



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.net

E-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3625-4212



Estudo do campo de velocidade de correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul a partir de dados de boias de deriva

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.757>)

Regiane Moura¹; Ronald Buss de Souza²; Eduardo Marone¹

¹ Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Grupo de Física Marinha
e-mails: refisica@gmail.com; edmarone@ufpr.br;

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro Regional Sul
e-mail: ronald@dsr.inpe.br

RESUMO

Foram utilizadas 1442 séries de dados de 996 derivadores oriundos de bancos de dados públicos e de pesquisa com o objetivo de decompor e estimar o campo de velocidade das correntes superficiais entre as latitudes de 30° S e 50° S no Oceano Atlântico Sul, com ênfase na Corrente Sul Atlântica (CSA). A CSA compõe o limite sul do Giro Subtropical no Oceano Atlântico Sul e possui forte interação com outras correntes como, por exemplo, a Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Os dados foram tratados segundo a teoria de Taylor (1920). São apresentados e discutidos o mapa do campo de velocidade para a região de estudo, bem como os valores médios da intensidade de corrente e desvio padrão. As maiores intensidades de velocidade média estimadas encontram-se na origem da CSA e na Corrente das Malvinas (CM). A intensidade média da CSA é de aproximadamente 30 cm.s⁻¹ e os maiores valores são observados em sua origem decaindo na direção leste. A CSA é composta por um sistema que contém um eixo principal e dois ramos, norte e sul. A CSA-N alimenta a Corrente de Benguela e a CSA-S escoar a leste em direção ao Oceano Índico. O padrão de escoamento observado para a CSA apresenta característica meandrante e alta variabilidade nas regiões onde há interação desta com outras correntes e feições de mesoescala.

Palavras-chave: circulação oceânica; derivadores Lagrangianos; campo de velocidade de corrente; Corrente Sul Atlântica.

Study of the velocity field of surface currents in the South Atlantic Ocean derived from drifting buoy data

ABSTRACT

A total of 1442 data series of 996 drifters from public and research databases were analyzed in order to decompose and to estimate the velocity field of surface currents between 30° S and 50° S in the South Atlantic Ocean, with emphasis on the South Atlantic Current (SAC). The SAC is the southernmost limit of the South Atlantic Subtropical Gyre and presents strong interaction with other currents such as the Antarctic Circumpolar Current (ACC). The data were processed according to the Taylor's theory. The velocity field map for the study area as well as the mean values of the current intensity and associated standard deviation are presented and discussed. The highest estimated values of the average current velocity are located at the origin of the SAC and at the Malvinas Current (MC). The mean intensity of the SAC is approximately 30 cm.s⁻¹ and the highest intensity values are observed at its origin decaying towards east. The SAC comprises a system containing a main axis and two branches,

north and south. The N-SAC feeds the Benguela Current and the S-SAC leaks to the east towards the Indian Ocean. The flow pattern observed for the SAC presents a meandering characteristics and high variability in the regions where it interacts with other currents and mesoscale features.

Keywords: ocean circulation; Lagrangian drifters, current velocity field; South Atlantic Current.

1. INTRODUÇÃO

A disseminação da tecnologia de telemetria e posicionamento global por satélites, iniciada a partir dos anos 1970, permitiu que a posição de boias de deriva (também conhecidas como derivadores) de superfície pudesse ser rastreada em qualquer parte do oceano em intervalos de tempo relativamente curtos. Os dados de telemetria e posicionamento por satélites levaram a um avanço muito grande no estudo da circulação global (Lumpkin e Pazos, 2007). As boias de deriva, por meio de seu deslocamento livre na superfície do mar, fornecem medidas de corrente chamadas Lagrangianas, sendo fortes ferramentas para que se estudem os processos cinemáticos e dinâmicos do oceano. Mapas do campo de velocidade de corrente em uma determinada região do planeta podem ser obtidos a partir das trajetórias percorridas pelas boias de deriva no espaço. Técnicas estatísticas podem ser empregadas para gerar dados médios de corrente em caixas ou sub-regiões que compõe uma grade regular em determinada região de interesse no oceano (Lumpkin, 2003). Em oceanografia física, a velocidade é uma das principais variáveis a ser medida ou estimada para o estudo de circulação das correntes oceânicas. A partir dessa variável é possível descrever os tipos de movimento e, assim, caracterizar o tipo de fluxo predominante no mar (Thorpe, 2007).

A circulação superficial no Oceano Atlântico Sul engloba um Giro Subtropical (GS) anticiclônico centrado em latitudes próximas a 36° S, estendendo-se aproximadamente entre 23° S e 46° S (Núñez-Riboni et al., 2005). As águas da camada superior na porção central do giro alcançam profundidades entre 500 m e 1000 m (Peterson e Stramma, 1991). No seu limite norte, as camadas superiores se restringem a profundidades em torno de 200 m. No limite sul a camada superior atinge cerca de 800 m. O GS é formado pela interação entre diversas correntes oceânicas que, de norte pra sul e de leste para oeste são: (i) Corrente Sul Equatorial (CSE), (ii) Corrente do Brasil (CB), (iii) Corrente Sul Atlântica (CSA) e (iv) Corrente de Benguela (CBg) (Stramma e England, 1999; Stramma e Peterson, 1990; Reid et al., 1977).

