



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA

BEATRIZ RODRIGUES FERNANDES

**AVALIAÇÃO DA SALINIDADE SUPERFICIAL DO MAR PROVENIENTE
DOS SATÉLITES SMOS E AQUARIUS NO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL**

FORTALEZA

2016

BEATRIZ RODRIGUES FERNANDES

**AVALIAÇÃO DA SALINIDADE SUPERFICIAL DO MAR PROVENIENTE
DOS SATÉLITES SMOS E AQUARIUS NO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

F398a Fernandes, Beatriz Rodrigues.

Avaliação da salinidade superficial do mar proveniente dos satélites SMOS e Aquarius no Oceano Atlântico Tropical / Beatriz Rodrigues Fernandes – 2016.
43 p. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso Bacharelado em Oceanografia, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. Salinidade - Oceanos. 2. Programa PIRATA. I. Título.

CDD 551.466 4

BEATRIZ RODRIGUES FERNANDES

**AVALIAÇÃO DA SALINIDADE SUPERFICIAL DO MAR PROVENIENTE
DOS SATÉLITES SMOS E AQUARIUS NO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Krelling
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Adriana Lúcia, minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Adriana Lúcia, que além de mãe é melhor amiga, provedora, exemplo e guerreira. Minha maior inspiração e a quem eu devo tudo o que conquistei e vivi nesses 25 anos. Meu amor maior. Agradeço ao meu pai, Marcelo, por cuidar de mim de onde ele está.

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Carlos Eduardo Teixeira, por toda paciência, ensinamentos e conhecimentos passados ao longo da minha graduação e principalmente durante a elaboração desse Trabalho de Conclusão de Curso, agradeço também pelo exemplo de professor e oceanógrafo que é.

Agradeço também a todos os colegas e professores integrantes do Laboratório de Oceanografia Física do Instituto de Ciências do Mar, pela agradável e divertida convivência, pelo compartilhamento de conhecimentos e pela contribuição para um aprendizado diário e constante. Agradeço em especial aos professores Dr^a Ana Paula e Dr. Geraldo, membros participantes da Banca examinadora pelo tempo, pelas sugestões e valiosas colaborações.

Agradeço ao meu companheiro de aventuras, Caio Jaborandy, por tanto carinho, cuidado, força e incentivo. Agradeço às minhas amigas, Carolina, Clara, Fernanda, por todo companheirismo ao longo desses mais de treze anos de amizade. Agradeço também as minhas amigas e irmãs Karoline e Marília por todo amor e apoio tão presentes, apesar dos tantos quilômetros que nos espalham pelo Brasil. Às minhas amigas e colegas de curso, Amanda, Gabriele, Nayanna, Suzana, por terem contribuído com a experiência maravilhosa que foi cursar Oceanografia, por toda alegria que trazem pros meus dias, por todas as lembranças incríveis que construímos juntas e pelas próximas que sempre estarão por vir.

“Coração do mar é terra que ninguém conhece, permanece ao largo e contém o próprio mundo como hospedeiro. Tem por bandeira um pedaço de sangue onde flui a correnteza do mangue. Tem por sentinelas equipagens, estrelas, taifeiros, madrugadas e escolas de samba. É um navio humano quente, guerreiro do mangue.”

(Oswaldo de Andrade)

RESUMO

A salinidade é fundamental para o entendimento da dinâmica oceânica e das mudanças climáticas. As medições de salinidade realizadas pelo programa *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA) foram as primeiras coletadas por fundeio no Atlântico Tropical e nos últimos anos foram lançados dois satélites que compartilham o objetivo científico de mapear globalmente a SSM, Aquarius/SAC-D e *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS). O objetivo deste trabalho é comparar e validar os dados de salinidade superficial produzidos pelos satélites SMOS e Aquarius, entre si e com os dados do programa PIRATA, para o oceano Atlântico Tropical (16°N:20°S e 28°W:40°W). Para tanto, foram utilizados aproximadamente 5 anos (2010–2014) de dados de Salinidade da Superfície do Mar (SSM) do sensor Aquarius, do satélite SMOS e programa PIRATA. A metodologia desse trabalho consistiu em extrair séries temporais, diferenças médias mensais de SSM entre os satélites ao longo de todos os anos de dados e também elaborar mapas com a média anual da distribuição espacial de SSM. Os resultados mostram que em geral ocorrem diferenças entre os dados de SSM das três fontes. Os resultados também mostram as mudanças sazonais ocorrentes principalmente no hemisfério norte, área sob a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e as pequenas mudanças interanuais. Observa-se que não existe um padrão espacial ou temporal para a diferença entre os dados dos dois satélites. Comparado ao satélite Aquarius, o SMOS apresentou a melhor performance na reprodução da variabilidade espaço-temporal da salinidade superficial no Atlântico Tropical.

Palavras-chave: Salinidade da Superfície do Mar. Aquarius. SMOS. Programa PIRATA.

ABSTRACT

Salinity is key to improve the understanding of the ocean dynamics and climate change. The salinity measurements performed by Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA) program were the first collected by moorage in the Tropical Atlantic. In the last few years, two satellites were launched with the shared scientific goal of mapping SSS in the global ocean: Aquarius/SAC-D and Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS). The objective of this study is compare and validate the surface salinity data of SMOS and Aquarius satellites, both between them and them and PIRATA program data, of the Tropical Atlantic ocean (16°N:20°S/28°W:40°W). About 5 years (2010–2015) of Sea Surface Salinity (SSS) data of Aquarius, SMOS and PIRATA were analyzed. This work's methodology is based on the extraction of temporal series, monthly averages differences, and maps with the SSS average spatial annual distribution. The results show that in general are differences between SSS data of the three instruments. The results also show that are seasonal changes, where the largest occurring in the North hemisphere, area under the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) influence, and small interannual changes. There is no spatial or temporal pattern for the difference between satellites data. Compared with the Aquarius satellite, SMOS better represented the spatio-temporal variability of surface salinity along Tropical Atlantic.

Keywords: Sea Surface Salinity. Aquarius. SMOS. PIRATA program.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Área de estudo	15
QUADRO 1 – Caracterizando SMOS e a missão Aquarius de acordo com seus objetivos iniciais	18
TABELA 1 – Coordenadas das boias PIRATA e distâncias correspondentes aos pontos SMOS e Aquarius	19
FIGURA 2 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 1	22
TABELA 2 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 1 (p1).....	22
FIGURA 3 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 2	23
TABELA 3 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 2 (p2).....	23
FIGURA 4 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 3	24
TABELA 4 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 3 (p3).....	24
FIGURA 5 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 4	25
TABELA 5 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 4 (p4).....	26
FIGURA 6 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 5	26
TABELA 6 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 5 (p5).....	27
FIGURA 7 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 6	27
TABELA 7 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 6 (p6).....	28
FIGURA 8 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 7	29

TABELA 8 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 7 (p7).....	29
FIGURA 9 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 8	30
TABELA 9 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 8 (p8).....	30
FIGURA 10 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 1	32
FIGURA 11 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 2	33
FIGURA 12 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 3	33
FIGURA 13 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 4	34
FIGURA 14 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 5	35
FIGURA 15 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 6	35
FIGURA 16 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 7	36
FIGURA 17 – Similar à figura 10, para os anos de 2012 a 2014, porém para o ponto 8	37
FIGURA 18 – Mapa com a média de Salinidade Superficial pelo satélite SMOS para os anos de 2012 a 2014.....	38
FIGURA 19 – Mapa com a média de Salinidade Superficial pelo sensor Aquarius para os de 2012 a 2014.....	39
FIGURA 20 – Mapa com a diferença média de Salinidade Superficial (psu) entre o sensor Aquarius e o satélite SMOS para os anos de 2012 a 2014.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Área de estudo	14
2 OBJETIVO	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Bancos de dados	17
3.1.1 <i>Previsão e Pesquisa Ancorada no Atlântico Tropical (PIRATA)</i>	17
3.1.2 <i>Soil Mixture and Ocean Salinity (SMOS)</i>	17
3.1.3 <i>Missão Aquarius</i>	18
3.2 Análise inicial dos dados	19
3.2.1 <i>SMOS e Aquarius x PIRATA</i>	19
3.2.2 <i>Interpolação SMOS x Aquarius</i>	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Séries temporais de Salinidade da Superfície do Mar	21
4.2 Aquarius x SMOS: diferenças mensais para o período de 2012 a 2014	32
4.3 Mapas com as médias de Salinidade da Superfície do Mar	37
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A salinidade, denominação para a concentração dos sais dissolvidos no oceano, superficial, é regulada quase que inteiramente pela troca de água entre o oceano e atmosfera, através da evaporação e precipitação. Outros fatores que contribuem para os padrões de salinidade da superfície do mar (SSM) são os efeitos advectivos da circulação oceânica, a afluência de água doce de grandes rios e também o derretimento ou a formação de gelo em regiões de alta latitude. Por ser definida em termos de proporção (gramas por quilograma), utiliza-se apenas números para representar valores de salinidade, no entanto, também pode ser citada em termos de *practical salinity units* (psu) (Colling e Wright, 2007).

As alterações da salinidade, juntamente com mudanças na temperatura, ocasionam variações na densidade do mar, a qual é o principal fator que governa o movimento vertical de larga escala das águas oceânicas, influenciando na estratificação e na determinação da resiliência da água oceânica (Le Vine, D, 2001). A salinidade atua ainda como fator limitante para a vida de espécies marinhas e funciona como traçador de processos oceanográficos, como por exemplo, a circulação termohalina, vórtices e correntes de superfície; mecanismos importantes para o controle do clima.

Padrões multi-decais de variabilidade da SSM nas latitudes tropicais e subtropicais (Cravette, S. (2009) e Gordon, A. L. (2008)) vêm sendo documentados, a partir dos quais se pode obter tendências de evaporação, precipitação e desse modo, presumir os efeitos do aquecimento global.

O estudo da salinidade é importante por promover uma melhor compreensão da dinâmica oceânica, da troca de energia entre o oceano e a atmosfera, da capacidade de armazenar e transportar vapor d'água, das mudanças climáticas e também de eventos climáticos importantes como o *El Niño*. Desta forma, a relevância científica das medições halinas, particularmente da SSM, vem se tornando amplamente reconhecida e incentivada pela comunidade acadêmica mundial (Largeloeff, G. et al, 2010).

O programa *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA) é um programa de oceanografia operacional, criado em 1997 por uma cooperação entre o Brasil, a França e os Estados Unidos. Atualmente é constituído por uma rede de 21 boias, fundeadas no oceano Atlântico Tropical, as quais medem parâmetros meteorológicos e oceanográficos, entre eles a SSM. O PIRATA tem como um dos seus objetivos fornecer uma base de dados *in situ*, emitidos quase em tempo real, em escalas sazonais, interanuais ou em períodos mais longos.

As medições de salinidade realizadas pelo PIRATA foram as primeiras sistematicamente coletadas por fundeio no Atlântico Tropical. Esses dados ajudam a caracterizar variações sazonais e interanuais do fluxo superficial de umidade, como por exemplo, associações com as oscilações da posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Como colocado por Servain et al. (1998), esses dados são valiosos para aferir resultados locais de evaporação menos precipitação e também por detectar uma possível influência da descarga do rio Amazonas na bacia interior do Atlântico Tropical.

