UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCCESCO PINHEIRO MARTORANO

COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NA REGIÃO POLAR ANTÁRTICA.

279

Belém - PA
Julho – 2010

FRANCCESCO PINHEIRO MARTORANO

COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NA REGIÃO POLAR ANTÁRTICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.
Orientador: Dr. João Batista M. Ribeiro.

Belém – PA
Julho – 2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M387c Martorano, Franccesco Pinheiro

Comparação de variáveis meteorológicas em anos de El Niño e La Niña na região Polar Antártica / Franccesco Pinheiro Martorano; Orientador: João Batista Miranda Ribeiro – 2010

41f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Terceiro Período de 2010.

1 Climatologia. 2. Variáveis meteorológicas. 3. ENOS. 4. Antártica. I. Universidade Federal do Pará. II. Ribeiro, João Batista Miranda, *orient*. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.6

FRANCCESCO PINHEIRO MARTORANO

COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NA REGIÃO POLAR ANTÁRTICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em ____/____/____

Banca examinadora:

_____

Prof. João Batista Miranda Ribeiro – Orientador.
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. José Danilo Souza Filho - Membro
Mestre em Meteorologia.
Universidade Federal do Pará

_____

Prof[a]. Maria do Carmo Felipe de Oliveira - Membro
Mestre em Meteorologia Agrícola.
Universidade Federal do Pará

_____

Prof[a] Midori Makino - Membro.
Doutora em Ciências Matemática.
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho que concluo a minha família,
em especial a minha mãe Odiléia Pinheiro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas bênçãos, proteção e força dadas para que eu pudesse superar os momentos difíceis e conquistar meus objetivos.

Aos meus pais, Pedro e Odiléia, por tudo que fizeram e fazem por mim, pela compreensão e pelo amor incondicional.

Aos meus irmãos: Pierro e Bruno que sempre me acompanharam, ajudaram e incentivaram durante minha vida sempre me mostrando a verdade. Amo vocês!!!!

Às minhas professoras queridas Maria do Carmo e Midori Makino por sempre acreditarem em mim.

Ao meu orientador Dr. João Batista Miranda, pela oportunidade, paciência e dedicação à produção desse trabalho

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade de realizar um curso superior.

Aos professores do curso de Meteorologia, que tanto contribuíram para o meu crescimento profissional. Em especial aos Professores Paulo Souza, Edson, Danilo, Lola, Zé de Paulo, Iza e Izabel, pelos ensinamentos na área e para toda minha vida.

Aos meus amigos do peito da graduação, Thiago, Rômulo, Junior, Victor, Meriane, Viviane, Mauricio, Pedro, Gabriel e Monik , pelo total apoio!

Aos meus parentes, minhas avós que amo tanto e em especial a minha tia Lucieta Martorano, pelo apoio, carinho, amor e incentivo. Te amo!!!

“Ter consciência da própria ignorância é o primeiro passo para a sabedoria”.

(Albert Einstein)

“Triste não é mudar de idéia. Triste é não ter idéia para mudar”.

(Francis Bacon) p

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Através da análise de elementos meteorológicos coletados na ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ (EACF) nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña), estudou-se o comportamento dos mesmos e sua relação com o fenômeno ENOS. No presente trabalho utilizaram-se dados meteorológicos do PROGRAMA ANTÁRTICO (PROANTAR), que tem como base a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF, Latitude 62°05'S, Longitude 58°23'W) que constitui um pólo científico com linhas de pesquisa nos mais variados ramos da ciência, localizada no continente Antártico. Foram feitas médias horárias e mensais de temperatura do ar, temperatura do solo, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento, sendo feitas comparações entre as médias dos anos em estudo, com dados medidos de 3 em 3 horas (hora UTC). Os resultados obtidos estão dentro dos encontrados na literatura para um estudo neste tipo de região. As comparações entre as médias mostram que houve tendência de aumento da maioria das variáveis analisadas no ano de La Niña. Temperatura do ar e do solo, velocidade do vento e precipitação tiveram significativo aumento. As demais variáveis (Pressão atmosférica e Umidade relativa) mostraram padrões inversos, o que se considera esperado devido relação inversamente proporcional com a temperatura do ar, que apresentou significativo aumento do ano de El Niño para o ano de La Niña.

Palavras-Chave: Climatologia. Variáveis Meteorológicas. ENOS. Antártica.

ABSTRACT

Through the analysis of meteorological elements collected at Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF) in 1997 (El Niño) and 1999 (La Niña), we studied the behavior of themselves and their relationship with ENSO. In this work we used meteorological data from the Antarctic Program (PROANTAR), which is based on Antarctic Station Comandante Ferraz (EACF, Latitude 62 ° 05'S, Longitude 58 ° 23'W) which is a pole with lines of scientific research in more various branches of science, located in Antarctica. Were made hourly and monthly air temperature, soil temperature, atmospheric pressure, precipitation, relative humidity and wind speed, and made comparisons between the average years of study, with the measured data of 3 in 3 hours (UTC). The results are in from those found in the literature to study this type of area. Comparisons between means showed a significant increasing trend in most variables in the year of La Niña Air temperature and soil, wind speed and rainfall had significant increases. The other variables (atmospheric pressure and relative humidity) showed an inverse pattern, which is seen as expected due inversely proportional to the temperature of air, which showed a significant increase in the year of El Niño to La Niña year.

Key words: Climatology. Meteorologics Variables. ENSO. Antarctic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista da Estação Antártica Comandante Ferraz).....19

Figura 2. Localização da área de estudo.....19

Figura 3. Médias mensais para temperatura do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....21

Figura 4. Média horária anual para temperatura do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....22

Figura 5. Médias mensais para umidade relativa do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....23

Figura 6. Média horária anual para umidade relativa do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....24

Figura 7. Médias mensais para velocidade do vento nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....25

Figura 8. Média horária anual para velocidade do vento nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....26

Figura 9. Médias mensais para pressão atmosférica nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....27

Figura 10. Média horária anual para pressão atmosférica nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....28

Figura 11. Médias mensais para temperatura do solo a 5cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....29

Figura 12. Média horária anual para temperatura do solo a 5 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....30

Figura 13. Médias mensais para temperatura do solo a 10 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....31

Figura 14. Média horária anual para temperatura do solo a 10 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....32

Figura 15. Médias mensais para precipitação nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....33

Figura 16. Acumulado mensal de precipitação nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).....33

Figura 17. Percentual de diferença (precipitação em 1999 - precipitação em 1997) da precipitação do ano de El Niño para o ano de La Niña.....34

Figura 18. Comparação das médias de temperatura do ar dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.....36

Figura 19. Comparação das médias de pressão atmosférica dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.....37

Figura 20. Comparação das médias de velocidade do vento dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.....38

LISTA DE SÍMBOLOS

T - Temperatura do ar, ℃

Ts - Temperatura do solo, °C

UR - Umidade Relativa do ar, %

VV - Velocidade do vento, $m.s^{-1}$

P - Pressão Atmosférica, hPa

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 12

2 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** 15

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CONTINENTE ANTÁRTICO 15

3 MATERIAIS E MÉTODOS 17

3.1LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 17

3.1.1 **Dados** 20

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 21

4.1 TEMPERATURA DO AR 21

4.2 UMIDADE RELATIVA DO AR.....22

4.3 VELOCIDADE DO VENTO.....24

4.4 PRESSÃO ATMOSFERICA.....26

4.5 TEMPERATURA DO SOLO.....28

4.6 PRECIPITAÇÃO.....32

5 COMPARAÇÃO COM A CLIMATOLOGIA.....35

5.1 TEMPERATURA DO AR.....35

5.2 PRESSÃO ATMOSFERICA.....36

5.3 VELOCIDADE DO VENTO.....37

6 **CONCLUSÕES**.....39

REFERÊNCIAS.....40

1 **INTRODUÇÃO**

A península Antártica tem se destacado como uma das regiões do Hemisfério Sul que tem sofrido maior aquecimento nos últimos 60 anos (+2ºC desde 1940) (BOIASKI, 2006). O interesse em mudanças climáticas surgiu com a detecção a partir de testemunhos de gelo que variações acentuadas na temperatura e precipitação foram marcantes no passado. A temperatura global e em particular do Hemisfério Norte, reconstruída a partir de isótopos de oxigênio e hidrogênio, variou grandemente em períodos interdecadais (LOWELL *et al.* 1995). O aparecimento destas variações climáticas tem sido atribuído a flutuações na circulação termohalina e na cobertura de gelo marinho e continental (BLUNIER *et al.* 1998, Rahmstorf 1994). A importância da Antártica neste cenário climático dá-se através de sua influência no processo de formação de parte do ramo inferior da circulação termohalina, conhecido como Água Antártica de Fundo e Água Intermediária Antártica.

O movimento destas massas d'água mantém o oceano oxigenado, e regula a quantidade e distribuição de calor/temperatura do planeta (MAROTZKE & STONE 1995). Além disto, é sabido que a região polar austral tem uma importância substancial na ligação e troca de propriedades entre os oceanos por meio da Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Embora entre 1979 e 2005 a concentração de gelo marinho na Antártica, em área total, tenha aumentado (LEMKE *et al.* 2007), as projeções climáticas futuras baseadas em modelos numéricos não acenam para uma permanência deste cenário. Os resultados propostos pelo quarto relatório do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (AR4-WG1, IPCC), indicam para o verão uma redução de até 50% na área de gelo Antártico e de até 30% no inverno para o final deste século. Simular o gelo marinho é particularmente difícil, devido à sua relação direta com a atmosfera (temperatura, vento) e com o oceano (transporte de calor e correntes oceânicas). Uma confiável representação do gelo marinho depende diretamente da parametrização destes fluxos na interface atmosfera-oceano.

A atmosfera terrestre, um fluido gasoso que pode sofrer tanto efeitos de compressão como de expansão, é regida por uma circulação geral, que implica basicamente em ar ascendente nas regiões mais quentes e ar descendente nas

regiões menos aquecidas. Esta circulação, sem levar em consideração os efeitos de rotação da Terra, é o principio fundamental para definir as condições climáticas predominantes, particularmente no que diz respeito a precipitação, para as várias regiões do globo.

Um fenômeno que interfere nas características climáticas desta circulação de grande escala da atmosfera terrestre é o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Aparentemente, a diferença de pressão ao nível do mar (PNM) entre os setores centro-leste (Tahiti) e oeste (Darwin) no Oceano Pacifico Tropical, está relacionada a um aquecimento anômalo de águas geralmente frias no lado leste do oceano. Este aquecimento, provoca mudanças na circulação de grande escala da atmosfera, causando anomalias climáticas em várias regiões do globo (KOUSKY et al, 1984; OPSTEEGH; VAN DOOL, 1980; WALLACE; GUTZLER 1981; WEBSTER, 1981 e outros).

Dentre os fenômenos atmosféricos que podem influenciar o clima na região, optou-se por estudar o El Niño Oscilação Sul (ENOS). O fenômeno mostra, de forma marcante, o forte acoplamento oceano-atmosfera, que se manifesta sobre a região. A variação irregular que ocorre em torno das condições normais nas componentes oceânicas (El Niño) e atmosféricas (Oscilação Sul) da região, revela duas fases opostas do fenômeno, sendo um desses extremos representado pelas condições de La Niña, quando ocorre resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico, também denominada fase fria ou fase positiva (MINUZZI, 2007).

