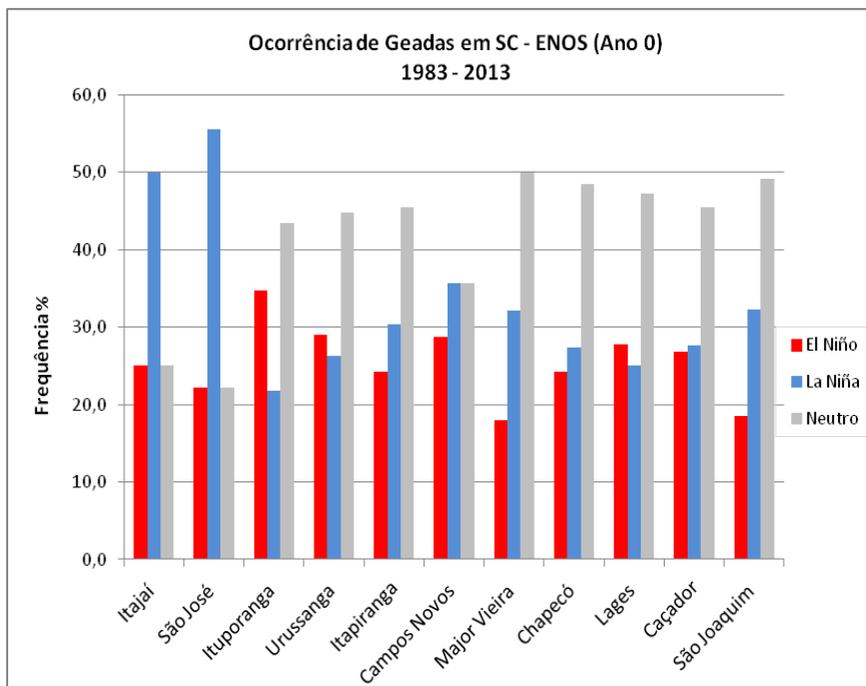


Figura 20 – Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao testar as diferenças entre os valores médios de ocorrências de geada para fase inicial do ENOS (tabela 20), constatou-se que as médias não diferem entre si em nenhuma das estações, ou em outras palavras, as ocorrências médias de geada em Santa Catarina são iguais entre todas as fases do ENOS em seu período inicial.

Tabela 20- Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	0,62 a	0,50 a	3,00 a	2,75 a	1,14 a	3,62 a	3,16 a	2,87 a	3,75 a	4,12 a	8,00 a
LN	1,25 a	1,25 a	1,87 a	2,50 a	1,25 a	4,50 a	4,25 a	3,25 a	3,37 a	4,25 a	5,00 a
Neutro	0,33 a	0,26 a	2,50 a	2,26 a	1,25 a	2,76 a	4,41 a	3,06 a	3,40 a	3,73 a	14,00 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a atuação da La Niña, a dispersão no número médio de geada foi maior em quase todas as estações, exceto Ituporanga em fase de El Niño e São Joaquim em anos neutros (tabela 21). As variâncias das estações de Itajaí, São José e Chapecó, são significativas estatisticamente, possuindo valores elevados sob predomínio da La Niña. Já as estações de Ituporanga e novamente Itajaí, têm suas variâncias significativas a 5%, ao compararmos os valores entre as condições de El Niño e neutralidade. Isto demonstra que durante o evento El Niño é de se esperar uma grande variação do número de ocorrências de geadas para Ituporanga e Itajaí, e durante a La Niña maior dispersão nas estações de São José, Itajaí e Chapecó.

Tabela 21 - Resultados das variâncias para os números das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano 0) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,98 c	0,57 a	10,00 b	5,07 a	2,14 a	2,55 a	13,76 a	3,26 a	5,64 a	9,55 a	8,12 a
LN	7,64 b	5,92 b	3,26 a	6,57 a	2,21 a	15,71 a	18,50 a	9,07 b	9,12 a	11,92 a	14,28 a
Neutro	0,52 a	0,20 a	1,90 a	8,63 a	3,11 a	5,35 a	10,81 a	2,63 a	4,11 a	4,35 a	10,70 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1.6. Geadas no Inverno Ano (+1)

De acordo com a figura 21, a porcentagem de geadas é maior em anos de neutralidade, restrição à Itajaí e São José, que sob atuação da La Niña tem-se mais ocorrência. Resultado idêntico ao encontrado na análise para a fase inicial ano (0).

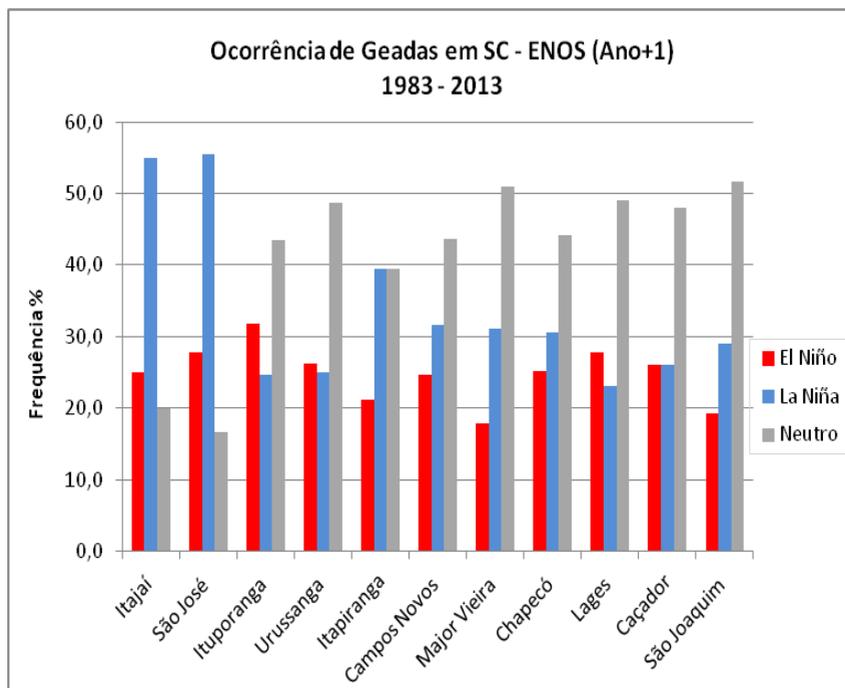


Figura 21 – Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases do ENOS (Ano +1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 – 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na fase final do fenômeno ENOS durante o período invernal, as maiores médias relacionadas às ocorrências de geada encontraram-se durante o predomínio da La Niña, exceção feita a Ituporanga que foi sobre a interferência do El Niño (tabela 22). As médias não diferem entre si em nenhuma das estações no ano final. Em outras palavras, as ocorrências médias de geada em Santa Catarina são iguais entre todas as

fases do ENOS em seu período final e também na fase inicial como encontrado anteriormente.

Tabela 22 - Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	0,55 a	0,55 a	2,75 a	2,22 a	0,87 a	3,12 a	2,71 a	2,66 a	3,33 a	3,55 a	3,00 a
LN	1,57 a	1,42 a	2,42 a	2,71 a	2,16 a	4,57 a	5,50 a	4,14 a	3,57 a	4,57 a	5,14 a
Neutro	0,26 a	0,20 a	2,14 a	2,46 a	1,00 a	3,14 a	4,15 a	2,80 a	3,53 a	3,93 a	4,26 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do teste de significância para as variâncias (teste F) no inverno de término do fenômeno ENOS (tabela 23), encontrou-se os mesmos resultados do período de início (ano 0). As variâncias das estações de Itajaí, São José e Chapecó, são significativas estatisticamente, possuindo valores elevados sobre predomínio da La Niña. Itajaí também tem suas médias diferindo em condições de El Niño, assim como Ituporanga ao compararmos os valores entre as condições de El Niño (10,78) e neutralidade (2,28).

Tabela 23 - Resultados da variância para os números das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases do ENOS (Ano+1) para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase do ENOS	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
EN	1,77 c	0,52 a	10,78 b	5,69 a	2,12 a	3,26 a	13,57 a	3,50 a	5,50 a	9,77 a	6,28 a
LN	8,28 b	6,61 b	2,95 a	7,90 a	1,76 a	18,61 b	16,30 a	7,14 a	9,61 a	11,95 a	16,47 a
Neutro	0,49 a	0,17 a	2,28 a	7,83 a	2,66 a	4,74 a	11,30 a	3,02 a	4,26 a	4,20 a	11,06 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2. Relação das ondas de frio com o OAA

A Oscilação Antártica, é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica extratropical do Hemisfério Sul e atua em escalas temporais que variam de intrasazonal e interanual (THOMPSON; WALLACE, 2000).