Na porção sudoeste do Oceano Atlântico, onde a CB gira para a direção leste após se encontrar com a Corrente das Malvinas (que não é compreendida no GS), existe uma região de forte variabilidade de mesoescala caracterizada pela frente oceanográfica conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM). A sudeste da CBM, encontra-se uma elevação da topografia de fundo oceânica conhecida como o elevado de Zapiola (ou *Zapiola Rise*), centrado aproximadamente em 45° S, 45° W. Essa feição submarina se estende por 1000 km na direção zonal e 600 km na direção meridional. Algumas observações *in situ* revelam que a presença de uma circulação anticiclônica em torno dessa área modifica localmente o padrão de circulação do GS (Saraceno et al., 2009). Na porção sul do GS, a dinâmica da CSA é modulada pela variabilidade de mesoescala imposta pela presença da Frente Subtropical (Peterson e Stramma, 1991) e por processos de interação oceano-atmosfera.

Com base na então nova técnica de rastreamento de boias de deriva a partir de satélites nos anos 1970, o Oceano Atlântico Sul passou a ser melhor estudado. Por meio do *First GARP Global Experiment* (FGGE), como parte do *Global Atmospheric Research Program* (GARP), mais de 300 boias de deriva foram lançadas no oceano com o objetivo de medir as correntes superficiais, a pressão atmosférica ao nível do mar e a temperatura da superfície do mar (Large e Van Loon, 1989; Garret, 1980; UNESCO, 1978). Desde a realização do FGGE até os dias de

hoje, diversos programas, especialmente o WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*) na década de 1990 fomentaram o estudo da circulação do Oceano Atlântico Sul fazendo uso de dados de boias de deriva rastreadas por satélite. Autores como: Patterson (1985), Piola et al. (1987), Olson et al. (1988), Figueroa e Olson (1989), Schäfer e Krauss (1995), Souza (2000), Souza e Robinson (2004), Oliveira (2008), entre outros, utilizaram dados oriundos dessas boias de deriva para descrever a variabilidade de grande escala do Oceano Atlântico Sul e/ou a variabilidade de mesoescala da região CBM.

Devido ao fato de que maior parte da variabilidade do Oceano Atlântico Sul está concentrada na região da CBM, a maior parte dos autores tende a concentrar seus estudos nessa área. Uma caracterização mais precisa do sistema de correntes da CSA ainda é deficiente para o Oceano Atlântico Sul. Dados mais recentes oriundos de vários programas internacionais e nacionais ainda não foram utilizados para uma descrição mais detalhada das correntes marinhas na porção sul do GS onde se localiza a CSA e a Frente Subtropical. Este trabalho teve por objetivo decompor e estimar o campo de velocidade das correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul (OAS) entre as latitudes de 30° S a 50° S e longitudes de 65° W a 5° E, a partir de dados de boias de deriva disponibilizados por vários bancos de dados públicos nacionais e internacionais. Uma grande ênfase é dada à Corrente Sul Atlântica ao longo de todo o seu eixo zonal, desde a sua região de origem na CBM até a longitude onde se mescla com a CSE na parte sudeste do Giro Subtropical. O trabalho é organizado da seguinte maneira: no Capítulo 2 se apresentam os materiais e métodos utilizados, o Capítulo 3 apresenta os resultados e discussões e o Capítulo 4 apresenta as principais conclusões obtidas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Dados públicos de seis bancos de dados nacionais e internacionais de dados de boias de deriva foram utilizados nesse trabalho. Os bancos de dados, descritos na Tabela 1, são dos seguintes programas e projetos de pesquisa: (i) MEDS - *Marine Environmental Data Center* (http://www.medsdmm.dfo-po.gc.ca/meds/Prog_Int/CLIVAR/SVP/kiel/Data_e.asp); (ii) AOML - *Atlantic Ocean Marine Laboratory* (<http://www.aoml.noaa.gov/envids/gld/index.php>); (iii) COROAS (Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul, projeto de pesquisa FAPESP); (iv) PNBoia - Programa Nacional de Boias (<http://goosbrasil.org/pnboia/index.html>); (v) GOAL - Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (projeto de pesquisa CNPq/PROANTAR); (vi) GOOS - *Global Ocean Observing System* (<http://www.aoml.noaa.gov/goos/goos-operational.php>). Devido ao fato de que muitos dos bancos supracitados possuem dados coincidentes, um laborioso trabalho de refinamento de dados foi feito para que boias com identificações distintas mas com dados coincidentes não fossem computadas duplamente. Eventuais conjuntos de dados correspondentes aos mesmos derivadores, porém com períodos de cobertura complementares ou parcialmente sobrepostos, foram fundidos visando maior cobertura temporal. Foram criadas assim, 20 novas séries de dados chamados de “híbridos” (Tabela 1). Todos os outros dados foram categorizados junto a um (somente um) dos bancos de dados originais. A partir dos diversos bancos descritos aqui, foram disponibilizadas 1442 séries de dados de 996 boias de deriva. Todos os derivadores utilizados são do modelo padrão WOCE (Sybrandy et al., 1992).