Todavia, segundo Robison (2004), “[...] a coleta de dados *in situ* não permite o acompanhamento global da variabilidade oceânica em função da mobilidade e cobertura espacial limitadas, e da disponibilidade de meios flutuantes.” Sendo necessárias novas formas de aquisição de dados da salinidade do mar, mas de forma mais abrangente, num padrão global. Mesmo com o forte avanço do sensoriamento remoto voltado para medição de parâmetros oceanográficos, até poucos anos atrás não existiam sensores orbitais voltados para coletar medidas de salinidade (Cecilio; Gherardi; Souza, 2011).

Este cenário foi mudado com o lançamento de dois instrumentos espaciais que compartilham o objetivo científico de mapear globalmente a SSM. O satélite *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS) da *European Space Agency* (ESA) e a missão *Aquarius* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) medem a radiação emitida pelos oceanos na banda L (1.4 GHz) e sua rugosidade para inferir a SSM e, possuem uma órbita síncrona com o sol (Dinnat, E. P. et al. 2014).

Lançado em novembro de 2009, o satélite SMOS tem como principal sensor o *Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis* (MIRAS), está a cerca de 770 km de altura, como descrito por Corbella et al. (2011). Dois anos depois, em junho de 2011, foi lançada a missão *Aquarius*, que é um sensor formado pela combinação de um radiômetro passivo com um escaterômetro ativo, abordo do satélite argentino SAC-D que se localiza a uma altura de 657 km em relação à superfície terrestre (Cecilio; Gherardi; Souza, 2011). O SMOS continua coletando dados de SSM até os dias atuais, enquanto o *Aquarius* parou de produzir dados em junho de 2015, devido a uma falha em seus componentes.

A validação e a calibragem dos dados de SSM produzidos pelo SMOS e *Aquarius* envolvem comparações entre as medidas de ambos os satélites e medidas *in situ*. A partir desse objetivo, recentes trabalhos vêm realizando correlações entre os produtos de sensoriamento remoto com os produtos de boias ARGO e dados da *Global Ocean Data Assimilation System* (GODAS) no oceano Atlântico Tropical (Vinogradova e Ponte (2013), Ebucchi e Abi (2013), Dinnat et al. (2014)). Tais trabalhos relataram, de certa forma, a não

integridade dos dados, o que influi na necessidade de outros parâmetros para estimar dados mais apurados e em larga escala, por consequência, ambos os dados e suas diferentes formas de aquisição de SSM, são necessários e complementares.

Os dados *in situ* podem ser afetados pela variabilidade que acontece em pequena escala, como por exemplo, regiões pontuais, próximas às correntes ou à foz de grandes rios, mas esta influência pode passar despercebida, pela cobertura em larga escala realizada pelos satélites. Ebucchi e Abi (2013), ao comparar dados do satélite Aquarius com dados de boias ARGO, relataram uma diferença média global de 0.5 psu, no entanto algumas regiões apresentaram erros de >0.8 psu. Dinnat et al. (2014) colocou que a diferença entre a SSM dos dois satélites e o produto de SSM auxiliar, utilizado para a calibragem, é de 1.0 psu, considerada pelo autor como pequena mas não negligenciável, devido aos requerimentos para o sensoriamento remoto de SSM.

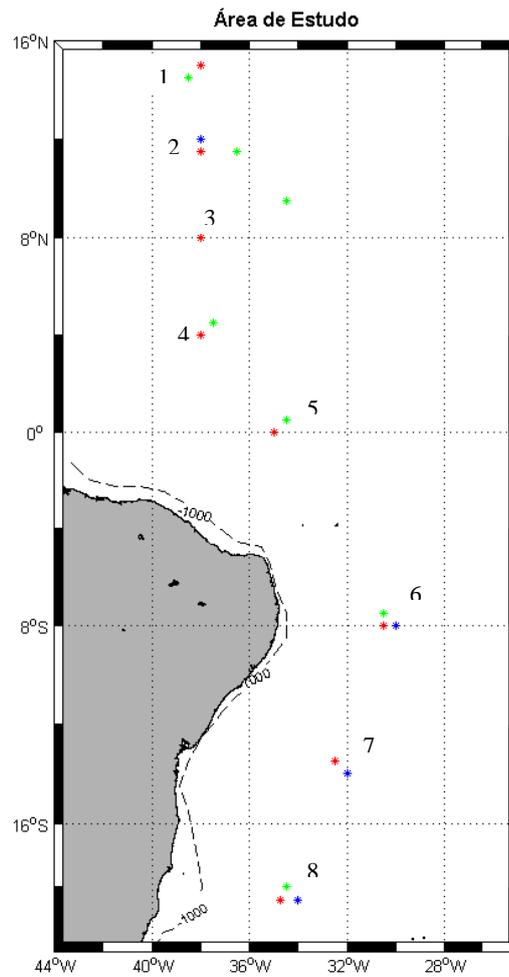
O produto de SSM depende de forma significativa de outros parâmetros, como por exemplo, a temperatura da superfície do mar e a velocidade do vento, o que é esperado desde o princípio das medições científicas de salinidade. Outro fator que pode gerar divergências em medições de SSM são as correções imprecisas da radiação galáctica e interferência de rádio frequência, além da distorção causada pelo brilho solar ou fortes precipitações (Ebucchi e Abi (2013), Dinnat et al. (2014)).

Neste trabalho será feita uma comparação entre os dados de SSM dos satélites SMOS e Aquarius com os dados das boias do programa PIRATA e analisado a variabilidade espaço-temporal das diferenças entre os dados.

1.1 Área de estudo

A área estudada neste trabalho compreende a porção do oceano Atlântico Tropical localizada entre 16°N:20°S e 28°W:40°W, região caracterizada por ventos fortes e constantes e grande incidência solar (Servain et al., 1998). A área de estudo abriga a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que pode migrar sazonalmente entre as latitudes de 17°N a 7°S (Ferreira e Melo, 2005) e também está sob a influência das correntes superficiais: Sistema Equatorial de Correntes, Corrente do Brasil e Corrente Norte do Brasil (Domingos 2005).

Figura 1 - Área de estudo. Os asteriscos mostram a localização dos pontos usados para extração das séries temporais. Os asteriscos verdes se referem aos pontos do satélite Aquarius, os vermelhos aos pontos do satélite SMOS e os azuis representam a localização das boias Pirata. Em alguns locais os pontos do satélite SMOS coincidem com os pontos das boias Pirata.



Fonte: Elaborado pela autora.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é comparar e validar os dados de salinidade superficial produzidos pelos satélites SMOS e Aquarius para a região do oceano Atlântico Tropical.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar os dados de SSM do satélite Aquarius e do SMOS com os dados das boias do programa PIRATA;
- Descrever as variabilidades sazonais e interanuais de SSM.
- Avaliar a variabilidade espaço-temporal entre as diferenças dos dados de SSM;

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Bancos de dados

3.1.1 *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA)*

O *download* dos dados do programa PIRATA foi realizado através do *web site Global Ocean Observing System (GOOS) Brasil*. Todos os dados estão disponíveis via FTP pela plataforma <http://www.goosbrasil.org/pirata/dados/>. Os arquivos *in situ* do PIRATA também podem ser acessados através das seguintes plataformas: *Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)*, *Institut de recherche pour le développement (IRD)*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN – Marinha do Brasil), entre outras.

Foram selecionadas oito boias PIRATA, localizadas ao longo do oceano Atlântico Tropical oeste, para a comparação com os dados de sensoriamento remoto. Os dados das boias correspondem a arquivos com médias diárias, com início no dia 1 de janeiro de 2010 e finalizando no dia 26 de março de 2015. Os dados de salinidade utilizados correspondem aos medidos no primeiro metro da camada d'água. Os sensores localizados nas boias também medem a salinidade e outras propriedades aos 10, 100 e 200 metros, mas esses dados não foram utilizados.

3.1.2 *Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)*

Os dados produzidos pelo satélite SMOS são disponibilizados em formato netcdf a partir da realização de um requerimento via *e-mail*, no qual se informa o nome, a instituição/universidade, o motivo e os dados de interesse do requerente.

A composição de dados a cada dez dias e com resolução de 0.25 graus, de SSM do SMOS, foi obtida através do *Ocean Salinity Center (CECOS)* do CNES-IFREMER *Centre Aval e Traitement des Données SMOS (CATDS)*, localizado no instituto IFREMER, Plouzane, França. Os dados correspondem ao período de 1 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2014 e foi utilizado a versão 5.L3 com a composição de dados ascendentes e descendentes.

3.1.3 Missão Aquarius

A partir da plataforma virtual da agência americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), pelo centro de distribuição ativo de arquivos de Oceanografia Física (PO.DAAC) <https://podaac.jpl.nasa.gov/>, se tem acesso aos produtos da missão Aquarius. Os dados adquiridos correspondem a composições de sete em sete dias e possuem uma resolução de 1 grau, com início no dia 20 de agosto de 2011 e término no dia 19 de fevereiro de 2015. Foi utilizada a versão 3.L3 do produto, com a composição de dados ascendentes e descendentes e que são disponibilizados em formato hdf5.

Quadro 1 – Caracterizando SMOS e a missão Aquarius de acordo com os seus objetivos iniciais.

Satélite/missão	SMOS	Aquarius
OBJETIVOS CIENTÍFICOS	Observar SSM e umidade do solo	Observar SSM
MEDIÇÕES	Precisão de 0.1 PSU para dados de 10-30 dias e para área de oceano aberto de 200km x 200km	Mapas mensais e globais de SSM com resolução de 150km e precisão de 0.2 PSU
RESOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL	Análise global a cada 3 dias e com resolução aproximada de 45km	Análise global a cada 7 dias e com resolução aproximada de 150km

Fonte: B. Tranchant *et al.*

Os instrumentos de sensoriamento remoto possuem diferenças (Quadro 1) entre seus algoritmos e suas formas de aquisição de dados, como por exemplo, a resolução do SMOS que é maior que a resolução do Aquarius. Por esse motivo, em uma das etapas finais, os dados serão interpolados.

3.2 Análise inicial dos dados

O período total de dados analisados corresponde a 1 de janeiro de 2010 a 26 de maio de 2015, baseado no primeiro dado disponível do satélite SMOS até o último dado disponível da missão Aquarius, durante a realização desse trabalho.

Após a aquisição dos dados em seus diferentes formatos, eles foram tratados para que ficassem compatíveis com a plataforma MATLAB. Inicialmente foram determinados os pontos dos dados de SSM de sensoriamento remoto que correspondessem à localização mais próxima dos pontos de dados *in situ* do Pirata (Tabela 1).

Tabela 1 – Coordenadas das boias PIRATA e distâncias correspondentes aos pontos SMOS e Aquarius.

