



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**VARIABILIDADE INTERANUAL DO TRANSPORTE DE VOLUME DA  
CORRENTE DO BRASIL EM 22° E 30° S**

**BRISA FOEPEL BARBOSA MAIER**

**Salvador**

2017

**BRISA FOEPPEL BARBOSA MAIER**

**VARIABILIDADE INTERANUAL DO TRANSPORTE DE VOLUME DA  
CORRENTE DO BRASIL EM 22° E 30° S**

**Monografia apresentada ao curso de oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> JANINI PEREIRA**

**SALVADOR**

2017

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

## **BRISA FOEPEL BARBOSA MAIER**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

---

Janini Pereira – Orientadora

Doutora em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo, Brasil.

Universidade Federal da Bahia

---

Clemente Augusto Souza Tanajura

Doutor em Meteorologia pela Universidade Maryland, EUA.

Universidade Federal da Bahia

---

Hebe Queiroz

Doutora em Física pela Universidade Estadual Paulista, Brasil.

Universidade Federal da Bahia

**Salvador, 05 de Abril de 2017**

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que ao longo da minha trajetória me tem dado muitas alegrias e conquistas.

À minha família que é a base do que eu sou, que está ao meu lado sempre e que me deu o suporte para terminar essa nova etapa.

Aos meus amigos de 2011, que tornaram amigos para a vida toda e que me fizeram ainda mais gostar desse curso.

À Cleiton Rafael meu companheiro, por me proporcionar momentos incríveis, por acreditar em mim, me apoiando e dando força.

Aos amigos de laboratório, Maurício Rebouças, Mirela Goes, Julinha Porto, Fernanda Almeida, Ivenis Pita, Filipe, a todos, pela troca de conhecimentos e pelas conversas e risadas.

À Julinha, Nanda, Mari e Ingrid, por ser amigas dentro e fora da Universidade, pelos momentos de tranquilidade surfando e estudando.

Aos meus professores que passaram seus conhecimentos e fizeram parte da minha formação acadêmica.

À Janini que me possibilitou aprender mais sobre a Oceanografia Física, as horas de dedicação e conselhos, que foram cruciais para realização deste trabalho.

À todos aqueles que de alguma forma me ajudaram, muito obrigado.

## RESUMO

O oceano Atlântico é importante para a regulação do clima na terra, sendo relevante o conhecimento sobre a variabilidade da Corrente do Brasil (CB). Este trabalho investiga a variabilidade interanual do transporte de volume da CB, e avalia se o transporte de volume sofre influência do ENSO (El Niño Southern Oscillation). Foram utilizados os dados da reanálise do SODA (Simple Ocean Data Assimilation), que possui uma série temporal de 51 anos (1958-2008), com resolução horizontal de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  e 40 níveis verticais. As duas seções perpendiculares ao longo da costa para o cálculo do transporte de volume foram em  $22^\circ$  e  $30^\circ$ S. Neste estudo foram analisadas séries temporais da temperatura, da velocidade meridional do transporte de volume da CB e perfis médios verticais da velocidade meridional nas duas seções. O ONI (Oceanic Niño Index) é usado para identificar eventos do ENSO, pelas anomalias da temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial na área do Niño 3.4. Não houve um padrão na ocorrência de El Niño nos valores de pico no transporte de volume da CB, mas observou-se que houve picos com atraso após anos de eventos fortes de El Niño. Por esta razão foi verificado por meio da correlação cruzada, a correlação e o *lag* entre a série do transporte de volume da CB e o ONI, que apresentou uma baixa correlação em  $22^\circ$  e  $30^\circ$ S. O atraso foi maior na seção  $30^\circ$ S do que em  $22^\circ$ S, de 4,67 anos e 7,17 anos, respectivamente. O evento do ENSO é conhecido por ventos alísios fracos (El Niño) ou fortes (La Niña) no Pacífico. Desta forma, foi feita a correlação da Tensão de Cisalhamento do Vento (TCV) zonal do Atlântico equatorial com as séries do Transporte de volume da CB e foi constatada uma alta correlação de 0,93 e 0,94, com um atraso de 5 e 6 meses em  $22^\circ$  e  $30^\circ$ S, respectivamente.

## ABSTRACT

The Atlantic Ocean is important for the regulation of the climate in the earth, being relevant knowledge about the variability of the Current of Brazil (CB). This work investigates the interannual variability of volume transport of the CB, and evaluates if the volume transport is influenced by ENSO (El Niño Southern Oscillation). We used the SODA (Simple Ocean Data Assimilation) reanalysis data, which has a time series of 51 years (1958-2008), with horizontal resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  and 40 vertical levels. Two perpendicular sections along the coast for the calculation of volume transport were calculated at  $22^\circ$  and  $30^\circ\text{S}$ . In this study we analyzed time series of temperature, meridional velocity, volume transport series of CB and vertical mean meridional velocity profiles in both sections. The ONI (Oceanic Niño Index) is used to identify ENSO events due to sea surface temperature anomalies in the Equatorial Pacific in the area of the Niño 3.4. There was no pattern in the El Niño occurrence at the peak values in the volume transport series of CB, but it was observed that there were peaks with delay after years of strong El Niño events. For this reason, the correlation and the lag between the volume transport and the ONI, series showed a low correlation in  $22^\circ$  and  $30^\circ\text{S}$ . The delay was larger in section at  $30^\circ\text{S}$  than in  $22^\circ\text{S}$ , 4,67 and 7,17 years. The ENSO event is known as weak trade winds (El Niño) or strong (La Niña). Thus, a correlation between equatorial Atlantic Wind Stress and the CB volume transport series was found a high correlation of 0,93 and 0,94, with a delay of 5 and 6 months at  $22^\circ$  and  $30^\circ\text{S}$ , respectively.

## LISTA DE ABREVIações

<b>ACAS</b>	Água Central do Atlântico Sul
<b>AIA</b>	Água Intermediária Antártica
<b>APAN</b>	Água Profunda do Atlântico Norte
<b>ASM</b>	Altura da Superfície do Mar
<b>AT</b>	Água Tropical
<b>ATSM</b>	Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar
<b>BICSE</b>	Bifurcação da Corrente Sul Equatorial
<b>CB</b>	Corrente do Brasil
<b>CCI</b>	Corrente de Contorno Intermediário
<b>CCP</b>	Corrente de Contorno Profunda
<b>CCO</b>	Corrente de Contorno Oeste
<b>CG</b>	Corrente do Golfo
<b>CSE</b>	Corrente Sul Equatorial
<b>CTD</b>	Conductivity Temperature and Depth
<b>ENSO</b>	El Niño Southern Oscillation
<b>HYCOM</b>	Hybrid Coordinate Ocean Model
<b>WOD09</b>	World Ocean Data Base 2009
<b>ICOADS</b>	International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
<b>MOM</b>	Modular Ocean Model
<b>NetCDF</b>	Network Common Data Form

<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OCCAM</b>	Ocean Circulation and Climate Advanced Modeling Project
<b>ONI</b>	Oceanic Niño Index
<b>POP</b>	Parallel Ocean Program
<b>ROMS</b>	Regional Ocean Model System
<b>SNB</b>	Subcorrente Norte do Brasil
<b>SODA</b>	Simple Ocean Data Assimilation
<b>SOI</b>	Southern Oscillation Index
<b>TCV</b>	Tensão de Cisalhamento do Vento
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>XBT</b>	Expendable Bathy-Thermograph

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa esquemático da circulação superficial do Giro Subtropical do Atlântico Sul, com mapa batimétrico baseado nos dados do ETOPO5. Fonte: Peterson e Stramma, 1991 (apud Carvalho, 2014). .....	4
Figura 2- Modelo esquemático da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial e a formação das massas d'água da Corrente do Brasil. Fonte: Soutelino, 2008.....	6
Figura 3-Esquema da hipótese de Stommel explicando a diferença do transporte de volume da CB e CG. Fonte: STOMMEL, 1965 (apud SILVEIRA <i>et al</i> , 2000).....	7
Figura 4- Na imagem A mostra uma condição neutra e na imagem B mostra uma condição de El Niño. ....	11
Figura 5- Áreas para o cálculo de anomalia de TSM para obter os índices. Fonte: NOAA. ....	12
Figura 6- As duas imagens mostram que existe uma correlação negativa entre as séries temporais do ONI e o SOI. Fonte: NOAA .....	13
Figura 7- Esquema das alterações da circulação de Hadley e Walker em relação com as TSMs do Pacífico e do Atlântico. a) Pacífico quente e Atlântico Sul frio e b) Pacífico frio e Atlântico Sul quente. Fonte Aragão (1996 <i>apud</i> Aragão <i>et al</i> , 1998). ....	14
Figura 8- Comparação entre o ONI SODA em vermelho (Reanálise) e o ONI do NOAA em verde (dados do ERSST. v4).....	20
Figura 9- Série temporal da velocidade meridional da superfície na latitude 22°S....	21
Figura 10- Série temporal da temperatura da superfície na latitude 22°S.....	22
Figura 11- Série temporal da velocidade meridional da superfície na latitude de 30° S. ....	23
Figura 12- Série temporal da temperatura da superfície na latitude de 30°S.....	23
Figura 13- Série temporal anual da tensão de cisalhamento do vento zonal na região equatorial do oceano Atlântico. ....	24
Figura 14- Perfil médio de todo o período (1958-2008) da velocidade meridional na seção 22°S.....	25
Figura 15 – Perfis médios anuais que apresentam os picos de máxima velocidade meridional em 1996 (esquerdo) e pico de mínima velocidade meridional em 1965 (direita) do núcleo da CB na seção 22° S. ....	26

Figura 16 - Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade máxima (1996) na seção 22°S.....	27
Figura 17- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade mínima (1965) na seção 22°S.....	27
Figura 18- Perfil médio de todo o período (1958-2008) da velocidade meridional na seção 30°S.....	28
Figura 19- Perfis médios anuais que apresentam os picos de máxima velocidade meridional em 2004 (esquerdo) e pico de mínima velocidade meridional em 1965 (direita) do núcleo da CB na seção 30°S. ....	29
Figura 20- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade máxima (2004) na seção 30°S.....	29
Figura 21- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade mínima (1965) na seção 30°S.....	30
Figura 22- Transporte de Volume na latitude de 22°S; os círculos vermelhos mostram os picos do Transporte de Volume.....	31
Figura 23- Transporte de Volume na latitude de 30°S; os círculos verdes mostram os picos do Transporte de Volume.....	32
Figura 24- Série temporal ONI SODA. Os círculos em vermelho são os pontos de pico do transporte de volume na seção de 22°, os círculos verdes são os picos na seção de 30°S. As linhas contínuas pretas mostram que os valores acima de 0,5 são eventos de El Niño e abaixo de 0,5 são eventos de La Niña.....	33

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Compilação da velocidade máxima e transporte de volume da CB entre as Latitudes 9° e 38° S. (adaptado de Silveira <i>et al.</i> , 2000 e Carvalho, 2014).....	9
Tabela 2- Valores dos picos do transporte de volume da CB em 22°S.....	34
Tabela 3- Valores dos picos do transporte de volume da CB em 30°S.....	34
Tabela 4-Tabela da correlação cruzada entre o transporte de volume e o ONI SODA. .....	35
Tabela 5 - Tabela da correlação cruzada da série do transporte de volume e a tensão de cisalhamento do vento zonal.....	35
Tabela 6- Dados do ONI do NOAA para o período de 1950 à 2009. Os números azuis são eventos de La Niña e os números vermelhos são eventos de El Niño, o restante não esteve em evento do ENSO.....	39

# Sumário

RESUMO .....	IV
ABSTRACT .....	V
LISTA DE ABREVIACÕES .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELA .....	X
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	4
3.1 A CIRCULAÇÃO OCEÂNICA E AS MASSAS DE ÁGUA DO ATLÂNTICO SUL .....	4
3.2 ESTRUTURA E TRANSPORTE DE VOLUME DA CB.....	7
3.3 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL.....	10
4. METODOLOGIA .....	16
4.1 DADOS DA REANÁLISE DO SODA.....	16
4.2 SÉRIES TEMPORAIS E PERFIS VERTICAIS .....	16
4.3 DADOS DE ÍNDICE DO ONI .....	17
4.4 CÁLCULO DE TRANSPORTE .....	18
4.5 CÁLCULO DA CORRELAÇÃO CRUZADA .....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
5.1 COMPORTAMENTO ENTRE ONI do SODA X NOAA .....	20
5.2 SÉRIES TEMPORAIS.....	21
5.3 PERFIS NAS SEÇÕES DE 22° E 30°S .....	24
5.4 TRANSPORTE DE VOLUME.....	31
5.5 CORRELAÇÕES CRUZADAS.....	34
6. CONCLUSÃO.....	36
7.SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	37
8.REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA.....	38
9.ANEXO .....	44

# 1. INTRODUÇÃO

Os oceanos correspondem aproximadamente a dois terços da superfície da Terra. Esta superfície fluida em constante movimento apresenta processos em diversas escalas espaciais e temporais. As duas principais forçantes para o movimento da circulação oceânica são a variação termohalina e o atrito do vento na superfície do oceano. Os grandes giros oceânicos são resultantes do padrão da circulação atmosférica, que transfere para o oceano a energia através dos ventos.

Sverdrup e Stommel foram os primeiros pesquisadores a prever por modelos teóricos dos giros oceânicos, utilizando o vento estacionário e considerando o rotacional da tensão de cisalhamento do vento. Obedecendo a descrição da dinâmica de Stommel, a Corrente do Brasil (CB) é uma Corrente de Contorno Oeste (CCO) que fecha a circulação gerada pelo vento (Silveira, 2000).

Vários estudos abordam a CB, tais como (Calado *et al.*, 2006; Soutelino, 2008; Oliveira *et al.*, 2009; Servino, 2011; Magalhães, 2012; Pereira *et al.*, 2013). É de suma importância compreender o padrão das correntes e de sua variabilidade, porém sua variabilidade interanual é pouco investigada comparada com a variabilidade sazonal (Servino, 2011).