Tabela 1. Número de derivadores e série de dados utilizadas no trabalho

Fonte	Número de derivadores	Número de séries de dados	Horas de dados	Período
MEDS	230	254	89.952	01/11/1989 a 01/04/2006
AOML	563	725	115.536	02/11/1989 a 31/07/2005
COROAS	13	28	20.760	17/02/1993 a 02/07/1995
PNBoia	27	240	55.104	14/04/1999 a 02/06/2007
GOAL	144	165	11976	11/01/2003 a 12/07/2005
GOOS	6	10	15.696	22/09/2004 a 06/10/2006
Híbridos	13	20	68.424	01/11/1997 a 31/11/2005
TOTAL	996	1442	377.448	01/11/1989 a 02/06/2007

Os dados foram tratados temporalmente para o intervalo total do período de dados disponíveis, isto é, entre 01/11/1989 e 02/06/2007. Dessa forma, os resultados encontrados referem-se ao período global, e não às variações sazonais. Com o intuito de minimizar possíveis erros e garantir a qualidade dos dados, utilizou-se a metodologia de teste de qualidade dos dados proposta por Hansen e Poulain (1996). Os dados foram interpolados pelo método de interpolação cúbica com intervalo de 6 horas e passaram por filtro passa-baixa para remoção da alta frequência. Os dados foram então distribuídos em grades geográficas de 0,5 x 0,5 graus de latitude e longitude obedecendo aos critérios que devem ser satisfeitos para que o escoamento possa ser considerado homogêneo e estacionário de acordo com a teoria de Taylor (Oliveira, 2008; Schäfer e Krauss, 1995). As informações contidas nas caixas são consideradas medidas independentes se elas resultam de diferentes boias ou da mesma bóia, desde que essa bóia permaneça na célula mais do que uma escala integral Lagrangiana.

O campo de velocidade V compõe-se de um valor médio \bar{V} e das componentes de flutuação caótica V' (componente turbulenta) da velocidade. As componentes das perturbações da velocidade de corrente no oceano, isto é, u' e v' são consideradas principalmente devido a vórtices e meandros, se as flutuações de alta frequência (como ondas inerciais e marés) forem removidas. Assim, as componentes das velocidades turbulentas contêm informações oriundas do campo de mesoescala (Schäfer e Krauss, 1995). O campo de velocidade é dividido, no movimento bidimensional, em uma média temporal e um desvio sobre a média. As componentes zonais e meridionais são dadas por:

$$\bar{u} = \bar{u} + u' \quad \text{e} \quad \bar{v} = \bar{v} + v' \quad [1]$$

Os valores médios \bar{u} e \bar{v} são dados por:

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad \text{e} \quad \bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad [2]$$

em que N é o número de observações independentes contido na grade. Dessa forma, a velocidade média de corrente (\bar{V}) e o desvio padrão médio (*Std.*) podem ser determinados por:

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \text{ e } Std = \sqrt{\sum V^2 - (\sum \bar{V})^2 / N - 1} \quad [3]$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com intuito de aprimorar a discussão e exposição dos resultados, a área desse estudo foi dividida em setores que englobam algumas das principais regiões dinamicamente ativas do Oceano Atlântico Sul. A Figura 1 apresenta os vetores de velocidade média superficial de corrente na região de estudo para o período analisado. A figura também apresenta os diversos setores analisados com maior detalhe nesse estudo; (i) o setor CM, localizado sobre a região do núcleo do escoamento da Corrente das Malvinas; (ii) o setor CB, localizado sobre a porção final (sul) da Corrente do Brasil; (iii) o setor CBM, que engloba a Confluência Brasil-Malvinas; (iv) o setor CSA, representando uma porção central da Corrente Sul Atlântica; (v) o setor CSA-N, englobando o ramo norte da CSA; (vi) o setor CSA-S, que engloba o ramo sul da CSA; (vii) FR, a região onde a Frente Polar se encontra com a Frente Subantártica; (viii) e o setor ZR que engloba o giro anticiclônico da região do elevado de Zapiola.