Ao relacionar as ocorrências das ondas de frio em Santa Catarina com a Oscilação Antártica, para o período de inverno (quadro 6), ressalta-se que exceção às estações de Ituporanga, Itapiranga e Campos Novos, as demais apresentaram na fase positiva da OAA maior frequência nas ocorrências de ondas de frio (figura 22). Com relação à AAO, contrariamente ao ENOS e a ODP, sua fase positiva é a que contribui para anomalias negativas de temperatura na região sul do Brasil (WALLACE, 2000; GRIMM, TOGATLIAM, 2002; JUSTINO, PELTIER, 2008; FIRPO *et al.*, 2012; MENDONÇA, ROMERO, 2012; THOMPSON, LINDEMANN, 2012).

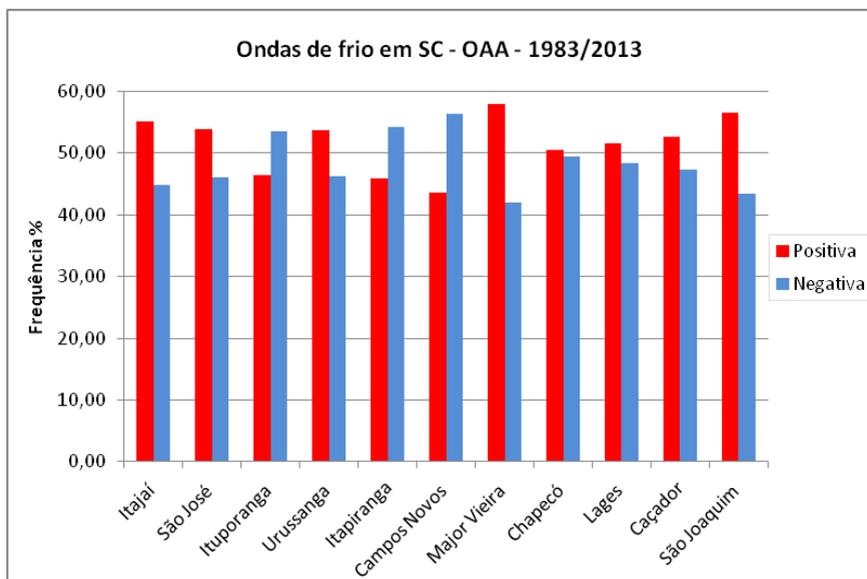


Figura 22 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante as ondas de frio, predominaram em boa parte das estações, os maiores valores médios na fase negativa da OAA. No entanto essas médias não apresentam significância estatística para nenhuma das estações analisadas (tabela 24).

Tabela 24 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	1,88 a	1,64 a	1,73 a	1,70 a	1,57 a	2,06 a	2,07 a	2,76 a	1,94 a	2,35 a	2,43 a
Negativa	1,85 a	1,71 a	2,14 a	1,78 a	2,00 a	2,85 a	1,75 a	3,28 a	2,21 a	2,57 a	2,14 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 25 demonstra que assim como nas médias, as variâncias também não diferiram entre si em nenhuma estação, com dispersões bem distribuídas entre as estações nas fases positiva e negativa da OAA.

Tabela 25- Resultados das variâncias para os números de ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	2,11 a	2,86 a	1,92 a	2,09 a	1,80 a	2,20 a	3,30 a	1,44 a	1,05 a	1,99 a	2,12 a
Negativa	2,13 a	1,14 a	1,82 a	1,10 a	1,16 a	1,51 a	2,20 a	2,52 a	2,02 a	2,10 a	2,13 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2.1. Duração das ondas de frio durante a OAA

É possível verificar ao longo do período invernal analisado (figura 23) que durante a fase positiva da OAA, registrou-se a maioria dos dias frios, salvo nas estações de Ituporanga, Itapiranga e Campos Novos, cujas ocorrências tiveram na fase negativa a maior frequência.

Durante a fase positiva da AAO, anomalias de baixa pressão ocorrem sobre a Antártica e anomalias de alta pressão ocorrem nas latitudes médias. Assim, durante a fase positiva da AAO há maior

chance de ocorrência de episódios de frio para as latitudes médias, onde está situado o Estado Catarinense (THOMPSON, WALLACE, 2000; JUSTINO, PELTIER, 2008; LINDEMANN, 2012).

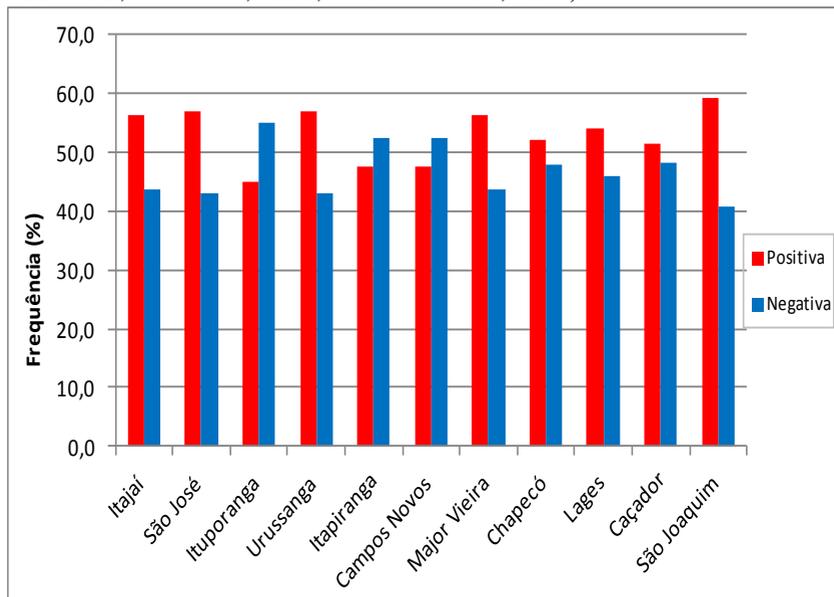


Figura 23 - Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Há certo equilíbrio nos valores médios de dias frios durante as fases da OAA entre as estações (tabela 26). Novamente não foi possível encontrar diferenças estaticamente significativas entre as médias.

Tabela 26 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	5,70a	4,76a	4,11a	5,05a	4,05a	5,47a	4,52a	7,70a	5,52a	6,58a	6,52a
Negativa	5,35a	4,35a	6,14a	4,64a	5,42a	7,35a	4,28a	8,64a	5,71a	7,50a	5,42a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância. Fonte: Elaborado pelo autor.

Também não tem significância estatística entre as variâncias (tabela 27). Novamente tem-se equilíbrio nas dispersões em relação às fases da OAA, entre as estações.

Tabela 27 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meterológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	22,50 a	26,31 a	17,36 a	19,80 a	16,55 a	23,14 a	26,51 a	11,34 a	10,51 a	14,50 a	20,39 a
Negativa	19,94 a	11,06 a	22,13 a	9,47 a	13,34 a	17,63 a	18,83 a	20,70 a	19,60 a	25,19 a	16,26 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2.2. Análise das geadas em relação à OAA

Ao considerar as ocorrências de geadas durante as ondas de frio inverniais, em relação às fases das OAA (figura 24), verifica-se que em dez estações, as ocorrências de geadas são frequentes na fase positiva da OAA, destaque para Itajaí (70%). Resultado semelhante aos encontrados para as ocorrências de ondas de frio. A estação de Ituporanga foi à única que durante o período negativo da OAA obteve maior frequência (60,9%).