Alguns trabalhos reportam a variabilidade sazonal da CB, como em (Miranda *et al.*, 1985; Matano *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1999; Calado *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2011). Miranda *et al.*, (1985) utilizou dados *in situ* de navios oceanográficos e calculou as velocidades geostróficas da CB. Na região do Cabo de São Tomé os autores obtiveram valores da intensidade da CB de -0,59 a -0,68 m/s próximo da plataforma continental no período do verão de 1970, e no inverno as velocidades máximas foram entre -0,80 e -0,86 m/s. O sinal negativo da velocidade da corrente indica o sentido para o sul.

O núcleo da CB possui grande variabilidade sazonal, afastando da quebra da plataforma durante o inverno e se aproximando durante o verão (Moreira, 1997). Embora, ao longo de praticamente todo o ano o seu fluxo contorne sobre o talude (Lima, 1997).

Assad *et al.* (2015), analisando a influência da tensão de cisalhamento do vento anômalo do El Niño no transporte de volume da CB na região da plataforma continental do Cabo de São Tomé (22° S – 41°O) até Cabo de Santa Maria (28,63° S – 48,75°O), constataram que o vento anômalo pode afetar o transporte de volume da CB, aumentando o transporte no segundo e terceiro ano rodados no modelo MOM, e os autores observaram também a variabilidade interanual e sazonal do transporte de volume da CB.

A CB é importante para os sistemas climáticos, mas é uma das CCO menos entendida comparada com as outras, principalmente em relação aos termos de variabilidade e suas relações em larga escala (Mata, *et al.*, 2012). O clima exerce influência no globo e o conhecimento da variabilidade do clima é importante para a atividade econômica, como agricultura, pesca, exploração de recursos minerais marinhos, transporte marítimo, dentre outras atividades.

Atualmente, tem aumentado a exploração de recursos minerais *offshore* em plataformas, intensificando a importância do conhecimento dos padrões de circulação das correntes, para manter a segurança dos equipamentos e do meio ambiente. As correntes marinhas também são fontes de produtividade primária causada pela ressurgência de nutrientes e um meio de dispersão de espécie em larga escala.

A partir das inovações das tecnologias computacionais, inovaram e ampliaram o conhecimento dos processos envolvidos na circulação oceânica, utilizando resultados gerados por simulação numérica, contribuindo em um baixo custo operacional e possibilitando o estudo de forma sinótica em grandes áreas geográficas.

Neste trabalho utiliza-se o conjunto de dados da reanálise do SODA (Simple Ocean Data Assimilation) (Carton *et al.* (2005)), tendo como objetivo observar a variabilidade interanual do transporte de volume da Corrente do Brasil para uma série temporal de longo período proveniente de resultados simulados com assimilação de dados.

Este conjunto de dados já foi utilizado em outros trabalhos, como por exemplo, em Giese *et al.*, (2011), que observaram os anos que ocorreram El Niño a partir das anomalias da TSM na região equatorial do Pacífico analisando uma série temporal de 1871 a 2008, com os dados do SODA da versão 2.2.4. Já em Pereira *et al.* (2014), os autores investigaram o sistema da Corrente do Contorno Oeste do Atlântico Sul

comparando os modelos HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) e OCCAM (Ocean Circulation and Climate Advanced Modeling Project), e a reanálise do SODA, e analisaram o comportamento da CB de 5° a 30°S.

## **2. OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo identificar a variabilidade interanual do transporte de volume da CB para um período de 51 anos.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular o transporte de volume da CB e verificar sua variabilidade interanual nas seções 22° e 30°S;
- Investigar se há influência do ENSO no transporte de volume da CB;
- Correlacionar o transporte de volume da CB com a tensão de cisalhamento do vento zonal na região do Atlântico Equatorial.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 A CIRCULAÇÃO OCEÂNICA E AS MASSAS DE ÁGUA DO ATLÂNTICO SUL

A circulação superficial oceânica do Atlântico Sul é moldada pelo padrão de circulação do vento (Peterson & Stramma, 1991), que é dominado por um giro anticiclônico, chamado de Giro Subtropical do Atlântico Sul. O Giro Subtropical do Oceano Atlântico Sul está associado às seguintes correntes superficiais: Corrente de Benguela, situada no lado leste do Atlântico Sul; braço sul da Corrente Sul Equatorial (CSE), que atravessa o Atlântico Sul se deslocando para o oeste. Ao chegar na costa, a CSE se bifurca na superfície formando a Corrente Norte do Brasil que flui para o norte e a CB para o sul. Ao sul, em torno de 38°S a CB vai até a região da confluência com a Corrente das Malvinas, e se afasta da costa formando a Corrente do Atlântico Sul, que atravessa o Atlântico Sul seguindo para leste, assim encontrando a Corrente de Benguela e fechando o Giro Subtropical, como mostra a figura 1.

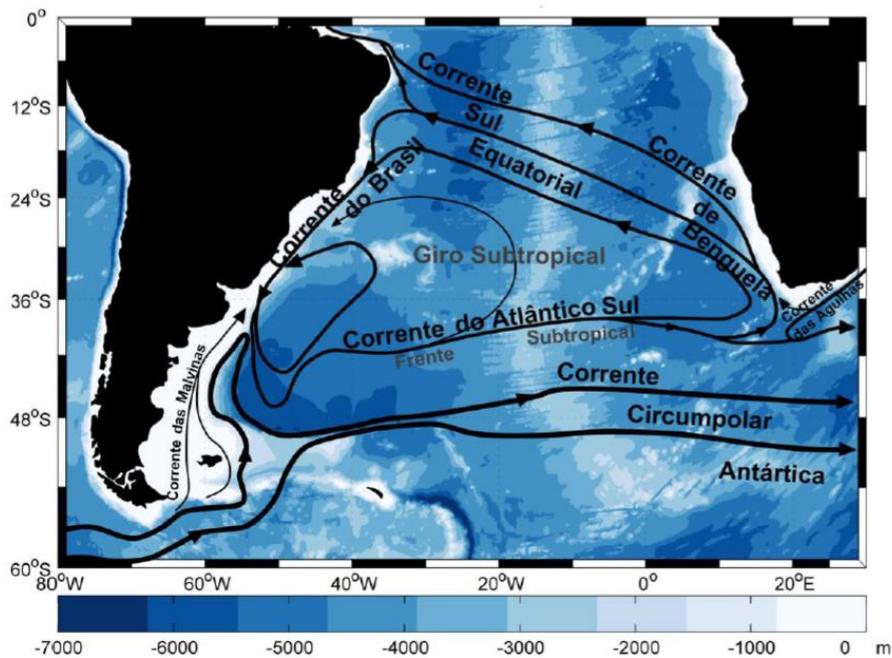


Figura 1- Mapa esquemático da circulação superficial do Giro Subtropical do Atlântico Sul, com mapa batimétrico baseado nos dados do ETOPO5. Fonte: Peterson e Stramma, 1991 (apud Carvalho, 2014).

O Atlântico Sul em sua extensão vertical é composto por diferentes massas d'água, que são compostas pela Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). A CB é uma CCO e seguindo o transporte Sverdrup, que considera o vento o principal forçante da corrente, a AIA e a APAN não fariam parte da CB, pois são geradas pelo balanço termohalino. (Silveira *et al.*, 2000).

A AT é descrita por Emilson (1961) como uma massa d'água superficial da CB caracterizada por uma água quente (temperatura maior que 20°C) e salinidade (acima de 36), que é o resultado da intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação, e em baixas latitudes segue para o sul e mistura-se com a água costeira pouco salina e mais fria.

A ACAS é caracterizada por águas com temperatura menor que 20°C e maiores que 6°C e salinidade entre 34,6 e 36,0. A ACAS é formada próximo da zona de confluência da CB com a Corrente das Malvinas, segundo Stramma & England (1999), e isto explica sua alta salinidade. Segundo Silveira *et al.* (2000), a ACAS faz parte do Giro Subtropical, que circula com as Correntes do Atlântico Sul e Benguela, e chega à costa da América do Sul transportada pela CSE.

Segundo Sverdrup (1942, *apud* Cirano *et al.*, 2006), os limites termohalinos da AIA são de 34,2 a 34,6 de salinidade, e a temperatura entre 3 a 6°C. Silveira *et al.* (2000) descreve a APAN como um fluxo fluindo para o sul, que ocupa a profundidade entre 1500 a 3000 m, com valores de temperatura de 3 a 4°C e salinidade entre 34,6 a 35,0.

A CSE, ao atingir a costa, é forçada a se bifurcar em níveis de profundidades diferentes. Sendo encontrado os diferentes níveis de profundidade: na camada da superfície em torno de 150 metros, nos níveis da ACAS entre 150 e 500 metros e a camada intermediária entre 500 e 1000 m. Segundo a figura 2, a porção da superfície atinge a costa em torno de 15° S (Soutelino, 2008), dando origem a CB fluindo para o sul. Em torno de 20° S, a CB recebe o aporte da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE) no nível picnoclínico da ACAS e continua a fluir para sul. Há um consenso na literatura de que ao sul do Cabo de São Tomé (22°S) uma parte da ACAS flui para sul, ao longo da costa brasileira, e outra parte para o norte rumo ao equador, como Subcorrente Norte do Brasil (SNB) (Wiist, 1935; Defant, 1941; Tsuchya, 1986; Reid, 1989; Stramma & England, 1999). A BiCSE no nível intermediário da AIA em 25°S

forma a Corrente de Contorno Intermediária (CCI), que segue para norte e parte para sul, deixando neste momento a CB mais profunda.

Além destas camadas, existe uma camada mais profunda que ocupa o sopé continental e parte da planície abissal, esta é a Corrente de Contorno Profunda (CCP) que carrega a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) fluindo para o sul.

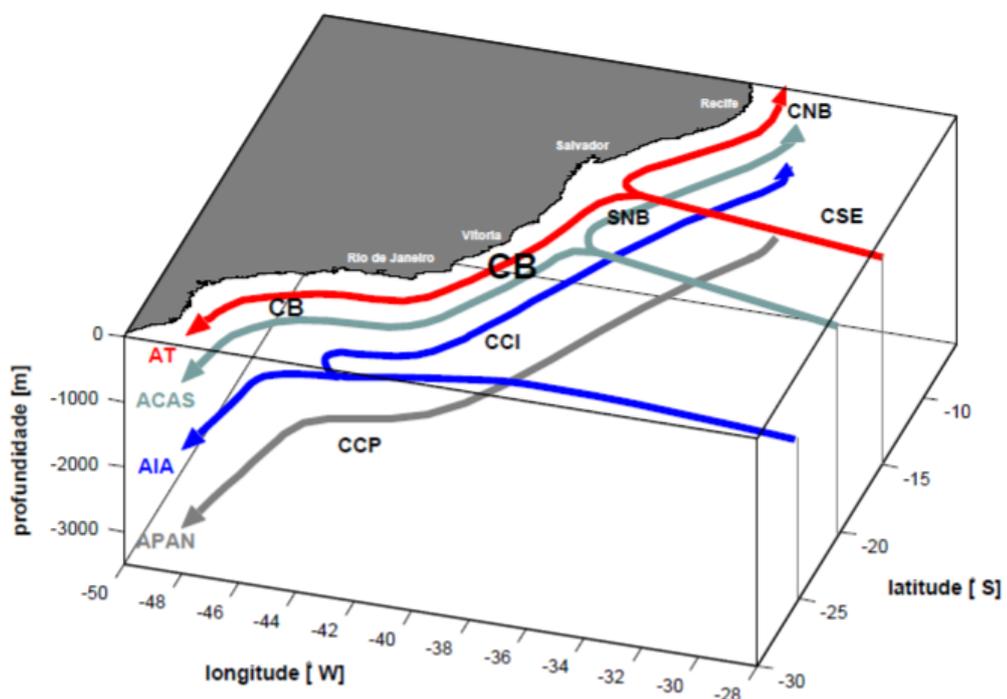


Figura 2- Modelo esquemático da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial e a formação das massas d'água da Corrente do Brasil. Fonte: Soutelino, 2008.

### 3.2 ESTRUTURA E TRANSPORTE DE VOLUME DA CB

As Correntes de Contorno Oeste (CCOs) são caracterizadas como correntes intensas, profundas e estreitas, sendo estas necessárias para fechar o giro segundo o modelo de circulação de Stommel. A CB, por sua vez, é uma corrente peculiar, se diferenciando das demais CCOs por possuir uma intensidade bem menor, principalmente em seu transporte de volume se comparada a Corrente do Golfo (CG).

Segundo Zemba (1991) e Tomczak e Godfrey (1994), a diferença do transporte de volume entre a CG e a CB não é justificada pelo campo de vento, pois não há diferença significativa neste no Atlântico Norte e sul. Stommel (1965) explica que a diferença do transporte de volume é em função da circulação termohalina. Estas forçantes na CG é no mesmo sentido, aumentando o transporte de volume. No entanto, na CB tem um sentido oposto desacelerando o fluxo, como mostra na figura 3.

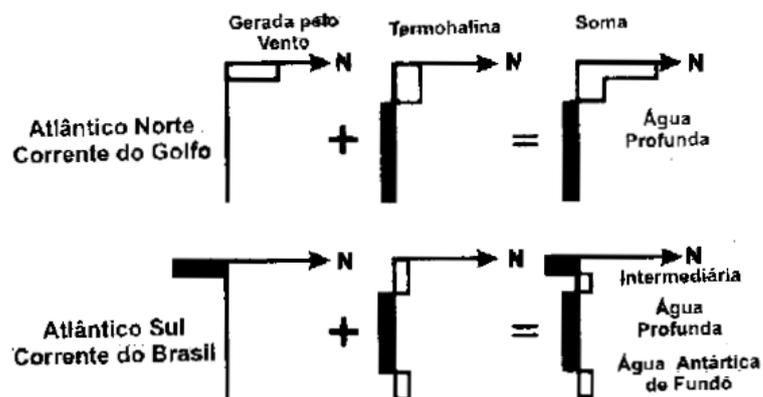


Figura 3-Esquema da hipótese de Stommel explicando a diferença do transporte de volume da CB e CG. Fonte: STOMMEL, 1965 (*apud* Silveira *et al*, 2000).