O comportamento de variáveis meteorológicas de superfície tais como: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, etc. é um importante objeto de estudo na região, sendo necessário conhecer o comportamento sazonal destes elementos na ausência de condições semelhantes das outras latitudes, visto que a distribuição diferencial de temperatura no globo propicia a região antártica um clima totalmente diferente das latitudes tropicais e equatoriais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de algumas variáveis meteorológicas em anos de El Niño e La Niña na região Antártica, e determinar possíveis alterações nas variáveis devido à ação destes fenômenos, para servir de subsídios a outras pesquisas, pois esta região constitui-se em uma área de grande interesse ambiental e científico.

2 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMANDANTE FERRAZ

A Ilha Rei George, onde se localiza a Estação Antártica Brasileira “Comandante Ferraz”, está exatamente na região do planeta que é mais sensível às variações climáticas naturais. Isto decorre da posição geográfica, no limite da extensão do gelo marinho e à qual é acoplada a variação da posição do fronte atmosférico antártico. Registros meteorológicos indicam um rápido aumento na temperatura atmosférica local, ao longo dos últimos 50 anos (quatro vezes maior do que a média mundial). Associado a este aquecimento regional, a ilha perdeu 7% da cobertura de gelo no referido período. Além do que, as maiores perdas do gelo já observadas no planeta, com destruição de mais de 7000 km², ocorreram nos últimos oito anos somente a 350 quilômetros da Ilha Rei George. Todas essas observações apontam para a sensibilidade ambiental da região, sendo esta uma área especial onde é possível detectar adiantadamente respostas do ambiente às mudanças globais (INCT- APA, 2010).

O continente Antártico (do grego ανταρκτικως «antarktikos», "oposto a ártico"), é o continente mais isolado, frio, ventoso, elevado e seco do continente da Terra, situado na região polar austral; é formado por uma massa continental, localizada quase inteiramente dentro do círculo polar antártico. É cercado pelo Oceano Antártico, de limites imprecisos, formado pelo encontro das águas dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, a chamada Confluência Antártica. Está localizado quase concentricamente em torno do Pólo Sul, sendo o quinto maior e o mais austral dos continentes. Profundas baías, mais para o sul dos Oceanos Pacífico e Atlântico, dividem o continente em duas partes desiguais. A parte maior é conhecida como Antártica Oriental, por estar localizada, principalmente, em longitude leste. A parte menor, totalmente em longitude oeste, é chamada Antártica Ocidental. O leste e o oeste são separados pelas Montanhas Transantárticas. Enquanto a Antártica Oriental consiste, principalmente, em um "plateau" elevado e coberto por gelo, a Antártica Ocidental consiste em um arquipélago de ilhas montanhosas, cobertas e ligadas entre si por gelo. (UFSM, 2008).

Sua área constitui quase 10% da área continental do planeta, (14.000.000 km^2). Cerca de 98% de seu território é coberto de gelo e de neve durante praticamente todo o ano, com uma espessura média de 2.000 metros que, em algumas regiões, pode ultrapassar 4.800 m. Se todo esse gelo sofresse fusão, o nível dos mares do mundo se elevaria 60 m. Esse gelo representa 90% de toda a água doce do planeta (Silva, 2008). No inverno, pelo congelamento dos mares em sua volta, a área do Continente Antártico aumenta para cerca de 32.000.000 Km^2 , formando um cinturão de cerca de 1.000 Km de largura. As temperaturas médias anuais variam de 0 ºC (verão) a -15 ºC (inverno) no litoral e de -32 ºC (verão) a -65 ºC (inverno) no interior do continente. A menor temperatura já registrada foi de -89,2 ºC, na Estação Vostok (ex-URSS), em 21 de julho de 1983, sendo também a mínima temperatura ambiente já medida na Terra. Em grande parte do interior do continente a precipitação média anual fica entre 30 e 70 mm; em algumas áreas de “gelo azul” a precipitação é mais baixa do que a perda de massa pela sublimação e, assim, o balanço local é negativo. A velocidade média do vento na região costeira da Terra Adélie é de, aproximadamente, 69 Km/h, e a velocidade máxima já registrada foi de 192 Km/h. (UFSM, 2008) O clima polar austral ainda sofre pela circulação do ar, que sem obstáculo que sirvam de anteparo, gera ventos violentos, ventos catabáticos, tempestade de neve e freqüentes nevoeiros. A região é um centro de altas pressões atmosféricas e irradia correntes de ar frio que atingem todo o hemisfério austral (Silva, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A EACF (62°16’S; 59°02W) situa-se em uma "Área Antá rtica Especialmente Gerenciada" (AAEG) da baía do Almirantado e está localizada no setor central da ilha Rei George, arquipélago das Shetlands do Sul, separada por 120 Km do norte da península Antártica. A AAEG constitui-se uma área de grande interesse ambiental e científico, pois está numa região que apresenta grande variabilidade ao longo do ano, como a variação da cobertura de gelo marinho e das condições climáticas, o que, naturalmente, influencia nas condições de todo ecossistema. A AAEG tem uma área de 362 km², divididos em setores cobertos por gelo, setores livres de gelo permanente e o setor da baía, ocupado pelas águas do mar. Da área total, 195 km² (54 %) são ocupados pelas 36 geleiras que drenam a massa glacial da ilha, que supera a altitude de 700 m no domo central do campo de gelo da ilha. As águas da baía do Almirantado ocupam 138 km² (38 %) com profundidades variáveis, desde regiões rasas até locais com profundidades que superam 550 metros, como o observado na região de comunicação do fiorde que constitui a baía do Almirantado com o estreito de Bransfield. Os 29 km² restantes (8 %) são constituídos de áreas livres de gelo, localizadas ao longo da zona de praia e em algumas proeminências rochosas, majoritariamente algumas áreas como a península Keller, ponta Hennequin, ponta Demay e a região de ponta Thomas (área em torno da Estação Polonesa Henrik Arctowski) (INCT- APA, 2010).

O substrato geológico da AAEG é constituído por uma seqüência estratigráfica de rochas sedimentares na base recobertas por rochas vulcânicas do Jurássico e do Cenozóico. As linhas de falhamento geológico têm orientação no sentido leste-nordeste para sul - sudoeste e controlam o padrão de drenagem da baía. A morfologia glacial da ilha constitui-se de geleiras que podem ser caracterizadas em três padrões: (1) geleiras suaves que descarregam sua massa na forma de falésias de gelo; (2) geleiras encaixadas em vales curtos e estreitos com alta declividade, terminando na forma de cascatas de gelo;(3) geleiras que terminam em terra, apresentando depósitos de moraina na sua parte frontal (INCT- APA, 2010).

Esses depósitos de morainas, bem como as áreas que apresentam afloramento do substrato rochoso, são densamente ocupados por comunidades de vegetais constituídas principalmente por musgos e líquens. Nessas áreas, também ocorre densa população de espécies de aves e mamíferos, que usam esses locais para a reprodução ou descanso. As condições meteorológicas da AAEG e de todo arquipélago são controladas pela passagem de sistemas ciclônicos, oriundos do mar de Bellingshausen, que se movem na direção leste trazendo umidade e calor, o que faz com que essa área tenha alta nebulosidade e condições de temperatura mais amenas. A média anual é de -2,8 ºC, sendo que no verão, a média é de 0,9 ºC e, no inverno, -7 ºC. A umidade relativa média é superior a 80% e a precipitação anual é de 500 mm, podendo ultrapassar 1000 mm nas partes altas da calota. O registro de aquecimento atmosférico em toda região da península Antártica também é significativo na ilha Rei George, apresentando uma tendência de aquecimento na ordem de 0,022 ºC a -1 ºC desde 1947 até o ano de 1995, o que significa uma elevação na temperatura média de 1,1 ºC nesse período. Esse aquecimento tem contribuído para a retração frontal das geleiras, que perderam 12 % da sua área no período compreendido entre 1956-2000 (INCT- APA, 2010).

A AAEG da Baía do Almirantado é densamente ocupada por atividades de pesquisa e de logística, além de ser freqüentemente visitada por turistas, dadas as facilidades de acesso a essa região da Antártica. Encontram-se, nessa área, as instalações científicas de cinco países (Brasil, Polônia, Peru, Equador e Estados Unidos), com duas estações de pesquisa que operam o ano inteiro - Estação Antártica Comandante Ferraz (Brasil) e Estação Polonesa Henry Arctowski (Polônia), uma estação permanente de uso no verão - Estação Antártica Peruana Machu Picchu (Peru), uma pequena estação de ocupação freqüente no verão - Estação Copacabana, conhecida no passado como Pieter J. Lenie (EUA) e um refúgio equatoriano de uso eventual. Destaca-se, ainda, a existência de um farol na Estação Arctowski, que funciona durante todo o ano, e de pequenas edificações sem uso freqüente, assim como acampamentos e instalações temporárias de uso rotineiro no verão. Outras estruturas antrópicas como monumentos e marcos são encontrados na baía, além de diversos artefatos e objetos remanescentes do período de descoberta e exploração dos recursos naturais da ilha, como pequenas

embarcações, madeiras, carvão etc. (INCT- APA, 2010). A Figura 1 mostra a EACF, e a Figura 2 mostra sua localização.

Figura 1. Vista da Estação Antártica Comandante Ferraz.
Fonte: (INCT- APA, 2010).

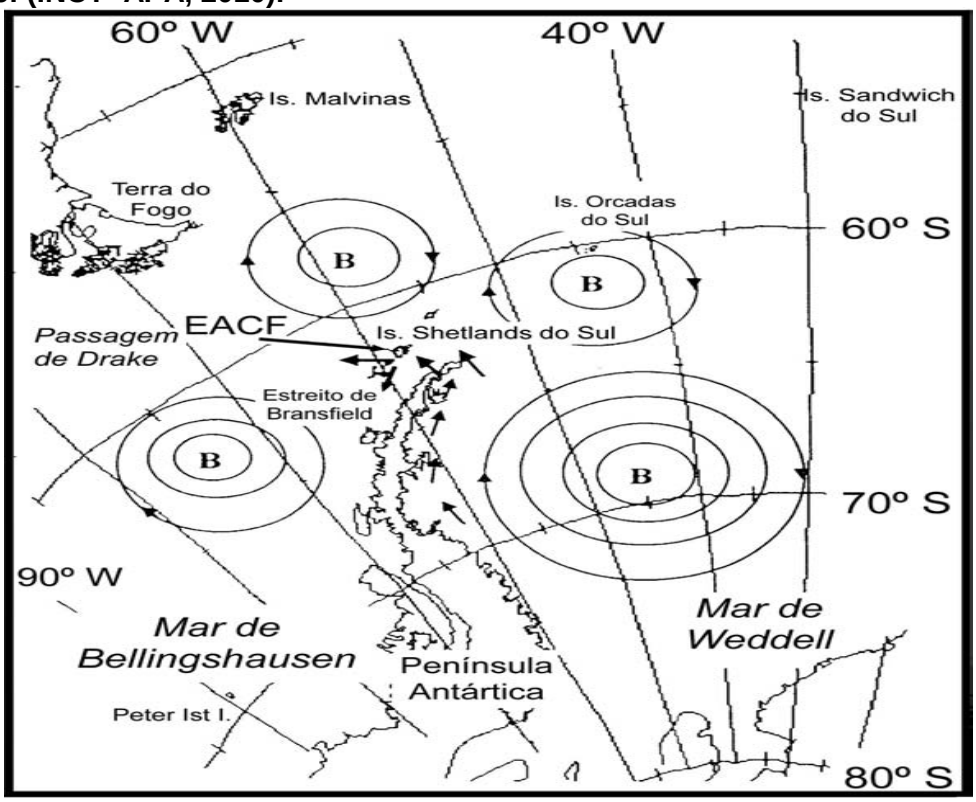

Figura 2. Localização da área de estudo (Baía de Almirantado- Ilha Shetlands do Sul).
Fonte: Setzer (2004)

