



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO BARREIRA DE OLIVEIRA

INTER-COMPARAÇÃO DOS VALORES DE CLOROFILA-*a* DO SENSOR MODIS-Aqua, VIIRS E DADOS *IN SITU* NO SETOR EXTERNO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ

PONTAL DO PARANÁ

2017

Oliveira, Eduardo Barreira de
O4821 Inter-comparação dos valores de clorofila-a do sensor MODIS-Aqua, VIIR e dados *in situ* no setor externo do complexo estuarino de Paranaguá. / Eduardo Barreira de Oliveira. – Pontal do Paraná, 2017.
37 f.: il., 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg.

Monografia (Graduação) – Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Sensoriamento remoto. 2. Fitoplâncton marinho - clorofila. I. Título. II. Noernberg, Maurício Almeida. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 621.3678

EDUARDO BARREIRA DE OLIVEIRA

INTER-COMPARAÇÃO DOS VALORES DE CLOROFILA-*a* DO SENSOR MODIS-
Aqua, VIIRS E DADOS *IN SITU* NO SETOR EXTERNO DO COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel, Curso de
Oceanografia, Centro de Estudos do Mar,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg

PONTAL DO PARANÁ

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

Eduardo Barreira de Oliveira

“INTER-COMPARAÇÃO DOS PRODUTOS DE CLOROFILA A DO SENSOR MODIS-AQUA, VIIRS E DADOS IN SITU NO SETOR EXTERNO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Morgana Vaz da Silva - CEM/UFPR



Prof. Dr. Alexandre Bernadino Lopes - CEM/UFPR



Prof. Dr. Mauricio Almeida Noemberg
Presidente

Pontal do Paraná, 06/12/2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família por ter me dado o suporte necessário para a conclusão desse curso. Ao meu pai, Hélio Valdecy de Oliveira, e minha mãe, Dina Mara Barreira, por terem me ensinado todos os valores éticos e morais que conheço.

A minha mãe por toda a dedicação que tem comigo. Por ter me ensinado como o lado sentimental é necessário numa pessoa e ter me ensinado a sempre estar disposto a ajudar o próximo.

Ao meu pai por ser um exemplo de vitória nessa vida.

Ao meu irmão, Rafael Barreira de Oliveira, por sempre ter sido meu irmão mais velho, sempre me aconselhando e ajudando. Por ter me mostrado que independentemente do tamanho da queda, se reerguer sempre é possível com a ajuda da família.

À sociedade em geral por todo o investimento feito em meus estudos.

À Universidade Federal do Paraná por todos os subsídios que pude utilizar durante os meus anos de faculdade e toda a experiência que adquiri dentro da mesma.

Ao meu orientador, Maurício Almeida Noernberg por toda a orientação e paciência durante esse período.

Ao Leonardo Sandrini Neto por todo o apoio com os dados estatísticos do meu trabalho e paciência com as dúvidas que surgiram pelo caminho.

A todos os professores e funcionários do Centro de Estudos do Mar.

Aos meus amigos, sejam de infância ou faculdade, por toda a amizade, companheirismo e parceria, nos momentos ruins e também nos momentos bons, como este.

Um agradecimento em especial para a minha namorada Maria Eduarda Dugonski por todo o apoio, suporte e paciência que teve comigo nessa reta final de entrega da monografia.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

O mar não é um obstáculo: é um caminho.