Boia	Latitude	Longitude	Distância ponto SMOS	Distância ponto Aquarius
1	15N	38W	2,56 km	68,11 km
2	12N	38W	1,84 km	53,9 km
3	8N	38W	12,93 km	57,9 km
4	4N	38W	5,72 km	65,5 km
5	0N	35W	3,36 km	68,77 km
6	8S	30W	7,11 km	40,8 km
7	14S	32W	13,34 km	13,33 km
8	19S	34W	10,24 km	43,25 km

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.1 SMOS e Aquarius x PIRATA

Uma das metodologias adotadas pela comunidade científica, quando se visa estudar as propriedades físicas dos oceanos, envolve a análise de séries temporais, as quais consistem em um conjunto de observações de uma variável, feitas em um período sucessivo de tempo, durante um determinado intervalo.

Partindo desse princípio e seguindo os objetivos do presente trabalho, foram elaboradas séries temporais de SSM a partir dos dados *in situ* e dos dados de sensoriamento remoto, através do programa MATLAB. Assim, nessa etapa foram criadas oito imagens (Fig 2 – 9). Em seguida, foram realizadas análises estatísticas para determinar os valores das

médias, os valores mínimos, máximos e o desvio padrão da variância de salinidade nas séries temporais visando à comparação entre os dados. As séries temporais foram extraídas antes da interpolação temporal e espacial.

3.2.2 Interpolação SMOS x Aquarius

Para possibilitar a comparação temporal entre os produtos do satélite SMOS com os da missão Aquarius, primeiramente, excluiu-se do período analisado os anos que possuíam apenas alguns meses de dados, utilizando apenas os anos onde havia a total disposição de dados, sendo assim o novo período de dados analisados compreende de 1 de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2014. A seguir os dados do Aquarius (dados semanais) foram interpolados linearmente para a resolução temporal do SMOS, 10 dias.

Para a produção dos mapas e comparação espacial dos dados foi realizada ainda interpolação dos dados de SSM do SMOS de sua resolução original de 0.25 graus para a resolução dos dados do Aquarius (1 grau), através do método linear tornando-os compatíveis.

Foram produzidas oito figuras (Fig 10 – 17) uma para cada ponto, onde foi plotada a diferença entre os valores de SSM ao longo dos meses, para uma média dos quatro anos analisados. Por último, foram elaborados três mapas da área de estudo, onde o primeiro mostra a média anual da SSM do satélite SMOS, o segundo mostra a média anual da SSM da missão Aquarius e a diferença entre os dois produtos é ilustrada no terceiro mapa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Séries temporais de Salinidade da Superfície do Mar

As séries temporais de SSM (Fig 2 – 9) foram elaboradas a partir dos dados de dois instrumentos de sensoriamento remoto, SMOS e Aquarius, juntamente com os dados *in situ* das boias PIRATA. Foram produzidas séries para cada ponto analisado e para o período de 1 de janeiro de 2010 a 26 de maio de 2015. Nas figuras, a curva azul corresponde aos dados da boia PIRATA, a vermelha corresponde aos dados SMOS e a verde corresponde aos dados da missão Aquarius.

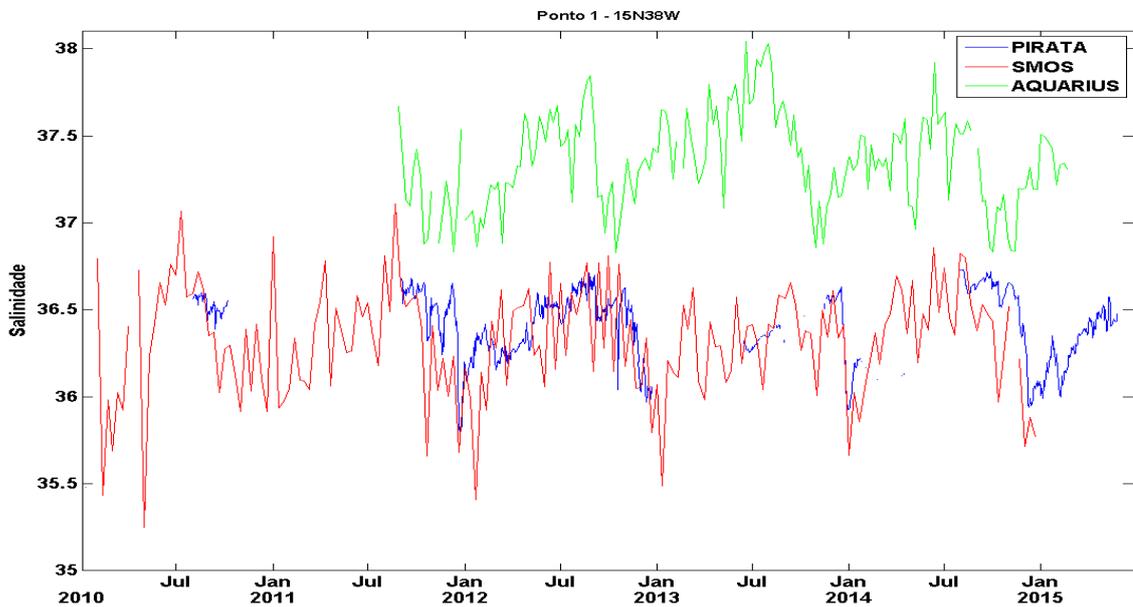
Essa análise mostrou que os dados de SSM *in situ* e os dados de SSM do satélite SMOS possuem uma boa compatibilidade ao longo do tempo. Principalmente na região ao norte do equador e no equador, como se observa nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 (Fig. 2 – 6). As maiores diferenças entre os valores de SSM *in situ* e do satélite SMOS, foram observadas nos pontos 6, 7 e 8 (Fig. 7 – 9), localizados ao sul do equador.

Em contrapartida, os dados da missão Aquarius diferem consideravelmente tanto dos dados do satélite SMOS quanto dos dados *in situ* das boias PIRATA. Tal diferença é visualizada principalmente nos pontos ao norte do equador (pontos 1, 2, 3 e 4) (Fig. 2 – 5), onde os valores de SSM do Aquarius são até 1.5 psu maiores que os valores dos demais instrumentos. Nos pontos 3 e 4, além da diferença dos valores, é possível observar que os dados de SSM do Aquarius não apresentam variabilidade sazonal de salinidade como observado nos dados *in situ*.

O ponto 5 (Fig. 6), localizado sobre o equador, é o ponto onde há o melhor ajuste entre os dados de SSM dos três instrumentos. Ao passar o equador seguindo em direção ao sul, o padrão de diferença entre os dados de SSM Aquarius e os demais instrumentos muda. Os valores de SSM do Aquarius passam a ser menores que os valores do satélite SMOS e boias PIRATA, fato visível nos pontos 6 e 7 (Fig. 7 e 8). Nos pontos 7 e 8 (Fig. 8 e 9) os dados de SSM das boias PIRATA possuem média maior do que os dados do Aquarius e do SMOS.

Em todas as figuras nota-se, facilmente, grandes lacunas e até mesmo anos inteiros sem dados *in situ*. Tal ausência de dados não é descrita nos documentos do programa. No entanto, é de conhecimento comum que os sensores fixados as boias estão expostos a processos que promovem danificações, falhas, entre outras avarias, corroborando para perda de dados, havendo a possível necessidade de manutenções.

Figura 2 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 2 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 1 (p1).

Sensor p1	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	36.32	35.25	37.11	0.32
Aquarius	37.35	36.82	38.04	0.26
PIRATA	36.41	35.88	36.73	0.19

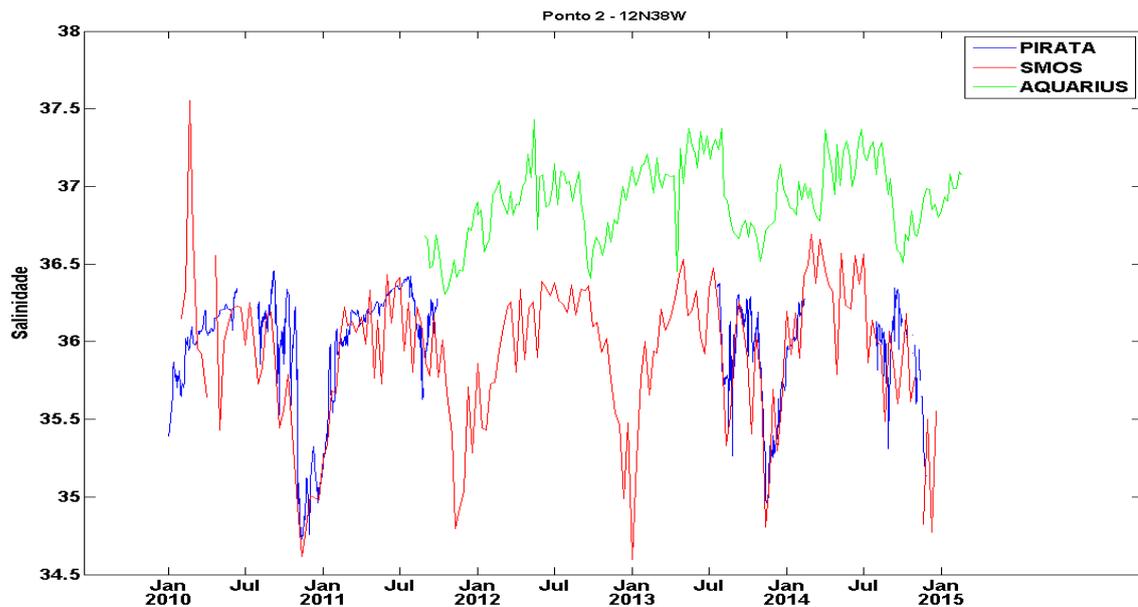
Fonte: Elaborada pela autora.

O primeiro ponto determinado para a extração de série temporal, localizado mais ao norte (15N38W) apresentou uma considerável diferença entre os dados de sensoriamento remoto (Tabela 2). A maior média de SSM para esse ponto é a do Aquarius (37.35), enquanto a média de SSM para o SMOS (36.32) assemelha-se da média da boia PIRATA (36.41). O desvio padrão dos dados *in situ* é menor que os demais (dp 0.19), seguido do Aquarius (dp 0.26) e SMOS (dp 0.32). A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 68,11 km, enquanto o ponto SMOS estava mais próximo, a 2,56 km.

No ponto 1 (Fig. 2), no ano de 2010, os dados SMOS e PIRATA apresentam os menores valores de salinidade de todo o período de análise, enquanto no ano de 2014 são

encontradas as maiores salinidades, a diferença entre estes anos é de aproximadamente 0.5. Observa-se que para este ponto, o padrão sazonal apresenta menores salinidades no início do ano e maiores no meio, com defasagem nos dados do Aquarius.

Figura 3 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 2.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 3 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 2 (p2).