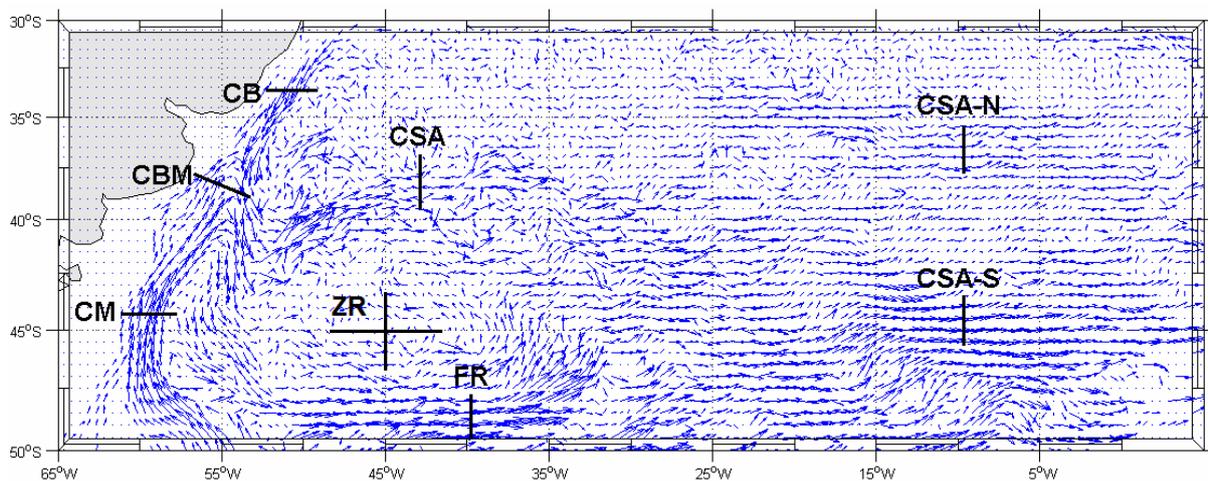


Figura 1. Vetores de velocidade média superficial de corrente e setores representativos das principais regiões discutidas no trabalho referenciadas aproximadamente por: Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM), Confluência Brasil-Malvinas (CBM), Corrente Sul Atlântica (CSA), Frente Polar e Frente Subantártica (FR), ramo norte da CSA (CSA-N); ramo sul da CSA (CSA-S) e elevado de Zapiola (ZR).

A Figura 2 apresenta a intensidade média de corrente e o desvio padrão médio da velocidade. O mapa apresentado nessa figura, juntamente com o mapa de vetores de velocidade de corrente (Figura 1) demonstra claramente que a Corrente Sul Atlântica, na sua porção mais leste, divide-se em dois ramos claramente identificados, um a norte e outro a sul. No decorrer deste texto esses ramos serão denominados como CSA-N (ramo norte da CSA) e CSA-S (ramo sul da CSA). O maior valor de intensidade média de corrente (\bar{V}) para toda a região de estudo foi encontrado no setor CM. Outra região que apresenta alto valor de \bar{V} é o setor FR, onde a Frente Polar atinge latitudes mais baixas e se confunde com a Frente Subantártica, conforme também observado por Oliveira (2008).

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos, médios e máximos da intensidade média e desvio padrão da média de corrente para os setores descritos na Figura 1. A Tabela 2 também mostra as componentes zonal e meridional do vetor velocidade de corrente superficial para esses setores. Dentre todos os setores analisados, o setor da Frente Subantártica foi aquele que

apresentou intensidades de corrente mais elevadas (média = 50 cm.s^{-1}). Maiores intensidades de corrente também foram verificadas no setor da CBM (média = 45 cm.s^{-1}) e CM (média = 41 cm.s^{-1}). A menor intensidade de corrente para a região analisada foi no setor do elevado de Zapiola (ZR) (média = 17 cm.s^{-1}). Na porção central e ramo norte da CSA, os valores médios encontrados foram de 26 cm.s^{-1} e 20 cm.s^{-1} , respectivamente.

A partir dos dados de desvio padrão (std), nota-se que as regiões da CBM (std = 34), FR (std = 25) e porção sul da CB (std = 19) são aquelas que apresentaram maior variabilidade no período analisado. Os processos relacionados a essa variabilidade são conhecidamente ligados a instabilidades baroclínicas e formação de vórtices de mesoescala típicos dessas regiões. No setor CSA, os maiores valores encontrados podem estar relacionados às estruturas de mesoescala da CBM próximas da origem da CSA. A leste, o meandramento da CSA pode estar relacionado com os efeitos da extensão da Corrente das Agulhas (Richardson, 2007).

Tabela 2. Valores da intensidade média e desvio padrão médio de corrente; componentes médias e turbulentas do campo de velocidade de corrente para os diversos setores na área de estudo.

Setor	Latitude (°S)	Longitude (°W)	\bar{V} (cm.s^{-1})			Std.	\bar{u}	\bar{v}	u'	v'
			Mín.	Máx.	Méd.					
CM	36 – 50	61 – 53	1	100	41	11	4	34	7	10
CB	30 – 45	58 – 48	4	83	33	19	3	29	17	21
CBM	38 – 42	53 – 54	14	88	45	34	11	38	25	40
FR	47 – 50	45 – 35	9	95	50	25	49	8	25	13
CSA	35 – 45	50 – 20	1	98	26	15	22	3	20	18
CSA-N	33 – 39	20 – 0	1	54	20	11	18	1	14	11
CSA-S	39 – 46	20 – 0	4	80	38	14	36	2	14	9
ZR	43 – 46	47 – 39	3	63	17	10	4	3	14	12

Observa-se na Figura 2a que o escoamento médio no setor CSA-S apresenta valores próximos de 40 cm.s^{-1} , sendo o valor máximo encontrado igual a 80 cm.s^{-1} . Já os valores no setor da CSA-N, permanecem próximos de 20 cm.s^{-1} . A região entre os ramos da CSA apresenta valores baixos de \bar{V} (~10 cm.s^{-1} a 15 cm.s^{-1}). A CSA-N apresenta valores médios de \bar{V} que podem ser interpretados como uma estabilização da corrente. Entretanto, a CSA-S apresenta valores médios de \bar{V} que indicam uma aceleração da corrente, provavelmente causada pela interação da CSA com a CCA.