Amyr Klink

RESUMO

A caracterização espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e produtividade primária tem sido um tópico de grande interesse da oceanografia, já que a principal base trófica nos oceanos depende da fotossíntese realizada pelo fitoplâncton marinho. Ao estudar os oceanos são encontradas dificuldades na obtenção de dados contínuos, tridimensionais e em escala espaço-temporal distintas. O sensoriamento remoto tem se apresentado como uma alternativa relevante para suprir a necessidade de dados contínuos da concentração de clorofila-a (chl-a) no oceano. Contudo, a substituição frequente de sensores orbitais pode representar variações nos valores estimados. Nesse sentido, o presente estudo visou averiguar a compatibilidade dos valores de chl-a obtidos pelo sensor MODIS-Aqua e VIIRS, e compará-los com os dados adquiridos *in situ* no setor externo do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Dados de chl-a *in situ* foram obtidos entre dezembro de 2013 e novembro de 2014 através do sensor turbidímetro e fluorímetro instalado em uma boia meteo-oceanográfica. Para a inter-comparação dos valores de chl-a entre o sensor MODIS-Aqua e VIIRS foram utilizadas quarenta e três imagens nível 2 de processamento. Na inter-comparação entre os dados dos sensores e *in situ*, o critério para aquisição das imagens foi a qualidade e proximidade entre o dia e horário, com base nos valores adquiridos *in situ*. Sendo assim, na inter-comparação entre o sensor MODIS-Aqua e dados *in situ* foram utilizadas dezenove imagens entre janeiro de 2013 e dezembro de 2015 e na inter-comparação entre o sensor VIIRS e os dados *in situ* foram utilizadas trinta e seis imagens entre janeiro e novembro de 2014. A inter-comparação dos dados de chl-a entre os sensores apresentou uma correlação positiva forte. A inter-comparação dos dados de chl-a dos sensores com os dados *in situ* não apresentaram correlação. Portanto, é possível inferir que há compatibilidade entre os dados de chl-a do sensor MODIS-Aqua com os dados de chl-a do sensor VIIRS.

Palavras-chave: pigmentos fotossintéticos, fotossíntese, biomassa fitoplanctônica, produtividade primária, NASA, caracterização temporal, sensores.

Abstract

The spatio-temporal characterization of phytoplankton biomass and primary productivity has been a topic of great interest in oceanography, since the main trophic base in the oceans depends on the photosynthesis performed by marine phytoplankton. When studying the oceans, difficulties have been found in obtaining continuous, three-dimensional and space-time data. Remote sensing has been presented as a relevant alternative to meet the need for continuous data on chlorophyll-*a* (chl-*a*) concentration in the ocean. However, frequent replacement of orbital sensors may represent variations in the estimated values. In this sense, the present study aimed to investigate the compatibility of the chl-*a* values obtained by the MODIS-Aqua and VIIRS sensors, and to compare them with the data acquired *in situ* in the external sector of the Paranaguá Estuary Complex (CEP). *In situ* chl-*a* data were obtained between December 2013 and November 2014 through the turbidimeter and fluorimeter sensor installed in a meteo-oceanographic float. For the inter-comparison of the chl-*a* values between the MODIS-Aqua and VIIRS sensors, forty-three level 2 images were used. In the inter-comparison between sensor and *in situ* data, the criterion for image acquisition was quality and proximity between the day and time, based on the values acquired *in situ*. Thus, in the inter-comparison between the MODIS-Aqua sensor and *in situ* data, nineteen images were used between January 2013 and December 2015 and in the inter-comparison between the VIIRS sensor and the *in situ* data, thirty-six images were used between January and November 2014. The inter-comparison of chl-*a* data among the sensors showed a strong positive correlation. The inter-comparison of the chl-*a* data obtained by the sensors with the *in situ* data showed no correlation. Therefore, it is possible to infer that there is compatibility between the chl-*a* data of the MODIS-Aqua sensor with the VIIRS sensor data.

Keywords: Photosynthetic pigments, photosynthesis, phytoplankton biomass, primary productivity, NASA, temporal characterization, sensors.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
1.1 ABORDAGEM GERAL	8
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 ÁREA DE ESTUDO	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1 DADOS <i>IN SITU</i>	19
4.2 DADOS DOS SENSORES	21
4.3 MODELO DE ANÁLISE DOS DADOS	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 COMPARAÇÃO DOS DADOS <i>IN SITU</i>	24
5.2 DADOS OBTIDOS PELOS SENSORES MODIS-Aqua E VIIRS E SUA INTER-COMPARAÇÃO	27
5.3 INTER-COMPARAÇÃO DOS VALORES DE CLOROFILA- <i>a</i> DOS SENSORES COM DADOS <i>IN SITU</i>	29
6 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 ABORDAGEM GERAL