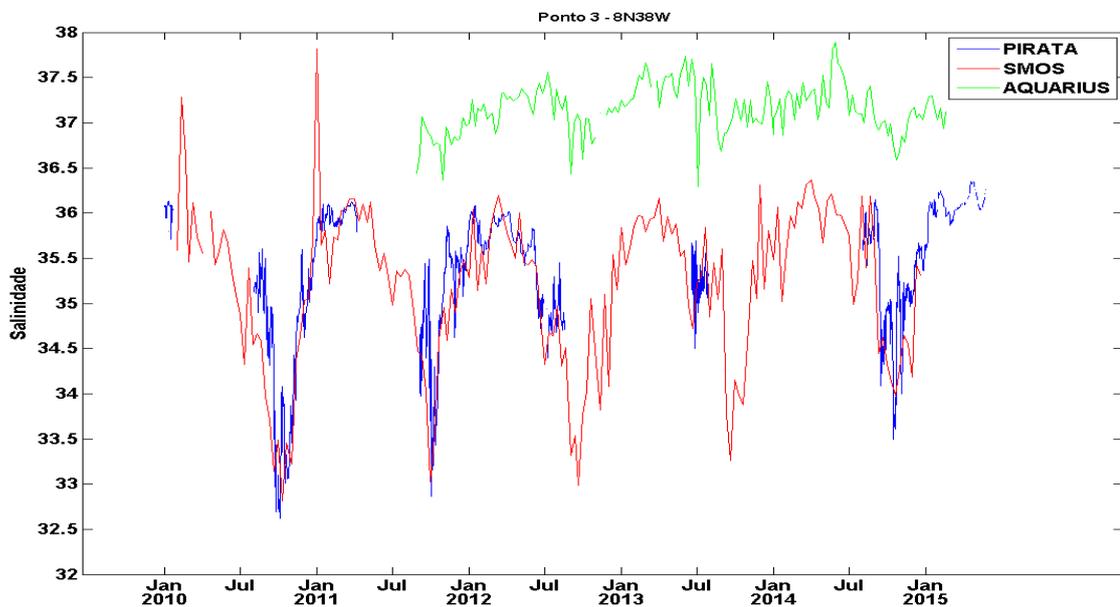
Sensor p2	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	35.92	34.6	37.55	0.47
Aquarius	36.91	36.3	37.43	0.24
PIRATA	35.95	34.83	36.46	0.36

Fonte: Elaborada pela autora.

No segundo ponto (Fig. 3) o Aquarius também apresentou dados de SSM com maior média (36.91), em contraste com a grande similaridade apresentada entre as médias do SMOS (35.92) e boia PIRATA (35.95) (Tabela 3). Os dados de salinidade do Aquarius também diferem dos demais possuindo um menor desvio padrão (dp 0.24). A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 53,9 km, enquanto o ponto SMOS estava localizado a apenas 1,84 km.

No ponto 2, assim como no ponto 1, no ano de 2010 o satélite SMOS apresenta um alto valor de salinidade, com máxima de 37.5, que provavelmente é um dado espúrio não retirado no processamento dos dados do satélite. Em todos os anos observa-se mudanças sazonais, principalmente a partir dos dados SMOS e PIRATA, onde ocorre uma queda no valor de salinidade, com mínimas de 34.6 e 34.8, principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro dos anos 2011, 2012 e 2013, e início dos anos 2013 e 2015. As máximas de salinidade, de aproximadamente 36.5, ocorrem durante maio a julho. Os dados Aquarius apresentam amplitude de variação sazonal subestimados em quase 50%.

Figura 4 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 3.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 4 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 3 (p3).

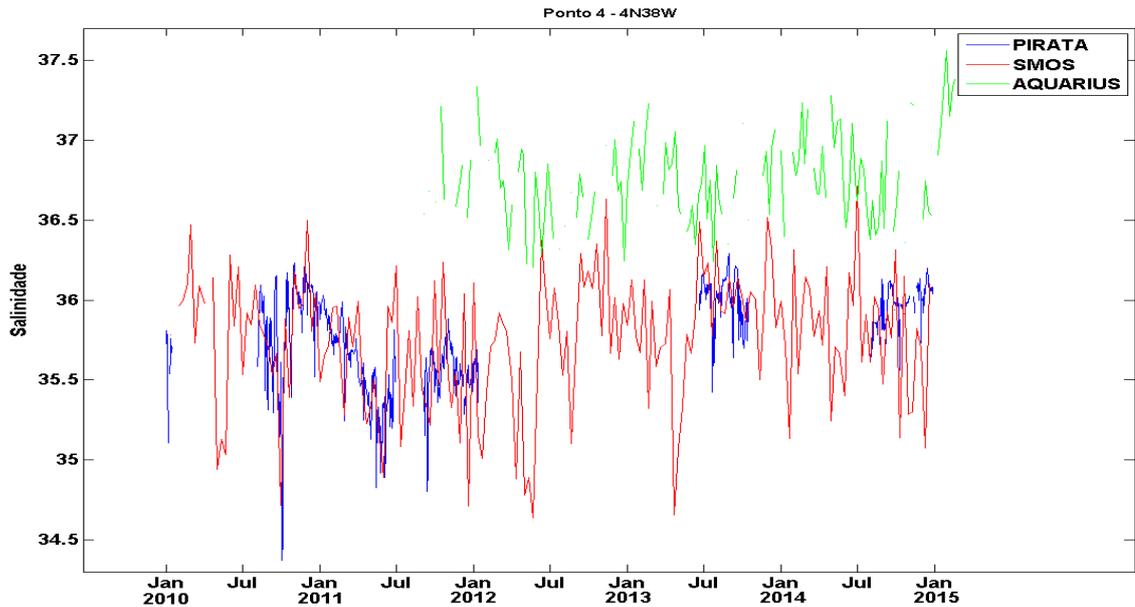
Sensor p3	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	35.21	32.81	37.81	0.85
Aquarius	37.15	36.3	37.89	0.27
PIRATA	35.41	33.14	36.35	0.67

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar o ponto 3 (Fig. 4), observa-se que o mesmo padrão dos pontos anteriores se repete (Tabela 4). Médias de SSM do SMOS (35.21) e boia PIRATA (35.41) similares e menores que a média do Aquarius (37.15). Neste ponto, o desvio padrão dos dados Aquarius é subestimado (dp 0.27). A distância entre essa boia e o ponto Aquarius determinado para a extração de dados foi de 57,9 km, enquanto a distância do ponto SMOS foi 12,93 km.

O ponto 3 apresenta mudanças sazonais similares aos pontos anteriores, no entanto o período onde os valores de SSM são menores ocorre no meio do segundo semestre, padrão que se repete entre os dados *in situ* e SMOS, com valores mínimos de aproximadamente 33. As máximas se aproximam de 36 ao longo do primeiro semestre dos anos. No entanto, no início dos anos de 2010 e 2011, SMOS apresentou máximas de aproximadamente 37.5, novamente dados espúrios não detectados pelo algoritmo de processamento do SMOS. O padrão sazonal dos dados novamente não é capturado pelo Aquarius.

Figura 5 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 4.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 4 (p4).

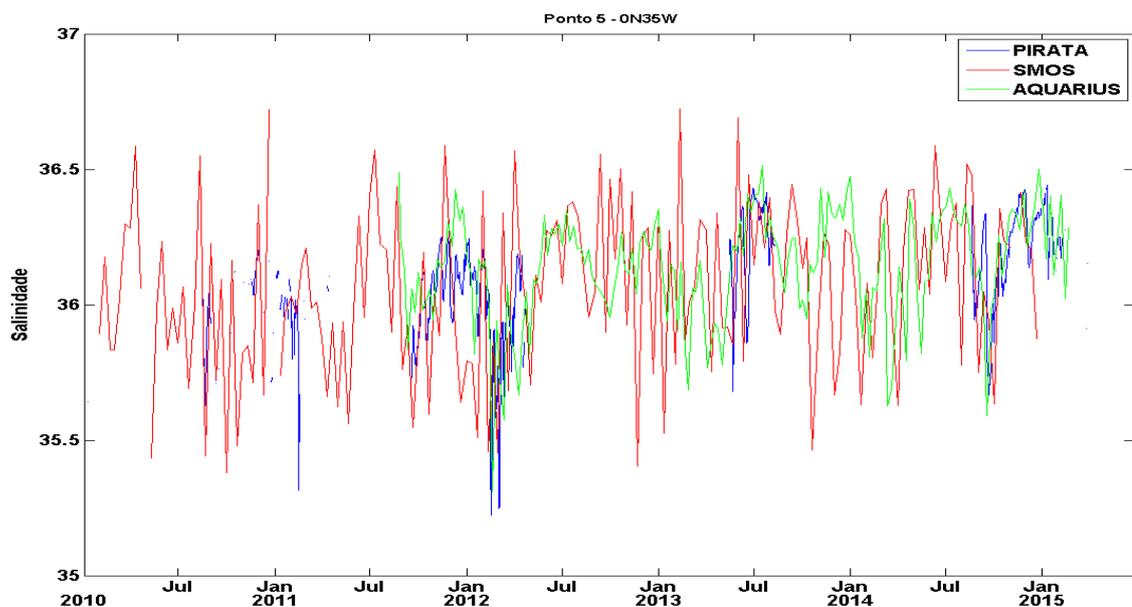
Sensor p4	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	35.75	34.64	36.71	0.41
Aquarius	36.75	36.2	37.56	0.28
PIRATA	35.78	34.92	36.29	0.27

Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 4 (Fig. 5), o último localizado ao norte do equador, também apresentou uma diferença notável entre os dados dos satélites, onde a maior média de SSM para esse ponto é novamente a do Aquarius (36.75), enquanto a média de SSM para o SMOS (35.74) aproxima-se da média da boia PIRATA (35.78) (Tabela 5). Neste ponto, o desvio padrão do SMOS (0.41) é muito maior que o dos dados *in situ*. A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 65,5 km, enquanto o ponto SMOS estava mais próximo, a 5,72 km.

No ponto 4, o padrão de mudanças sazonais é menos nítido que os pontos anteriores, no entanto é possível perceber uma pequena variação interanual nos dados do satélite SMOS.

Figura 6 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 5.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 5 (p5).