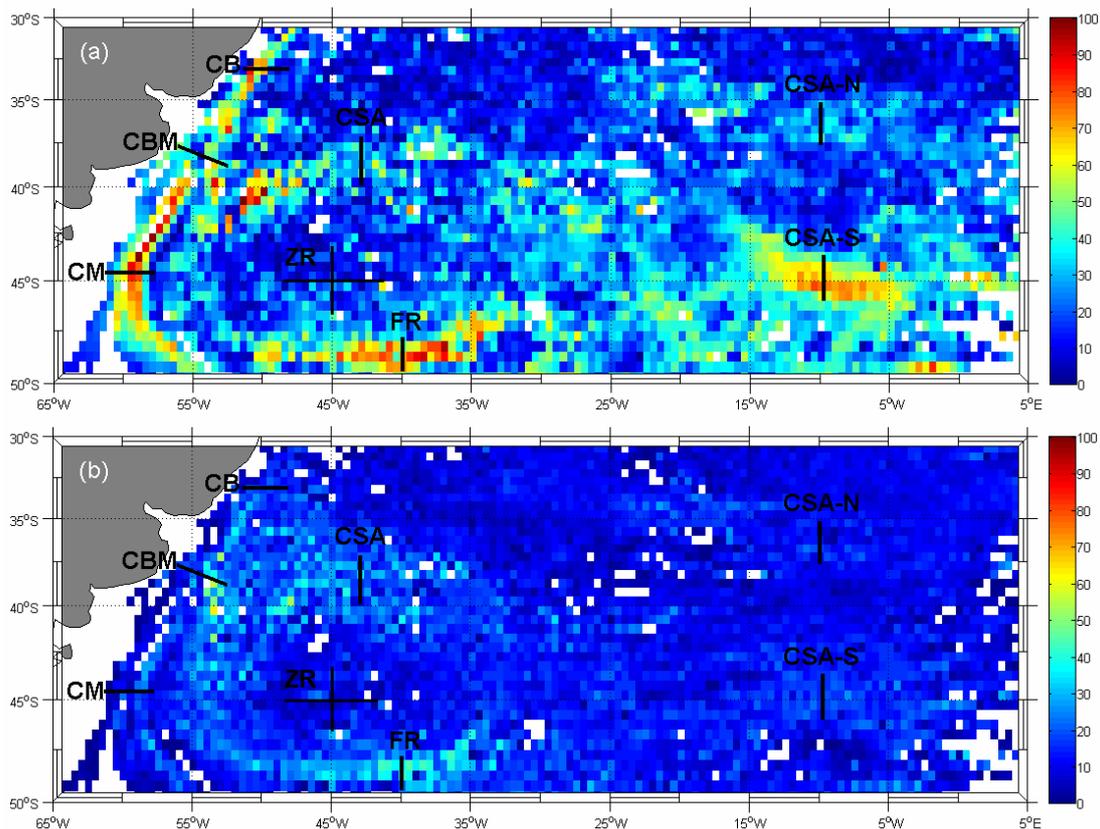


Figura 2. Mapas de (a) intensidade média e (b) desvio padrão médio de corrente ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$).

O desvio padrão médio do campo de velocidade pode ser utilizado para representar a variabilidade da circulação oceânica. A região com maior variabilidade é concentrada no setor CBM (Figura 2b), com valores da ordem de $45 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. O valor encontrado indica, conforme já observado por Chelton et al. (1990), que esta é uma das regiões de maior variabilidade e complexidade do oceano global e, portanto, de mais alta energia turbulenta de mesoescala. O maior valor encontrado para o desvio padrão médio encontra-se na latitude média de 40° S e 54° W aproximadamente, com valor de $64 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Tal latitude foi identificada por Oliveira (2008) como sendo o jato de extensão da CB. Olson et al. (1988) observaram que essa região também compreende o chamado fluxo de retorno da CB.

A Figura 3 indica as componentes médias zonal (Figura 3a) e meridional (Figura 3b) do campo de velocidade superficial da região de estudo. Valores positivos (negativos) da componente zonal indicam que o escoamento se dá para a direção leste (oeste), enquanto que valores positivos (negativos) da componente meridional indicam que o escoamento se dá para a direção norte (sul). Na Figura 3a, o giro anticiclônico típico do setor ZR está evidenciado e centrado em $44,5^\circ \text{ S} - 44,5^\circ \text{ W}$, concordando com Saraceno et al. (2009). Os valores negativos da componente zonal da corrente, entre 30° S e 33° S , podem estar associados ao escoamento da Corrente de Benguela (CBg) fluindo para noroeste na parte oeste do GS. Na Figura 3 os maiores valores positivos (negativos) das componentes zonal e meridional de corrente estão associados à CB (CM), evidenciando a direção predominante dessas correntes paralelas à costa sul-americana.