3.1.1 Dados

Os dados utilizados neste trabalho são do "Projeto de Meteorologia Antártica", uma parceria entre o PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro), Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE), e encontram-se disponíveis no site http://antartica.cptec.inpe.br/proantar/weatherdata.shtm. Os dados referem-se aos anos de 1997 (Influenciado pelo fenômeno de El Niño) e de 1999 (influenciado pelo fenômeno de La Niña) coletados na estação meteorológica automática, localizada a leste da península Keller. Esta estação meteorológica foi instalada de acordo com as recomendações técnicas da OMM (Organização Meteorológica Mundial) (WMO, 1996). Os dados de temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento, umidade relativa, temperatura do solo (a 5 e 10 cm) e pressão atmosférica foram coletados no intervalo de 3 horas, a partir das 03:00 UTC, sendo feitas às médias horárias anuais e mensais dos mesmos, referentes aos anos de 1997 e 1999 para efeito de comparação, bem como foram feitas comparações com médias anuais para o período de 1986 a 1996.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os elementos meteorológicos observados apresentaram os seguintes comportamentos:

4.1 TEMPERATURA DO AR

A Figura 3 mostra os padrões mensais de temperatura do ar na área de estudo. Observa-se que na maioria dos meses as temperaturas foram maiores no ano de La Niña. O comportamento das curvas de temperatura do ar é similar em ambos os anos, apresentando maiores valores no período de verão: Dezembro, Janeiro e Março. E decrescendo à medida que se aproxima o inverno: Junho, Julho e Setembro. Os máximos foram de 3,07 ℃ no ano de El Niño e 3,19 ℃ no ano de La Niña, e os mínimos foram de -7,05 ℃ no ano de El Niño e -5,29 ℃ no ano de La Niña. Observa-se que o máximo e mínimo de temperatura do ar foram superiores no ano de La Niña. Estes valores estão dentro do esperado encontrado na literatura, como Silva (2008), que encontrou o mesmo padrão anual de temperatura do ar analisando dados do ano de 2007, e Costa et.al (2008), que encontrou máximos em torno dos 4℃ e mínimos em torno de -13℃ em estudos sobre o padrão de temperatura do ar na EACF.

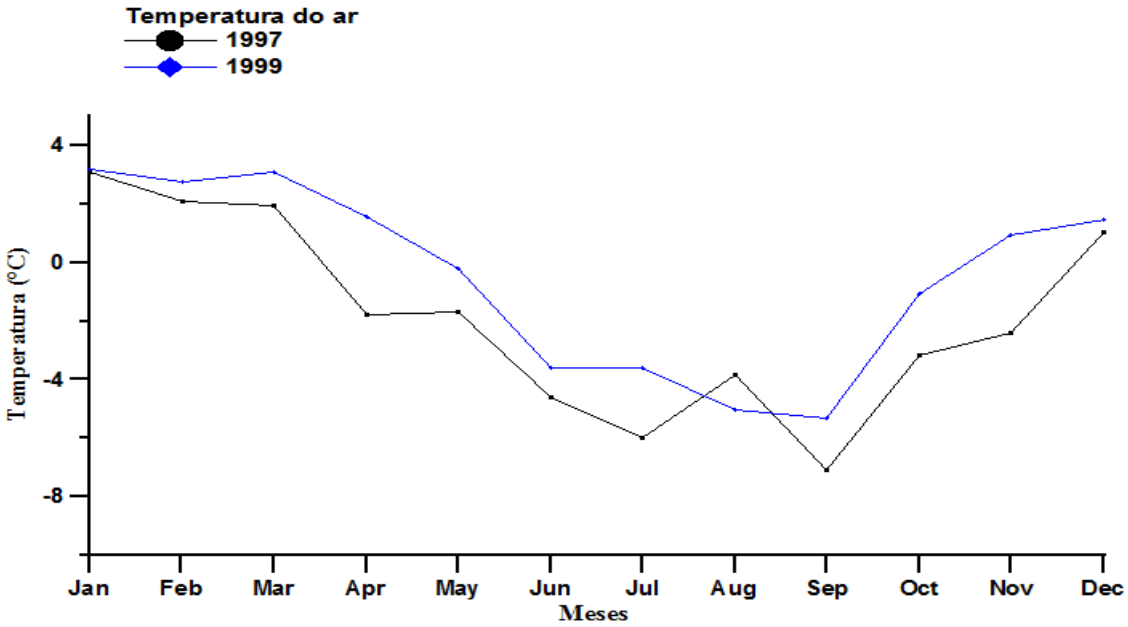

Figura 3. Médias mensais para temperatura do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 4 mostra a média horária anual de temperatura do ar na área de estudo e observa–se que. O comportamento do padrão horário é similar em ambos os anos, apresentando maiores valores entre 15h00min e 18h00min UTC e menores valores entre 03h00min e 09h00min UTC. As médias do ano de La Niña se mostraram superiores as do ano de El Niño.

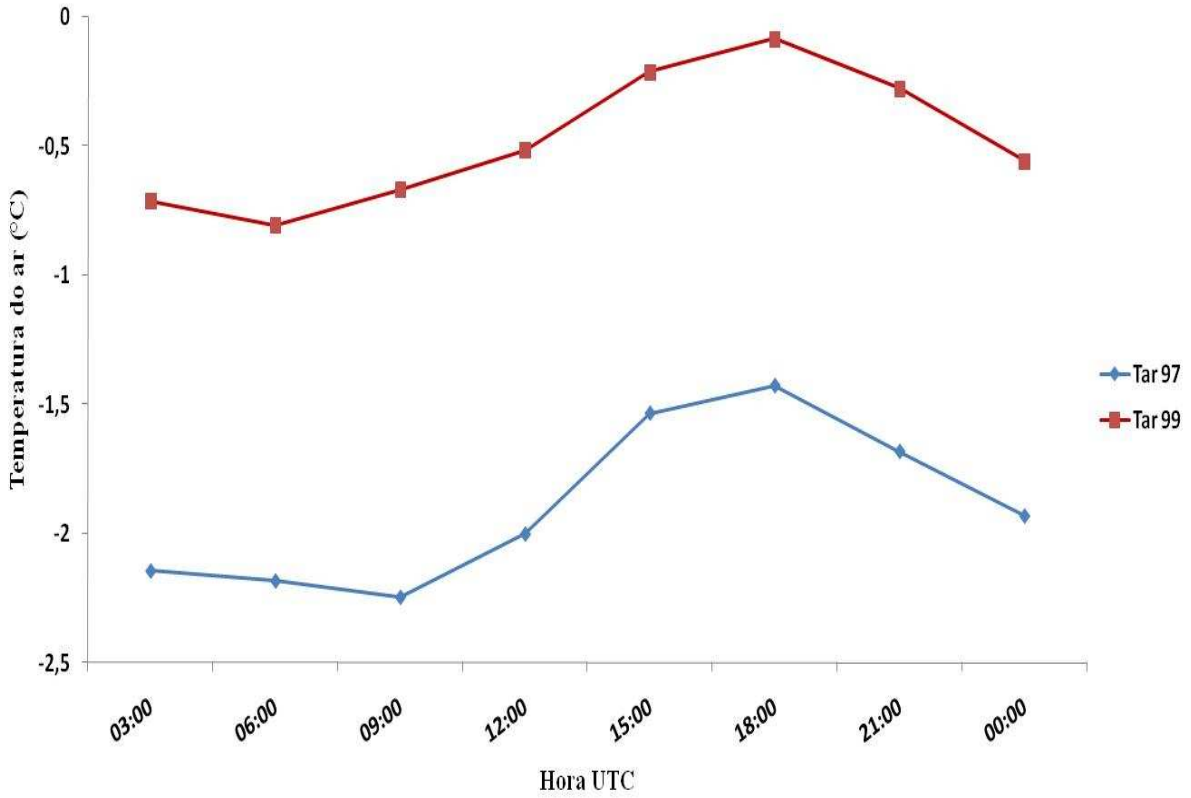

Figura 4. Média horária anual para temperatura do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

4.2 UMIDADE RELATIVA DO AR

A Figura 5 mostra os padrões mensais de umidade relativa do ar na área de estudo. Não se observa um padrão bem definido, a exemplo do que aconteceu com a temperatura do ar. O comportamento das curvas de umidade relativa do ar apresenta muitas alternâncias, porém após o inicio da estação de inverno observa-se que o ano de El Niño apresentou maiores valores, comparando-se com o ano de La Niña. Este comportamento seria o esperado para a maior parte do período, uma vez que temperatura e umidade relativa são inversamente proporcionais, e o ano de La Niña havia apresentado maiores valores de temperatura do ar. Os máximos

foram de 89,9% no ano de El Niño e 87,7% no ano de La Niña, e os mínimos foram de 80,5% no ano de El Niño e 83,2% no ano de La Niña. Segundo Romão (2003), devido a localização oceânica da área, e a predominância de entrada de ar pelo estreito Drake, a umidade relativa tende a ser sempre mais elevada que 85%, e que casos com circulação de ar continental antártico vindo do Sul e Sudeste tendem a reduzir a umidade para até 40%.

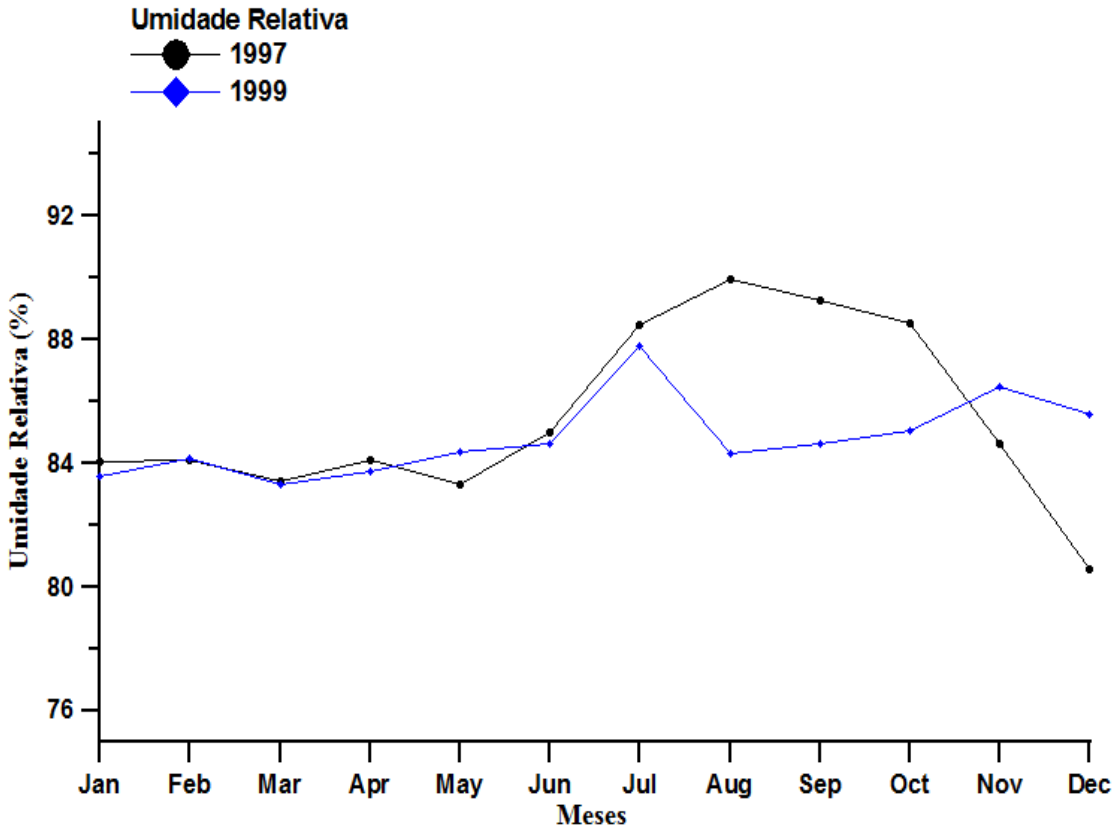

Figura 5. Médias mensais para umidade relativa do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 6 mostra a média horária anual de umidade relativa do ar na área de estudo. O comportamento do padrão horário é pouco similar em ambos os anos, tendo o ano de El Niño apresentado maiores valores entre 06h00min e 09h00min UTC e menores valores entre 18h00min e 21h00min UTC, enquanto o ano de La Niña apresentou maiores valores entre 03h00min e 06h00min UTC e menores valores entre 15h00min e 18h00min UTC. As médias do ano de La Niña se mostraram inferiores as do ano de El Niño na maior parte do tempo, comportamento que já era esperado, pois as médias de temperatura do ar foram superiores no ano

de La Niña, mostrando um normal comportamento inversamente proporcional entre temperatura e umidade relativa.