A origem da CB é na BiCSE, em torno de 10°S, com transporte de 16 Sv e profundidade de 500m; cerca de 4 Sv flui para sul (CB) e 12 Sv flui para norte (CNB) (Silveira *et al.*, 2000). Segundo Rodrigues *et al.* (2007) a variação sazonal da BiCSE situa em 13°S em novembro e migra para 17°S em julho. Esses autores mostram que quando a BiCSE está mais ao sul o transporte de volume da CB é menor, e quando a bifurcação está mais ao norte o transporte de volume é maior.

Em 20,5°S, a CB encontra com a Cordilheira Trindade-Vitória. Segundo Evans *et al.* (1983), os seus cálculos mostraram que nesta região a CB passa transbordando mais próximo à plataforma com cerca de 4,4 Sv, relativo a profundidade de 500m.

Segundo Signorini (1978), próximo à Cabo Frio (23°S), o autor observou uma CB meandrante na análise de topografia dinâmica. Em Cabo Frio, o transporte de volume estimado relativo à profundidade de 600 m obteve -9,4 Sv, com o pico de velocidade geostrofica de -0,55 m/s. Os valores negativos indicam sentido para o sul.

Em alguns trabalhos, como Silveira (2000) e Carvalho (2014), foi estimado o transporte ao longo da CB, como mostra a tabela 1. A maioria dos dados da tabela foi obtido com medições *in situ* (dados hidrográficos) em diversos períodos de tempo, desde 1964 a 2014, e os trabalhos mais recentes começaram a utilizar também os modelos numéricos.

Tabela 1- Compilação da velocidade máxima e transporte de volume da CB entre as Latitudes 9° e 38°S. (adaptado de Silveira *et al.*,2000 e Carvalho,2014) . Os valores de transporte e velocidade da CB seguem para o sul.

Latitude(s)	Profundidade de referência	Transporte de volume (Sv)	Velocidade máxima (m/s)	Objeto de análise	Referência
9-13°S	390-510	4,1	0,31	Dados hidrográfico	Stramma <i>et al.</i> (1990)
15°S	470-530	6	0,16	Dados hidrográfico	Stramma <i>et al.</i> (1990)
16,25°S		3,19		Reanálise (SODA)	Servino (2011)
19°S	500	6,5	0,72	Dados hidrográfico	Miranda & Castro (1981)
21,7°S	500	4,4	0,61	Dados batitermométricos e hidrográfico	Evans <i>et al.</i> (1983)
21°S	600	9,4		Dados hidrográfico	Schmid <i>et al.</i> (1995)
21°S		6,7/7,9		Numérico	Silveira <i>et al.</i> (2005)
21,75°S	600	5,77		Reanálise(SODA)	Servino (2011)
22°S		5,5±2,6		Correntômetro	Lima (1997)
23°S	600/1300	10,1/10,9		Dados hidrográfico	Stramma (1989)
23°S	500	2,8/3,3		Dados batitermométricos e hidrográfico	Signorini <i>et al.</i> (1989)
23°S		11	0,5	Perfilador Pegasus	Evans & Signorini (1985)
23,5°S	500-1300	8	0,75	Dados hidrográfico	Signorini (1978)
24°S		1,3		Correntômetro	Muller <i>et al.</i> (1998)
24°S	600/1300	9,4/10,1		Dados hidrográfico	Stramma (1989)
23,5-26,5°S	480	5,32		Dados hidrográfico	Godoi (2005)
25°S	750/900	7,3/8,8	0,6	Dados hidrográfico	Campos <i>et al.</i> (1995)
27°S	isopicnal de 27,2	11,7		Dados hidrográfico	Zemba (1991)
28°S		16,2		Correntômetro	Muller <i>et al.</i> (1998)
28-30°S	1550-1600	11,4	0,7	Dados hidrográficos	Fisher (1964)
29,75°S		14,3		Reanálise(SODA)	Servino (2011)
30°S		20,9		GEM	Rodrigues <i>et al.</i> (2010)
30°		18,47±4,03		Numérico(HYCOM)	Carvalho (2014)
31°S		18		Perfilador Pegasus	Garfield (1990)
31°S	isopicnal de 27,1	22,8		Dados hidrográficos	Zemba (1991)
32°S	800(1600)	(19,2(13,3)		Dados hidrográficos	Stramma (1989)
33°S	800(1600)	17,5		Dados hidrográficos	Stramma (1989)
35,2-36,5°S		24		Dados acústicos	Garzoli (1993)
38°S	1400	19		Dados hidrográficos	Gordon & Greengrove (1986)

### 3.3 EL NINÕ OSCILAÇÃO SUL

O ENSO (El Niño Southern Oscillation) é um fenômeno caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial oriental, ocorrendo um aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície, provocando mudanças na circulação atmosférica, nas condições meteorológicas e climáticas global. O termo El Niño foi denominado por pescadores do Peru e Equador, que observaram fortes chuvas que ocorriam no período do Natal, em concordância com o aquecimento do Pacífico.

Em condição normal da atmosfera no Pacífico, o vento alísio de leste empilha água quente superficial do lado oeste do Pacífico, e do lado leste a água é mais fria em virtude da ressurgência. A atmosfera, com intuito de balancear a diferença de temperatura, ascende o ar quente para altos níveis no oeste do Pacífico, provocando a formação de nuvens convectivas. Na região do Pacífico Leste o ar dos altos níveis descende, inibindo a precipitação, está é a circulação de Walker como mostra a figura 4 na imagem A.

O Fenômeno do El Niño se origina com o enfraquecimento dos ventos alísios, resultando no aquecimento do Oceano Pacífico central e leste, e diminuindo a ressurgência. A água mais quente no Pacífico provoca mudança na circulação sobre o oceano, ou seja, o ramo ascendente da célula de Walker passa a se localizar no Pacífico central, provocando subsidência do ar na região da Indonésia e no lado leste, como está representado na figura 4 na imagem B.

Bjerknes (1969), observou que existe um mecanismo de retroalimentação positiva entre os ventos alísios e o gradiente zonal de TSM. Quando os ventos alísios ficam fortes a circulação se intensifica provocando mais ressurgência do lado leste do Pacífico gerando anomalias de TSM negativas, o que intensifica ainda mais a circulação de Walker. Quando há o enfraquecimento dos ventos alísios diminui a ressurgência da borda leste do Pacífico, gerando anomalias positiva de TSM e consequentemente diminui a diferença de temperatura entre a borda leste e oeste, enfraquecendo ainda mais a circulação (Silva, 2012).

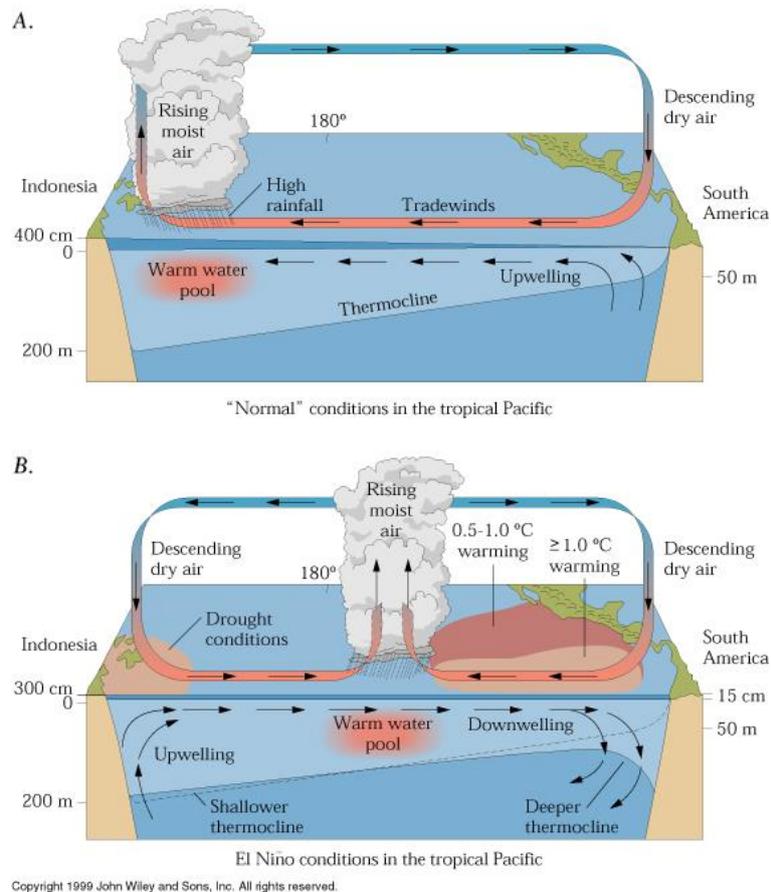


Figura 4- Na imagem A mostra uma condição neutra e na imagem B mostra uma condição de El Niño.

Como resultado do colapso abrupto dos ventos alísios ocorre um aprofundamento da termoclina e uma elevação suave do nível do mar no sentido leste ao longo do Equador em forma de pulso de ondas de Kelvin. As ondas de Kelvin na costa oeste da América do Sul se dividem na região costeira e se propagam para norte e sul, e uma parcela é refletida para oeste em forma de ondas de Rossby. (Brown *et al.*, 2001)

O fenômeno do El Niño pode ser identificado por duas áreas distintas. Na região do oceano (Niño 3.4) (figura 5), que está associado à anomalia da TSM e na atmosfera (Oscilação Sul), que está relacionado à diferença de pressão entre os lados oeste e leste.

O Índice de Oscilação Sul (SOI) é calculado a partir da diferença de pressão da região do Taiti (Pacífico Leste) e de Darwin (Pacífico Oeste), no intuito de se identificar por meio de componentes atmosféricos eventos associados ao El Niño e La Niña. A partir do componente oceânico, os eventos são caracterizados pela anomalia média de TSM na região no Niño 3.4, que está entre as latitudes 5°S e 5°N e longitudes de 120°e 170°O, conhecido como ONI (Oceanic Niño Index). As áreas para o cálculo dos índices de anomalia TSM são distintas no Pacífico Equatorial, que são o Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 como mostra na figura 5.



Figura 5- Áreas para o cálculo de anomalia de TSM para obter os índices. Fonte: NOAA.

Como mostra a figura 6, o sistema oceânico e atmosférico está intimamente interligado, e possuem entre si oscilações interanuais no Pacífico Equatorial que é chamado de El Niño Oscilação Sul (ENSO- El Niño Souther Oscilation), e esta conectividade é evidente quando se observa a forte correlação negativa entre os índices do ONI e do SOI. Os valores positivos do ONI e negativos do SOI implicam em eventos quentes (El Niño) e valores negativos do ONI e positivo do SOI implicam em eventos frios (La Niña).

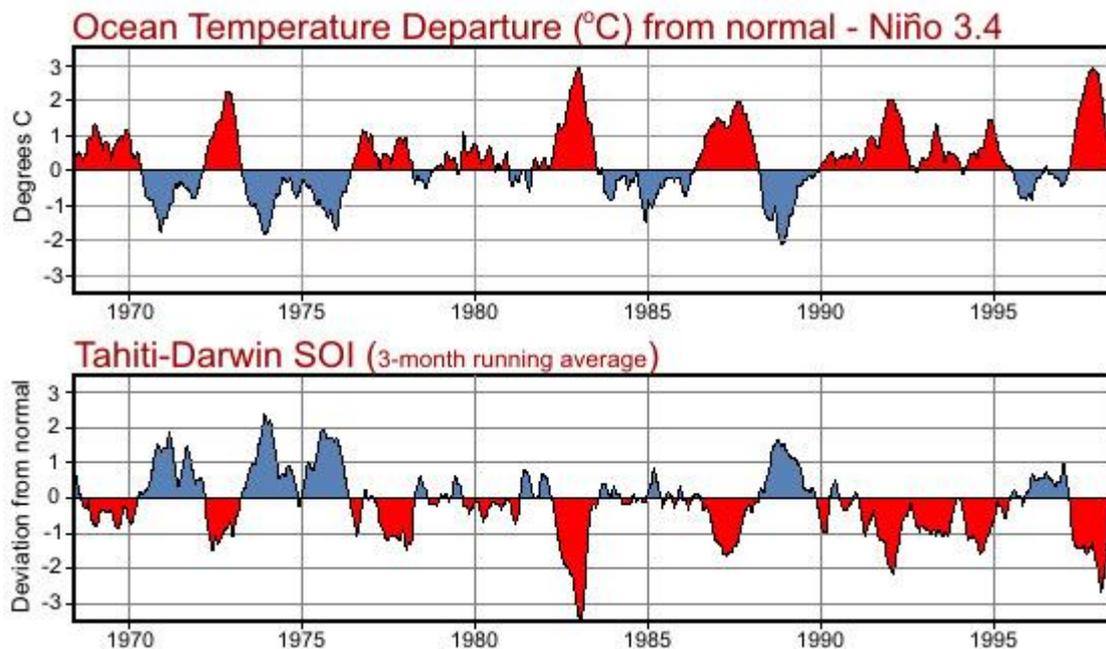


Figura 6- As duas imagens mostram que existe uma correlação negativa entre as séries temporais do ONI e o SOI. Fonte: NOAA

O Fenômeno do ENSO possui uma periodicidade irregular, podendo ocorrer entre dois a sete anos. Seu impacto é mais evidente no Pacífico, mas se estende para todo o globo (Silva, 2012). Um dos impactos mais estudados é a variabilidade da precipitação, que é de suma importância para a agricultura, meios de transporte e aviso de desastres naturais. Nobre (2009) relata que embora o ciclo anual seja dominante no clima da Amazônia, a variabilidade interanual é marcante e já foi relatada pelos registros históricos dos rios. A maioria dos estudos de variabilidade interanual da precipitação da Amazônia tem associação às anomalias da temperatura causadas pelo fenômeno do ENSO. A redução da precipitação na América do Sul Tropical durante o El Niño é também observada pelo desenvolvimento de uma posição e direção anômala da célula de Hadley na região equatorial (Nobre, 2009)

A Figura 7 mostra um esquema da mudança da circulação atmosférica provocada pela forçante anômala das TSMs, quando o Pacífico e o Atlântico Norte estão mais quentes (frios) e o Atlântico Sul está mais frio (quente), resulta em seca (chuva) no nordeste

brasileiro. Segundo Aragão (1998), em eventos quentes no Pacífico, ocorrem períodos de seca na Indonésia, Austrália e nordeste do Brasil, e chuvas acima do normal ocorrem no Peru, Equador, Ilhas do Pacífico central e leste, Uruguai, norte da Argentina e no sul e sudeste do Brasil.