As componentes turbulentas zonais e meridionais do campo de velocidade são apresentadas na Figura 4. Nos setores CSA e FR, observam-se maiores valores para a componente turbulenta zonal (Figura 4a), indicando maior variabilidade das correntes nessa direção. Tal fato pode estar relacionado ao forte escoamento meandrante tanto da CCA quanto da CSA em direção leste. Na Figura 4b, observa-se que a maior variabilidade ocorre na parte oeste da região de estudo sobre a CBM.

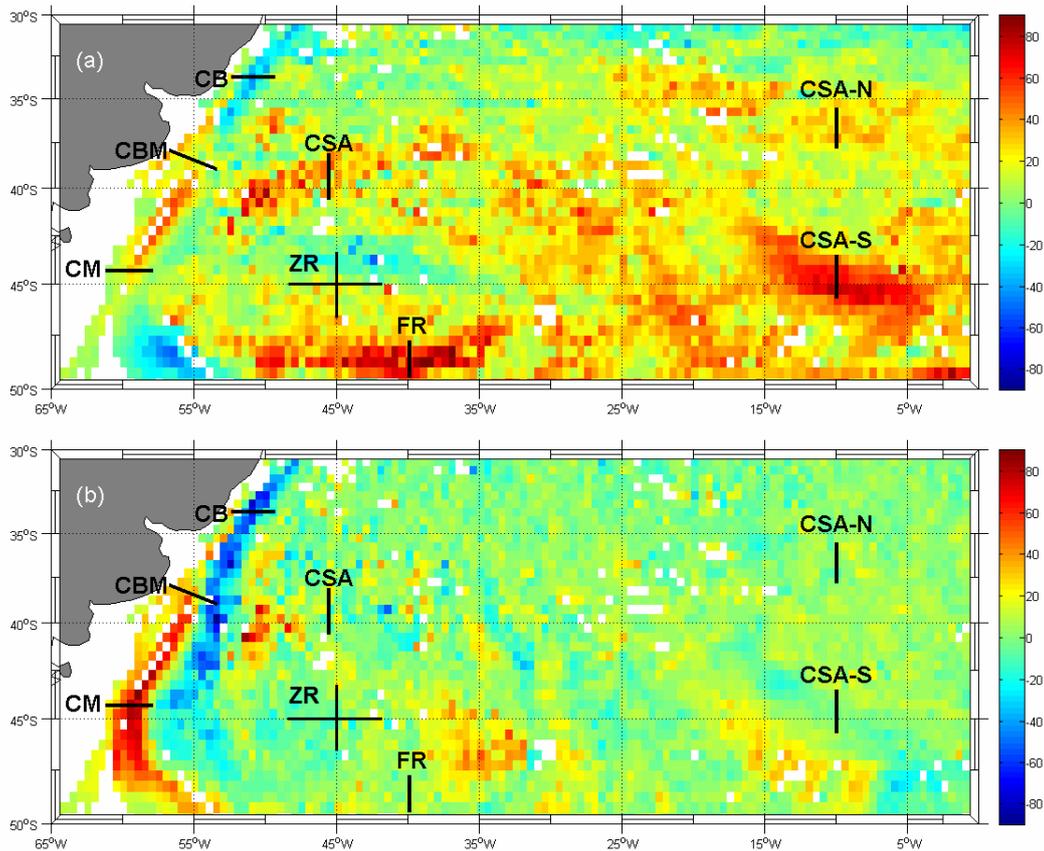


Figura 3. Componentes médias zonal (a) e meridional (b) do campo de velocidade (cm.s^{-1}).