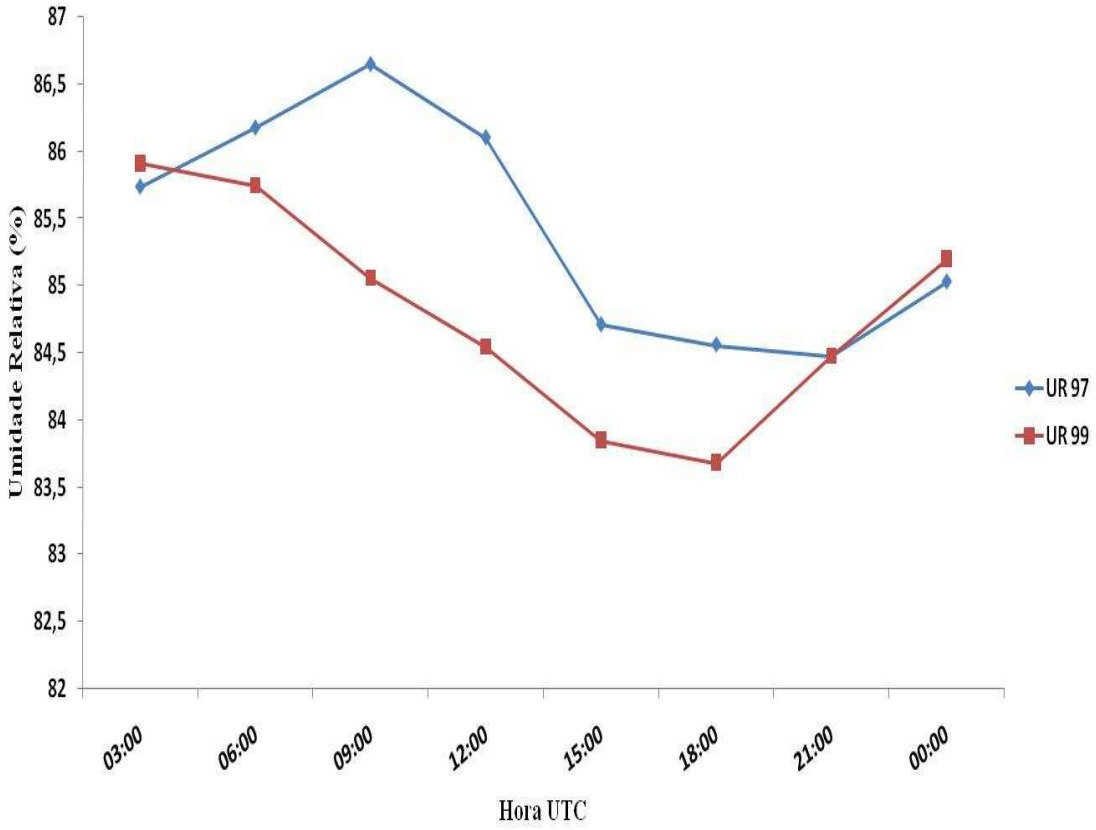

Figura 6. Média horária anual para umidade relativa do ar nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

4.3 VELOCIDADE DO VENTO

A Figura 7 mostra os padrões mensais de velocidade do vento na área de estudo e observa-se que na maioria dos meses as velocidades foram maiores no ano de La Niña. O comportamento das curvas de velocidade do vento é similar em ambos os anos, apresentando menores valores no período de verão e aumentando à medida que se aproxima o inverno. Os máximos foram de 7,2 $m.s^{-1}$ no ano de El Niño e 8,7 $m.s^{-1}$ no ano de La Niña, e os mínimos foram de 3,4 $m.s^{-1}$ no ano de El Niño e 4,9 $m.s^{-1}$ no ano de La Niña. Observa-se que o máximo e mínimo de velocidade do vento foram superiores no ano de La Niña. Estes valores estão dentro dos encontrados na literatura, como Romão (2003), que indica que

climatologicamente, a EACF tem velocidade média do vento em torno de 5,9 $m.s^{-1}$, e Silva (2008), que encontrou médias em torno de 5,5 $m.s^{-1}$, com rajadas de até 25 $m.s^{-1}$.

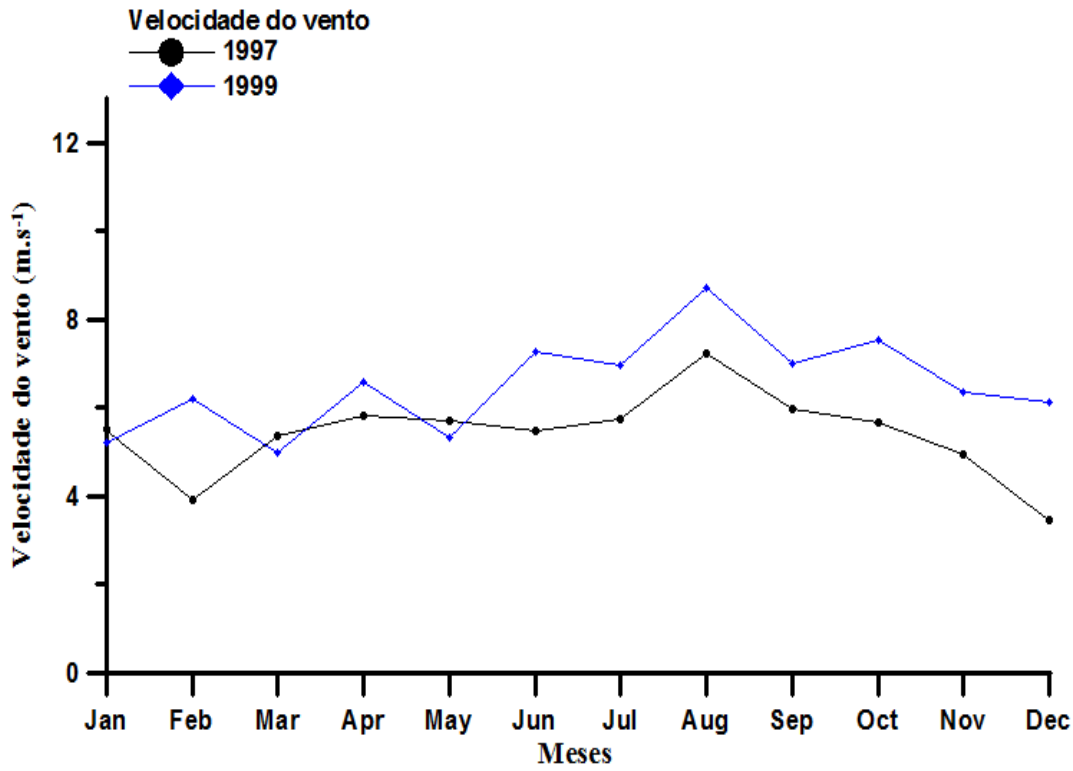

Figura 7. Médias mensais para velocidade do vento nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 8 mostra a média horária anual de velocidade do vento na área de estudo e observa-se que, o comportamento do padrão horário é pouco similar em ambos os anos, porém o ano de El Niño apresenta maiores valores entre 18h00min e 21h00min UTC e menores valores entre 03h00min e 06h00min UTC, enquanto que o ano de La Niña apresentou dois máximos, um ás 09h00min e o outro ás 21h00min UTC, e menores valores entre 00h00min e 06h00min UTC. As médias do ano de La Niña se mostraram superiores as do ano de El Niño todo o tempo, mantendo-se sempre acima dos 5,0 $m.s^{-1}$.

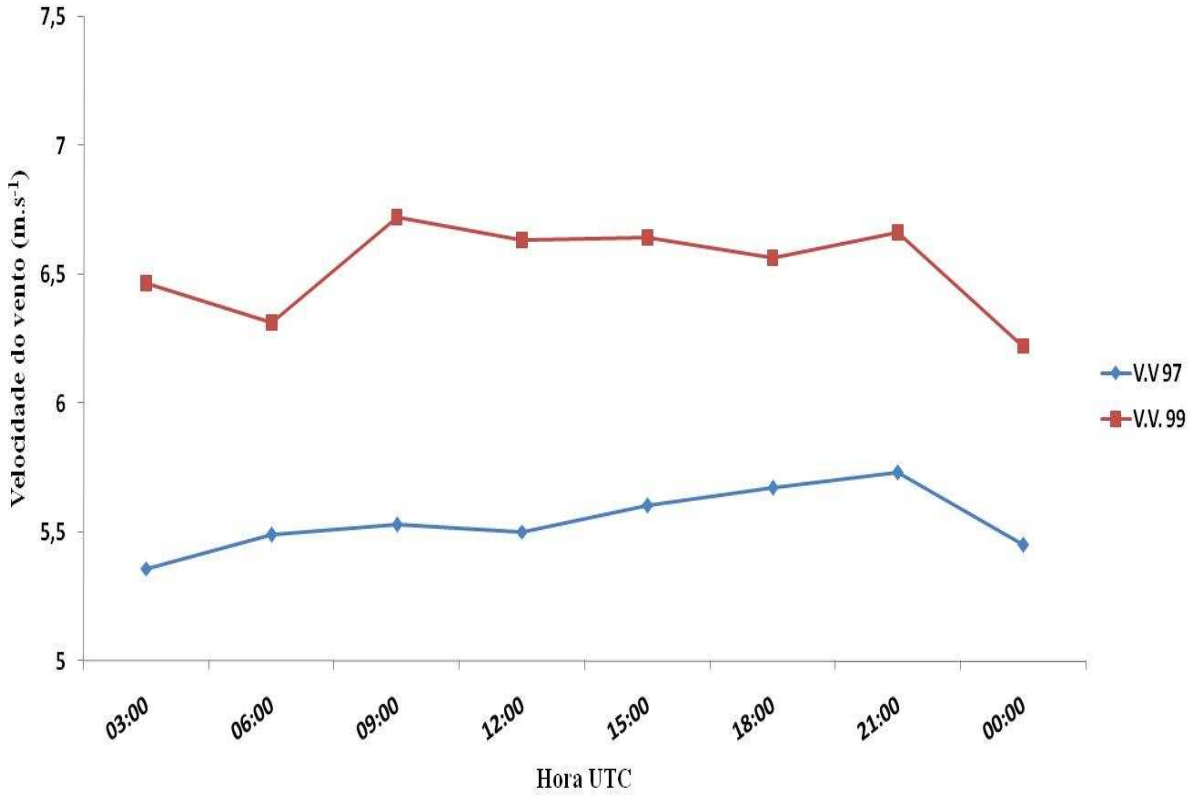

Figura 8. Média horária anual para velocidade do vento nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

4.4 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A Figura 9 mostra os padrões mensais de pressão atmosférica na área de estudo e observa-se que houve superioridade nas médias do ano de La Niña. O comportamento das curvas de pressão atmosférica apresentou certa similaridade em ambos os anos, apresentando maiores valores no mês de Junho. Os máximos foram de 1003,3 hPa no ano de El Niño e 997,6 hPa no ano de La Niña, e os mínimos foram de 986,8 hPa no ano de El Niño e 983,9 hPa no ano de La Niña. Observa-se que o máximo e mínimo de pressão atmosférica foram superiores no ano de El Niño. Este comportamento da pressão pode explicar as maiores temperaturas no ano de La Niña, uma vez que a pressão apresentou menores médias de 1997 para 1999, era de se esperar que a temperatura aumentasse, uma vez que essas variáveis são inversamente proporcionais. Segundo Romão (2003), até 2002, a EACF tinha média climatológica 990,3 ± 6.0 hPa.