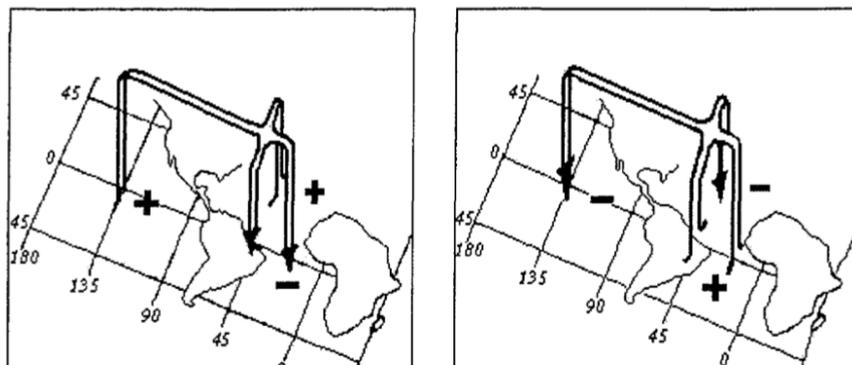


Figura 7- Esquema das alterações da circulação de Hadley e Walker em relação com as TSMs do Pacífico e do Atlântico. a) Pacífico quente e Atlântico Sul frio e b) Pacífico frio e Atlântico Sul quente. Fonte Aragão (1996 *apud* Aragão *et al.*, 1998).

Em Soppa *et al.* (2011) foram investigados, em nove sub-áreas do Oceano Atlântico Sudoeste, as séries de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM) nos períodos de 1985 a 2006. A partir da correlação cruzada entre a ATSM e o ENSO foi evidenciado uma correlação máxima sobre a região da Confluência Brasil-Malvinas (-0,78), com defasagem de 9 meses após La Niña de maio de 1988 a maio de 1989.

Segundo Latif & Barnett (1995, *apud* Enfield, 1997), usando um modelo global acoplado e não acoplado, os autores encontraram anomalias positivas do vento leste no nordeste do Brasil e TSM mais frias no Golfo do Guiné, que estão associados com o aquecimento do Pacífico no evento do ENSO. Os resultados mostraram que há um mecanismo de teleconexão atmosférica, onde a anomalia quente no Pacífico Leste aumenta o vento de leste no Atlântico Equatorial. Tanto Hameed *et al.*, 1993 e Enfield *et al.*, 1997 relataram que o Giro Subtropical do Atlântico Sul sofre um fortalecimento provocado pelos eventos quentes do ENSO.

Nobrega *et al.* (2014) apontam que em eventos de La Niña os ventos alísios de sudeste são mais fracos do que a média, e os ventos alísios de nordeste são mais intensos que a média e a confluência dos ventos alísios se desloca para o sul. Assad

*et al.* (2015) analisando o campo de tensão de cisalhamento do vento anômalo no período de ENSO (1982-1983) sobre o Oceano Atlântico Sudoeste, a partir do Modelo MOM 4.0 (Modular Ocean Model), o ano de integração foi entre 1993 a 2001. Observaram um decréscimo no transporte de volume da CB no primeiro ano relativo ao experimento controle, e um aumento do transporte de volume da CB nos dois últimos anos.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 DADOS DA REANÁLISE DO SODA

Os dados da reanálise do SODA faz parte de um projeto do Departamento de Oceanografia do Texas A&M University com o objetivo de fornecer uma melhor estimativa do estado do oceano utilizando assimilação de dados observados no modelo numérico. O SODA baseado no modelo oceânico Parallel Ocean Program (POP) que utiliza o método de Bloom *et al.* (1996). A Reanálise do SODA é descrito por Carton *et al.* (2005). Os dados do SODA estão disponíveis em [http://apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public\\_data/SODA](http://apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public_data/SODA) no formato em NetCDF (Network Common Data Form), em médias de 5 dias, para o período de 01 Janeiro de 1958 a 29 dezembro de 2008 e a versão do SODA utilizada neste trabalho foi 2.1.6. A reanálise do SODA compõe dados de perfis hidrográficos, dados de temperatura e salinidade medidos por vários instrumentos, como CTD, XBT e bóias, foram utilizados dados de TSM e ASM (Altura da Superfície do Mar) por satélite. No modelo foram incluídos os dados do WOD09 (World Ocean Data base 2009), ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) e TSM de satélite. No forçamento atmosférico, a tensão de cisalhamento do vento foi proveniente do ERA-40 para o período de 1958-2001 e do ERA-Interim para o período de 2002-2008.

Os dados da reanálise do SODA foram escolhidos por possuir uma série temporal longa, compreendendo 51 anos (01 de janeiro de 1958-29 de dezembro de 2008), possibilitando identificar os eventos de variação climática interanual causados pelo ENSO que tipicamente ocorrem em um período de 2 a 7 anos. Cada arquivo de dados são a média de 5 dias com resolução horizontal de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  e 40 níveis de profundidade. Toda a série temporal totaliza um conjunto de 3725 arquivos.

### 4.2 SÉRIES TEMPORAIS E PERFIS VERTICAIS

As séries temporais da temperatura e da velocidade meridional na superfície foram plotadas no ponto de  $22^\circ\text{S}$  e  $40^\circ\text{O}$ , e para o ponto de  $30^\circ\text{S}$  e  $47^\circ\text{O}$ , em médias anuais de todo período. Foram calculadas as tendências lineares e o coeficiente de determinação das séries temporais da temperatura e da tensão de cisalhamento do vento, para identificar o comportamento de longo período. O coeficiente de determinação é o quanto a regressão linear representa os dados observados, e são

valores em porcentagem. Neste trabalho a tendência linear e o coeficiente de determinação foram calculados pelo Excel.

Foi realizado um perfil para cada ano da velocidade meridional nas seções 22° e 30°S, identificando o ano que teve o núcleo da CB com velocidade meridional máxima e mínima. Para a seção de 22°S os anos de velocidade meridional máxima e mínima foram 1996 e 1965, respectivamente. Na seção de 30°S os anos do perfil de velocidade meridional máxima e mínima foram 2004 e 1965, respectivamente. Foram calculados os perfis de anomalia da velocidade meridional em 22° e 30°S, através da diferença entre a média dos 51 anos e os perfis de velocidade meridional máxima e mínima de cada seção.

A série temporal da tensão de cisalhamento do vento (TCV) zonal em médias anuais entre os anos de 1958-2008 foi calculada a média para a região do Atlântico Equatorial, entre 10° e 15°S e 20° e 24°O. Esta região foi escolhida por meio do campo da tensão de cisalhamento, neste local apresenta uma maior intensidade da TCV zonal no Atlântico Sul.

Os valores da velocidade meridional, da TCV zonal e do transporte de volume são negativos, ao referir os valores máximo significa que os valores são mais intensos (mais negativos) e valores mínimos significa que os valores são menos intensos (menos negativos).

### **4.3 DADOS DO ÍNDICE ONI**

Os dados do ONI foram obtidos no site do CPC/NOAA (<[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>) com as medidas da média trimestral corrida da ATSM na região do Niño 3.4 (tabela 6 em anexo). O dado do ONI é composto por valores da ATSM. O período que caracteriza o evento de El Niño é para os valores maiores que 0,5°C por 5 médias consecutivas e La Niña são para os valores abaixo de 0,5°C em 5 médias consecutivas. O ONI do SODA foi realizado na mesma área do Niño 3.4 com os dados da temperatura do SODA. Com os dados obtidos foi correlacionado o ONI do SODA e o ONI do NOAA com o intuito observar o comportamento das mesmas. Na tabela 6

em anexo mostra os dados do ONI do NOAA, onde os números vermelhos indicam eventos de El Niño, e os números de cor azul indicam eventos Lã Niña.

#### 4.4 CÁLCULO DE TRANSPORTE

Na reanálise do SODA 2.1.6 não tem a variável do transporte de volume, desta forma foi realizado o cálculo para obter esta grandeza. O cálculo do transporte de volume é semelhante ao cálculo de vazão, que é volume de água que atravessa uma dada área por unidade de tempo. Quando se calcula o transporte de volume uma seção vertical ao longo de uma longitude, a área utilizada é representada por um espaçamento horizontal (dimensão x), um vertical (dimensão z) e a velocidade da corrente.

Os pontos de grade da reanálise do SODA estão espaçados de  $0.5^\circ$ , iniciando com  $0,25^\circ$ . Por esta razão os pontos das seções foram  $22,25^\circ$  e  $30,25^\circ$  S, mas ao longo do trabalho serão referidos como  $22^\circ$  e  $30^\circ$ S. Na seção de  $22^\circ$ S, próximo ao Cabo de São Tomé-RJ o transporte de volume foi calculado até uma profundidade de 600 m e para a longitude de  $42^\circ$  até  $33^\circ$ O. Na seção de  $30^\circ$ S, o transporte de volume foi calculado até uma profundidade de 1000 m e para a longitude de  $44^\circ$  até  $50^\circ$ O, utilizando velocidades meridional menores que  $-0,02$  m/s em ambas as seções. A velocidade mínima foi estabelecida pelo trabalho de Silveira *et al.* (2004).

Na seção de  $22^\circ$ S foi utilizada a profundidade de 600 m, pois nesta latitude o núcleo da CB é melhor representado até esta profundidade. Para a seção  $30^\circ$ S utilizou-se a profundidade de 1000 metros, para melhor representar o núcleo da CB nesta latitude.

Estas seções foram escolhidas por serem foco de outros trabalhos na região, possibilitando comparação do resultado deste trabalho com a literatura. Os limites da longitude e os limites verticais foram delimitados pelos perfis verticais da velocidade meridional.

## 4.5 CÁLCULO DA CORRELAÇÃO CRUZADA

Com os dados da série temporal de duas variáveis pode-se obter a relação entre elas. A medida de relação entre duas variáveis contínuas é o coeficiente de correlação. O coeficiente de correlação é a medida que melhor determina o quão bem as duas variáveis covariam no tempo.

Os valores possíveis da correlação se situam entre -1 e 1. Se o valor for -1, o crescimento de uma variável significa o decréscimo da outra, e esta correlação é conhecida como “correlação negativa perfeita”. Se o valor for 1 o crescimento de uma variável significa o crescimento da outra, esta correlação é conhecida como “correlação positiva perfeita”. Quando o valor é próximo de 0 implica que as variáveis não se correlacionam.

Neste trabalho, foram aferidas as correlações a partir da correlação cruzada das séries temporais do transporte de volume da CB com a série do ONI e a série da TCV zonal. A partir da correlação cruzada obtêm-se o grau de associação entre as séries. O *Lag* é o tempo que corresponde a correlação máxima, ou seja, o atraso que uma série influencia na outra.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente será apresentado o comportamento dos dados do ONI do NOAA comparando com os dados do ONI da reanálise do SODA. A partir dos dados da reanálise do SODA foram confeccionadas séries temporais da velocidade meridional e da temperatura nas seções 22° e 30°S, a série temporal da TCV zonal na região do Atlântico Equatorial.

Perfis médios da velocidade meridional em 22° e 30°S e as anomalias desses perfis (que é a diferença entre a média dos 51 anos e dos anos de pico de mínima e máximo da velocidade meridional). Por fim, serão mostradas as séries temporais do transporte de volume nas seções de 22° e 30°S e sua correlação com o ONI e a TCV zonal da região equatorial no oceano Atlântico.

### 5.1 COMPORTAMENTO ENTRE ONI do SODA X NOAA

Foi realizada uma série temporal do ONI do SODA, a partir das médias de ATSM para a mesma área do Niño 3.4 (entre as longitudes 170° e 120°O e latitudes entre 5°N e 5°S) de 1958-2008. A figura 8 mostra o comportamento temporal dos valores do ONI (SODA) e dos valores do ONI gerado pelo Centro de previsão do clima (NOAA).

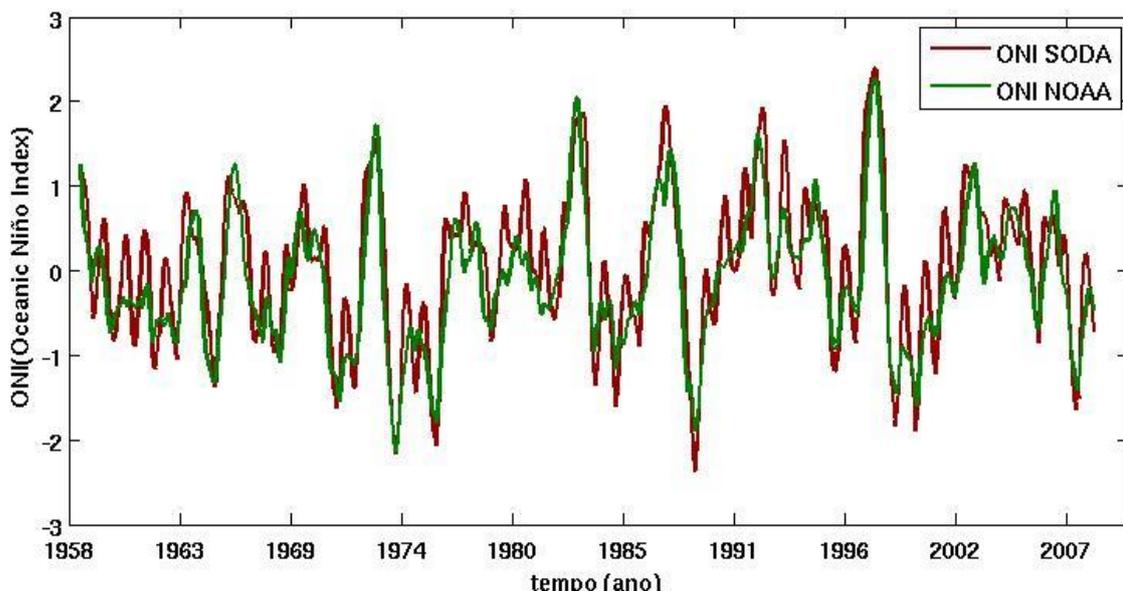


Figura 8- Comparação entre o ONI SODA em vermelho (Reanálise) e o ONI do NOAA em verde (dados do ERSST. v4).