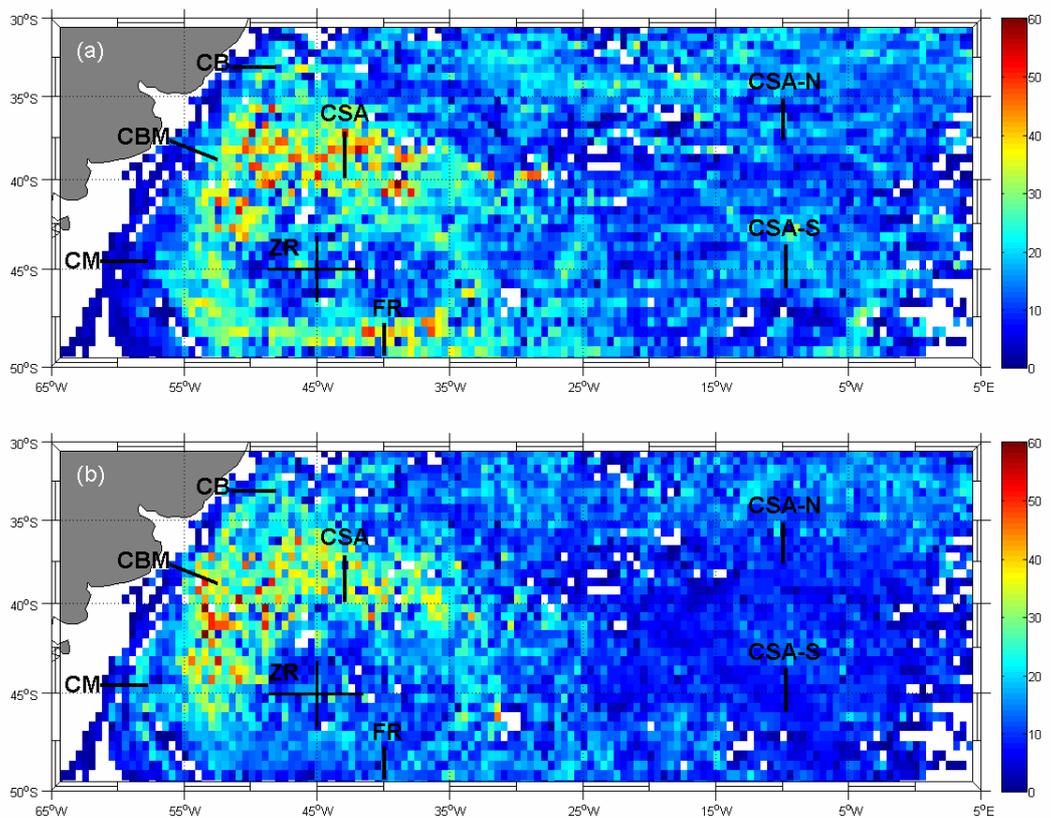


Figura 4. Componentes turbulentas (a) zonal e (b) meridional do campo de velocidade (cm.s^{-1}).

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou dados de 996 boias de deriva rastreadas por satélite, distribuídos entre os anos de 1989 a 2007, oriundos de vários programas e projetos de pesquisa nacionais e internacionais. Apesar de não identificar fenômenos sazonais, o trabalho oferece resultados consistentes com outros apresentados na literatura, com a vantagem de ter sido obtido com um maior número de derivadores e sobre um período de tempo maior. O trabalho descreve com precisão de $0,5 \times 0,5$ graus de latitude e longitude a circulação superficial do Oceano Atlântico Sul, com ênfase na Corrente Sul Atlântica.

Com os valores estimados do campo de velocidade superficial foi possível analisar o escoamento da CSA desde sua origem até a bifurcação de seu eixo principal. A partir dos mapas do campo de velocidade, confirmaram-se os fluxos da CB e da CM para sudoeste e nordeste, respectivamente, além do fluxo de retroflexão da CB e o giro anticiclônico no entorno do elevado de Zapiola.

O desvio padrão médio do campo de velocidade pode ser utilizado para identificar as regiões de maior variabilidade da circulação superficial de corrente. Os maiores valores foram observados na região da CBM (decrecendo em direção ao leste sobre a CSA) e no setor da FR, onde a alta variabilidade pode estar associada à interação da CSA com a CCA.

A CSA é composta por um sistema de correntes que contém um eixo principal e dois ramos, norte e sul. A CSA-N alimenta a Corrente de Benguela na porção extrema leste do GS, e a CSA-S escoar para leste em direção ao Oceano Índico. A Corrente Sul Atlântica apresenta uma característica meandrante em todo seu eixo, porém não turbulenta, podendo ser caracterizada como uma corrente estável dinamicamente. A variabilidade é maior nas proximidades das regiões mais energéticas do Atlântico Sul, onde se observa a interação da CSA com outras correntes e feições de mesoescala. Estudos futuros deverão se concentrar na análise sazonal dos dados dos derivadores e no estudo da influência da circulação da CSA sobre os processos de interação oceano-atmosfera na porção sul do Giro Subtropical do Oceano Atlântico Sul.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL), à CAPES e ao INCT da Criosfera (704222/2009) pelo apoio. Ao CNPq/PROANTAR e CIRM pelo suporte ao projeto SOS-Climate (520189/2006). Eduardo Marone agradece o suporte da CAPES (BEX 1186/10-8). Os autores agradecem ainda aos revisores pelas sugestões.