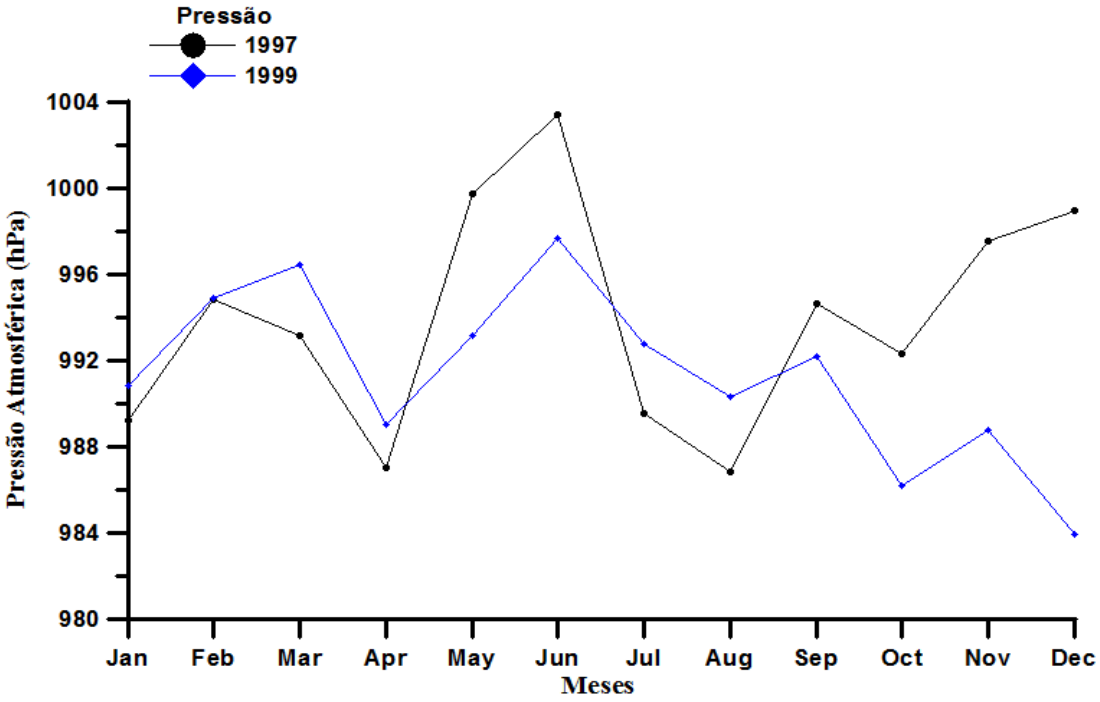

Figura 9. Médias mensais para pressão atmosférica nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 10 mostra a média horária anual da pressão atmosférica na área de estudo. O comportamento do padrão horário apresenta pouquíssima variabilidade ao longo do dia, sendo notada uma leve tendência a maiores valores entre 12h00min UTC e 15h00min UTC, com um máximo secundário característico do padrão diário de pressão por volta de 00h00min UTC. O ano de El Niño apresentou maiores médias, confirmando o que já havia sido evidenciado nas médias mensais.

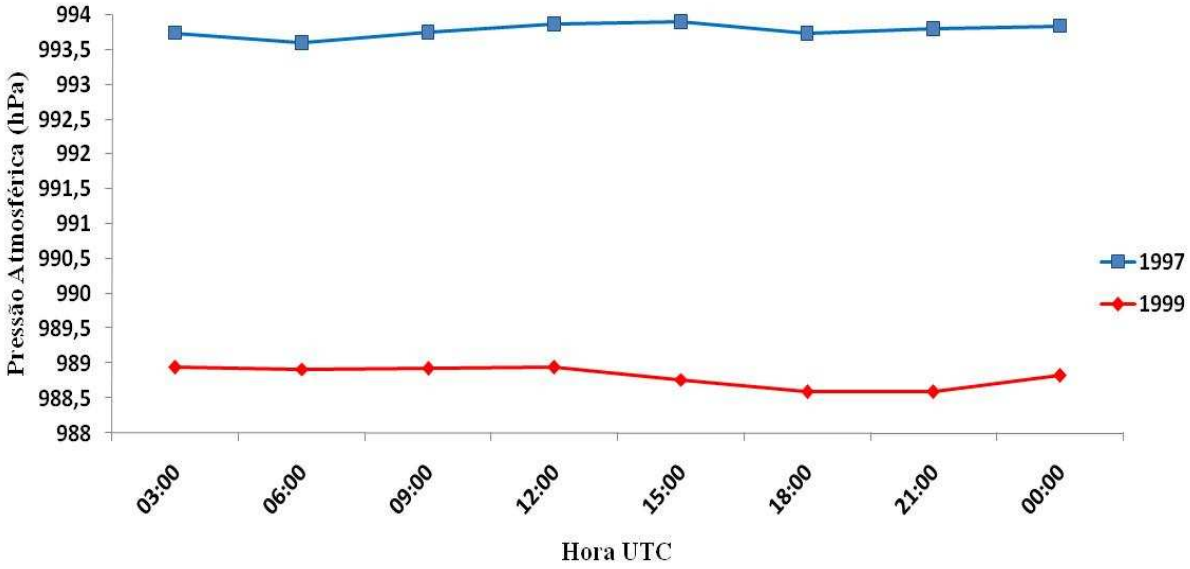

Figura 10. Média horária anual para pressão atmosférica nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

4.5 TEMPERATURA DO SOLO

A Figura 11 mostra os padrões mensais de temperatura do solo a 5 cm na área de estudo e observa-se que na maioria dos meses de inverno as temperaturas foram maiores no ano de La Niña, enquanto que no período de verão as maiores médias foram no ano de El Niño. O comportamento das curvas de temperatura do solo a 5 cm é similar em ambos os anos, apresentando maiores valores no período de verão e decrescendo à medida que se aproxima o inverno, assim como acontece com a temperatura do ar. Os máximos foram de 7,3℃ no ano de El Niño e 5,1℃ no ano de La Niña, e os mínimos foram de -6,9℃ no ano de El Niño e -4,5℃ no ano de La Niña. Observa-se ainda que o máximo e mínimo de temperatura do ar foram superiores no ano de El Niño. Isto indica que em período com maior aquecimento (verão) o solo nas camadas superficiais tende a se aquecer mais em condições de El Niño, e em período de menor aquecimento (inverno) o solo tende a se aquecer mais em condições de La Niña.

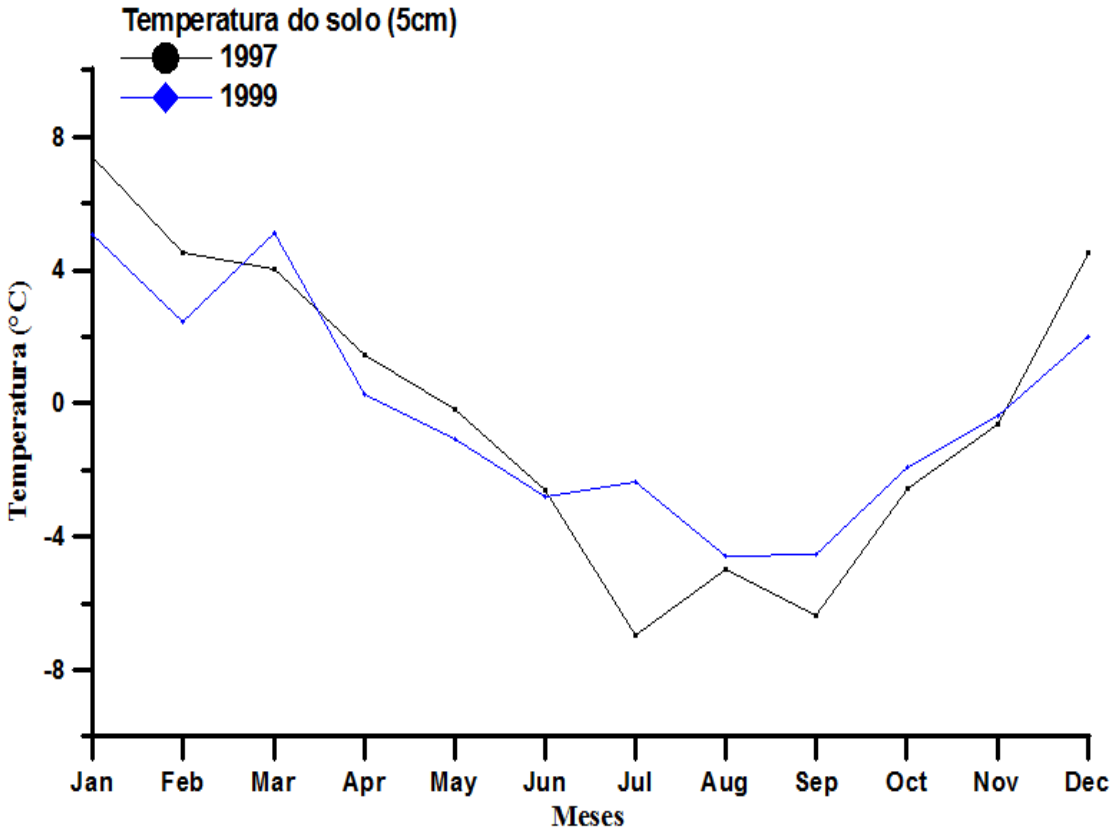

Figura 11. Médias mensais para temperatura do solo a 5cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 12 mostra a média horária anual da temperatura do solo na área de estudo. O comportamento do padrão horário apresenta similaridade em ambos os anos, com máximos bem definidos entre as 15h00min UTC e 18h00min UTC, com mínimos entre 06h00min UTC e 09h00min UTC. O comportamento do padrão horário de temperatura do solo mostrou resultados semelhantes aos obtidos nos padrões mensais, onde o período de maior aquecimento apresenta médias superiores em anos de El Niño e o período de menor aquecimento apresenta médias superiores em anos de La Niña.