A partir do gráfico pode se observar que as variações foram similares entre o ONI do SODA e o ONI do NOAA. Para valorar calculou-se a correlação entre as séries, que obteve-se uma correlação alta de 0,90.

## 5.2 SÉRIES TEMPORAIS

Observa-se a partir do comportamento das séries temporais das médias anuais da temperatura e da velocidade da corrente meridional nas seções de 22° e 30°S, que ocorre uma variabilidade interanual para todo o período. A figura 9 mostra a série temporal da velocidade meridional na seção de 22°S, que apresenta um valor menos intenso da velocidade de -0,15 e -0,17 m/s nos anos de 1965 e 1962, respectivamente. O ano de 1965 foi um ano de La Niña. Outros anos de valores menos intenso foram 1974 e 1996, que tiveram os valores da velocidade de -0,18 e -0,19 m/s, respectivamente. Nos anos de 1974/1975 e 1996 ocorreram La Niña. Os valores mais intensos da velocidade meridional foram -0,35 e -0,34 m/s em anos de El Niño, 2004/2005 e 1963/1964, respectivamente. Outro ano de velocidade intensa foi em 1976 com -0,32 m/s, que também foi ano de El Niño.

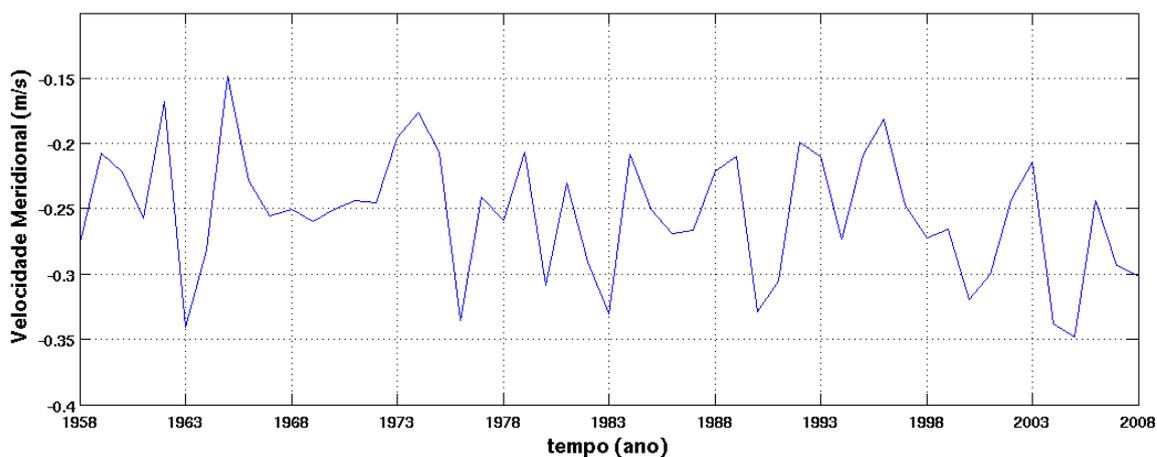


Figura 9- Série temporal da velocidade meridional da superfície na latitude 22°S.

Na série temporal TSM (figura 10) o valor máximo foi de 25,5 °C no ano de 2003 e um valor mínimo de 23,5 °C em 1968. Na série temporal da temperatura observa-se uma tendência de aumento a partir do ano de 1985, o que está de acordo com o trabalho de Nobrega *et al* (2014) e Goes *et al.* (2003), que apontam que tanto o oceano Atlântico quanto o Pacífico têm uma tendência positiva ao aquecimento. A tendência linear da temperatura em 22°S foi de 0,021°C por ano, mostrando uma tendência a um aumento ao longo dos anos, o valor de coeficiente de determinação foi de 43%.

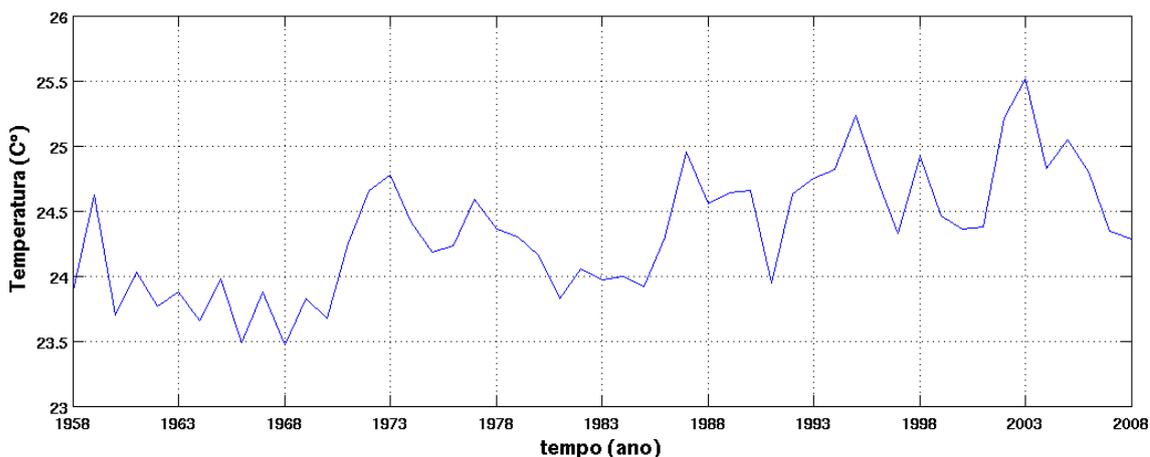


Figura 10- Série temporal da temperatura da superfície na latitude 22°S.

Na figura 11, a série temporal da velocidade meridional na seção de 30°S apresentou valores mais intensos de -0,31 e -0,30 m/s nos anos de 1997 e 2004, respectivamente. O valor de velocidade menos intenso de -0,13 m/s ocorreu em 1993. Nos anos 1991/1992 e 2004/2005 ocorreram El Niño fraco e no ano de 1997 ocorreu um evento forte. Outros anos de velocidade mais intensa foram em 1971 e 1978, com -0,29 m/s em ambos, associados aos anos de 1970/1971 que teve La Niña e no ano de 1977/1978 um evento de El Niño. Ocorreram anos de valores menos intensos de velocidade da CB, como em 1976 e 2005 de -0,14 m/s em ambos. Sendo que no ano 1975/1976 ocorreu um evento de La Niña.

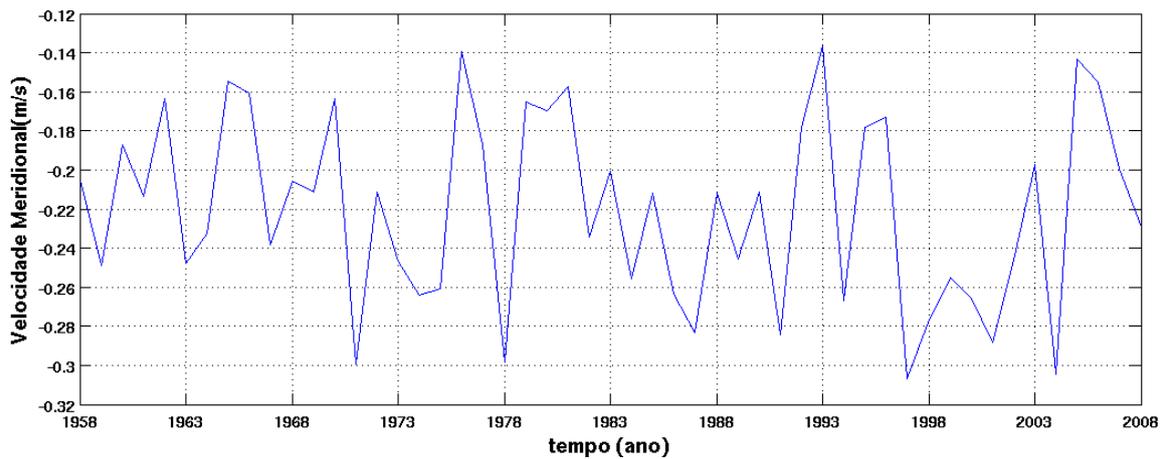


Figura 11- Série temporal da velocidade meridional da superfície na latitude de 30° S.

A série temporal da TSM (figura 12) na seção de 30°S teve um valor máximo em 2003 de 24,9 °C e um valor mínimo de 22,16 °C no ano de 1962. No ano de 2002/2003 teve El Niño e no ano de 1962 não teve evento do ENSO. A tendência linear para a série temporal da temperatura foi de 0,019 °C por ano, mostrando uma tendência a um aumento ao longo dos anos. O valor do coeficiente de determinação foi de 21%. Como foi citado para a seção 22°S, a temperatura está com uma tendência ao aumento e isto também pode ser observado mais levemente nesta seção.

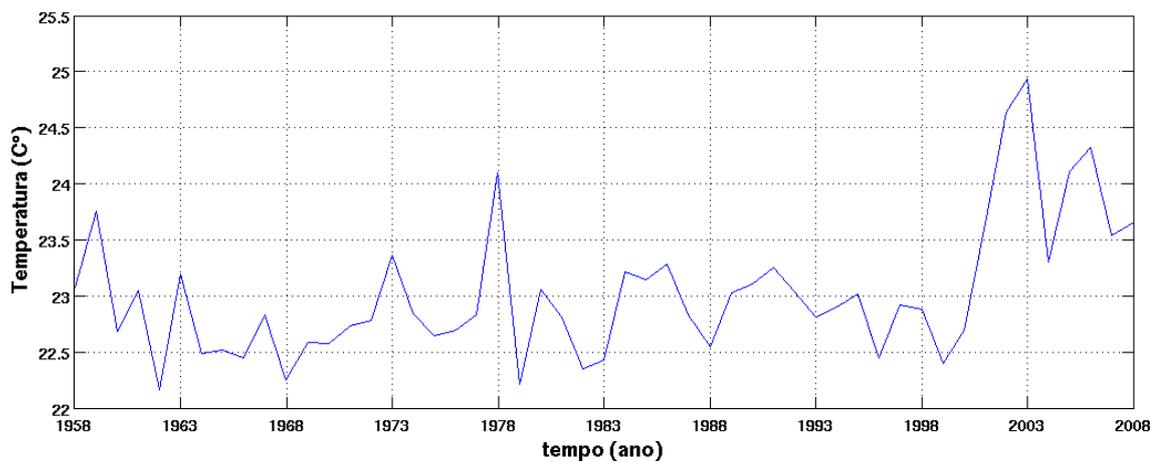


Figura 12- Série temporal da temperatura da superfície na latitude de 30° S.

A série temporal da tensão de cisalhamento do vento zonal da região equatorial do Atlântico demonstrou uma tendência a ficar mais negativa, como pode ser visto na figura 13. A tendência linear foi de  $-0,0004 \text{ N/m}^2$  por ano e com o valor do coeficiente de determinação de 56%. O valor mais intenso foi  $-0,096 \text{ N/m}^2$  em 1992 e um valor menos intenso de  $-0,059 \text{ N/m}^2$  em 1965.

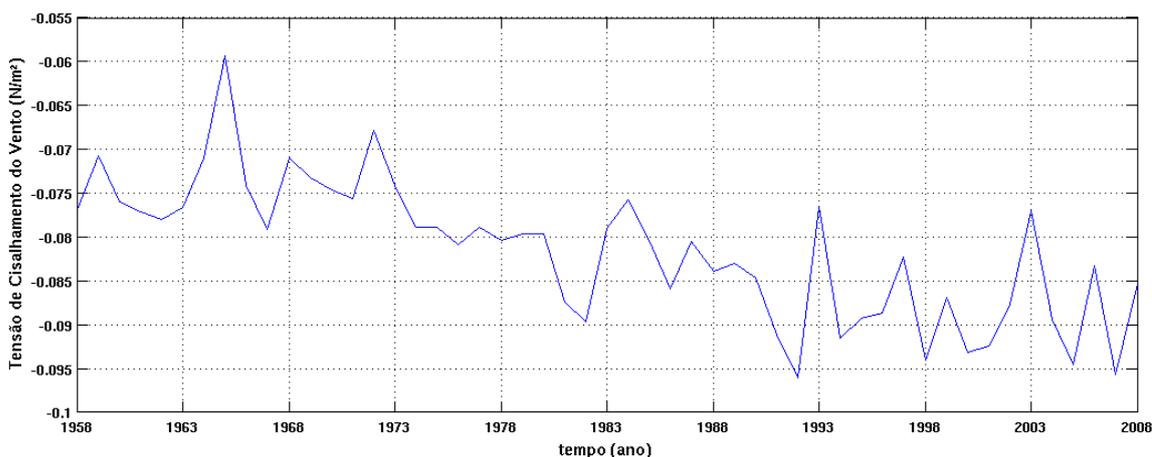


Figura 13- Série temporal anual da tensão de cisalhamento do vento zonal na região equatorial do Oceano Atlântico.

### 5.3 PERFIS NAS SEÇÕES DE 22° E 30°S

A figura 14 mostra o perfil médio da velocidade meridional na seção 22°S dos 51 anos. Observa-se que o núcleo da CB atinge velocidades mais intensa de  $-0,43 \text{ m/s}$  e uma profundidade de aproximadamente 300 m. O Núcleo da CB está situado em 40°O, estando de acordo com Mata *et al.* (2012), indica que o jato da CB está em 40°O. Miranda (1985) mostrou que o núcleo da CB se encontra na borda da plataforma continental no período do verão e no período do inverno se localiza ao longo do cabo de São Tomé, a cerca de 40 m de distância da isóbata de 200 m. No perfil médio, o núcleo da CB se encontra aproximadamente 150 km da costa. A velocidade meridional encontrada no núcleo da CB de  $-0,43 \text{ m/s}$ , foi próximo aos valores apresentados nos trabalhos de Pereira *et al.* (2013), Silveira *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2009), que é de  $-0,4 \text{ m/s}$ . O núcleo positivo em torno de 500 a 1500 m de profundidade indica a Corrente de Contorno intermediária fluindo para o norte levando a AIA. E entre a

profundidade de 1500 a 4000 m podemos observar o fluxo para o sul associado ao escoamento da APAN.