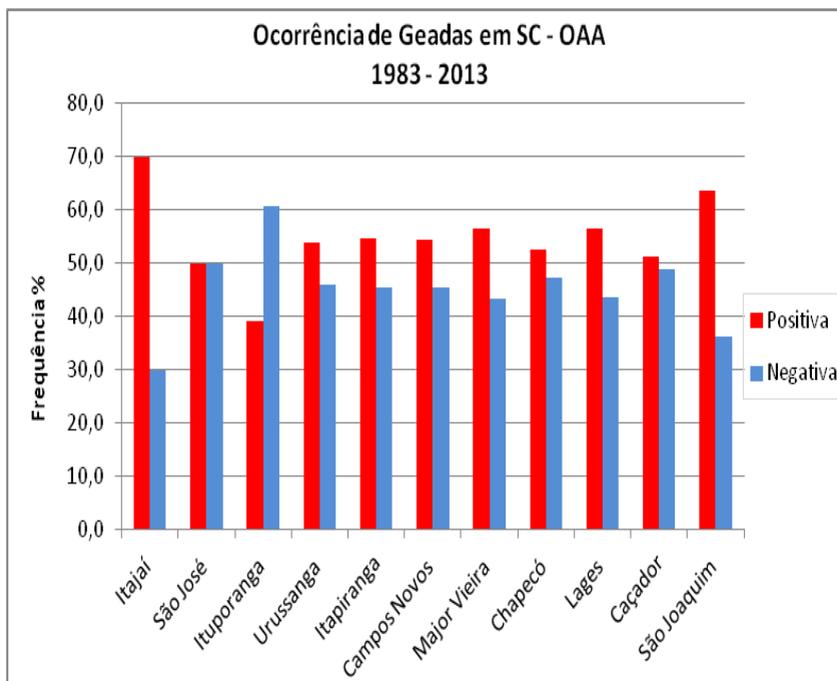


Figura 24 - Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma anomalia positiva no índice da Oscilação Antártica provoca condições anormalmente secas no sul da América do Sul, Austrália e Sul da África, ao mesmo tempo em que os fortes ventos zonais aumentam o isolamento da Antártica, reduzindo o intercâmbio de calor com os trópicos e provocando um esfriamento deste continente e dos mares que o rodeiam, originando as massas de ar que são responsáveis pelas ondas de frio, temperaturas baixas e por consequentes episódios de geadas (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Conforme revisão de literatura, a AAO esteve de acordo com o esperado para suas fases em relação aos episódios de frio (ondas de frio e as ocorrências de geadas).

As maiores médias relacionadas às ocorrências de geada durante a OAA encontraram-se bem divididas nas fases positiva e negativa entre as estações (tabela 28). Assim, as ocorrências médias de geada em Santa

Catarina em episódios de ondas de frio são iguais entre as fases da OAA.

Tabela 28 - Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	0,82 a	0,52 a	1,80 a	2,41 a	1,28 a	3,66 a	4,28 a	2,94 a	3,58 a	3,70 a	4,93 a
Negativa	0,42 a	0,64 a	3,00 a	2,50 a	1,15 a	3,28 a	3,83 a	3,21 a	3,35 a	4,28 a	3,21 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já ao testar as variâncias, as estações de Itajaí e São José possuem significância estatística a 5% (tabela 29). Demonstrando que em anos de OAA positiva se espera uma maior dispersão nas ocorrências de geadas do que na fase negativa.

Tabela 29 - Resultados das variâncias para ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da OAA para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da OAA	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Positiva	3,90 a	2,88 a	2,88 a	9,00 a	2,98 a	9,23 a	15,29 a	3,05 a	5,38 a	5,72 a	13,26 a
Negativa	1,18 b	0,55 b	5,69 a	4,57 a	1,97 a	5,91 a	11,24 a	5,71 a	5,78 a	9,14 a	7,25 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.3. Relação das ondas de frio com a ODP

No que diz respeito à ODP, em sete das onze estações, as ondas de frio ocorreram com mais frequência sob a fase quente (positiva) (figura 25), contrariando o exposto através da revisão de literatura, onde se aponta que os casos de anomalias negativas de temperatura são mais recorrentes na fase fria (negativa) desta variabilidade (LADOCHY et al., 2007; STRECK et al. 2011).

Vale ressaltar que nos 31 anos analisados para verificação da ocorrência de onda de frio (1983-2013) em Santa Catarina, há um padrão de fase quente da ODP para o Hemisfério Sul (Figura 8), nos primeiros quinze anos. Na segunda metade, a partir de 1998, há um padrão de fase fria, ocorrente até a atualidade (MANTUA; HARE, 2002).

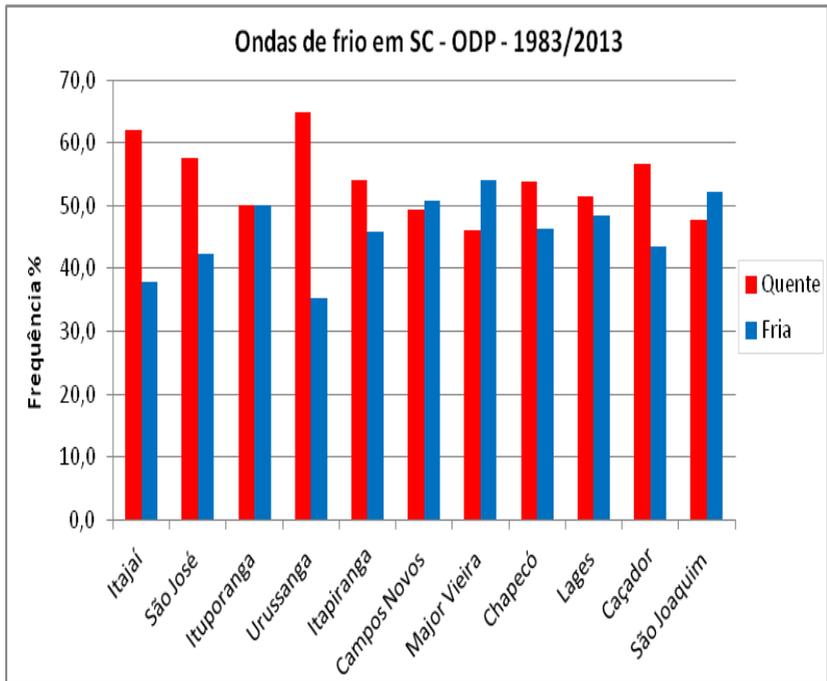


Figura 25 - Frequência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 a 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os valores médios de ocorrências das ondas de frio em relação às fases quente e fria da ODP, temos que somente São Joaquim tem média superior durante a fase fria da ODP (tabela 30). Fator semelhante às considerações de Alves et al. (2014), que ao investigarem as ocorrências de ondas de frio inverniais no município de São Joaquim, Santa Catarina, tiveram entre outros resultados, que há correlação entre a ocorrência de ondas de frio e a fase fria da Oscilação

Decadal do Pacífico (ODP). As fases da ODP, no entanto, não diferem entre si no número médio de ocorrência de onda de frio em Santa Catarina durante o inverno, conforme resultado exposto na tabela 30, através do teste t de Student para diferença entre as médias.

Tabela 30 - Valores médios do número de ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	MajorVieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	2,25 a	1,87 a	2,00 a	2,18 a	2,16 a	2,50 a	2,09 a	3,12 a	2,06 a	2,68 a	2,20 a
Fria	1,46 a	1,46 a	1,86 a	1,26 b	1,46 a	2,40 a	1,80 a	2,86 a	2,06 a	2,22 a	2,40 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já ao analisar as diferenças entre as variâncias, através do teste F, em todas as estações os números de ondas de frio são maiores na fase quente da ODP. Estatisticamente as variâncias diferem entre si nas estações de Ituporanga, Urussanga e Campos Novos (tabela 31), refletindo que em período de fase quente da ODP é de se esperar uma maior dispersão nos eventos de ondas de frio em relação à fase fria.

Tabela 31 - Resultados das Variâncias para os números de ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	MajorVieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	2,33 a	2,91 a	3,07 a	2,42 a	1,60 a	3,19 a	4,49 a	2,78 a	1,66 a	2,49 a	3,02 a
Fria	1,55 a	1,12 a	0,83 b	0,45 b	1,26 a	0,97 b	1,60 a	1,12 a	1,35 a	1,45 a	1,25 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.3.1. Duração das ondas durante a ODP

Assim como no número médio de ondas de frio, as estações de Campos Novos (55,1%), Major Vieira (51,8%) e São Joaquim (52,9%) foram as únicas a terem na fase fria da ODP a maioria de seus dias frios (figura 26).