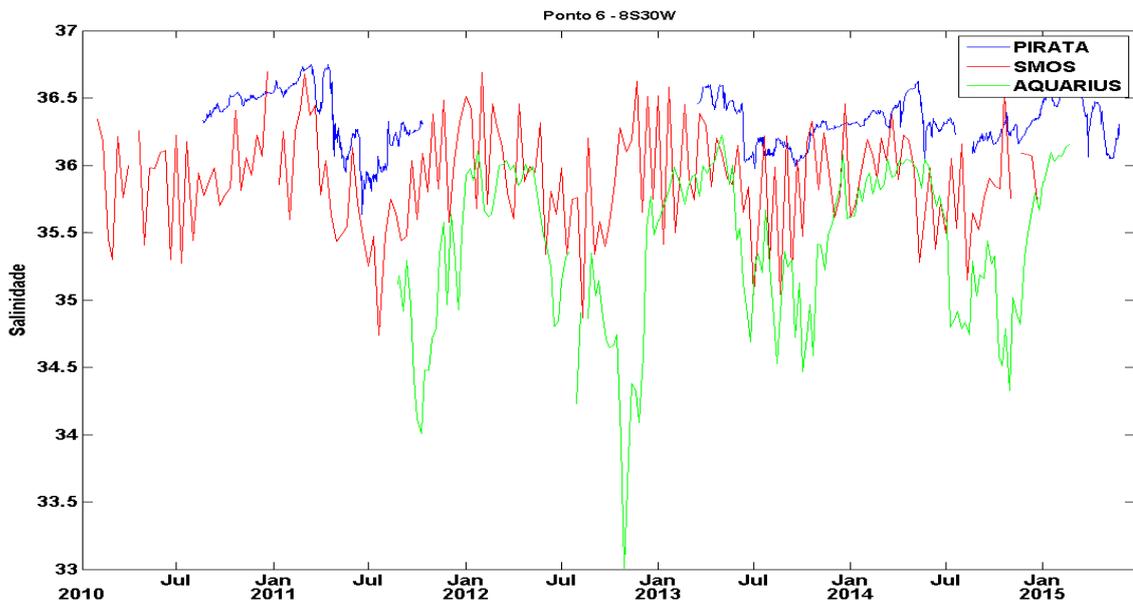
Sensor p5	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	36.06	35.38	36.72	0.3
Aquarius	36.14	35.31	36.51	0.2
PIRATA	36.09	35.47	36.44	0.19

Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 5, localizado no equador (Fig. 6), apresentou a melhor correspondência entre os dados de SSM, com a média dos dados de salinidade da boia PIRATA (36.09), dos dados do satélite SMOS (36.06) e dos dados Aquarius (36.14) estando muito próximas (Tabela 6). Além da similaridade dos valores de salinidade, os desvios padrão também se aproximaram SMOS (dp 0.3), Aquarius (dp 0.2) e PIRATA (dp 0.19). A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 68,77 km, a maior entre todos os pontos, enquanto o ponto SMOS estava mais próximo, a 3,36 km.

Ao longo da série temporal foram observadas pequenas mudanças sazonais e uma leve mudança interanual, principalmente no ano de 2014.

Figura 7 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 6.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 7 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 6 (p6).

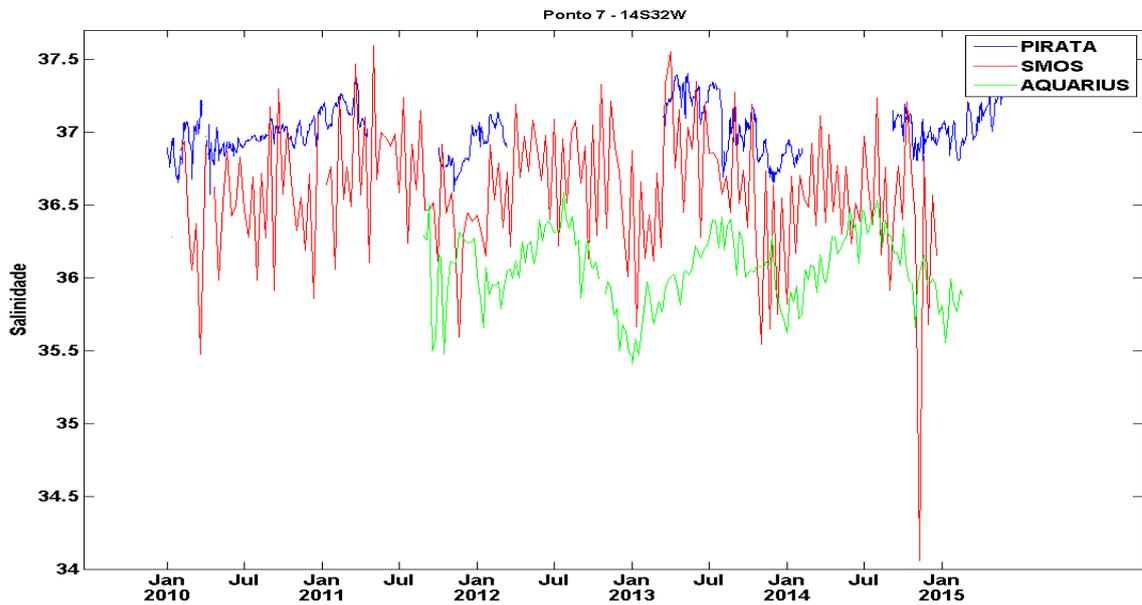
Sensor p6	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	36.89	34.74	36.39	0.38
Aquarius	35.4	33	36.22	0.58
PIRATA	36.33	35.77	36.75	0.19

Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 6 (Fig. 7) é o primeiro ponto localizado ao sul do equador e nesse ponto o Aquarius começou a apresentar dados de SSM com a menor média (35.4), voltando a divergir dos demais dados porém agora subestimando os valores observados, (Tabela 7). O desvio padrão dos dados Aquarius é cerca de três vezes maior (dp 0.58) que os dados PIRATA (dp 0.19). A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 40,8 km, enquanto o ponto SMOS estava localizado a 13,34 km.

No ponto 6, os dados produzidos pelo satélite SMOS apresentam um padrão de mudanças sazonais, onde durante o segundo semestre ocorre uma queda no valor de salinidade, com mínimo aproximado de 34.7. Os valores de SSM *in situ* possuem uma variabilidade sazonal menor do que o mostrado nos dados dos satélites. Novamente, o padrão sazonal do Aquarius se diferencia bastante dos demais, porém agora o satélite superestima a amplitude do ciclo sazonal de SSM. Em todos os dados é nítida uma variabilidade interanual com as mínimas e máximas de SSM aumentando a partir de 2011.

Figura 8 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 7.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 8 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 7 (p7).

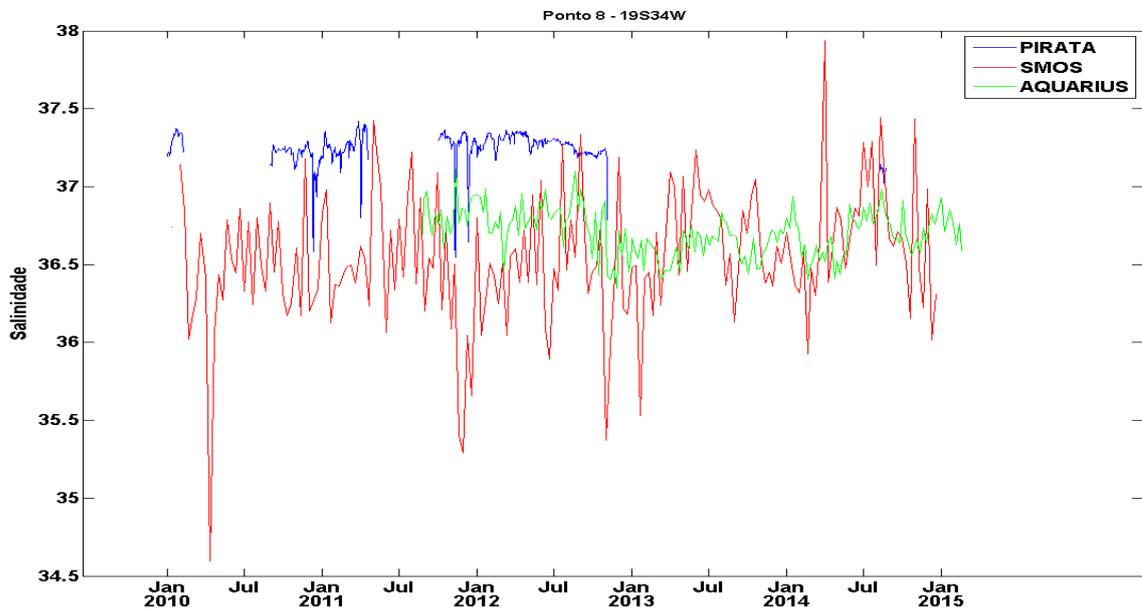
Sensor p7	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	36.59	34.05	37.59	0.46
Aquarius	36.05	35.41	36.59	0.25
PIRATA	37	36.57	37.4	0.16

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar o ponto 7 (Fig. 8), observa-se que tanto o SMOS como o Aquarius apresentam médias menores que os dados *in situ*. Este é o primeiro ponto em que o SMOS subestima os valores de SSM (Tabela 8). O valor de desvio padrão do SMOS (dp 0.46) é cerca de três vezes maior que do PIRATA (dp 0.16). A distância entre essa boia e o ponto Aquarius determinado para a extração de dados foi a menor entre os pontos, 13,33 km e a distância do ponto SMOS foi 13,34 km.

No ponto 7, os dados do Aquarius e do SMOS superestimam a variabilidade sazonal dos dados *in situ*.

Figura 9 – Série temporal da salinidade da superfície do mar entre os anos de 2010 e 2015 no ponto 8.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 9 – Análise estatística da SSM dos satélites SMOS, Aquarius e boias PIRATA, para o ponto 8 (p8).

Sensor p8	Valor médio de SSM	Valor mínimo de SSM	Valor máximo de SSM	Desvio Padrão
SMOS	36.54	34.6	37.93	0.42
Aquarius	36.71	36.35	37.11	0.15
PIRATA	37.26	37	37.42	0.07

Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 8, localizado mais ao sul (Fig. 9), apresentou valores de média de SSM aproximados, entre os dados de sensoriamento remoto (Tabela 9), porém menores que os valores do PIRATA. O desvio padrão dos dados *in situ* é o menor entre todos os pontos (dp 0.07) e muito menor do que os sensores Aquarius (dp 0.15) e SMOS (dp 0.42). Este baixo desvio padrão é resultado da baixa variabilidade temporal dos dados PIRATA. A distância entre o ponto Aquarius determinado para a extração de dados em relação a essa boia foi de 43,25 km, enquanto o ponto SMOS estava a 10,24 km.

Analisando as oito séries temporais (Fig.2 – 9), é possível observar que existem diferenças entre os dados de SSM dos três instrumentos e, que essas ocorrem tanto entre os satélites SMOS e o Aquarius, quanto entre cada satélite e os dados das boias PIRATA. No entanto, essas divergências não são fixas no espaço nem no tempo.

Os pontos ao norte do equador seguem o padrão de corroboração entre os dados *in situ* e SMOS, com dados do Aquarius superestimando os valores observados. Nesses pontos, constata-se mudanças sazonais maiores resultado da migração sazonal da ZCIT. Também é possível observar pequenas mudanças interanuais, principalmente no ponto 4 (Fig 5)

O ponto localizado no equador (Fig 6) difere dos demais por apresentar a maior compatibilidade entre os os valores de SSM. Ebuuchi e Abi (2013), ao comparar as diferenças entre os dados do satélite Aquarius e de boias ARGO com a velocidade do vento, mostrou que as menores diferenças são encontradas em zonas com ventos fracos. Como a região equatorial apresenta ventos de baixa intensidade, esta seria uma possível explicação para a melhor correspondência entre os dados. Como esperado, o ponto equatorial apresentou pequenas mudanças sazonais, pois é uma região de transição da ZCIT na sua variação anual.