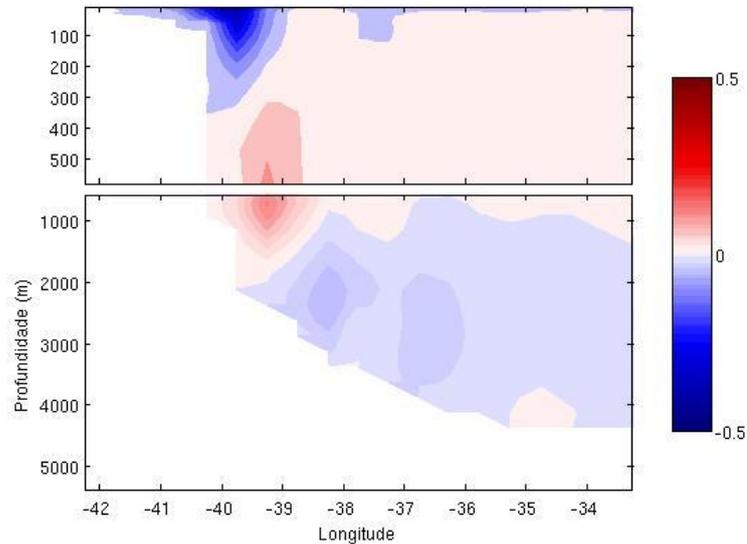


Figura 14- Perfil médio de todo o período (1958-2008) da velocidade meridional na seção 22°S.

Foram realizados perfis médios anuais desta seção para encontrar os anos de velocidades máximas (maior intensidade) e mínima (menor intensidade) (figura 15). No ano de 1996 obteve-se uma velocidade máxima no núcleo da CB de -0,62 m/s e no ano de 1965 obteve-se uma velocidade mínima de -0,23 m/s. A profundidade no pico máximo está maior que 500 m e no pico de mínima a profundidade foi próximo aos 100 m. Os perfis de anomalia da velocidade meridional foram obtidos através da diferença da média do período total e os anos de pico máximo e mínimo.

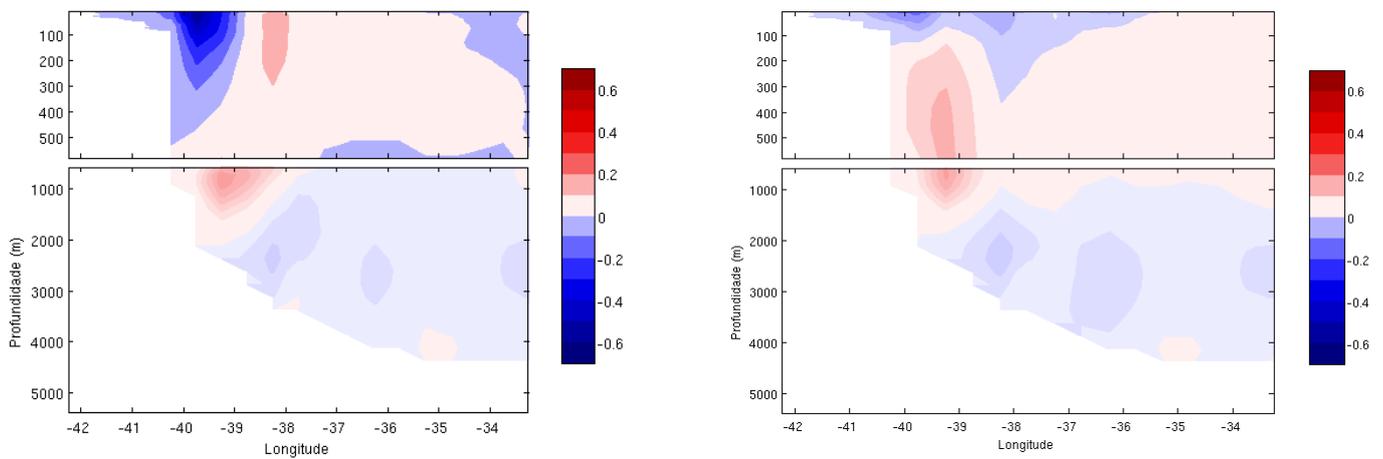


Figura 15 – Perfis médios anuais que apresentam os picos de máxima velocidade meridional em 1996 (esquerdo) e pico de mínima velocidade meridional em 1965 (direita) do núcleo da CB na seção 22°S.

A figura 16 mostra a anomalia relativa ao ano de 1996, que a velocidade meridional foi máximo. A anomalia da velocidade no núcleo da CB foi de aproximadamente 0,22 m/s maior que a média. Uma anomalia mais positiva mostra uma velocidade meridional mais negativa que a média. Nesse ano de máximo, ocorreu o término do La Niña, que iniciou em 1995.

A figura 17 mostra a anomalia relativa ao ano de 1965, que a velocidade meridional foi mínima. A anomalia da velocidade meridional no núcleo da CB foi aproximadamente de 0,23 m/s mais fraca que a média. Uma anomalia mais negativa mostra uma velocidade meridional menor que a média. Nos anos de 1965/1966 ocorreram El Niño.

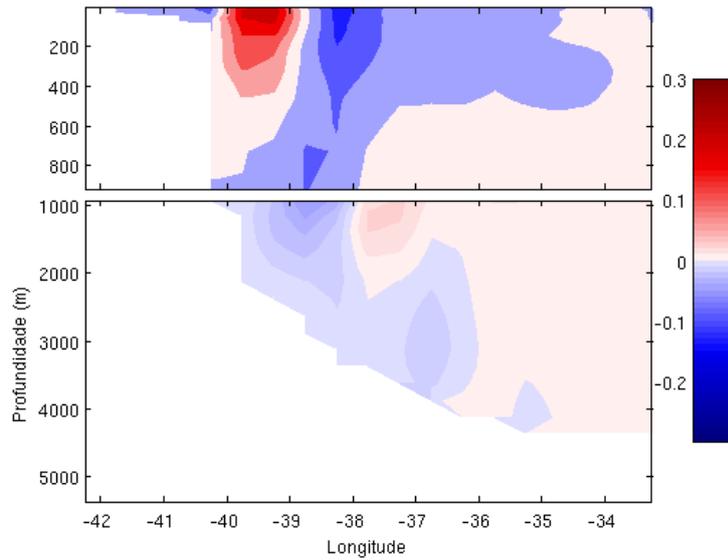


Figura 16 - Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade máxima (1996) na seção 22°S.

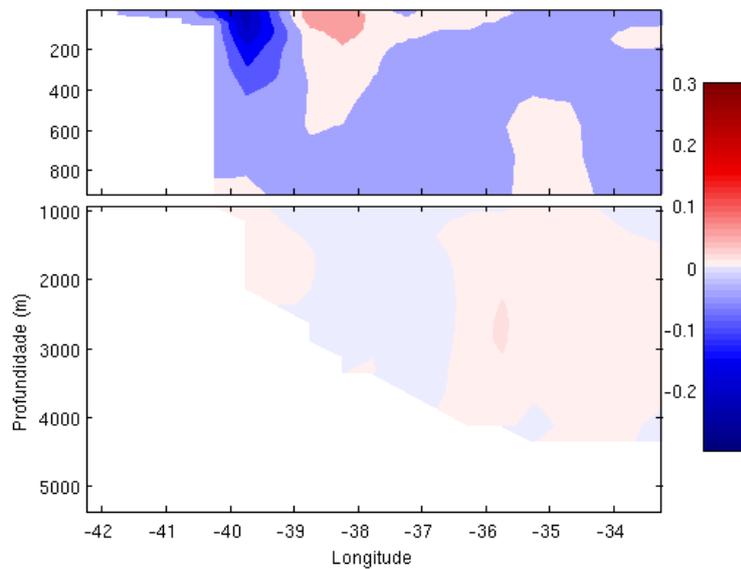


Figura 17- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade mínima (1965) na seção 22°S.

A figura 18 mostra que a média da velocidade meridional na seção 30°S a CB apresenta uma profundidade de aproximadamente 1000 m e com velocidades mais intensa de -0,23 m/s. O trabalho de Carvalho(2014) mostrou que a CB em 30°S é composta da AT, ACAS e AIA, tendo uma profundidade de 1000 m e um fluxo

organizado que flui para o sul próximo à quebra da plataforma e ao talude. A partir do perfil da velocidade meridional média de todo o período na latitude de 30° S, observa-se que os valores estão próximos aos encontrados em Pereira *et al.* (2013). No trabalho de Pereira *et al.* (2013), para a região de 30°15' S, foi obtida uma velocidade de  $-0,14 \pm 0,06$  m/s utilizando o ROMS (Regional Ocean Model System) em um período de 9 anos (2000-2008). Nos trabalhos de Silveira *et al.* (2009) e Carvalho (2014) foram encontradas velocidades médias em torno de  $-0,5$  m/s, sendo estes maiores que o encontrado no presente trabalho.

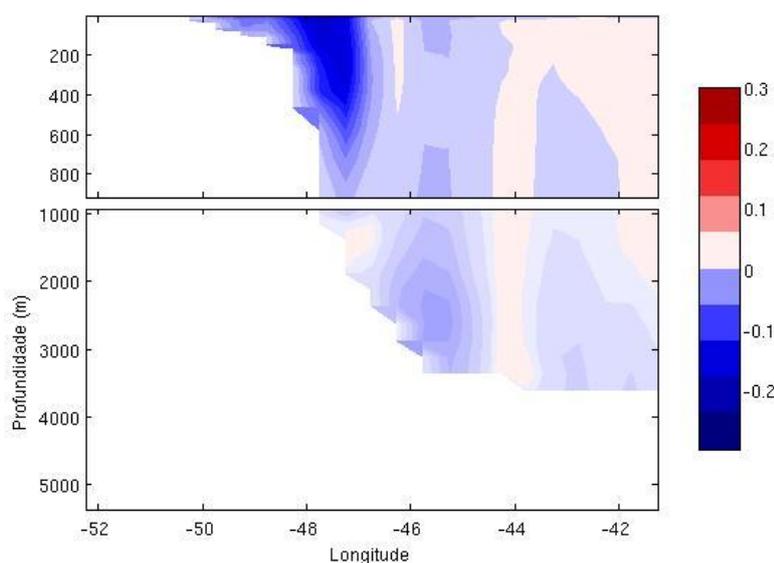


Figura 18- Perfil médio de todo o período (1958-2008) da velocidade meridional na seção 30°S.

Como foi feito para a seção de 22° S, foram obtidos também os perfis anuais para encontrar os anos de velocidades máxima (mais intenso) e mínima (menos intenso) (figura 19). No ano de 2004 obteve-se uma velocidade máxima no núcleo da CB de  $-0,30$  m/s e no ano de 1965 obteve-se uma velocidade mínima de  $-0,16$  m/s. Os perfis de anomalia foram a média de todo o período menos anos de pico máximo e mínimo.

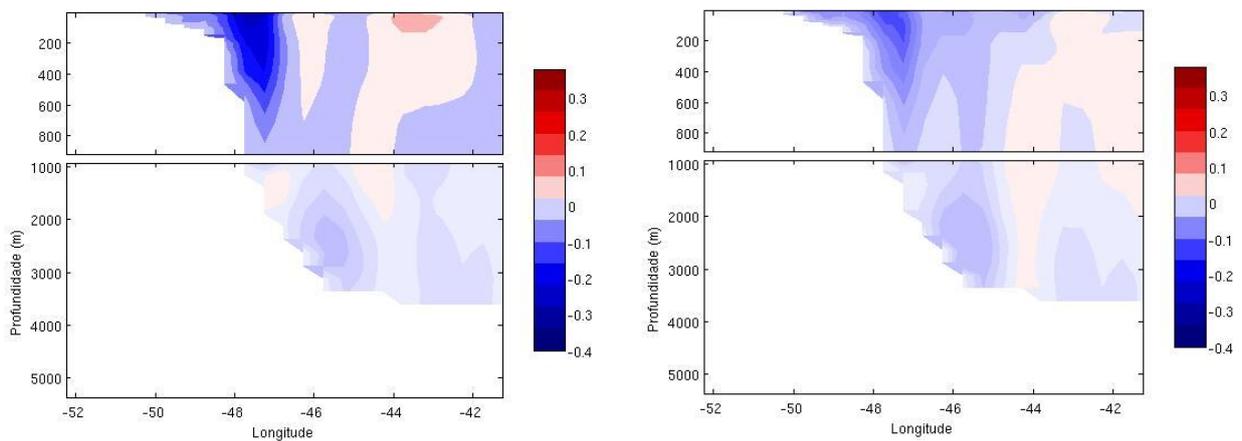


Figura 19- Perfis médios anuais que apresentam os picos de máxima velocidade meridional em 2004 (esquerdo) e pico de mínima velocidade meridional em 1965 (direita) do núcleo da CB na seção 30°S.

A figura 20 mostra a anomalia da velocidade meridional relativa ao ano de 2004, ano de velocidade meridional máxima no núcleo da CB. A anomalia da velocidade foi de aproximadamente 0,09 m/s mais forte que a média. A figura 21 mostra a anomalia relativa ao ano de 1965, que a velocidade meridional foi mínima. A anomalia da velocidade meridional foi de 0,07 m/s mais fraca que a média.