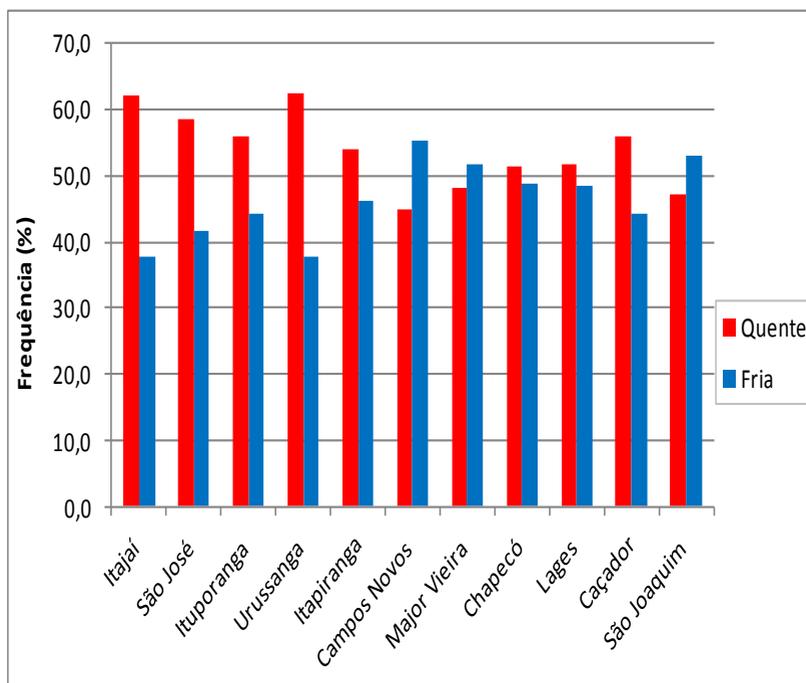


Figura 26- Frequência de dias sob ocorrência das ondas de frio por estação meteorológica nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a tabela 32, nenhuma estação expôs significância estatística ao testar as diferenças entre as médias (teste t Sudent). Os maiores valores predominam durante a fase quente para a maioria das estações.

Tabela 32 - Valores médios da duração (dias) das ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	6,68 a	5,18 a	5,43 a	5,87 a	4,87 a	5,50 a	4,12 a	8,06 a	5,62 a	7,56 a	5,50 a
Fria	4,33 a	3,93 a	4,60 a	3,80 a	4,46 a	7,20 a	4,73 a	8,20 a	5,60 a	6,40 a	6,60 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância. Fonte: Elaborado pelo autor.

Apenas Ituporanga exibiu diferenças entre os valores médios de suas variâncias, comprovada estatisticamente a um nível de significância de 5% (tabela 33), esperando-se maiores dispersões na duração dos dias frios na fase quente da ODP.

Tabela 33 - Resultados das variâncias para duração (dias) das ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	19,82 a	24,56 a	32,66a	19,31 a	16,38 a	24,40a	30,25 a	18,82 a	14,65 a	21,19 a	22,13 a
Fria	20,09 a	13,21 a	7,25 b	8,45 a	14,69 a	17,02 a	15,21 a	13,02 a	14,54 a	16,97 a	14,68 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.3.2. Análise das geadas em relação à ODP

Quando relacionadas às ocorrências de geadas durante as ondas de frio com as fases da ODP, nota-se que sucederam na fase fria as maiores frequências em parte das estações, tais como, Itajaí (55%); São José (77,8%); Ituporanga (52,2%); Campos Novos (54,5%); Major Vieira (50,9%) e São Joaquim (63,7%) (figura 27). Isto reforça as considerações do trabalho de Spinelli e Alves (2014), o qual apresentou relação entre a fase negativa da ODP com ocorrência de geadas extremas em Santa Catarina. Destaca-se também Itapiranga (72,7%) e Urussanga (60,5%) de registros de geadas nas ondas de frio durante a fase quente da ODP.

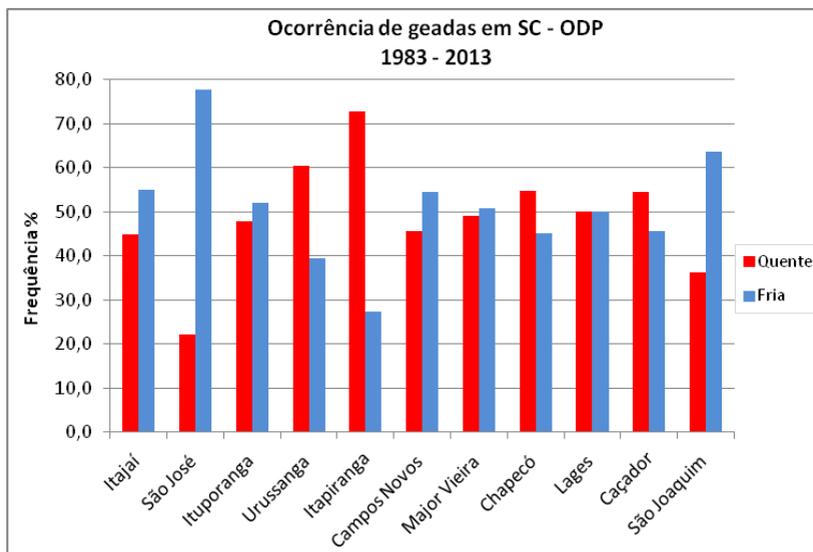


Figura 27 - Frequência das ocorrências de geada durante as ondas de frio por inverno nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013. Fonte: Elaborado pelo autor.

As maiores médias apresentam-se bem divididas entre as fases da ODP, seis estações na fase fria e cinco na fase quente. A estação de Itapiranga é a única que tem seus valores médios estatisticamente diferentes entre si, ou seja, se espera maiores registros de geadas na fase quente da ODP (tabela 34).

Tabela 34- Valores médios das ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	Major Vieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	0,56 a	0,25 a	2,35 a	2,87 a	2,00 a	3,28 a	4,72 a	3,25 a	3,37 a	4,18 a	3,00 a
Fria	0,73 a	0,93 a	2,40 a	2,00 a	0,60 b	3,66 a	3,60 a	2,86 a	3,60 a	3,73 a	5,26 a

Nota: Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste t (Student) ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na maioria das estações as dispersões são superiores durante a fase quente da ODP (tabela 35), porém, apenas a estação de Ituporanga

apresentou significância estatística entre os valores médios na fase quente. Já Itajaí e São José possuem diferença significativa entre seus valores médios na fase fria. Assim, na fase quente da ODP, há um indicativo que as ocorrências de geadas durante as ondas de frio em Itapiranga sejam mais dispersas. Já na fase fria é provável maiores variações nas estações de Itajaí e São José.

Tabela 35 - Resultados das variâncias para as ocorrências de geadas durante as ondas de frio nas fases da ODP para Santa Catarina no período invernal de 1983 - 2013.

Fase da ODP	Estações Meteorológicas										
	Itajaí	São José	Ituporanga	Urussanga	Itapiranga	Campos Novos	MajorVieira	Chapecó	Lages	Caçador	São Joaquim
Quente	1,19 a	0,33 a	7,32 a	9,98 a	3,09 a	7,14 a	17,41 a	4,73 a	6,65 a	9,36 a	11,42 a
Fria	4,35 b	3,20 b	2,11 b	3,42 a	1,11 a	8,09 a	10,11 a	3,69 a	4,40 a	5,06 a	8,35 a

Nota: Variâncias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4. ANÁLISE CONJUNTA DA RELAÇÃO DAS FORÇANTES CLIMÁTICAS (ENOS/OAA/ODP) COM AS ONDAS DE FRIO E AS OCORRÊNCIAS DE GEADAS

Conforme apresentado anteriormente alguns autores afirmam que os episódios de frio intenso, para o sul do Brasil, ocorrem com maior frequência na fase negativa do ENOS, ou seja, durante a La Niña, e diminuem em fase de El Niño (PITTOCK, 1980; GRIMM et al. 1998; RUSTICUCCI; VARGAS 2001; BIDEGAIN; REMON 2002; GRIMM, TOGATLIAN, 2002; GUIMARÃES; DOS REIS, 2012). O mesmo acontece para as fases distintas da ODP, em que o esperado é que as temperaturas do ar apresentem-se menores nas fases negativas e vice-versa (MANTUA et al., 1997; MANTUA; HARE, 2002; SCHNEIDEIR; CORNUELLE, 2005; KAYANO; ANDREOLI, 2007; MOLION, 2007; GARCIA; KAYANO, 2008; MENDONÇA; ROMERO, 2012). Existem ainda combinações entre estas variabilidades que podem colaborar para a maior frequência de episódios de frio. Com relação à AAO, contrariamente ao ENOS e a ODP, sua fase positiva é a que contribui para anomalias negativas de temperatura na região sul brasileira (WALLACE, 2000; GRIMM, TOGATLIAM, 2002; KAYANO; ANDREOLI, 2007; JUSTINO, PELTIER, 2008; FIRPO et

al., 2012; MENDONÇA, ROMERO, 2012; THOMPSON, LINDEMANN, 2012).

Esta análise leva em consideração as ondas de frio inverniais em todo o Estado, sem considerar uma região agroecológica específica, ou seja, a contabilização das ondas foi atribuída levando em consideração a data de ocorrência e não apenas a estação. Para analisar a relação das variabilidades climáticas (ENOS/ODP/OAA) de forma conjunta nas ocorrências de ondas de frio em Santa Catarina, partiu-se da seleção dos anos que apresentaram as maiores e menores ocorrências de ondas de frio (quadro 9) e também os anos com as ondas de frio mais extensas do período (quadro 10).