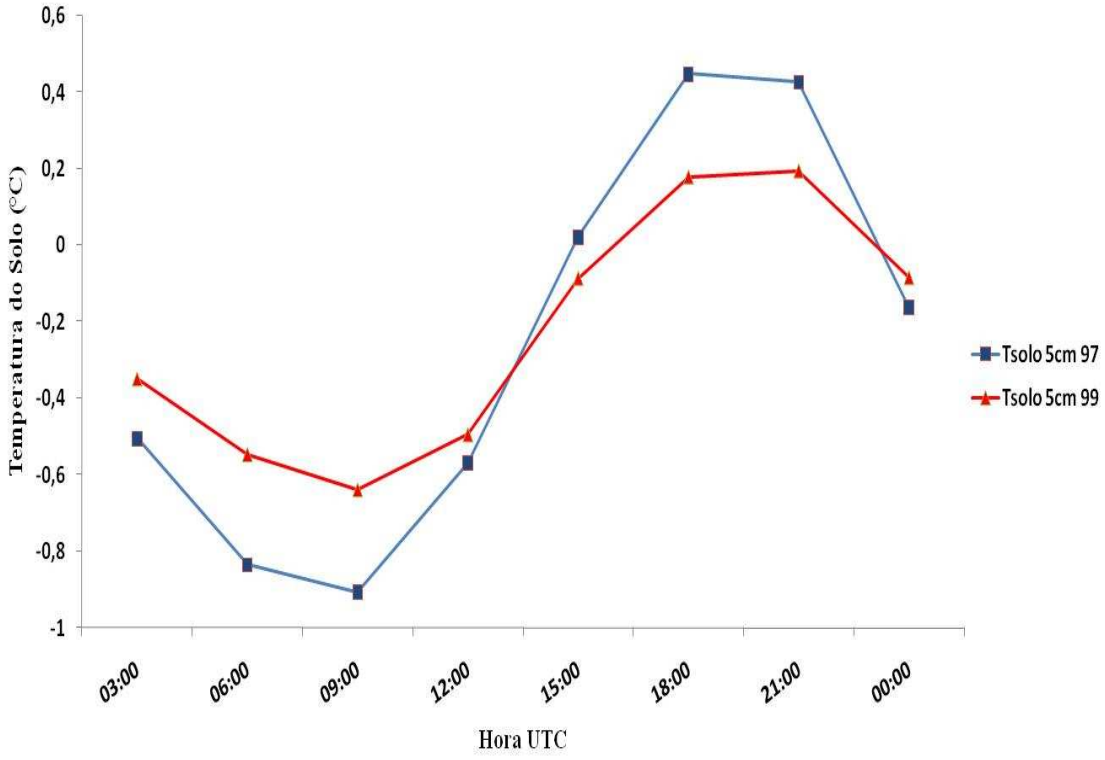

Figura 12. Média horária anual para temperatura do solo a 5 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 13 mostra os padrões mensais de temperatura do solo a 10 cm na área de estudo e observa-se que na maioria dos meses as temperaturas foram maiores no ano de La Niña. O comportamento das curvas de temperatura do solo a 10 cm é similar em ambos os anos, apresentando maiores valores no período de verão e decrescendo à medida que se aproxima o inverno, assim como acontece com a temperatura do ar. Os máximos foram de 4,7℃ no ano de El Niño e 5,0℃ no ano de La Niña, e os mínimos foram de -6,7℃ no ano de El Niño e -4,5℃ no ano de La Niña. O fato da temperatura a 10 cm se mostrar superior na maior parte do tempo no ano de La Niña reflete o comportamento da temperatura do ar, diferente do que acontece com a temperatura do solo em níveis mais superficiais já expostos. Enquanto a temperatura a 5 cm demonstra maior aquecimento no verão e maior resfriamento no inverno em períodos de El Niño, no nível de 10 cm o padrão de temperatura é similar ao aquecimento superior evidenciado nas médias de temperatura do ar, mostrando que os níveis inferiores do solo tendem a refletir de modo mais estável ao aquecimento da atmosfera. Os padrões anuais de

temperatura do solo corroboram estudos feitos na região por Francelino (2004), que encontrou médias entre 5℃ no verão e -6℃ no inver no.

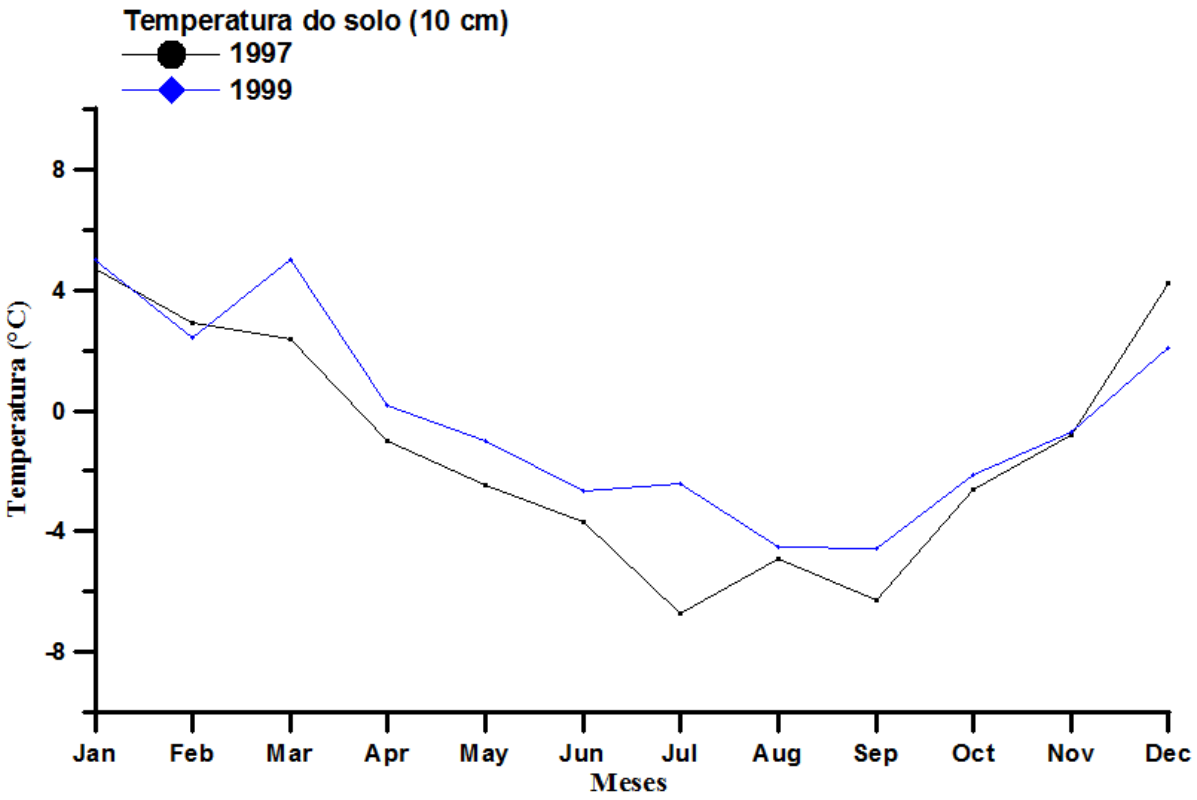

Figura 13. Médias mensais para temperatura do solo a 10 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 14 mostra a média horária anual da temperatura do solo na área de estudo. O comportamento do padrão horário apresenta similaridade em ambos os anos, com máximos bem definidos entre as 15h00min UTC e 18h00min UTC, com mínimos entre 06h00min UTC e 09h00min UTC. O comportamento do padrão horário de temperatura do solo mostrou resultados semelhantes aos obtidos nos padrões mensais, onde o período de maior aquecimento apresenta médias superiores em anos de El Niño e o período de menor aquecimento apresenta médias superiores em anos de La Niña.

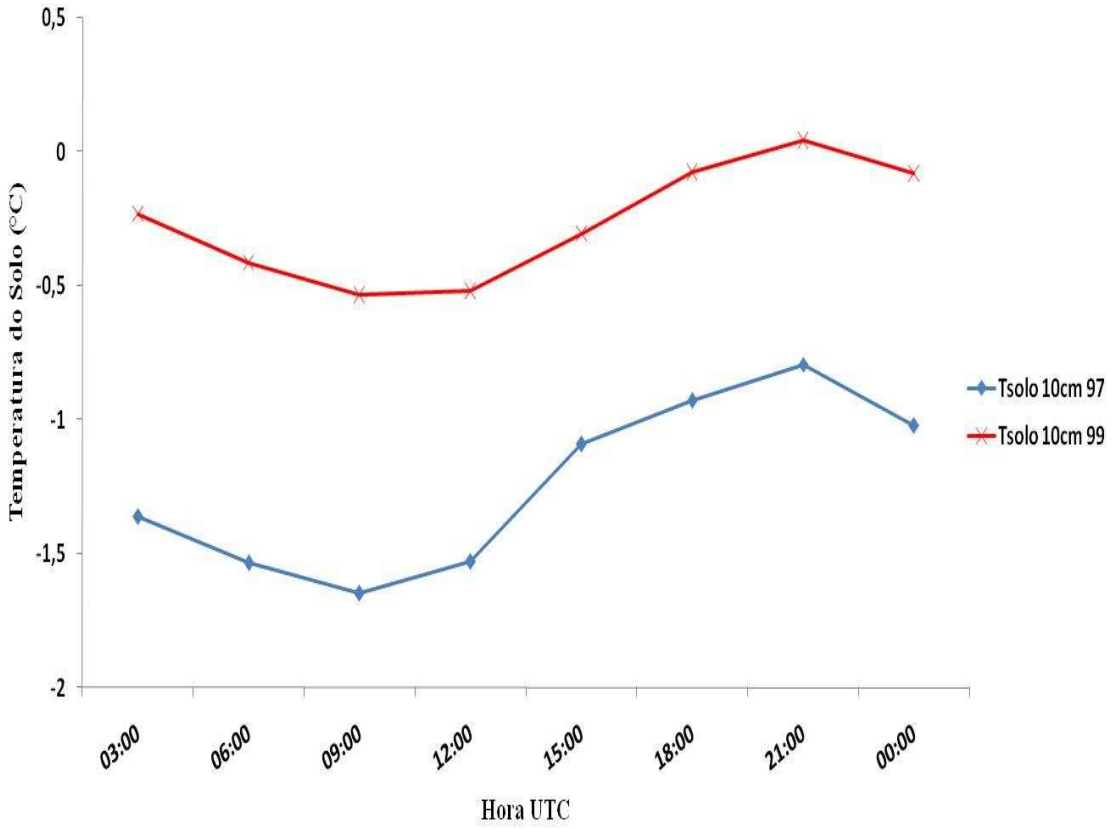

Figura 14. Média horária anual para temperatura do solo a 10 cm nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

4.6 PRECIPITAÇÃO

A Figura 15 mostra os padrões mensais de precipitação na área de estudo e observa-se que na maioria dos meses as médias de precipitação foram superiores no ano de La Niña, assim como a maioria dos máximos de precipitação, principalmente nos últimos meses do ano, onde as médias se mostram superiores no ano de La Niña, porém não se mostraram superiores a 1 mm.