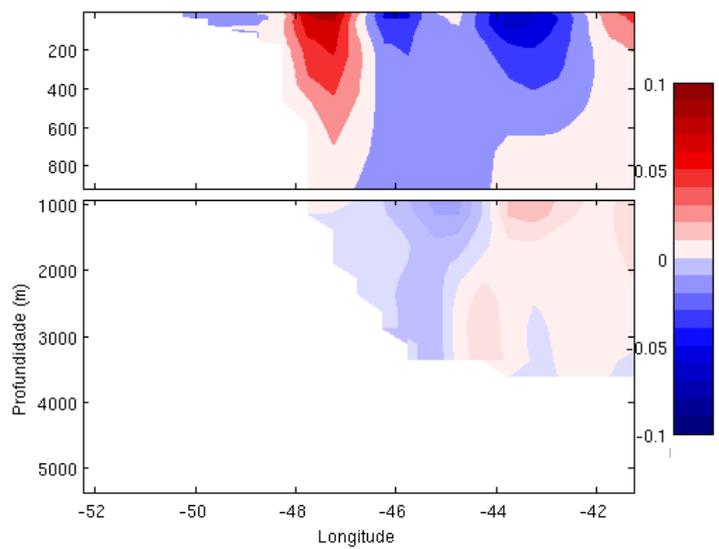


Figura 20- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade máxima (2004) na seção 30°S.

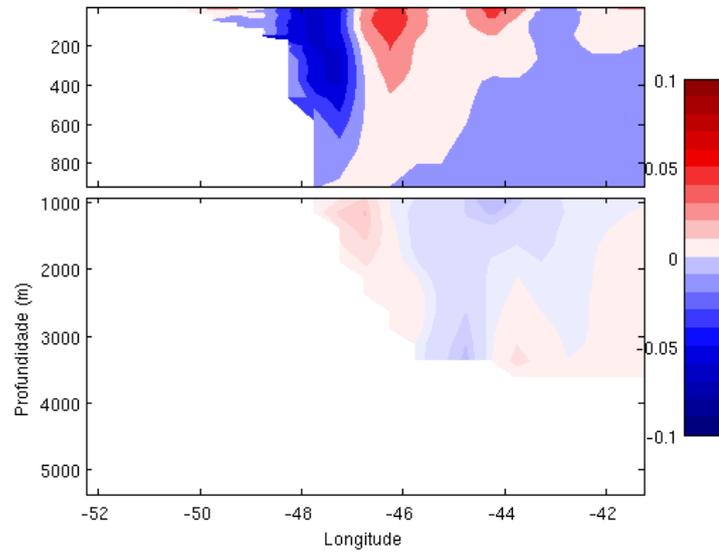


Figura 21- Anomalia da velocidade meridional no ano de velocidade mínima (1965) na seção 30°S.

## 5.4 TRANSPORTE DE VOLUME

Como foi dito na seção 4.4, foi calculado o transporte de volume para as latitudes de 22° e 30°S, para analisar a variabilidade interanual da CB. Para isso foi utilizado o transporte de volume mensal para todo o período da série temporal de 51 anos, resultando em 612 pontos.

A série de transporte na latitude de 22° S (figura 22) apresenta um transporte de volume médio de -5,50Sv e um valor mais intenso e menos intenso de -19,48 e -0,53 Sv, respectivamente. O valor médio do transporte da CB encontrado está de acordo com o encontrado em Mata *et al.* (2012), que foi de -5 Sv, obtidos a partir dos dados *in situ* da XBT de 2004 a 2011. Em Evans *et al.* (1983), para a latitude de 21°40' S, a partir dos dados de XBT no ano de 1982, foi obtido o transporte de volume de -4,4 Sv para a profundidade de 500 m. Em Pereira *et al.* (2013), a média do transporte de volume da CB no período de 9 anos em 22°S, foi de  $-5,24 \pm 1,58$  Sv. Os valores encontrados para o transporte de volume (figura 22) correspondem aos obtidos nos trabalhos de Evans *et al.* (1983) e Pereira *et al.* (2013) e Lima (1997).

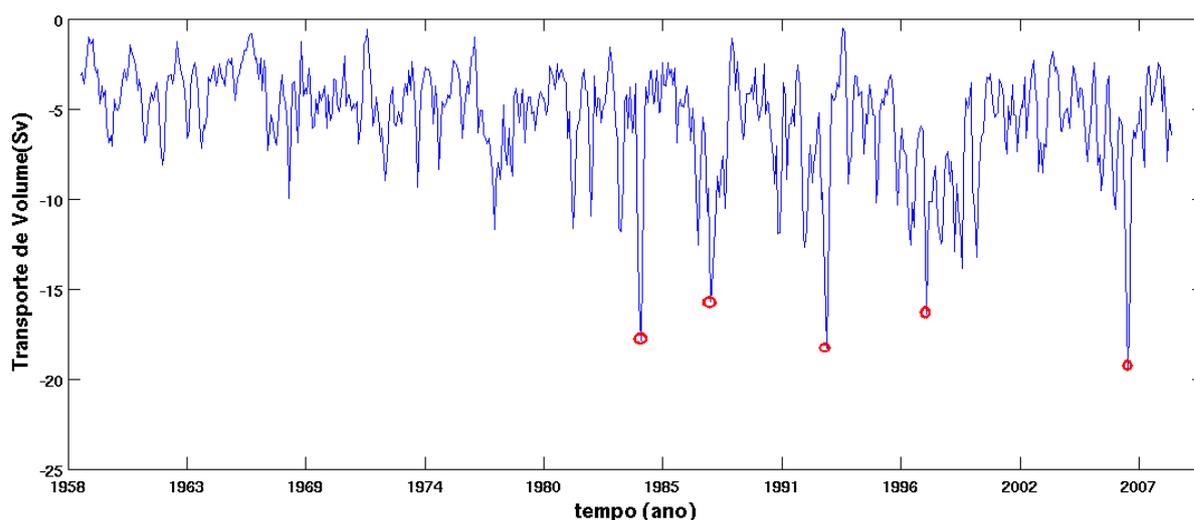


Figura 22- Transporte de volume na latitude de 22°S; os círculos vermelhos mostram os picos do Transporte de Volume.

A série de transporte de volume na latitude de 30° S (figura 23), apresenta um transporte médio de -12,56Sv e um valor mais intenso e menos intenso de -24,89 e -

4,38Sv, respectivamente. Em Carvalho (2014), a série temporal do transporte de volume em 30°S apresentou um valor médio de  $-18,47 \pm 4,03$  Sv para o período entre 1960-2010, e valores de menor e maior intensidade foram de -8,43 e -30,70 Sv, respectivamente. Garfield (1990) encontrou um transporte de volume de -18 Sv para 31°S, utilizando o perfilador Pergasus.

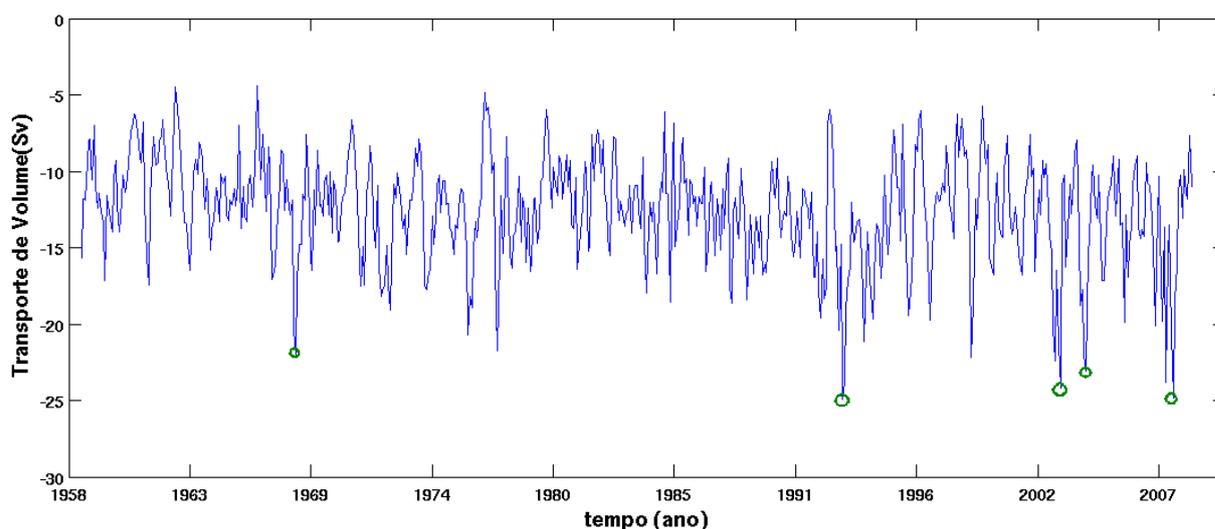


Figura 23- Transporte de volume na latitude de 30°S; os círculos verdes mostram os picos do Transporte de Volume.

O aumento do transporte de volume com o aumento da latitude se dá devido ao aumento do limite da profundidade da CB, com a incorporação de massas d'água e também pela recirculação da CB. Esta recirculação é citada nos trabalhos de Carvalho (2014) e Silveira *et al.* (2000).

A partir das séries temporais do transporte de volume da CB, observam-se picos máximos nas duas seções. Observando os valores de mínimo e máximo no transporte de volume da CB, pode-se notar uma grande variabilidade interanual da CB. Além da influência do ENSO, a variabilidade presente nas séries sugere que seja resultado da interferência de outros processos físicos.

Os círculos na figura 24 mostram quando ocorreram os picos do transporte de volume da CB de 22°S (vermelho) e 30°S (verdes) na série do índice do ONI. Os círculos acima de 0,5, após a linha contínua preta, mostram os eventos de El Niño, os abaixo

de -0,5 mostram eventos de La Niña, os círculos entre 0,5 e -0,5 não mostram a ocorrência dos eventos do ENSO.

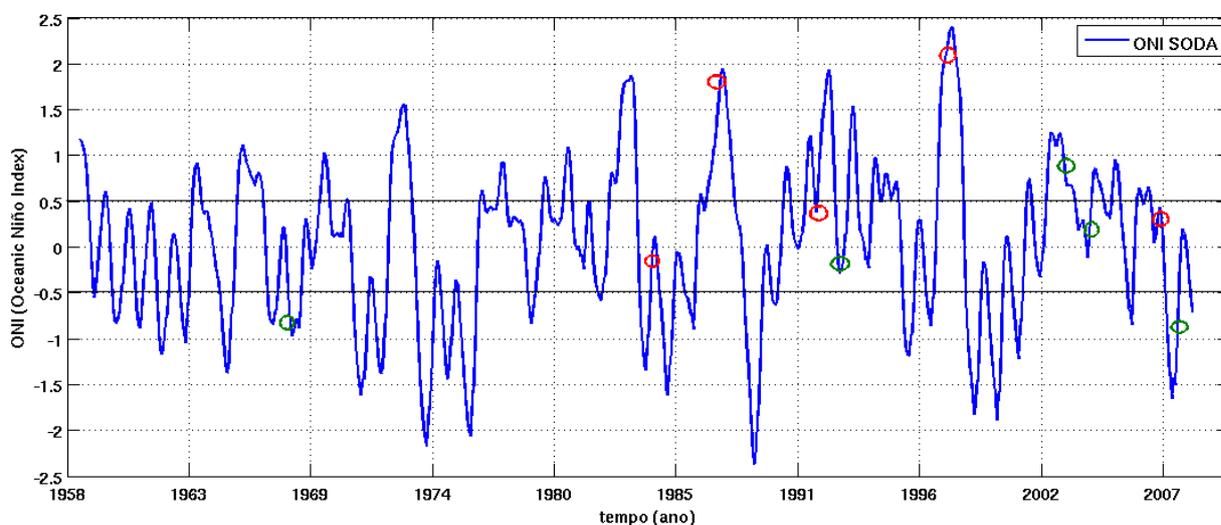


Figura 24- Série temporal ONI SODA. Os círculos em vermelho são os pontos pico do transporte de volume na seção de 22°, os círculos verdes são os picos na seção de 30° S, as linhas contínuas pretas mostram que os valores acima de 0,5 são eventos de El Niño e abaixo de 0,5 são eventos de La Niña.

A figura 24 pode-se observar que há dois dos picos do transporte de volume da seção 22°S (em vermelho) no evento de El Niño e os outros pontos ocorreram fora dos eventos do ENSO. Nos picos (em verde) da seção de 30° S, um pico ocorreu em El Niño e dois em La Niña, os outros ocorreram fora do evento do ENSO.

No total foram escolhidos cinco picos em cada seção, sendo estes os valores do transporte mais intenso encontrado na série, as tabelas 2 e 3 mostram os valores dos picos do transporte de volume da CB em 22° e 30° S. Não se pode detectar uma relação direta entre os picos e os eventos do ENSO, mas pode-se observar que alguns picos aparecem após eventos fortes de El Niño, como depois de 1982/1983 e 1991/1992. Os picos que não estiveram associados a eventos de El Niño e La Niña, a partir da série do ONI SODA, foram os anos de 1984, 1992, 2004 e 2006. Todos estes anos de pico de transporte da CB ocorreram após evento de El Niño.

Ano	1984	1987	1992	1997	2006
Sv	-17,8	-15,7	-18,3	-16,4	-19,5

Tabela 2- Valores dos picos do transporte de volume da CB em 22° S.

Ano	1967	1992	2002	2004	2008
Sv	-21,9	-24,9	-24,17	-23,1	-24,8

Tabela 3- Valores dos picos do transporte de volume da CB em 30° S.

## 5.5 CORRELAÇÕES CRUZADAS

Neste trabalho foram utilizadas correlações cruzadas para verificar estatisticamente um provável sinal do ENSO presente nas séries temporais do transporte de volume da CB com a série do ONI e da tensão de cisalhamento do vento zonal. Além do valor da correlação, utilizando a correlação cruzada pode-se encontrar o tempo de atraso entre as duas séries, ou seja, o tempo em que a série de transporte de volume leva para responder às alterações do ONI. Os valores do transporte de volume para o sul usado na correlação foram considerados positivos.

Os valores altos de correlação positiva estão ligados a um aumento de transporte de volume após eventos quentes do ENSO e a correlação negativa está ligada a uma diminuição do transporte associada a eventos frios.

A correlação cruzada foi realizada entre as séries do transporte de volume da CB e a série do ONI SODA. Os valores de correlação para *lags* negativos foram desconsiderados, para poder observar somente a influência do ENSO no transporte de volume, pois os valores negativos significam a influência do transporte de volume da CB no El Niño não havendo significado físico. O *lag* foi determinado pelo pico de maior correlação (C), pois foi nesse ponto que as séries mais se corresponderam.