Os anos de 1993 e 1990 (quadro 9) foram os que registraram as maiores ocorrências de onda de frio inverniais em Santa Catarina, sendo 11 e 7, respectivamente. Nota-se que nesses anos o hemisfério sul estava sob condições de neutralidade do ENOS, fase quente da ODP e fase positiva da OAA. Confirmando a relação que a fase positiva da OAA possui com as anomalias negativas de temperatura para o sul brasileiro, consequentemente para Santa Catarina.

No que diz respeito aos anos de menor ocorrência, 1986, 1989 e 1998, com apenas um registro em cada ano, as variabilidades estão estabelecidas de diversas formas, sendo em comum apenas a fase quente da ODP, que contribui para elevação das temperaturas médias globais (MOLION, 2005; STRECK et al.2011).

Ano/Inverno	Nº de ocorrência	ODP	ENOS - Inverno/ Ano 0	ENOS - Inverno/ Ano+1	OAA
1993	11	Fase quente	Neutro	Neutro	POSITIVA
1990	7	Fase quente	Neutro	Neutro	POSITIVA
1986	1	Fase quente	EN	Neutro	NEGATIVA
1989	1	Fase quente	Neutro	LN	POSITIVA
1998	1	Fase quente	LN	EN	POSITIVA

Quadro 6 - Anos com as maiores e menores ocorrências de ondas de frio inverniais em Santa Catarina entre 1983-2013, Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e suas respectivas fases.

Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015.

Em se tratando da onda de frio mais extensa de toda a série (quadro 10), encontrada em julho de 2000 com duração de nove dias, as

condições eram de fase fria da ODP, La Niña e fase positiva da OAA. A respeito da atuação concomitante das forçantes climáticas nas ondas de frio, Romero e Mendonça (2012) argumentam que as ondas de frio ocorrem regularmente, porém as de maior magnitude e alcance espacial se devem à sinergia de um conjunto de fatores: Fase Positiva da Oscilação Sul, com fenômeno La Niña, Fase Fria da Oscilação Decadal do Pacífico, Fase Positiva da Oscilação Antártica. A segunda onda de frio mais extensa, a de julho de 2011 (8 dias), também predominavam a fase fria da ODP e La Niña, no entanto ocorreu a fase negativa da OAA.

ANO	MÊS	Intervalo	Nº de dias	ODP	ENOS - Inverno/ Ano 0	ENOS - Inverno/ Ano+1	OAA
2000	julho	12 a 20	9	Fase Fria	LN	LN	POSITIVA
2011	julho	2 a 9	8	Fase Fria	LN	LN	NEGATIVA

Quadro 7 - Anos com as ondas de frio de maior abrangência temporal em SC (1983 a 2013), Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA) e suas respectivas fases.

Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015 e CPC/NOAA, 2015.

Conforme as informações do quadro 9 e 10 nota-se que as variabilidades podem estar estabelecidas de diversas formas no período de ocorrência. Contudo, analisando os casos extremos (maior e menor ocorrências), pode-se deduzir que a Oscilação Antártica em sua fase positiva possui maior recorrência nas ondas de frio; já a atuação conjunta da fase fria da ODP e a La Niña, contribuem para as ondas de frio de maior escala temporal. O que pode está atrelado ao que Kayano; Andreoli, (2007) denominam de efeito construtivo, quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase, e destrutivo quando eles estão em fases oposta. Podendo significar que em anos de La Niña e fase fria de ODP, o padrão de anomalia negativa da temperatura seja mais evidente do que quando ocorre El Niño e fase fria da ODP ou ainda La Niña e a fase quente da ODP (MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Yoon e Yeh (2010) em estudo sobre a influência da Oscilação Decadal do Pacífico sobre a relação entre El Niño e a monção de verão do Nordeste Asiático, no período de 1979 a 2007, notaram que quando o El Niño ocorre durante o inverno boreal (dezembro-fevereiro), a quantidade de precipitação sobre nordeste da Ásia é geralmente acima do normal durante o verão seguinte (junho-agosto). Esta relação entre El Niño e a monção do Nordeste Asiático é intensificada quando o El Niño e a ODP estão na mesma fase durante o inverno anterior. Os autores

argumentam da ocorrência do efeito construtivo entre o ENOS e a ODP, quando estão na mesma fase, ou destrutivo, em situação de fases opostas, na qual podem interferir na resposta das chuvas de verão sobre o nordeste da Ásia.

O mesmo procedimento foi adotado para analisar as ocorrências de geadas frente às variabilidades climáticas de forma conjunta. Os anos/invernos onde se registrou as maiores e menores ocorrências do fenômeno da geada foram selecionados, conforme quadro 11.

Os anos de 2000 (82 geadas) e 2011(62 geadas) foram os maiores registros de geadas durante o inverno na atuação de uma onda de frio em Santa Catarina. Anos estes, que coincidem também como os de maior duração das ondas de frio. Nestes períodos tivemos atuação da fase fria da ODP e La Niña, contudo no ano de 2000 a OAA estava na fase positiva e, em 2011, na fase negativa. Já em 1990, onde ocorreram 61 geadas durante as ondas de frio inverniais, o predomínio foi de fase quente da ODP, neutralidade no ENOS e fase positiva da OAA, podendo a fase positiva da OAA explicar em parte o grande número de registros de geadas neste período, pois é ela que contribui para anomalias negativas de temperatura na região Sul do Brasil (JUSTINO, PELTIER, 2008; THOMPSON, LINDEMANN, 2012).

O trabalho de Spinelli e Alves (2014) apresentou relação entre a fase fria da ODP com ocorrência de geadas extremas em Santa Catarina. Os mesmos afirmam ainda, que o maior registro de geada ocorreu em 1999 e 2000, durante o fenômeno de La Niña e fase fria da ODP. Aguiar e Mendonça (2004) verificaram que no estado catarinense em anos de LN houve maior frequência de geadas do que em anos normais ou EN.

Os invernos que menos registraram geadas durante eventos de ondas de frio, também coincidem como os de menores ocorrências de ondas de frio no estado catarinense, 1986 e 1998. Destaque para a atuação da fase quente da ODP e do fenômeno El Niño, o que podem ter contribuído para menores incidências das geadas no Estado de Santa Catarina.

De acordo com as ocorrências de geadas (maiores e menores), conforme quadro 11, temos que os maiores registros estão fortemente atrelados a atuação conjunta do fenômeno La Niña e fase fria da ODP, como um efeito construtivo, acrescentando os efeitos de frio a região em estudo. Enquanto os menores registros partem do mesmo raciocínio, só que em fase opostas destes fenômenos, ou seja, fase quente da ODP e El

Niño, contribuindo para anomalias de temperatura acima do normal e por consequência menores episódios de geadas.

Quadro 8 – Anos com maiores e menores registros de geada em SC no período de 1983 a 2013, durante as ondas de frio inverniais e Variabilidades climáticas (ENOS, ODP e OAA).

ODP	ENOS - Inverno/ Ano 0	ENOS - Inverno/ Ano+1	OAA	Ano/Inverno	Nº ocorrência de geada
Fase quente	EN	Neutro	NEGATIVA	1986	2
Fase quente	Neutro	Neutro	POSITIVA	1990	61
Fase quente	LN	EN	POSITIVA	1998	2
Fase Fria	LN	LN	POSITIVA	2000	84
Fase Fria	LN	LN	NEGATIVA	2011	62

Fonte: Golden Gate Service (2015); JISAO, 2015, CPC/NOAA, 2015 e EPAGRI/CIRAM, 2015.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos para o desenvolvimento desta pesquisa, pode-se concluir que:

Foram identificadas ao longo de 1983 a 2013, 131 ondas de frio no Estado de Santa Catarina, em que 83,3% dos casos ocorreram de 3 a 6 ondas de frio por ano.

O mês de junho se destacou como o que teve o maior número (48) de ocorrência de ondas de frio. Já julho apresentou as ondas de frio mais extensas. Aproximadamente 82,1% das ondas de frio registradas abrangeram entre 2 (51,4%) e 3 (30,7%) dias de duração.

As ondas de frio se distribuem de forma desigual nas regiões agroecológicas catarinenses, apresentando limiares de temperatura diferentes em sua caracterização, devido aos fatores geográficos, a variabilidade dos sistemas meteorológicos e as trajetórias dos sistemas polares, no inverno mais continental. As estações de Chapecó, Caçador, Campos Novos e São Joaquim apresentaram maior número de ocorrências de ondas de frio no inverno em Santa Catarina.