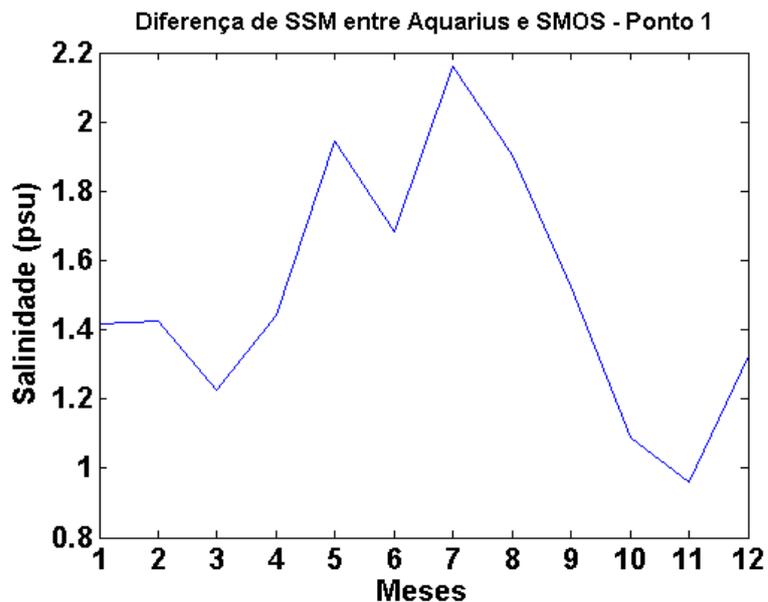
Ao sul do equador, as médias pontuais de salinidade começam a aumentar. Os valores máximos de salinidade ultrapassam o 37, principalmente nos pontos 7 e 8 (Fig 8 e 9). Os dados de SSM produzidos pelo Aquarius passam a subestimar os dados *in situ*. Em geral, a diferença entre os dados dos satélites e os dados *in situ* foi menor no hemisfério norte.

Apesar desse trabalho não ter como objetivo discutir a origem das variações de salinidade da região, o trabalho de Câmara (2015), que contrapôs a influência da atmosfera e dos processos advectivos no oceano sob as médias anuais de salinidade, pode ser usado para explicar essa variabilidade. O autor dividiu o oceano Atlântico Tropical em três regiões principais: área sob a forte influência da precipitação, área sob a forte influência da evaporação e área sob a influência de processos advectivos. Para a seção escolhida como área de estudo para esse trabalho, seguindo a caracterização de Câmara (2015), os pontos 1, 2, 3, 4 e 5, estão localizados na área onde a salinidade é influenciada principalmente pelos eventos de precipitação (5°S:15°N/50°W:20°W). O ponto 6 está localizado na região que sofre grande influência da evaporação, mas associado ao transporte de Ekman, que tem como função fornecer água oriunda da ZCIT para esse local (7°S:12°S/50°W:20°W), como uma forma de compensar a evaporação. Por último, os pontos 7 e 8 encontram-se na região onde a salinidade é regida basicamente pela intensa evaporação.

4.2 Aquarius x SMOS: diferenças mensais para o período de 2012 a 2014

Após a interpolação dos dados para que compartilhassem o mesmo *grid* e tempo, os dados de SSM do satélite SMOS foram subtraídos dos dados da missão Aquarius. Foram plotadas médias mensais para o período de 1 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2014, para cada ponto de análise. Nas figuras elaboradas a linha representa a diferença da Salinidade Aquarius – Salinidade SMOS. As figuras foram criadas para analisar como a diferença entre os dois satélites varia no tempo.

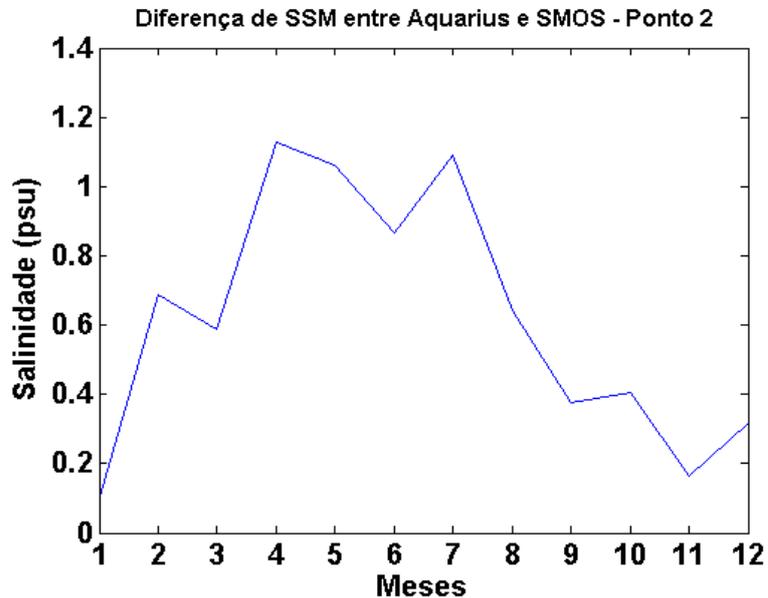
Figura 10 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da variabilidade sazonal, entre os dados dos dois satélites, mostrou que a diferença entre os valores de salinidade para o ponto 1 (Fig. 10) são maiores nos meses de maio, junho, julho e agosto, chegando ao ápice de 2,2 psu e são menores nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, com mínima próxima a 1 psu.

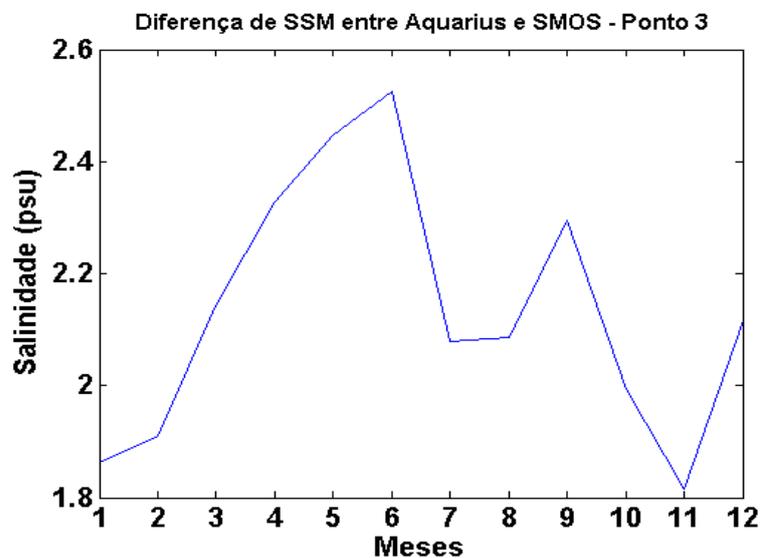
Figura 11 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 2.



Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 2 (Fig. 11) apresenta uma diferença máxima de 1,2 psu durante os meses de abril a julho, já os meses de novembro, dezembro e janeiro apresentam as mínimas aproximadas de 0,2 psu.

Figura 12 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 3.

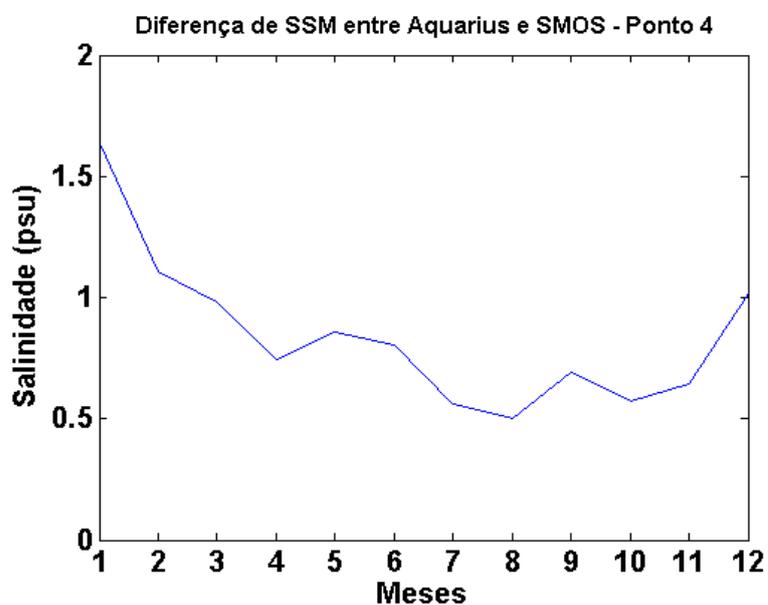


Fonte: Elaborada pela autora.

No ponto 3 (Fig. 12), a mínima se aproxima do 1,8 psu no mês de novembro e durante a maior parte dos meses a diferença apresentada é alta, chegando a máxima de 2,5 psu.

Embora distintas em intensidade, as diferenças nos três pontos (Fig. 10 – 12) apresentam um padrão sazonal e são maiores quando a SSM é maior. Também se observa que os valores do Aquarius são sempre maiores que os valores do SMOS.

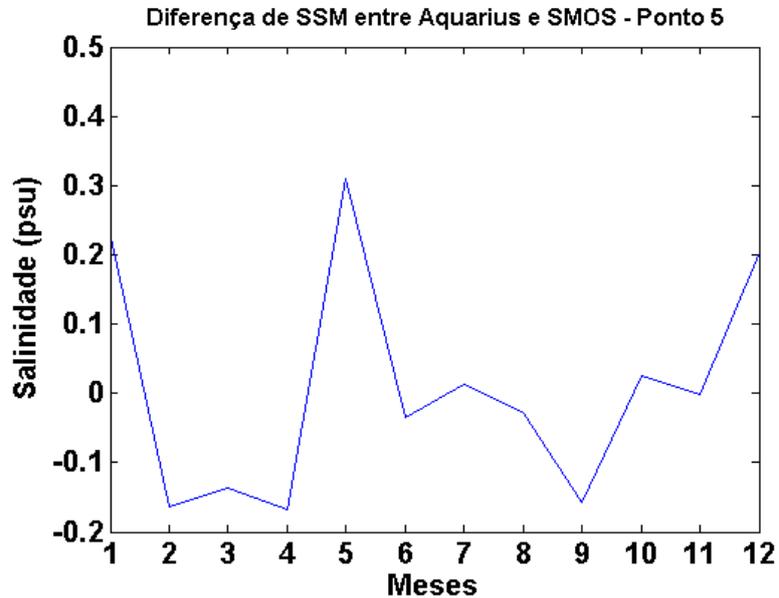
Figura 13 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 4.



Fonte: Elaborada pela autora.

À medida que o ponto analisado se aproxima do equador, a diferença entre os dados torna-se menor. No ponto 4 (Fig. 13), a diferença mínima se aproxima de 0,6 psu em agosto, com os meses de dezembro e janeiro apresentando uma máxima de aproximadamente 1,6 psu.