	22°S	30° S
<b>C</b>	0,15	0,071
<b>Lag (anos)</b>	4,67	7,17

Tabela 4-Tabela da correlação cruzada entre o transporte de volume e o ONI SODA.

A tabela 4, mostra que a correlação foi de 0,15 em 22°S e de 0,071 em 30°S, mostrando que a correlação foi maior na seção 22°S. O valor do *lag* em 22°S está dentro do período de variação do ENSO, com um atraso de 4 anos e 8 meses e o *lag* em 30°S está próximo do período, que é no máximo de 7 anos, com um atraso de 7 anos e 2 meses. As correlações foram baixas, mas a resposta de menor lag ocorreu na seção de 22°S do que em 30°S. Sugere-se que em menor latitude ocorra uma resposta mais rápida, pois está mais próximo da região de formação da CB.

	22°S	30° S
<b>C</b>	0,93	0,94
<b>Lag(meses)</b>	5	6

Tabela 5 - Tabela da correlação cruzada da série do transporte de volume e a tensão de cisalhamento do vento zonal.

A tabela 5 mostra uma alta correlação entre transporte de volume nas seções de 22° e 30°S com a TCV zonal na região do Equador do Oceano Atlântico, tendo uma correlação de 0,93 e 0,94, respectivamente. O *lag* foi menor na seção de 22°S com o atraso de 5 meses, e em 30°S com o valor de 6 meses. Nesta correlação foi considerado o transporte de volume da CB para o sul positivo.

No trabalho de Assad *et al.* (2015), os autores encontram um aumento no transporte de volume com o campo de tensão de cisalhamento do vento no período de 1982/1983, constatando que o campo de vento associado ao ENSO causa influência no campo de velocidade e no comportamento da CB. É importante investigar se a influência dos ventos alísios no transporte de volume é mais significativa pela mudança de sua intensidade ou na posição da bifurcação da CSE. Segundo Rodrigues *et al.* (2007), observa-se que quando a bifurcação está mais ao sul (norte),

o transporte de volume da CB é menor (maior). Os trabalhos de Hameed *et al.*, (1993) e Enfield *et al.*, relatam que ocorre um fortalecimento do Giro Subtropical provocado pelos eventos quentes do ENSO, quando os ventos de leste ficam mais intensos.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi utilizado os dados da reanálise do SODA que possui um período de 51 anos (1958-2008) para avaliar o a variabilidade interanual do transporte de volume da CB. A partir das séries temporais pode-se observar que existe uma variabilidade interanual da temperatura, da velocidade meridional e da TCV zonal na região do Equador associada aos anos de El Niño e La Niña.

As séries temporais da temperatura nas duas seções mostraram uma tendência linear a um aumento ao longo dos anos, como é reportado em Nobrega *et al.* (2014) e Goes *et al.* (2003). A série temporal da TCV zonal teve uma tendência linear a um aumento negativo, tornando a TCV zonal mais negativo, e conseqüentemente mais intenso com o tempo.

Os valores de pico do transporte de volume da CB das duas seções não mostraram uma resposta rápida aos eventos do ENSO, mas pode-se observar que após eventos fortes El Niño, como em 1982/1983 e 1991/1992, ocorreram picos do transporte de volume da CB.

A correlação entre a série do transporte de volume da CB nas duas seções e a série do ONI resultou numa correlação baixa, que pode ter sido causado por se tratarem de dados de oceanos diferentes. O atraso do *lag* foi maior na seção de 30°S do que em 22°S, mostrando que a resposta do ENSO é mais rápida em 22°S do que em 30°S. A correlação da série temporal do transporte de volume da CB e a TCV zonal do Atlântico Equatorial resultou numa correlação alta, de 0,93 e 0,94 em 22° e 30°S, respectivamente. O *lag* foi menor na seção de 22°S do que em 30°S, sugerindo ser menor por ser mais próximo da região de formação da CB.

## 7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em alguns trabalhos são utilizados as composites, que são as composições de vários períodos. Desta forma, pode-se fazer o uso de composites nos perfis para o cálculo de anomalia da velocidade meridional em 22° e 30° S. Isto poderá intensificar a resposta do transporte da CB aos eventos do ENSO. A influência do ENSO também deve ser investigada utilizando a anomalia do transporte de volume da CB em 22° e 30°S.

Uma limitação deste trabalho é a baixa resolução espacial dos dados de apenas 0.5° x 0.5°. Assim, sugere-se que uma investigação mais precisa deve ser feita com dados de melhor resolução.

## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. Bull. Inst. fr.étudesandines. Vol. 27(3), p. 839-844. 1998.

ASSAD, L.P.F.; BÖCK, C. S.; CANDELLA, R. N.; LANDAU, L., 2015. Influence of El Niño Wind Stress Anomalies on South Brasil Bight Ocean Volume Transports. *Internacional Journal of Oceanography*. 15 p.

BJERKNES, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, vol. 97, number 3, March.

BLOOM, S.C., L.L. TAKACS, A.M. da SILVA, and D. LEDVINA, 1996: Data assimilation using incremental analysis updates. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1256-1271.

BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. *Ocean Circulation*. 2. ed. Elsevier, 2001.

CALADO, L., A. GANGOPADHYAY, & I. C. A. SILVEIRA, 2006: A parametric model for the Brazil Current and eddies off southeatern Brazil. *Geophys. Res. Lerr.*, 33, L12602.

CALADO, L.; VALÉRIO, L. P.; MARONE, E., 2011. Frente Térmica e Núcleo de Velocidade da Corrente do Brasil na Costa Sudeste Brasileira. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p. 7100.

CAMPOS, E. J. D.; PIOLA, A. R.; MILLER, JERRY L., 1999. Water Mass Distribution on the Shelf and Shelf-break Upwelling in the Southeast Brazil Bight. 10 TH Symposium os Global Change Studies. Dallas, Texas.

CARVALHO, J. S., 2014. Variabilidade de longo-termo do transporte da Corrente do Brasil ao longo do 30° S: Um estudo numérico. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

CARTON, A. G.; GIESE, B. S. 2005. Soda: A reanalysis of ocean climate. Submetido Geophysical Research-Oceans, 26. 32p.

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. de F.; TORRES, A. R.; ALVES, J. L. D., 2010. Estudo da influência das Anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da Confluência Brasil Malvinas no Regime Hidrometeorológico de verão do sul e sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25,nº4,513-524.

CIRANO, M., MATA, M. M., CAMPOS, E. J. D., DEIRÓ, N. F. R.. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no Modelo de Circulação Global OCCAM. Revista Brasileira de Geofísica (2006) 24(2): 209-230.

COSTA, R. L.; MÖLLER, O. O., 2011. Estudo da estrutura e da variabilidade das correntes da área da plataforma interna ao largo de Rio Grande(RS, Brasil), no sudoeste do Atlântico Sul, durante a primavera-verão de 2006-2007. Journal of Integrated Coastal Zone Management. 11(3):273-281.

EMÍLSON, I. 1961. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 17(2):101-112.

ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union. Vol. 102: n. C1, p. 929-945. 1997.

EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. & MÍRANDA, L.B., 1983. A note the transport of the Brazil Current. J. Phys. Oceanogr., 13(9). P. 1732-1738.

GARFIELD, N., 1990. The Brazil Current at subtropical latitudes. Tese de Doutorado. University of Rhode Island. 121 p.

GODOI, S. S., 2005. Dinâmica quase-geostrófica do sistema Corrente do Brasil no embaiamento de São Paulo (23,5-27° S). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 133 p.

GOES, M; CAMPOS, C. N.; TASCHETTO, A. S.; WAINER, I., 2003. Relação entre o Modo Equatorial e a tendência de aquecimento da Bacia Atlântica Tropical. *Atlântica*, Rio Grande, 23(1); p. 21-25.

GIESE, B. S.; RAY, S., 2011. El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871-2008. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 116: 17pp.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E., 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, v.13, p. 35- 58.

HAMEED, S.; SPERBER, K. R.; MEINSTER, A. Teleconnections of the Southern Oscillation in the Tropical Atlantic Sector in the OSU Coupled Upper Ocean-Atmosphere GCM. *Journal of Climate*, American Meteorological Society. Vol. 6, p.487-498. 1993.

LIMA, J. A. M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22° S. Tese (Doutorado). The University of New South Wales, Austrália.

MACHADO, J. P. de 2014. Efeito do aumento da tensão de cisalhamento do vento no clima do hemisfério sul obtido do modelo acoplado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v20, n. 4, 597-612.

MAGALHÃES, F. C., 2012. Avaliação da Influência da Variabilidade Temporal do Vento no Transporte e Formação dos Processos de Mesoescala da Corrente do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

MATA, M. M.; CIRANO, M.; VAN CASPEL, M. R.; FONTELES, C. S.; GONI, G; BARINGER, M., 2012. Observations of Brazil Current Baroclinic transport near 22° S: variability from the AX97 XBT transect. *CLIVAR Exchanges*. N° 58. Vol. 17.p.5-10.

MATANO, R. P., M. G. SCHLAX, E. D. CHELTON, 1993. Seasonal Variability in the Southwestern Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 98(C10), p. 18.027-18.035.

MIRANDA, L. B.; PAVIGLIONE, A.M., de 1985. Nota sobre a variação sazonal da circulação geostrófica na borda da plataforma continental: Babo de São Tomé(RJ) e a Baía de Guanabara (RJ).Bolm inst. Oceanogr., S Paulo, 33(1): 55 – 68.

MOREIRA, J.R.G.B., 1997. Correntes na plataforma externa e talude ao largo de Santos: observações no verão 1993. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOAA- Imagens retirada do site do NOAA em 01/02/2017<[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)><<http://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/pac/>>.

NOBRE, C. A.; OBREDÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G., 2009. Característica do Clima Amazônico: Aspectos Principais. American Geophysical Union, p. 149-162.

NOBREGA, R. S.; G. A. C. F. SANTIAGO, 2014. Tendência de temperatura na superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. Mercator, Fortaleza, v. 13, n.1, p. 107-118.

OLIVEIRA, L.R.; A. R., PIOLA; M. M. MATA; I. D. SOARES, 2009. Brazil Current surface circulation and energetics observed from drifting buoys. Journal of Geophysical Research, v.114, C10006.

PEREIRA, J., CIRANO, M., ALMEIDA, M. M., AMORIM, F. N., 2013. A Regional study of the Brazilian shelf/slope circulation (13° -31° S) using climatological open boundaries. Revista Brasileira de Geofísica 31(2):289-305.

PEREIRA, J.; GABIOUX, M.; ALMEIDA, M. M.; CIRANO, M.; PAIVA, A.M.; AGUIAR, A., 2014. The Bifurcation of the Western Boundary Current System of the South Atlantic Ocean. Revista Brasileira de Geofísica. 32(2): 241-257.

PETERSON, R. G.E.;L.STRAMMA, 1991. Upper-level Circulation in the South Atlantic Ocean. Program Oceanograph, 26, 1-73.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. Climate Dynamics, v. 17, p 205-212, 2001.

REID, J. L. 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports. *Prog. Oceanog.*, 23:149- 244.

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, L. M., 2007. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. *J. Phys. Oceanogr.*, 37. P. 16-30.

SIGNORINI, S. R., 1978. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep-sea Res.*, 481-490.

STOMMEL, H. 1965. *The Gulf Stream: a physical and dynamical description.* Berkeley, University of California press. 248 p.

SERVINO, R. N. de 2011. Variabilidade interanual das propriedades dinâmicas da corrente do Brasil e sua relação com o ENSO. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. S., 2012. Variabilidade Climática-processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. *Revista do Departamento de Geografia-USP*, Volume Especial 30 anos, p. 372-406.

SILVEIRA, I. C. A., A. C. K. SCHMIDT, E. J. D. CAMPOS, S. S. GODOI, & Y. IKEDA, 2000: A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *R. Bras. Oceanogr.*, 48(2), 171-183.

SILVEIRA, I. C. A. (2007). *O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ.* PhD thesis, Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, I. C. A.; L. CALADO; B. M. CASTRO; M. CIRANO; J.A. M. LIMA; A. d. S. MASCARENHAS, 2004. On the baroclinic structure of the Brazil Current- Intermediate Western Boundary Current sistema t 22° -23° S. *Geophysical Research Letters*, V. 31, L14308.

SILVEIRA, I. C. A.; J.A. M. LIMA; A. C. K. SCHIMIDT; W. CECCOPIERI; A. SARTORI; C. P. F. FRANCISCO; R. C. F. FONTES. 2008. Is the Meander Growth in the Brazil

Current System due to Baroclinic Instability?. *Dyn. Atmospheres and Oceans*, 45, p. 187-207.

SOPPA, M. A.; SOUZA, R. B.; PEZZI, L. P., 2011. Variabilidade das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o Fenômeno El Niño- Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.3, 375-391 p.

SVERDRUP, H. U., JOHNSON, M. W., AND FLEMING, R. H. (1942). *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

SOUTERINO, R. G., 2008. A origem da Corrente do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

STRAMMA, L.; IKEDA, Y.; PETERSON, R.G., 1990. Geostrophic transport in the Brasil Current north of 20° S. *Deep-Sea Res.* 37(12), p. 1875-1886.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. 1999. On the Water Masses and Mean Circulation of the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 104(C9), p.20.863-20.883.

TORRES, A. R., 2005. Estudo numérico sobre tele-conexão atmosférica entre fenômeno oceânicos do Pacífico Equatorial e do Atlântico Sul. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ZEMBA, J. C. 1991. The Structure and Transport of the Brasil Current Between 27° and 36° South. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, 160 p.

## 9. ANEXO

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1951	-0.8	-0.6	-0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6
1952	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
1954	0.7	0.4	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5
1955	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.4
1956	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
1957	-0.3	0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.6
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
1959	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
1964	1.0	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.7	1.8	1.5
1966	1.3	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8
1969	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.7	-0.4	0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9
1973	1.7	1.2	0.6	0	-0.4	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9
1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1
2003	0.9	0.7	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
2004	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
2005	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0	-0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3

Tabela 6- Dados do ONI do NOAA para o período de 1950 a 2009. Os números azuis são eventos de La Niña e os números vermelhos são eventos de El Niño, o restante não esteve em evento do