As ondas de frio explicam as ocorrências de geada durante o período de inverno em Santa Catarina, exceção à estação de São José (somente junho e julho), podendo a localização em área urbana da estação, ser fator preponderante para a não significância estatística.

As variabilidades climáticas de baixa frequência (ENOS, OAA e ODP) possuem correlação com as ocorrências das ondas de frio, na duração dos dias frios e nos episódios de geadas em Santa Catarina, nas seguintes regiões:

Itapiranga: apresentou na fase final do ENOS significância estatística, no número médio de ocorrência, pressupondo que em anos de El Niño haja menores registros de ondas de frio. Durante a fase quente da ODP há tendência de maiores ocorrências de geada.

Lages: durante as fases inicial e final da La Niña têm-se uma maior variação no número de ondas de frio.

Itajaí: há uma maior variabilidade nas ocorrências de geada em ambas as fases do ENOS comparado aos anos neutros. Igualmente, as ocorrências de geadas apresentaram maior variabilidade na fase positiva da OAA e na fase fria da ODP.

São José: maior variabilidade nas ocorrências de geada em anos de La Niña, na fase positiva da OAA e na fase fria da ODP.

Chapecó: maior variabilidade nas ocorrências de geada em anos de La Niña.

Ituporanga: maior variabilidade nas ocorrências de geada em anos de El Niño e na fase quente da ODP. Durante esta fase da ODP, também há maior variabilidade no número de dias frios.

Urussanga: maior variabilidade das ondas de frio durante a fase quente da ODP

Campos Novos: maior variabilidade das ondas de frio durante a fase quente da ODP.

A Oscilação Antártica em sua fase positiva possui maior recorrência nas ondas de frio e a atuação conjunta da fase fria da ODP e La Niña, contribuem para as ondas de frio de maior escala temporal, atuando como um efeito construtivo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. MENDONÇA, M. **Climatologia das geadas em Santa Catarina.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis: GEDN/UFSC,2004. p. 762-773 (CD-ROM).

ALVES, M. P. A.; FRANKE, A. E. ; SILVEIRA, R. B. **Ocorrência de ondas de frio inverniais em São Joaquim - Santa Catarina - Brasil.** In: VIII Simpósio Latinoamericano de Geografia Física e IV Simpósio Iberoamericano de Geografia física, 2014, Santiago do Chile. Anais do... Santiago do Chile, p.1355-1362, 2014.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, anomalia e mudança climática.** Material didático da disciplina LCE306- Meteorologia Agrícola – Departamento de Ciências Exatas – setor de Agrometeorologia – ESAL/USP – 2007. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/variabilidade.pdf>>. Acesso em: 15 jun 2015.

BARBOSA, C.M.S.; MATTOS, A.; RIGHETTO, A.M. **Análise das temperaturas máxima, média e mínima em Serra Negra do Norte/RN, de 1995 a 2006.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2006, Florianópolis. Anais do... Florianópolis: SBMET, 2006. Disponível em < <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-eff08ef3d0971fad321a59042a69e21.pdf>>. Acesso em: 09 de Set 2014.

BARROS, V. R., A. M. Grimm, and M. E. Doyle. Relationship between temperature and circulation in southern South America and its influence from El Niño and La Niña events. **J. Meteor. Soc. Japan**, 80, 33–44,2002.

BASTOS, C.; FERREIRA, N. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul.** In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000. *Anais...* Rio de Janeiro, p. 612-619, 2000.

BERLATO, A.M.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110p.

BIDEGAIN, M.; RENOM, M. Temperaturas extremas y amplitudes diárias en Uruguay condicionadas segun el fenomeno ENSO. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 12., 2002, Foz do Iguaçu. Anais do... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. CD-Rom.

BOIASKI, N. T. **Extremos intra-sazonais de temperatura na Península Antártica e mecanismos atmosféricos associados**. Dissertação de mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. 2007.

BOYLE, J. S. Comparison of the synoptic conditions in midlatitudes accompanying cold surges over eastern Asia for the months of December 1974 and 1978. Part I: Monthly mean fields and individual events. **Monthly Weather Review**, n. 114 p. 903–930, 1986.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CARDOSO, C.S. A influência dos Ciclones Extratropicais nas Mesorregiões Serrana e do Leste Catarinense. 2011.139 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CARVALHO, L. M. V., C. JONES, and T. AMBRIZZI. Opposite Phases of the Antarctic Oscillation and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity in the Tropics during the Austral Summer. *J. Climate*, **18**, 702-718, 2005.

CASTRO, A.L.C.; CALHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; BRINGEL, M.L.N.C. **Manual de desastres naturais**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial - Defesa Civil. Novembro, v. 1, 1995

CASTRO, A.L.C. 2003. **Manual de desastres**. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Secretaria Nacional de Defesa Civil. V.1. 174p.

CAVALCANTI, I. F. A. ; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, J.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. Cap.9, p. 135-147.

COSTA, E.D.; SARTORI, M.G.; FANTINI, V. Estudo da Relação entre Eventos El Niño – La Niña e Ocorrência de Ondas de Frio na Região de Santa Maria – RS. **Boletim Gaúcho de Geografia** – BGG N° 33 – Porto Alegre – p. 263 – 276 – Dezembro 2007.

COSTA, C.P.W. **Análise Espacial e Temporal de índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para o Rio Grande do Sul**. 2008. 171p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Pelotas, 2008.

CPTEC/INPE – **Centro de Previsão e Estudos Climáticos**. Disponível em:< <http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 23 dez 2014.

DA SILVA, G.A.M. w. Departamento de Ciências Atmosféricas, 145 IAG/USP, São Paulo, 2010. Disponível em: < www.dca.iag.usp.br/www/material/.../clima1/clim1_circgeral_tsm.pdf>. Acesso em 24 out 2012.

DIAS CARDOSO, M.R.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. Caracterização da Temperatura do ar no Estado de Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 8 – Vol.11, p. 119 - 134 – Jul/Dez 2012.

EPAGRI /CIRAM– EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A / CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA. **Dados estações meteorológicas**. Florianópolis, 2014.

ESCOBAR. G. Padrões Sinóticos Associados a Ondas de Frio na Cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 241-254, 2007.

FAO. **Zonificación agro-ecológica**: guia general. Roma, 1997. 82p. (FAO. Boletín de Suelos, 73).

FIRPO, M.A.F. **Climatologia das ondas de frio e calor para o Rio Grande do Sul e sua Relação com o El Niño e La Niña**. Dissertação apresentada de Pós-Graduação da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.120p.

FIRPO, M.A.F.; SANSIGOLO, C.A.E; ASSIS, S.V. 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**, São Paulo, v.27, p.95-106, 2012.

FISHER, R.A.; YATES, F. Statistical tables for biological, agricultural and medical research..., n. ed. 2., 1943.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; AGUIAR, A.V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. **REA - Revista de estudos ambientais**. v.10, n. 1, p. 49-64, jan./jun, 2008.

JUSTINO, F.B.; PELTIER, R. Climate anomalies induced by the Arctic and Antarctic Oscillations: Glacial Maximum and present-day perspectives. **Journal of Climate**, v.21, n.3 p. 459-475, 2008.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Climatological aspects of Hadley, Walker and monsoon circulations in two phases of the Pacific Decadal Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v.91, p.117-127, 2008.

GILLET, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v.33, n. L23704, p.1-4, Dec. 2006.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em:<
<http://ggweather.com/enso/oni.htm>> Acesso em: 05 AGO. 2015

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 12a edição, Livraria Nobel S.A, São Paulo, 1987. 467 p.

GONG, D.; WANG, S. Antarctic oscillation: concept and applications. **Chinese Science Bulletin**, v. 43, n. 9, p. 734-738, May 1998.

_____. Definition of Antarctic Oscillation. **Geophysical Research Letters**, V.26, 459-462. 1999.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. In: J. Climate, V.11, p. 2863 – 2880, 1998.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2009.

GRIMM, A.M.; TOGATLIAN, I.M. **Relação entre eventos El Nino /La Nina e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da America do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. Anais do... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. CD-ROM.

GUIMARÃES, D. P.; DOS REIS, R. Impactos do Fenômeno Enos Sobre a Temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço (UFVJM)**, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

HAMMER, Ø, HARPER, DAT, RYAN, PD 2001. PASSADO: Estatísticas Paleontológicas pacote de software para educação e análise de dados. *Palaeontologia Electronica* 4 (1):. 9pp . Disponível em:<http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm> Acesso em: 05 jul. 2015

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em:<
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>> Acesso em: 10 ago. 2013.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relation of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *Int. J. Climatology*, v.27, n.4, p.531-540, 2007.