O fitoplâncton é considerado um dos principais produtores primários nos oceanos, além de constituírem a base da cadeia trófica. Através do processo de fotossíntese, estes organismos convertem materiais inorgânicos em novos compostos orgânicos (LALLI; PARSONS, 1997). A conversão de energia radiante em energia química depende dos pigmentos fotossintéticos, normalmente encontrados nos cloroplastos das algas. Sendo a clorofila-*a* (*chl-a*) o único pigmento que consegue realizar essa conversão efetivamente (GRAHAM, 2000). No entanto, outros pigmentos (clorofila-*b*, -*c* e -*d*, carotenos, xantofilas e ficobilinas) também podem estar presentes em muitas espécies fitoplanctônicas. A absorção da luz nos comprimentos de onda é variável de acordo com o espectro de absorção de cada pigmento, sendo estes na faixa de 400-700nm. A absorção máxima de *chl-a* ocorre no intervalo do vermelho (650-700nm) e do azul-violeta (450nm) (LALLI; PARSONS, 1997).

Segundo Kennish¹ (1990 citado por MENEZES, 1999) uma das principais vertentes atuais de pesquisa é a estimativa da produtividade primária marinha, sendo dominada pelo fitoplâncton, que colabora com aproximadamente 95% da produtividade total. A biomassa fitoplanctônica corresponde ao número total de indivíduos por unidade de volume de água, estando também relacionado com a quantidade de *chl-a* presente na água. Este método é utilizado devido a presença de *chl-a* em todas as espécies do fitoplâncton. A capacidade produtiva da comunidade fitoplanctônica pode ser mensurada através de sua abundância relativa (LALLI; PARSONS, 1997).

Medições constantes, com espalhamento amplo e com grande alcance espacial são necessárias para quantificar e caracterizar a variabilidade espaço-temporal da produtividade primária. Isto é inviável de ser realizado usando métodos tradicionais de coleta *in situ*. Sendo assim, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta alternativa para preencher essa lacuna. Porém, só poderá ser utilizado se as mensurações radiométricas forem passíveis de interpretações quantitativas em termos de produtividade primária (BERTHELOT; DESCHAMPS, 1994).

¹Kennish, M.J. **Practical handbook of marine science**. Florida: CRC Press, 1990. 710 p.

Segundo Souza (2003), são inúmeras as possíveis aplicações do uso de sensoriamento remoto na Oceanografia. Porém, é interessante levar em conta as particularidades dos processos marinhos que estão sendo pesquisados, assim como as propriedades dos sensores e satélites utilizados. Sendo assim, o sensoriamento remoto atualmente é um instrumento de grande utilidade na oceanografia.

Diversas são as vantagens no uso do sensoriamento remoto, tais como: (1) custo baixo para obtenção dos dados, (2) exatidão das informações extraídas, (3) aquisição de dados constantes, (4) fácil aquisição de dados para regiões limitadas e (5) a agilidade na geração dos dados (SILVEIRA, 2013). No entanto, também há desvantagens, como a existência de nuvens, que limita a obtenção de dados no espectro visível e infravermelho. Além disso, as medições adquiridas pelos satélites necessitam de uma confirmação para serem comparados aos parâmetros oceanográficos, como a temperatura da superfície do mar, a concentração de fitoplâncton, entre outros (SOUZA, 2003).

Uma das principais aplicações do uso de sensores remotos está ligada ao conceito de cor do oceano (Ocean Color – OC). OC é descrito como a assinatura espectral da água na banda do visível (0.4 – 0.7 μ m), sendo dependente das propriedades ópticas da água. Desses componentes presentes na água, em uma perspectiva ambiental, o mais importante é o fitoplâncton marinho, porque é o indicador de águas com muitos nutrientes, ocasionando a eutrofização (SOUZA, 2003). A maior parte das aplicações de estudos da OC desenrolaram sobre a disposição e abundância de clorofila do fitoplâncton, sendo realizadas principalmente através de mudanças da OC da banda azul para a verde, conforme ocorre o aumento da concentração de clorofila (DARECKI; STRAMSKI, 2004).

O *Ocean Biology Processing Group* (OBPG) produz e distribui um conjunto padrão de produtos da OC para todos os sensores compatíveis ao nível 2 e 3 de processamento, além de produtos da temperatura da superfície do mar (TSM) do sensor MODIS. O OBPG produz também um conjunto de dados de avaliação dos produtos de nível 3 de processamento (FELDMAN – Algorithm Descriptions, [2013]).