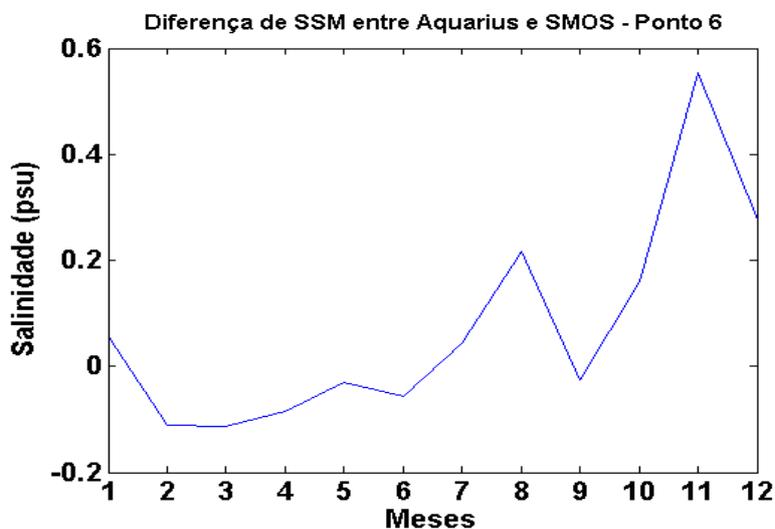
Figura 14 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 5.



Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 5 (Fig. 14), localizado no equador, possui diferença máxima de 0.3. Diferente dos demais pontos, agora o satélite Aquarius possui valores de salinidade aproximadamente 0.2 mais baixos do que o SMOS.

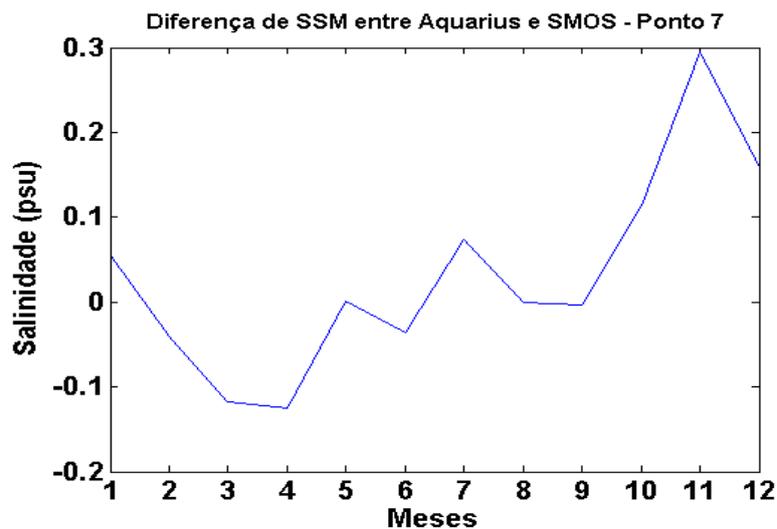
Figura 15 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 6.



Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 6 (Fig. 15) demonstra uma diferença que varia entre valores negativos de 0.2 e valores positivos de 0.6, significando que não existe um padrão de super ou subestimação entre os dados.

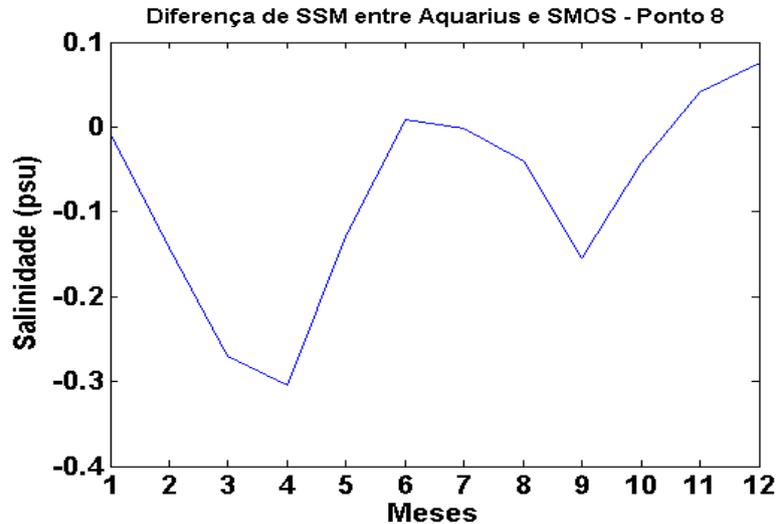
Figura 16 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 7.



Fonte: Elaborada pela autora.

O ponto 7 (Fig. 16) apresenta uma diferença entre as médias de salinidade superficial que varia entre o mínimo de -0,1 psu ao máximo de 0,3 psu em novembro. Novamente não há um padrão entre os dados e a variação das diferenças, assim como nos pontos 4, 5 e 6, não segue a variação da salinidade que ocorre nos pontos 1, 2 e 3.

Figura 17 – Diferença mensal resultante, para os anos de 2012 a 2014, entre os dados de salinidade da superfície do mar dos satélites Aquarius e SMOS, no ponto 8.



Fonte: Elaborada pela autora.

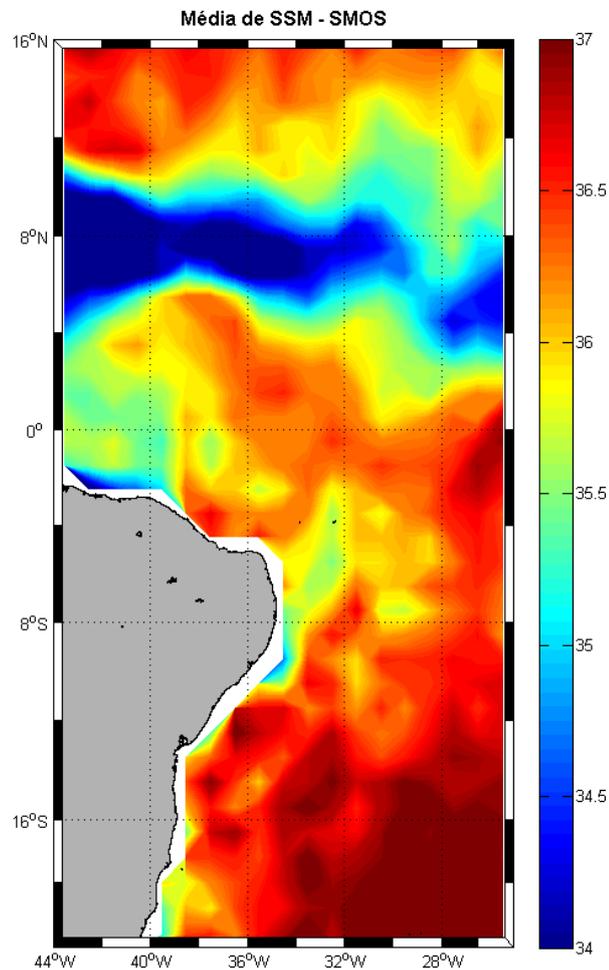
No ponto 8 (Fig. 17), a diferença de salinidade apresenta valores negativos na maior parte do tempo, mostrando que nesses locais o valor da salinidade do satélite SMOS foi maior do que os valores de salinidade do Aquarius.

A análise das diferenças médias entre os valores de SSM dos satélites mostrou que não existe um padrão espacial ou temporal de diferenças, o que inviabiliza a correção dos dados do satélite Aquarius (que mais diverge dos dados *in situ*) através dos dados do SMOS.

4.3 Mapas com as médias de Salinidade da Superfície do Mar

A partir dos dados interpolados no tempo e espaço, foram elaborados mapas da área de estudo para ilustrar a média da SSM de todo o período de estudo para cada satélite. Também foi produzido um terceiro mapa, com a diferença entre os satélites.

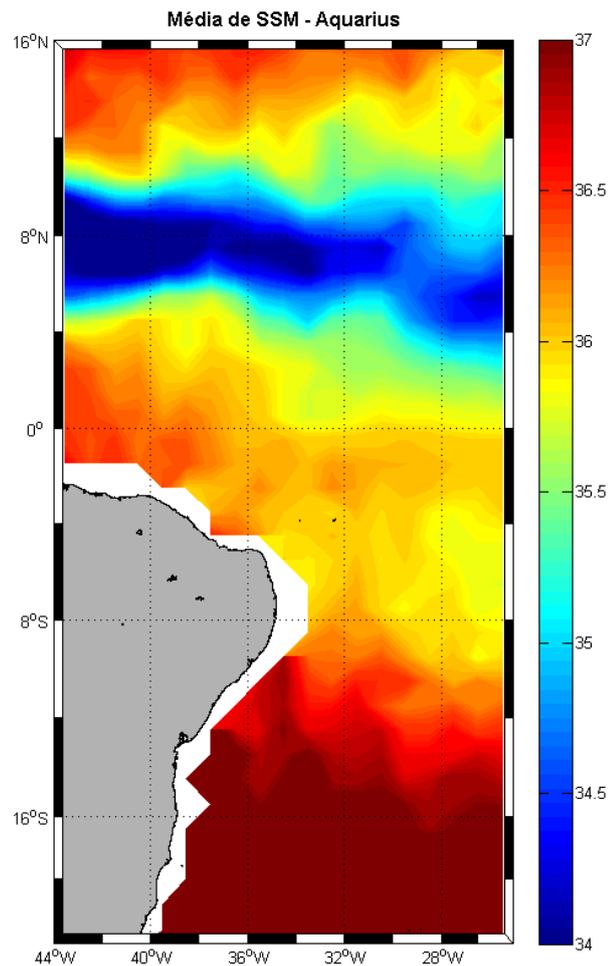
Figura 18 – Mapa com a média de Salinidade Superficial pelo satélite SMOS para os anos de 2012 a 2014.



Fonte: Elaborado pela autora.

No primeiro mapa (Fig. 18) observa-se a média anual da distribuição espacial da SSM a partir dos dados do satélite SMOS. Com ele, foi possível observar que há um cinturão de salinidade mais baixa ao longo da latitude 8° N, possivelmente devido à presença média da ZCIT. Essa região também está sob a influência da retroflexão da Corrente Norte do Brasil. Próximo ao setor norte do continente também se observa valores mais baixos de salinidade, devido à baía de São Marcos. No litoral leste do nordeste brasileiro também se observa sinais da foz da pluma rio São Francisco. Observou-se também que a salinidade aumenta à medida que se distância do equador em direção ao sul, como efeito da alta do Atlântico Sul.

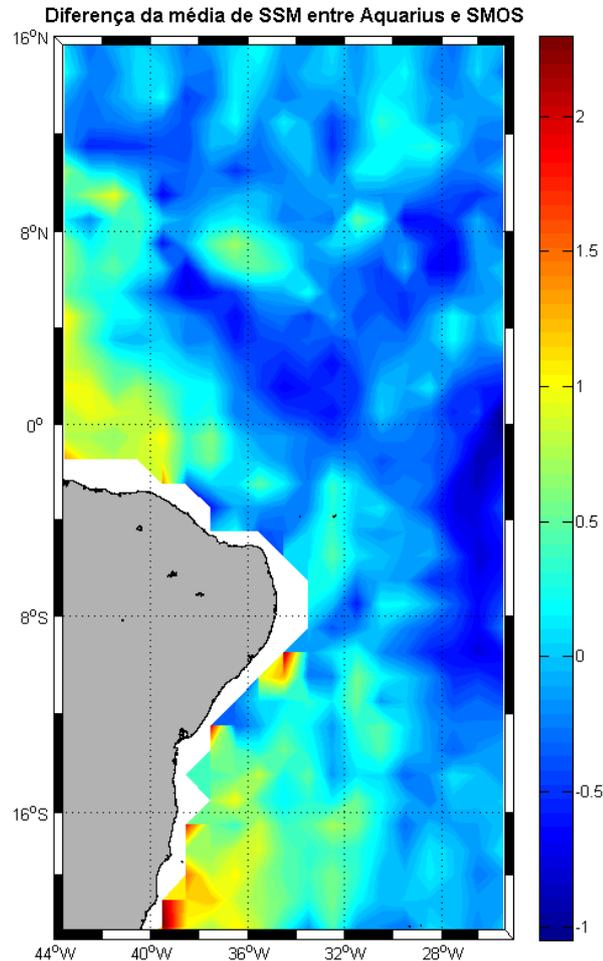
Figura 19 – Mapa com a média de Salinidade Superficial pelo sensor Aquarius para os anos de 2012 a 2014.