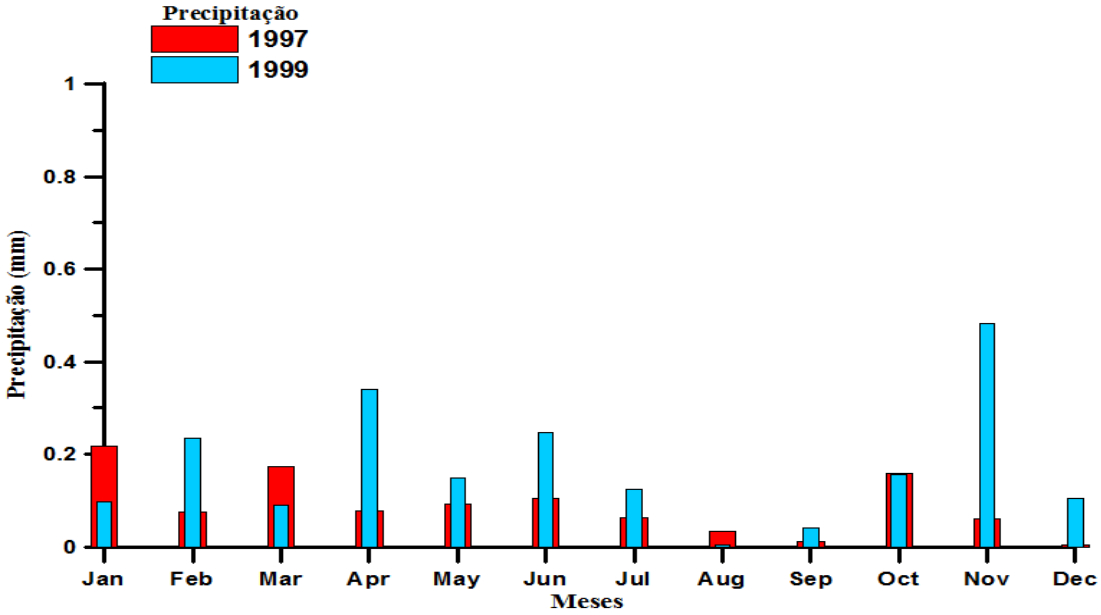

Figura 15. Médias mensais para precipitação nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

A Figura 16 mostra o acumulado mensal de precipitação na área de estudo. Observa-se que na maioria dos meses as médias de precipitação foram superiores no ano de La Niña, principalmente no mês de Novembro. As maiores médias ocorreram no período de verão, enquanto os menores valores se deram no inverno. O máximo acumulado de precipitação não ultrapassou os 4 mm/mês. O percentual de diferença, que mostra claramente que a precipitação aumentou consideravelmente no período de La Niña, é mostrado na Figura 17.

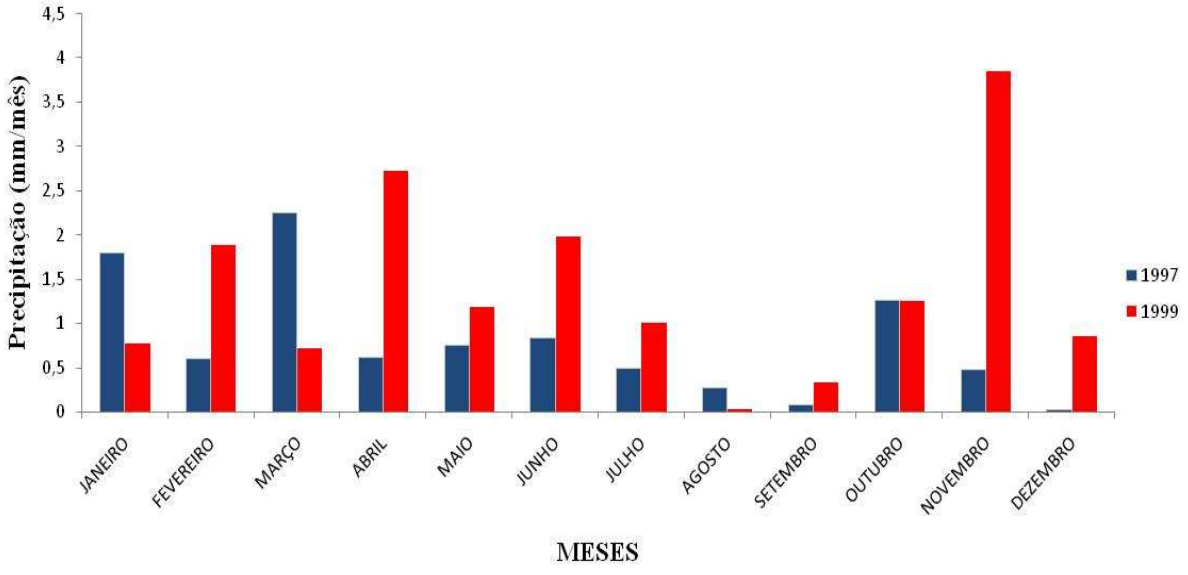

Figura 16. Acumulado mensal de precipitação nos anos de 1997 (El Niño) e 1999 (La Niña).

.

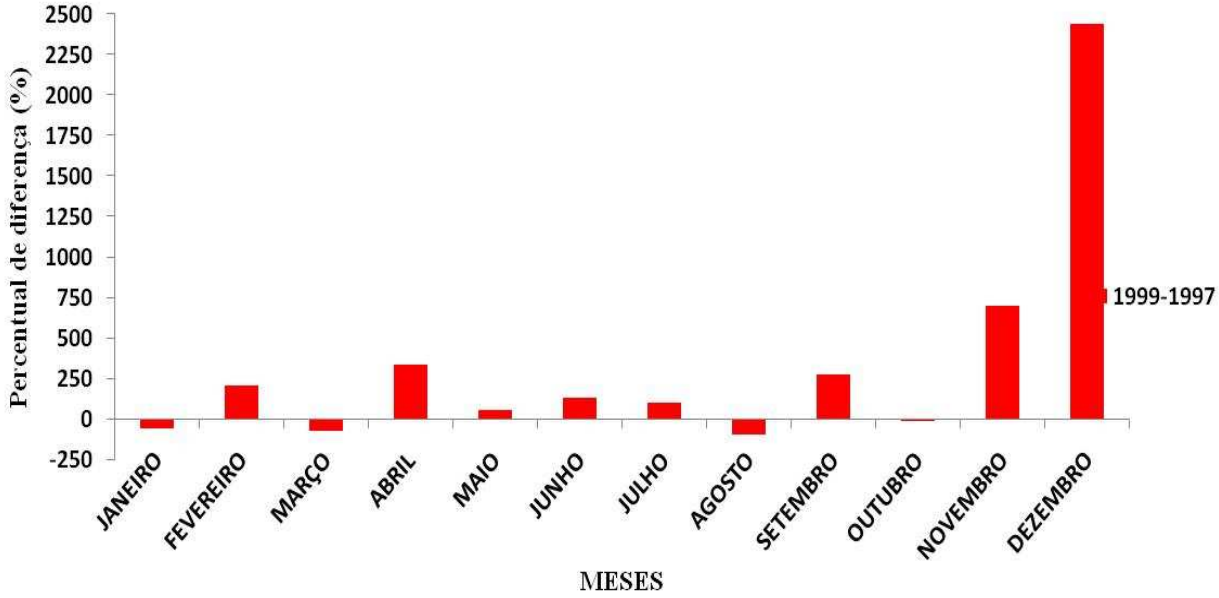

Figura 17. Percentual de diferença (precipitação em 1999- precipitação em 1997) da precipitação do ano de El Niño para o ano de La Niña.

5 COMPARAÇÕES COM A CLIMATOLOGIA

Apesar de a Organização Meteorológica Mundial (OMM) especificar 30 anos como sendo o período mínimo para que uma série seja considerada climatológica, os dados disponíveis da EACF já permitem observar médias, tendências e extremos que são de singular importância para o entendimento dos padrões atmosféricos da região. A estação entrou em operação no ano de 1986, completando, portanto, os 30 anos de série de dados somente em 2016. No entanto, foram feitas comparações com médias anuais dos 11 anos antecessores aos anos de estudo de (1986 a 1996), para efeito de comparação entre os valores médios obtidos com a até então "climatologia" da região. Devido à maior qualidade de dados, foram feitas comparações somente entre temperatura do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento. Dados inconsistidos não foram computados ás médias.

5.1 TEMPERATURA DO AR

A Figura 18 mostra a comparação entre as médias dos anos em estudo com as médias dos 11 anos anteriores (1986-1996). Observa-se que a tendência obtida nas médias mensais e horárias prevalece, sendo que o ano de La Ninã (média de -0,7℃) apresentou-se 1,4℃ mais quente do que o ano de El Niño (média de -2,1℃). Em comparação com a média dos 11 anos anteriores (-2,0 ℃), o ano de El Niño apresenta média abaixo, enquanto o ano de La Niña apresenta média acima. Este comportamento está apoiado também na literatura, uma vez que Romão (2003) apresentou uma climatologia de 1986- 2002, obtendo média de -1,8℃, valor que ainda enquadra-se neste padrão.

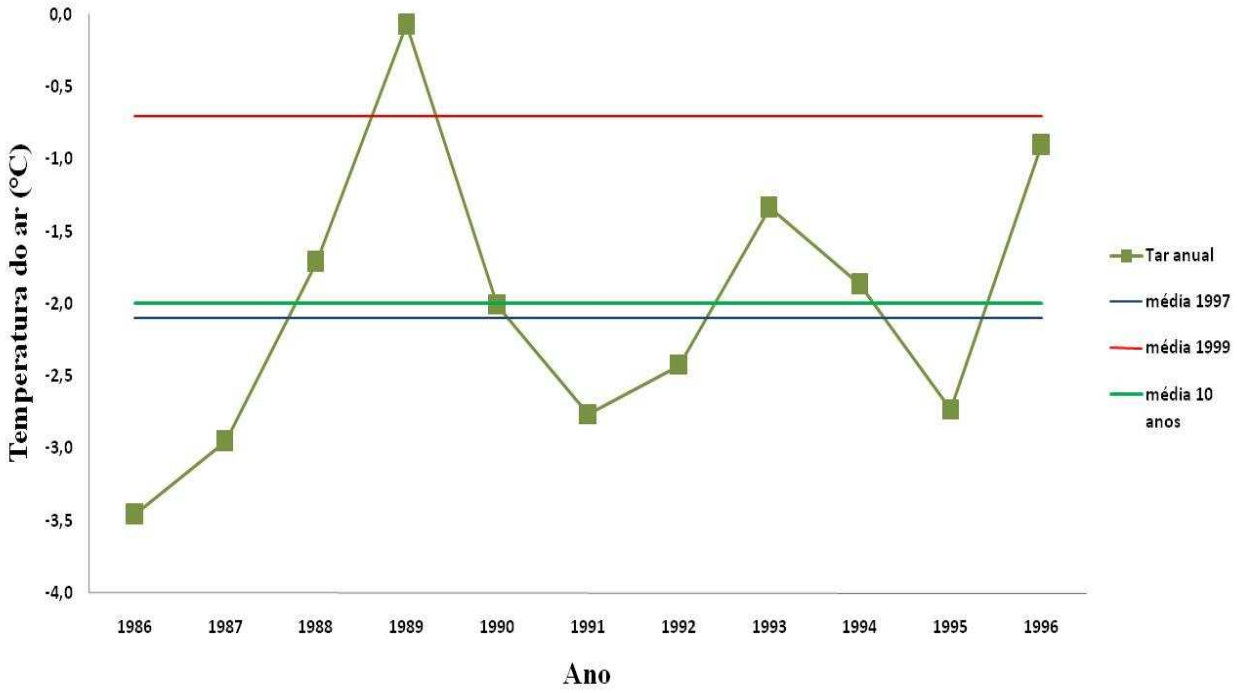

Figura 18. Comparação das médias de temperatura do ar dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.

5.2 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A Figura 19 mostra a comparação entre as médias dos anos em estudo com as médias dos 11 anos anteriores e observa-se que a tendência obtida nas médias mensais e horárias prevalece, sendo que o ano de La Ninã (média de 990,4 hPa) apresentou pressão 3,1 hPa menor que o ano de El Niño (média de 993,5 hPa). Em comparação com a média dos 11 anos anteriores (991,3 hPa), o ano de El Niño apresenta média acima, enquanto o ano de La Niña apresenta média abaixo. Estes dados estão um pouco acima da climatologia publicada por Romão (2003), que foi de 990,3 hPa.