KIM, I.; GRODZKI, L.; CARAMORI, P.H.; VISSOTTO, S. Análise da Ocorrência de Geadas no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p. 99-106, 2003.

KONRAD, C. E. Relationships between the intensity of cold-air outbreaks and the evolution of synoptic and planetary-scale features over North America. **Monthly Weather Review**, n. 124 p. 1067–1083, 1996.

KLEIN, R.M.; PASTORE, U.; COURA Neto, A.B. 1986. **Vegetação**. p. 35-36. *In*: Atlas de Santa Catarina. Santa Catarina. Florianópolis: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. 173p.

LADOCHY, S.; MEDINA, R.; PATZERT, W. Recent California climate variability: spatial and temporal patterns in temperature trends. **Climate Research**, v.33, p.159-169, 2007.

LEFEBVRE, W., GOOSSE, H., TIMMERMANN, R., FICHEFET, T. 2004: Influence of the Southern Annular Mode on the Sea Ice–Ocean System. **Journal of Geophysical Research**, V. 109, C09005, doi:10.1029/2004JC002403.

LINDEMANN, D. S. **Variações de Temperatura no Continente Antártico: Observações e Reanálises**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

LLORENS, F.G. Olas de aire frío y temporales de nieve en Castellón. 2013. Disponível em:

<http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/63270/GinesF_Fri_0synevCastellon.pdf?sequence=1> Acesso em: 11set 2014.

MAIA, L. F. P. G. **Alguns aspectos dinâmico-climatológicos em Minas Gerais**. 1986. 164 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS R.C: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.78, p. 1069-1079, 1997.

MANTUA, N.J.; HARE S.R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v.58, p.35-44, 2002.

_____. **Fases da ODP**. Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo>>. Acesso em: Jan 2015.

_____. **Índice ODP**. Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>>. Acesso em: Jan 2015.

MARENCO, J. A.; OLIVEIRA, G. S. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. Anais... Brasília, 1998. CD-ROM.

MARSHALL, G. J. HALF-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. **International Journal of Climatology**, v.27, p.373–383, 2007.

MASSIGNAM, A.M.; DITTRICH, R.C. Estimativa do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, p.213-220. 1998.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do sul. Edição Especial – “Climatologia Geográfica”, **Revista Acta Geográfica** (UFRR), v.2, p.185 – 185, 2012.

MESOMMO, D.; DINIZ, G.B. Tendência na temperatura mínima media numa região

climática do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. Anais do...Campinas: SBMET,2005. CD-Rom.

MINUZZI, B.M. **Comportamento da temperatura negativa de relva e suas relações com a temperatura mínima de abrigo em Santa Catarina.** In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTAVÉL, 02 e 03 de Outubro de 2009 – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/MG.

_____. **Ocorrências de geada no estado de Santa Catarina.** In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTAVÉL, 23 a 25 de Setembro de 2010 – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/MG.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1): p. 107-117, 1987.

_____. Aquecimento Global, El Nino, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacifico. **Revista Climanálise**, ano 2, número 1, 2004 a 2005. Disponível em: < <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/> >. Acessado em: 08 dez 2014.

_____. **Variabilidade e Alterações Climáticas.** Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2007. Disponível em:
<http://www.proclira.uevora.pt/pdf/CLIVAR_PORTUGAL_2007.pdf>.
Acesso em: 25 dez 2014.

MONTEIRO, C. A. F. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática (Algumas considerações metodológicas a propósito do Brasil Meridional). **Revista Geográfica.** Rio de Janeiro, IPGH, v. 57, n. 31, p. 29-44, 1962.

_____. **Clima.** In: Grande Região Sul. Geografia do Brasil, vol IV. Tomo I, 2ª ed. Cap III, IBGE, Rio de Janeiro. 1968. p. 115-158.

MONTEIRO, M.; FURTADO. S.M. O Clima do Trecho Florianópolis – Porto Alegre: Uma abordagem Dinâmica. **Revista GEOSUI** n° 19 /20 – Ano X – 1° e 2° semestres de 1995.p.117-133.

MONTEIRO, M.; MENDONÇA, M. **Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina.** In: HERMANN, M. L. P. (org). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010. 2 ed. Florianópolis: IHGSC, GCN/UFSC. 2014, 217 p.

MONTEIRO, M Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul.** Revista do Departamento de Geociências da UFSC, Florianópolis, v. 16, n° 31, p 69-78. 2001.

_____. **Dinâmica Atmosférica e Caracterização dos Tipos de Tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.** 2007. 224 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno.** 2002. 109 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 2002.

MULLER, G.V. Variabilidad Interanual de las heladas em La Pampa Humeda.

Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p.141-152, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

NCEP/NCAR. National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research. **Tabela da Relação de ENOS – Índice ONI**.

Disponível em: <

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: jan 2015.

_____. **Tabela do índice da Oscilação Antártica**. Disponível em: <
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao/ao.shtml>. Acesso em: jan 2015.

OLIVA, F. G. Relações entre o Índice de Oscilação Antártica e as Vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Região Sul do Brasil. 2011,83p. Dissertação de Mestrado- (Memorial da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2011).

PAIVA, E.G.; GRAEF, F.; REYES, J. Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. **International Journal of Climatology**, v.29, p.1324-1329, 2009.

PELUSO JR., V. A. O Relevo do Território Catarinense. *Revista Geosul*.

Departamento de Geociências, CFH, UFSC. Florianópolis, SC, (I) v.2, p.7-69, 1986.

_____. **Aspectos geográficos de Santa Catarina**. Florianópolis: FCC Editora/ Editora da UFSC, 1991.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C.

Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas. Guaíba:

Livraria e Editora Agropecuaria Ltda, 2002. 411p.

PEZZA, A.B.; AMBRIZZI, T. Cold waves in South America and freezing temperatures in Sao Paulo: Historical background (1888-2003) and cases studies of cyclone and anticyclone tracks. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p. 141-158, 2005.

PRIETO, M. (Coord.). Curso latinoamericano de zonificación agroecológica. Santiago do Chile: FAO/CIREN/Universidad Católica de Chile, 1992. 141p.

PITTOCK, A.B. Patterns of climate variation in Argentina and Chile-II. Temperature, 1931-1960. *Mon. Wea. Rev.*, v.108, p.1362-1369, 1980.

REBELLO E. R. G. A oscilação decadal do pacífico e sua possível influência no regime de precipitação do rio grande do sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.

ROSA, R.O.; HERMANN, M.L.P. *Geomorfologia*. In: Atlas de Santa Catarina. Aspectos Físicos. Rio de Janeiro: GAPLAN, 1986. p.31-32.

RUSTICUCCI, M.M.; VARGAS, W.M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. *Atmósfera*, v.14, p. 75-86, 2001.

SALINI, M.F. **A influência do Fenômeno El Niño Oscilação Sul – ENOS (La Niña e El Niño) na Ocorrência de Inundações no Vale do Taquari- RS**. Monografia apresentada do Curso de Engenharia Ambiental. Centro Universitário -UNIVATES- Lageado, 2011. 56p. Disponível em:< <http://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/264/1/MichelineFinattoSalini.pdf>>. Acesso em: 25 dez 2014.

SANTA CATARINA - GABINETE DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL, SUBCHEFIA DE ESTATÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMÁTICA. **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis, 1986. 173p.

SANTA CATARINA. **Atlas escolar de Santa Catarina, Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento, Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos**. Rio de Janeiro, Ed. Aerofoto Cruzeiro, 96p, 1991.

SANTOS, I. A., FRANCO, N. J. N. Uso do Índice Mensal da Oscilação Antártica para Avaliação de algumas interações com a Circulação Troposférica na América do Sul e Oceanos Próximos. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 16, 2010. A Amazônia e o Clima Global. Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 1-5, 2010.

SARTORI, M.G.B. A circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tempo no inverno do Rio Grande do Sul. Santa Maria, **Ciência e Natura**, v.15, p.69-93, 2003.

SELUCHI, M.E.; NERY, J.T. Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de heladas en la region de Maringá. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.7, p. 523-534,1992.

SELUCHI, M.E. Geadas e Friagens. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2009.

SERRA, A. **Médias Mensais em Meteorologia**. CNPq/Departamento Nacional de Meteorologia, Rio de Janeiro, 1974.

SCHEIBE, L.F. **Geologia de Santa Catarina** - Sinopse Provisória. **Geosul**, v.1. p/7-38, 1986.

SCHNEIDER, N.; CORNUELLE, B.D. The forcing of the Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Climate**, v.18, p.4355-4373, 2005.

SILVESTRI, G. E., VERA, C. S. Antarctic Oscillation Signal on Precipitation Anomalies over Southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, No. 21, p.2115-2118, 2003.