O produto de chl-a combina dois algoritmos. Mescla o algoritmo da banda OC3/OC4 (OCx) e o índice de cores (CI), descrito por Hu et al. (2012). Ele retorna à concentração superficial de chl-a (em mg/m³), calculada utilizando uma relação empírica proveniente de medições *in situ* de chl-a e a reflectância de sensoriamento remoto na região azul do espectro visível, até a região do verde. A implementação é

condicionada sobre a disponibilidade de três ou mais bandas de sensores que medem entre 440 – 570nm (Tabela 1). Este algoritmo é aplicável para todos os sensores de cor do mar (FELDMAN – Clorofila-a, [2013]).

Tabela 1: ALGORITMO PADRÃO DE chl-a

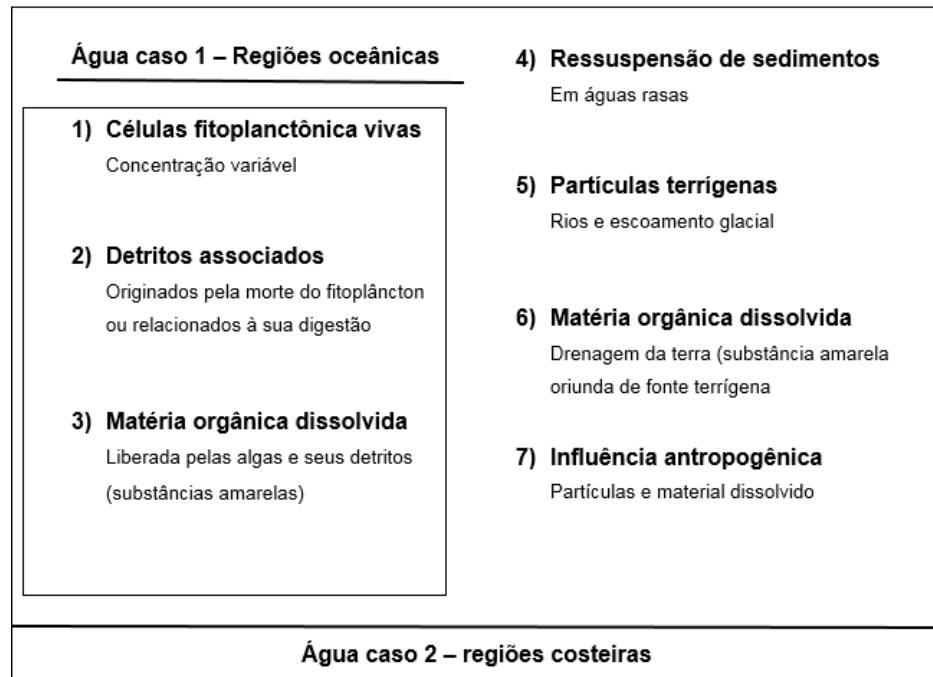
Algoritmo	Sensor	Operacional	Banda Azul	Banda Verde	A0	A1	A2	A3	A4
OC4	SeaWiFS	Sim	443 > 490 >510	555	0.3272	-2.994	2.722	-1.226	-0.568
OC4E	MERIS	Sim	443 > 490 >510	560	0.3255	-2.767	2.440	-1.129	-0.499
OC4O	OCTS	Sim	443 > 490 >516	565	0.3325	-2.828	3.094	-2.091	-0.026
OC3S	SeaWiFS	Não	443 > 490	555	0.251	-2.380	1.582	-0.637	-0.569
OC3M	MODIS	Sim	443 > 488	547	0.242	-2.742	1.801	0.001	-1.228
OC3V	VIIRS	Sim	443 > 486	550	0.222	-2.468	1.586	-0.427	-0.777
OC3E	MERIS	Não	443 > 490	560	0.252	-2.214	1.519	-0.77	-0.429
OC3O	OCTS	Não	443 > 490	565	0.239	-2.082	1.612	-1.084	-0.208
OC3O	CZCS	Sim	443 > 520	550	0.333	-4.377	7.626	-7.145	1.667
OC2S	SeaWiFS	Não	490	555	0.251	-2.085	1.503	-3.174	0.338
OC2E	MERIS	Não	490	560	0.238	-1.936	1.762	-3.077	-0.105
OC2O	OCTS	Não	490	565	0.223	-1.828	1.909	-2.948	-0.172
OC2M	MODIS	Não	488	547	0.25	-2.475	1.406	-2.823	0.54
OC2M-HI	MODIS (500 - m)	Sim	469	555	0.146	-1.795	0.971	-0.831	-0.807
OC2	OLI / Landsat 8	-	482	561	0.197	-1.811	1.974	-2.563	-0.722
OC3	OLI / Landsat 8	-	443 > 482	561	0.241	-2.054	1.177	-0.553	-0.457