6. REFERÊNCIAS

- CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMANN, J. G. GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 95, p. 877-903, 1990.
- FIGUEROA, H. A.; OLSON, D. B. Lagrangian statistics in the South Atlantic as derived from SOS and FGGE drifters. **Journal of Marine Research**, Connecticut, v. 47, p. 525-546, 1989. <http://dx.doi.org/10.1357/002224089785076217>
- GARRET, J. F. Availability of the FGGE drifting buoy system data set. **Deep-Sea Research**, London, v. 27A, p. 1083-1086, 1980. [http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149\(80\)90067-9](http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149(80)90067-9)

MOURA, R.; SOUZA, R. B.; MARONE, E. Estudo do campo de velocidade de correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul a partir de dados de bóias de deriva. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.757>)

HANSEN, D.; POULAIN, P. M. Quality control and interpolation of WOCE/TOGA drifter data. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Washington, v. 13, p. 900-909, 1996. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426\(1996\)013<0900:QCAIOW>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426(1996)013<0900:QCAIOW>2.0.CO;2)

LARGE, W. G.; VAN LOON, H. Large scale, low frequency variability of the 1979 FGGE surface buoy drifts and winds over the Southern Hemisphere. **Journal of Physical Oceanography**, Washington, v. 19, p. 216-232, 1989. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1989\)019<0216:LSLFVO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1989)019<0216:LSLFVO>2.0.CO;2)

LUMPKIN, R. Decomposition of surface drifter observations in the Atlantic Ocean. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 30, n. 14, p. 1-4, 2003.

LUMPKIN, R.; PAZOS, M. Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. In: MARIANO, A.; ROSSBY, T., KIRWAN, D. (eds). **Lagrangian analysis and prediction of coastal and ocean dynamics**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. p. 39-67. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1989\)019<0216:LSLFVO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1989)019<0216:LSLFVO>2.0.CO;2)

NUÑES-RIBONI, I.; BOEBEL, O.; OLLITRAULT M.; YOU Y.; RICHARDSON P.L.; DAVIS, R. Lagrangian circulation of Antarctic Intermediate Water in the subtropical South Atlantic. **Deep-Sea Research II**, London, v. 52, p. 545-564, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.12.006>

OLIVEIRA, L. R. **Energética do Atlântico Sudoeste a partir de observações lagrangeanas e de simulações do *Parallel Ocean Climate Model***. 2008. Tese (Doutorado em Oceanografia Física) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.

OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O.B. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. **Deep-Sea Research**, London, v. 35, n. 12, p. 1971-1990, 1988. [http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90120-3](http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149(88)90120-3)

PATTERSON, S. L. Surface circulation and kinetic energy distributions in the southern hemisphere oceans from FGGE drifting buoys. **Journal of Physical Oceanography**, Washington, v. 15, p. 865-883, 1985. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1985\)015<0865:SCAKED>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1985)015<0865:SCAKED>2.0.CO;2)

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, London, v. 26, p. 1-73, 1991. [http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90006-8](http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8)

PIOLA, A. R.; FIGUEROA, H. A.; BIANCHI, A. A. Some aspects of the surface circulation south of 20° S revealed by First GARP Global Experiment drifters. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 92, n. C5, p. 5101-5114, 1987. <http://dx.doi.org/10.1029/JC092iC05p05101>

REID, J. L.; NOWLIN JR., W. D.; PATZERT, W. C. On the characteristics and circulation of the Southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, London, v. 7, p. 62-91, 1977. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1977\)007<0062:OTCACO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1977)007<0062:OTCACO>2.0.CO;2)

RICHARDSON, P. L. Agulhas leakage into the Atlantic estimated with subsurface floats and surface drifters. **Deep-Sea Research I**, London, v. 54, p. 1361-1389, 2007.

MOURA, R.; SOUZA, R. B.; MARONE, E. Estudo do campo de velocidade de correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul a partir de dados de bóias de deriva. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.757>)

SARACENO, M.; PROVOST, C.; ZAJACZKOVSKI, U. Long-term variation in the anticyclonic ocean circulation over the Zapiola Rise as observed by satellite altimetry: Evidence of possible collapses. **Deep-Sea Research I**, London, v. 56, p. 1077-1092, 2009.

SCHÄFER, H., KRAUSS, W. Eddy statistics in the South Atlantic as derived from drifters drogued at 100m. *Journal of Marine Research*, Connecticut, v. 53, p. 403-431, 1995. <http://dx.doi.org/10.1357/0022240953213142>

SOUZA, R. B. **Satellite and Lagrangian Observations of mesoscale surface processes in the Southwestern Atlantic Ocean**. 2000. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Southampton, Southampton, 2000.

SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, London, v. 24, n. 2, p. 241-262, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2003.10.001>

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal Geophysical Research**, Washington, v. 104, n. C9, p. 20.863-20.883, 1999.

STRAMMA, L.; PETERSON, R. G. The South Atlantic Current. **Journal of Physical Oceanography**, Washington, v. 20, p. 846-859, 1990. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1990\)020<0846:TSAC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1990)020<0846:TSAC>2.0.CO;2)

SYBRANDY, A. L.; NIILER, P.; SOMBARDIER, L. Technical Improvements to the WOCE/TOGA Lagrangian Drifter. **Proceedings Of Oceans**, Rhode Island, v. 92, p. 718-721, 1992.

TAYLOR, G. I. Diffusion by Continuous Movements. **Proceedings of the London Mathematical Society Serie A**, London, v. 20, p. 196-212, 1920.

THORPE, S. A. **An introduction to ocean turbulence**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 293 p.

UNESCO. **Oceanographic aspects of the First Garp Global Experiment-FGGE**. Paris: UNESCO, 1978. 41 p.