SOUZA, R.O. Caracterização dos invernos no Sul do Brasil em função dos dias de neve e da participação das massas de ar. 2002. 148 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SPIEGEL, M.R. Estatística. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil (Coleção Schaum), 1985. 454p.

SPINELLI, K. Variabilidade Pluviométrica na Bacia Rio do Peixe – Santa Catarina. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SPINELLI, K.; ALVES.D.B. **Geada**. In: HERMANN, M. L. P. (org). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010. 2 ed. Florianópolis: IHGSC, GCN/UFSC. 2014, 217 p.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; BURIOL, G.A.; HEDWEIN, A.B.; PAULA, G.M. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.781-790, 2011.1.

THOMÉ, V. M. R. et al. Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. CD-ROM.

THOMPSON, D. W. J., J. M. WALLACE. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability, **J. Climate**, v.13, p.1000– 1016, 2000.

THOMPSON, D. W. J., WALLACE, J. M.; HEGERL, G. C. Annular Modes in the Extratropical Circulation: Part II: Trends. **Journal of Climate**, v.13, p. 1018-1036, 2000.

THOMPSON, D. W. J.; SOLOMON. S. Interpretation of recent southern hemisphere climate change. *Science*, v.296, p. 895-899, 2002.

TITARELLI, A. H. V. A onda de frio de abril de 1971 e sua repercussão no espaço geográfico brasileiro. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1972.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n.12, p. 2771-2777, 1997.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

URIBE, A. **Cambios en el régimen de temperatura en la Península Antártica: Mecanismos Asociados**. Proyecto para optar al grado de magister en *Meteorología y Climatología*. Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, 2007.

VAVRUS, S.; WALSH, J. E.; CHAPMAN, W. L.; PORTIS, D. The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. **Int. J. Climatol.**, n. 26, p. 1133–1147, 2006.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: **I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA**, 1986. Brasília. *Anais I*. p. 185-194.

WALKER, G. T. World weather. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, v.54, p.79-87,1928.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. **Atmospheric Science, an Introductory Survey**. 2ª ed. New York: Academic Press, 2006. 471p.

WALSH, J. E.; PHILLIPS, A. S.; PORTIS, D. H.; CHAPMAN, W. L. Extreme cold outbreaks in the United States and Europe, 1948–99. **Journal of Climate**, n. 14, p. 2642–2658, 2001.

WREGGE, M. S. et al. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 21ª ed. Pelotas: Embrapa, 2011. 331p.

YOON, J.; YEH, S.W. Influence of the Pacific Decadal Oscillation on the relationship between El Niño and the northeast Asian summer monsoon. **J Climate** v.23,p.4525–4537, 2010.

APÊNDICE A – Ranking dos anos com as maiores ocorrências de ondas de frio em SC – 1983 a 2013.

Anos com mais Ondas de Frio (do maior nº para o menor)		
Ranking	Ano	Quantidade
1°	1993	11
2°	1990	7
3°	1988	6
3°	1996	6
3°	2005	6
3°	2011	6
4°	1983	5
4°	1984	5
4°	1985	5
4°	1987	5
4°	1988	5
4°	2001	5
5°	1991	4
5°	1994	4
5°	1999	4
5°	2000	4
5°	2002	4
5°	2003	4

5°	2008	4
5°	2009	4
5°	2013	4
6°	1995	3
6°	1997	3
6°	2006	3
6°	2007	3
6°	2010	3
6°	2012	3
7°	2004	2
8°	1986	1
8°	1989	1
8°	1998	1
Total		131

Fonte: Elaborado pelo autor.

Anexo A - Relatório dos fenômenos meteorológicos registrados nas estações meteorológicas convencionais nos horários sinóticos das 09,15 e 21h do dia 23/07/2013.

 **Banco de Dados - Sistema Agrometeorológico** 19/02/2015 14:25 Pág: 1

SAM04 1067 Relatório Fenômenos Meteorológicos Agrupados

Estação: 469 - Campos Novos
 Latitude: 27°23'01" Longitude: 51°12'58" Altitude: 965 m

Agrupamento de Geadas das: 00 até 24 horas de: 23/07 até 23/07 de: 2013 até 2013

Data	Hora	Código	Fenômeno	Temp. Mínima Raiwa (°C)
23/07/13		18	Geadas Moderada	-3
23/07/13		17	Geadas Fraca	
Total:				2

Estação: 108 - Chapeco
 Latitude: 27°05'27" Longitude: 52°38'03" Altitude: 679 m

Agrupamento de Geadas das: 00 até 24 horas de: 23/07 até 23/07 de: 2013 até 2013

Data	Hora	Código	Fenômeno	Temp. Mínima Raiwa (°C)
23/07/13		18	Geadas Moderada	-3,9
Total:				1

Estação: 230 - Lages
 Latitude: 27°48'31" Longitude: 50°19'48" Altitude: 937,73 m

Agrupamento de Geadas das: 00 até 24 horas de: 23/07 até 23/07 de: 2013 até 2013

Data	Hora	Código	Fenômeno	Temp. Mínima Raiwa (°C)
23/07/13		17	Geadas Fraca	-2
23/07/13		17	Geadas Fraca	
Total:				2

Estação: 485 - Ponte Serrada
 Latitude: 26°55'14" Longitude: 51°55'41" Altitude: 1025 m

Agrupamento de Geadas das: 00 até 24 horas de: 23/07 até 23/07 de: 2013 até 2013

Data	Hora	Código	Fenômeno	Temp. Mínima Raiwa (°C)
------	------	--------	----------	-------------------------

Fonte: Epagri/Ciram

ANEXO B – Tabela da distribuição t (Student), valores de t em níveis de 10% a 0,1% de probabilidade.

Graus de liberdade	10%	5%	2%	1%	0,1%
1	6,31	12,71	31,82	63,66	636,62
2	2,92	4,30	6,97	9,92	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,90	2,36	3,10	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,62	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,73	2,09	2,53	2,84	3,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
25	1,71	2,06	2,49	2,79	3,73
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
27	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
28	1,70	2,05	2,47	2,76	3,67
29	1,70	2,04	2,46	2,76	3,66
30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
40	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
60	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
120	1,65	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Fonte: FISHER; YATES, (1943).

ANEXO C - Limites unilaterais da distribuição F de Fisher ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: GOMES (1987).

GL V2	V1																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	40	60	120	240
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	244.7	245.4	245.9	248.0	251.1	252.2	253.3	253.8
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.446	19.471	19.479	19.487	19.492
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.660	8.594	8.572	8.549	8.538
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.803	5.717	5.688	5.658	5.643
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.558	4.464	4.431	4.398	4.382
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.874	3.774	3.740	3.705	3.687
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.445	3.340	3.304	3.267	3.249
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.150	3.043	3.005	2.967	2.947
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.936	2.826	2.787	2.748	2.727
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.774	2.661	2.621	2.580	2.559
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.646	2.531	2.490	2.448	2.426
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.544	2.426	2.384	2.341	2.319
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.459	2.339	2.297	2.252	2.230
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.388	2.266	2.223	2.178	2.155
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.328	2.204	2.160	2.114	2.090
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.276	2.151	2.106	2.059	2.035
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.230	2.104	2.058	2.011	1.986
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.191	2.063	2.017	1.968	1.943
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.155	2.026	1.980	1.930	1.905
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.124	1.994	1.946	1.896	1.870
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.096	1.965	1.916	1.866	1.839
22	4.301	3.443	3.048	2.816	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.071	1.938	1.889	1.838	1.811
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.048	1.914	1.865	1.813	1.785
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.027	1.892	1.842	1.790	1.762
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.007	1.872	1.822	1.768	1.740
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	1.990	1.853	1.803	1.749	1.720
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	1.974	1.836	1.785	1.731	1.702
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	1.959	1.820	1.769	1.714	1.685
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	1.945	1.806	1.754	1.698	1.669
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.932	1.792	1.740	1.683	1.654
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.839	1.693	1.637	1.577	1.544
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.784	1.634	1.576	1.511	1.476
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.748	1.594	1.534	1.467	1.430
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.703	1.545	1.482	1.411	1.370
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.676	1.515	1.450	1.376	1.333
120	3.920	3.072	2.680	2.447	2.290	2.175	2.087	2.016	1.959	1.910	1.869	1.834	1.803	1.775	1.750	1.659	1.495	1.429	1.352	1.307
240	3.881	3.033	2.642	2.409	2.252	2.136	2.048	1.977	1.919	1.870	1.829	1.793	1.761	1.733	1.708	1.614	1.445	1.375	1.290	1.237