Fonte: Adaptada de Feldman – Clorofila-a [2013].

Legenda: A0, A1, A2, A3 e A4 são valores específicos para cada sensor.

A água é uma mistura de várias propriedades que têm diferenças ópticas, relacionando-se com a luz de formas diferentes. Portanto, a OC é uma interessante maneira de estudar essas propriedades, e diante disso, a água é dividida em dois tipos: caso 1 e caso 2 (MOREL; PRIEUR, 1977). Na água do caso 1, o sinal óptico é induzido principalmente pelas células fitoplanctônicas vivas, pelos detritos associados (originados da digestão do fitoplâncton ou pela sua morte) e da matéria orgânica dissolvida, liberada pelo próprio fitoplâncton e seus detritos (substâncias amarelas). Normalmente ocorrem em regiões oceânicas, mas também podem ocorrer em regiões costeiras com poucos nutrientes. Nas águas de caso 2, o sinal óptico necessita ser composto por pelo menos um dos seguintes constituintes ópticos, além dos já presentes na água do caso 1: sedimentos ressuspensos em águas rasas, substâncias e matéria orgânica dissolvida amarela oriunda de fontes terrígenas ou material antropogênico. Geralmente ocorrem em zonas costeiras (Figura 1) (GORDON *et al.*, 1983).

Figura 1: TIPOS DE ÁGUAS



Fonte: Modificada de Gordon *et al.* (1983).

Legenda: Caso 1 são influenciadas pelos componentes (1, 2 e 3) – Sempre presentes. Caso 2 são influenciadas por todos os componentes presentes na água de caso 1 (1, 2 e 3) e pelo menos mais um dos demais constituintes (4, 5, 6 e 7).

Os algoritmos e correções atmosféricas utilizados para mensurar a OC são baseados em águas do caso 1, onde é possível realizar uma simplificação referente a complexidade óptica da água, facilitando assim a obtenção de uma estimativa da concentração de chl-*a*. Quando esses algoritmos são utilizados em águas de caso 2 podem ser imprecisos para a estimativa de chl-*a*, devido à complexidade óptica, exclusivamente por conta do espalhamento e absorção ocasionados pelas substâncias amarelas dissolvidas, na região do azul do espectro eletromagnético (GORDON *et al.*, 1983). Desta maneira, é necessário conhecer melhor as propriedades ópticas específicas da água na faixa do infravermelho próximo para conseguir aperfeiçoar os algoritmos e as técnicas de correções atmosféricas para a OC das águas caso 2 (KAMPEL, 2003).

O sistema de observação da terra (Earth Observing System – EOS) é um encadeamento de satélites em órbita polar realizando observações globais a longo prazo dos oceanos, atmosfera, biosfera e da superfície terrestre. Foi criado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e permite uma compreensão maior

da Terra (PLATNICK – EOS, [2017]). O primeiro sensor lançado foi o SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) em 1997 para disponibilizar dados quantitativos sobre as características bio-ópticas dos oceanos (PLATNICK - SeaWIFIS, [2017]; PLATNICK – Mission Profiler, [2017]). Desde esse momento até hoje, foram lançados diversos satélites com sensores acoplados, entre eles o MODIS, estando presente em duas plataformas, Terra e Aqua, ressaltando assim a importância que tem dentro dos instrumentos do EOS. O MODIS-Aqua realiza observações da superfície da terra, adquirindo dados em 36 bandas espectrais que se situam na faixa do visível, infravermelho (0.4 e 14.5 μ m), e distribui-se em diferentes grupos de resolução espacial. O tamanho do pixel varia de 250, 500 e 1000 metros para as distintas bandas (PARKINSON, 2014).