Fonte: Elaborado pela autora.

O segundo mapa (Fig. 19) mostra a média anual da distribuição espacial da SSM a partir dos dados do sensor Aquarius. Qualitativamente os mapas dos dois sensores são muito parecidos, porém nos dados do Aquarius não foi observado sinais da influência da baía de São Marcos e do rio São Francisco.

Figura 20 – Mapa com a diferença média de Salinidade Superficial (psu) entre o sensor Aquarius e o satélite SMOS para os anos de 2012 a 2014.



Fonte: Elaborado pela autora.

O terceiro mapa ilustra a distribuição espacial das diferenças entre as salinidades produzidas pelo sensor Aquarius e o satélite SMOS, para o período de 1 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2014, ambos estão no *grid* de 1°. Os valores positivos significam que o valor de SSM do Aquarius é maior, enquanto as diferenças com valores negativos indicam que o valor de salinidade fornecida pelo SMOS é maior.

A análise do mapa mostrou que ao longo de toda área de estudo os valores do SMOS são maiores que os do Aquarius, com diferença média de 0,5 psu, mas que pode ser maior que 1 psu. Como ressaltado anteriormente não existe um padrão espacial na diferença entre os sensores.

Ebuchi e Abe (2013), ao compararem os dados de SSM do SMOS, Aquarius com dados *in situ* das boias ARGO, encontraram diferenças de até 0,8 psu entre Aquarius e SMOS, com diferenças médias para todo o período de 0,3 psu. Nos resultados obtidos nesse trabalho, a diferença média anual foi em geral maior (0.5 psu) com valores pontuais chegando a 2.5 psu. A diferença entre os resultados, provavelmente, deve-se à versão dos dados usados nas análises, a qual é mais atual no presente trabalho.

De acordo com Pablo *et al.* (2014), ao comparar os dados do SMOS e Aquarius, existe uma maior correlação entre os dados na região do equador por esta possuir um ângulo de maior incidência solar. Tal resultado não é notado na diferença média da SSM entre os produtos (Fig. 20). Vinagrova *et al.* (2014), sugerem que as origens das diferenças entre os dados de SSM do SMOS e Aquarius podem ser derivados de ruídos em pequena escala, *temporal alising* e das próprias limitações dos instrumentos.

5 CONCLUSÃO

A SSM no Atlântico Tropical apresenta mudanças sazonais bem demarcadas, principalmente no Atlântico Norte, devido à presença da ZCIT. Contudo, tal variabilidade sazonal não é capturada corretamente pelo sensor Aquarius, ao contrário do satélite SMOS. Os valores de salinidade diminuem ao se aproximarem do equador e aumentam em direção a latitudes maiores. A latitude 8°N apresenta as menores médias de SSM, enquanto o Atlântico Sul apresenta as maiores. Mesmo com um período de tempo relativamente curto para análises sobre a variabilidade interanual, foi possível observar, nas séries temporais produzidas nesse trabalho, que o padrão anual de SSM não sofre grandes alterações interanuais.

As comparar os dados de sensoriamento remoto e *in situ* das boias PIRATA nota-se que existem diferenças tanto entre os satélites quanto entre esses e as boias. No entanto, há maior ajuste entre os dados PIRATA e os do satélite SMOS para o Atlântico Norte. No Atlântico Sul, os dados de SSM *in situ* apresentam uma maior divergência em relação aos dados de sensoriamento remoto.

Após a interpolação dos dados dos satélites, a análise das diferenças médias ao longo dos meses para o período de dados e a produção do mapa que ilustra a distribuição espacial das diferenças entre as SSM produzidas por sensoriamento remoto, constata-se que os valores da SSM do SMOS possuem uma diferença média de 0,5 psu em relação aos do Aquarius. No entanto, ressalta-se que essas diferenças não seguem um padrão espacial ou temporal, o que inviabiliza a correção dos dados do satélite Aquarius através dos dados do SMOS, que apresenta maior proximidade dos dados *in situ* das boias PIRATA. Dessa forma, esse trabalho conclui que o SMOS é o melhor satélite para estudos no oceano Atlântico Tropical.

A comparação dos dados de SSM dos satélites com os dados *in situ* das boias PIRATA realizada nesse trabalho é importante por permitir uma validação dos dados analisados, salientando a complementaridade entre métodos de aquisição de dados, onde os sensores remotos são uma importante tecnologia para maiores análises espaço-temporais. Tal estudo foi realizado pela primeira vez para a região do Atlântico Tropical e com a utilização dos dados do programa PIRATA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINGHAM, FM; LUKAS, R. Seasonal cycles of temperature, salinity and dissolved oxygen observed in the Hawaii Ocean Time-series. **Deep-Sea Research Part II-Topical Studies In Oceanography**, v. 43, ed. 2-3, pg.199-213. Oxford, 1996.
- CECÍLIO, C. M.; GHERARDI, D. F. M.; SOUZA, R. B. Estimativa de salinidade da superfície do mar por satélites: um novo desafio. **COLACMAR, Anais**. Balneário Camburiú, 2011.
- COLLING, A.; WRIGHT, J. Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour. Oxford, UK: **Elsevier; The Open University**, v.2, 1989, 2007.
- CORBELLA, I.; TORRES, F.; DUFFO, N. et al. Miras calibration and performance: results from the SMOS In-Orbit Commissioning Phase. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2011.
- CRAVATTE, S.; DELCROIX, T.; ZHANG, D.; MCPHADEN, M.; LELOUP, J. Observed freshening and warming of the western Pacific warm pool. **Climate Dynamics**, v. 33, e. 4, p. 565-589, 2009.
- DINNAT, E. P.; BOUTIN, J. Microwave radiometry at L-band: toward a global monitoring of Sea Surface Salinity, in Radiative transfer models for microwave radiometry Revision of COST-712 Project 1 Final Report, 2000), **C. Mätzler, Institution of Electrical Engineers, StevenAge, UK**, p.19, 2005.
- DINNAT, E. P.; BOUTIN, J.; YIN, X. B.; LE VINE. D. M. IEEE. Inter-Comparison of SMOS and Aquarius Sea Surface Salinity: Effects of the Dielectric Constant and Vicarious Calibration. **13Th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MICRORAD)** p. 55-60, 2014.
- DOMINGOS, F. U. N. Dinâmica da Contra-corrente Norte Equatorial na Região Oeste do Oceano Atlântico Tropical (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, 2005.
- EBUCHI, N.; ABE, H.; IEEE. Evaluation of Sea Surface Salinity Observed by Aquarius and SMOS. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, p. 656-659, 2013.
- FERREIRA, A G; MELLO, N G S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre A Região Nordeste Do Brasil E A Influência Dos Oceano S Pacífico E Atlântico No Clima Da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p.15-28, dez. 2005.
- GORDON, A. L.; GIULIVI, C. F. Sea Surface Salinity trends over 50 years within the Subtropical North Atlantic. **Oceanography**, v. 21, p. 20-29, 2008.
- HENOCQ, C.; BOUTIN, J.; REVERDIN, G., PETITCOLIN, F., ARNAULT, S. e LATTES, P. Vertical Variability of Near-Surface Salinity in the Tropics: Consequences for L-Band Radiometer Calibration and Validation. **J. Atmos. Oceanic Technol.**, v. 27, p.192–209. 2010.
- HATCH, CHRISTINE E.; FISHER, ANDREW T.; REVENAUGH, JUSTIN S.;

CONSTANTZ, JIM; RUEHL, CHRIS. Quantifying surface water-groundwater interactions using time series analysis of streambed thermal records: Method development. **Water Resources Research**, v. 42, ed. 10. Washington, 2006.

KEERY, JOHN; BINLEY, ANDREW; CROOK, NIGEL; SMITH, JONATHAN W. N. Temporal and spatial variability of groundwatersurface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series. **Journal Of Hydrology**, v. 336, ed. 1-2, pg. 1-16. Amsterdam, 2007 DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.12.003

KUGIUMTZIS, DIMITRIS; TSIMPIRIS, ALKIVIADIS; Measures of Analysis of Time Series (MATS): A MATLAB Toolkit for Computation of Multiple Measures on Time Series Data Bases. **Journal Of Statistical Software**, v. 33, ed. 5, pg.: 1-30. Los Angeles, 2010.

LAGERLOEF, G.; BOUTIN, J.; CHAO, Y.; DELCROIX, T.; FONT, J.; NIILER, P.; REUL, N.; RISER, S.; SCHMITT, R.; STAMMER, D.; WENTZ, F. Resolving the global surface salinity field and variations by blending satellite and in situ observations. **OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society**, v. 2, Venice, 2009.

LE VINE, D.; KOBLINSKY, C.; PELLERANO, F.; LAGERLOEF, G.; CHAO, Y.; YUEH, S.; WILSON, W.; IEEE. **The Measurement of Salinity from Space: Sensor Concept. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS**, v. 3, p. 1010-1012, 2001.

ROBINSON, I. S. Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography. **Praxis Publishing**, e. 1, p. 669, Chichester, 2004.

SERVAIN, J.; BUSALACCHI, A. J.; MCPHADEN, M.; MOURA, A. D.; REVERDIN, G.; VIANNA, M.; ZEBIAK, S. E. A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, e. 10, p. 2019-2030, 1998.

TRANCHANT, B.; TESTUT, C-E., RENAULT, L.; FERRY, N.; BIROL, F.; BRASSEUR, P.; Expected impact of the future SMOS and Aquarius Ocean surface salinity missions in the Mercator Ocean operational systems: New perspectives to monitor ocean circulation. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 1476-1487, 2008.

PABLOS, M. PILES, M.; GONZALEZ-GAMBAU, V.; VALL-LLOSSERA, M.; CAMPS, A.; MARTINEZ, J. SMOS and Aquarius Radiometers: Inter-Comparison Over Selected Targets. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, **IEEE Journal**, v.7, i.9.

VINOGRADOVA, N. T.; PONTE, R. M. Small Scale Variability in Sea Surface Salinity and Implications for Satellite-Derived Measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 30, n. 11, p. 2689-2694, 2013.

VINOGRADOVA, N. T., R. M. PONTE, I. FUKUMORI, AND O. Wang (2014), Estimating satellite salinity errors for assimilation of Aquarius and SMOS data into climate models, **J. Geophys. Res. Oceans**, v. 119, p. 4732–4744, doi:10.1002/2014JC009906.