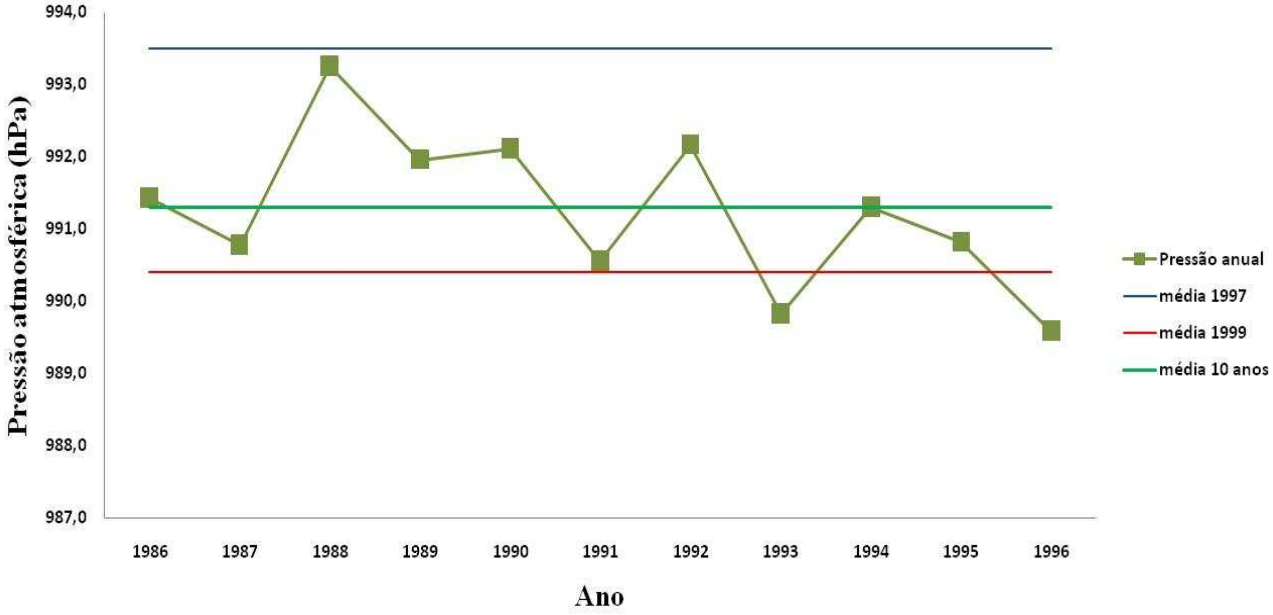

Figura 19. Comparação das médias de pressão atmosférica dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.

5.3 VELOCIDADE DO VENTO

A Figura 20 mostra a comparação entre as médias dos anos em estudo com as médias dos 11 anos anteriores. Observa-se que a tendência obtida nas médias mensais e horárias prevalece, sendo que o ano de La Ninã (média de 6,5 $m.s^{-1}$) apresentou intensidade do vento 0,9 $m.s^{-1}$ maior do que o ano de El Niño (média de -5,6 $m.s^{-1}$). Em comparação com a média dos 11 anos anteriores (5,9 $m.s^{-1}$), o ano de El Niño apresenta média abaixo, enquanto o ano de La Niña apresenta média acima. Este comportamento está apoiado também na literatura, uma vez que Romão (2003) apresentou uma climatologia de 1986 - 2002, obtendo média de 5,9 $m.s^{-1}$, valor igual á média dos 11 anos anteriores aos anos de estudo.

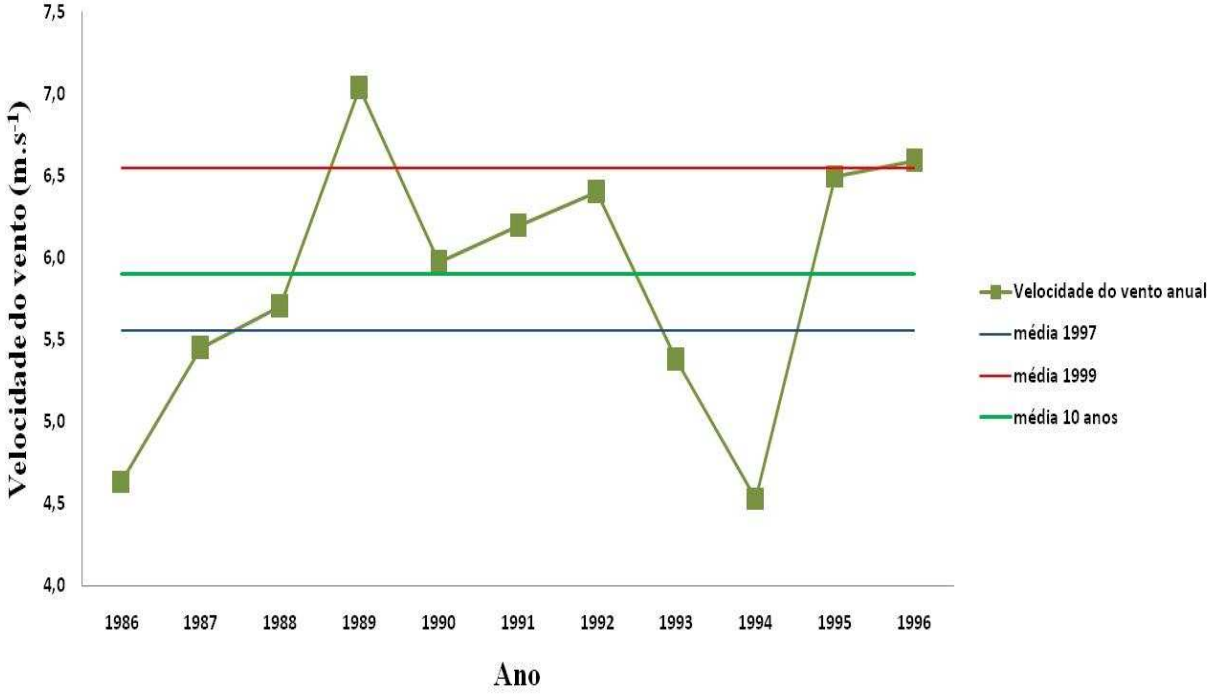

Figura 20. Comparação das médias de velocidade do vento dos anos em estudo com as médias de anos anteriores.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho, mostram que os elementos meteorológicos estão dentro dos encontrados na literatura para a região, pois as comparações entre as médias mostraram que houve uma tendência de aumento da maioria das variáveis analisadas no ano de La Niña, como Temperatura do ar e do solo, velocidade do vento e precipitação que apresentaram significativo aumento. As demais variáveis meteorológicas (Pressão atmosférica e Umidade relativa) mostraram padrões inversos, o que se considera esperado, devido a relação inversamente proporcional com a temperatura do ar, que apresentou significativo aumento do ano de El Niño quando comparado ao ano de La Niña. É sabido que o fenômeno ENOS tem diferentes efeitos em diferentes regiões do globo, e pelo que se pode constatar nesta pesquisa, existe tendência no aumento nas médias das variáveis já citadas, o que por regra irá culminar na redução em outras variáveis, por serem inversamente proporcionais. Comparando-se com a climatologia disponível, as médias de temperatura do ar e velocidade do vento mostram ser maiores no ano de La Niña e menores no ano de El Niño, enquanto que as médias de pressão atmosférica mostram ser maiores em ano de El Niño e menores em anos de La Niña.

REFERÊNCIAS

BLUNIER, T.; CHAPPELLAZ, J.; SCHWANDER, J.; DALLENBACH, A.; STAUFFER, B.; STOCKER, T.; RAYNAUD, D.; JOUZEL, J.; CLAUSEN, H.; HAMMER, C. ; JOHNSEN, S. Asynchrony of Antarctic and Greenland climate change during the last glacial period, **Nature***,* 394, p. 739–74. 1998*.*

BOIASKI, N.T ; CARVALHO, L.M.V; TATSCH, J.D ; LIMA, F. U. F. Variabilidade da temperatura do ar na Peninsula Antartica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianopolis. **Anais...** Florianopolis, SBMET, 2006.

COSTA, G. B. ; LEÃO, I.B ; QUEIROZ, M. R. ; SANTOS,J.S ; LOUREIRO, R. S. ; TOLEDO FILHO, M. R. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña no balanço de energia da cultura da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABA, 2009.

COSTA, G. B. ; SANTOS,J.S ; PERCY, B. P. ; SILVA, R. G. ; PEIXOTO, E. A. G. ; BENTO, F. M. H. ; QUEIROZ, M. R. ; CHAGAS, G. F. B. . Avaliação do comportamento da temperatura do ar na região Antártica no verão e inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R. FERNANDES FILHO, E. I. Temperatura do solo em áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: relações pedogenéticas. In: SIMPOSIO ARGENTINO Y I LATINOAMERICANO SOBRE INVESTIGACIONES ANTÁRTICAS, 5., 2004, Bueno Aires. **Anais...** Buenos Aires, p. 252-283. 2004

KOUSKY, V.E. ; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulations changes and related rainfall anomalies. Tellus, 36Aí5): 490-504. HOREL, J.D. ; WALLACE, J.M., 1981. Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev**., 109, p. 813-829. 1984.

LEMKE, P.; REN, J.; ALLEY, R.B.; ALLISON, I.; CARRASCO, J.; FLATO, G.; FUJII, Y.; KASER, G.; MOTE, P.; THOMAS, R.H. ; ZHANG, T. Observations: changes in Snow, Ice and Frozen Ground. Pp.: xx-yy. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M. ; MILLER, H.L. (eds.). **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press**. Cambridge: United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. (Climate Change 2007).

LOWELL, T. V.; HEUSSER, C. J.; ANDERSEN, B. G.;MORENO, P. I.; HAUSER, A.; HEUSSER,L. E.; SCHLÜCHTER,C.; MARCHANT, D. R. ; DENTON G. H. Interhemispheric correlation of late Pleistocene glacial events. **Science***,* 269, 1541–1549. 1995.

MAROTZKE, J.; STONE, P. H. Atmospheric transport, the thermohaline circulation, and flux adjustments in simple coupled model. **Journal of Physical Oceanography**, 25, p. 1350–1360. 1995

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, J.M.N.da ; VIANELLO, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 347-355. 2007.

OPSTEEGH, J.D.; van DOOL, H .Me. Seasonal differences ln the statlonary response of a linearized prirnitive equation model: prospects for. long-range forecasting? **J. Atrhos. Sci**., 37, p. 2169-2185. 1980.

RAHMSTORF, S. Rapid climate transitions in a coupled ocean-atmosphere model. **Nature**, 372, p. 82–85. 1994.

ROMÃO, M.O.; SETZER, A. Série Meteorológica da EACF, 1986-2002. In: SEMINÁRIO PESQUISA ANTÁRTICA, 11, 2003, São Paulo. **Resumos**, São Paulo: [s.n.], 2003. p. 19.

SETZER, A. W. ; HÄRTER, F. P. Estudo das temperaturas mínimas de julho 1995 na Estação Antártica Comandante Ferraz, Ilha Rei George. Pesquisa Antártica Brasileira, **Academia Brasileira de Ciências**, v. 4, p. 171-181. 2004.

SILVA, G.F.G. **Análise da variabilidade média de elementos meteorológicos em zona polar antártica**. 2008. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em meteorologia) - Universidade Federal do Pará, 2008.

WALLACE, J.M.; GUTZLER, D.S. Teleconnections in the geopotentlal height'field during the Notthern Hernisphere wlnter. **Mon. Wea. Rev**. 109, p. 784-812. 1981.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, **Guide to Meteorological Instruments and methods of observation.** WMO-n°8, 6.ed, Geneva, Switzerland, 1996.

WEBSTER, P.J. Mechanims deterrnining the atrnospheric response to 'sea surface temperature anomalies. **J. Atmos. Sci**., 38, p. 554-571. 1981.