O Aqua foi lançado em 4 de maio de 2002 e dispõe de seis instrumentos a bordo para observar a Terra. Coleta uma diversidade de conjuntos de dados globais e foi desenvolvido para ter uma vida útil de seis anos, mas excedeu o seu tempo de vida útil. Ele continua expondo dados de alta qualidade em quatro dos seus seis instrumentos, AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*), AMSU (*Advanced Microwave Sounding Unit*), CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*) e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e dados de qualidade reduzida no seu quinto instrumento, AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*). O sexto instrumento, HSB (*Humidity Sounder for Brazil*) coletou aproximadamente nove meses de dados com alta qualidade e depois falhou, em fevereiro de 2003 (PARKINSON, 2014; PARKINSON, 2017).

Em 2011, a NASA lançou o satélite *NPOESS Project Preparatory* (NPP). Este satélite surgiu através de uma parceria entre a NASA, a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e a Força Aérea Americana (KECK, 2011).

Segundo Keck (2011), o NPP é um satélite que transporta cinco instrumentos para monitorar o ambiente e o clima da Terra. Observa a superfície terrestre duas vezes ao dia, sendo uma vez durante o dia e outra à noite. Em sua órbita polar, voa 512 milhas (aproximadamente 824km) acima da superfície. Os cinco instrumentos presentes no NPP são: *Ozone Mapping and Profiler Suite* (OMPS), *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES), *Advanced Technology Microwave Sounder* (ATMS), *Cross-track Infrared Sounder* (CrIS) e o *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS).

Tabela 2: CARACTERÍSTICAS DO SENSOR MODIS-AQUA E VIIRS

Sensor	MODIS AQUA	VIIRS
Instituições Responsáveis	NASA	NOAA / NASA
Satélite	AQUA – EOS – PM 1	Suomi NPP
Lançamento	04/05/2002	28/10/2011
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force	Vandenberg Air Force
Situação Atual	Ativo	Ativo
Órbita	Quase polar	Polar
Altitude	705km	830km
Horário de Passagem	1:30 P.M	1:30 P.M
Tempo de Vida Projetado	6 anos	7 anos
Instrumentos Sensores	AIRS, AMSU, CERES, MODIS, AMSR-E e HSB	OMPS, ATMS, CERES, CrIS e VIIRS

Fonte: Adaptada de Masuoka (2017) e Parkinson (2017).

O maior instrumento a bordo do NPP é o VIIRS. Ele coleta imagens radiométricas em comprimento de ondas visíveis e infravermelho da terra, atmosfera, gelo e oceano. Os dados são coletados em vinte e dois canais espectrais variando de 0.4 e 12 μ m (KECK, 2011). Entre estes canais, cinco são bandas considerados de alta resolução e dezesseis são projetos como bandas de resolução moderada. Uma dessas bandas de resolução moderada é a banda dia/noite, ou DNB (*Day Night Band*), que é uma banda pancromática sensível aos comprimentos de onda visíveis e infravermelho próximo. Com esta banda, o VIIRS é capaz de fazer observações noturnas com melhor resolução espaço-temporal, comparando-o com os satélites predecessores, como o MODIS-Aqua (MASUOKA, 2017).

1.2 JUSTIFICATIVA

Estudar as estimativas de chl-a nos oceanos apresenta dificuldades relacionadas a coleta *in situ*, pois é praticamente impossível conseguir dados contínuos, tridimensionais e em diferentes escala espaço-temporal através desse método de coleta e análise. Pensando nessa problemática, o sensoriamento remoto surge como uma alternativa para suprir essa necessidade (SOUZA, 2003). Nesse cenário, o sensor MODIS-Aqua foi utilizado durante vários anos com dados de qualidade alta, porém, por ter ultrapassado seu tempo de vida útil, um dos seus instrumentos não está mais coletando dados e outro instrumento vem apresentando dados com qualidade reduzida (PARKINSON, 2014; PARKINSON, 2017). Para dar continuidade na coleta de dados de sensoriamento remoto com qualidade alta, a NASA lançou recentemente o sensor VIIRS. Desta maneira, é de extrema importância validar se os valores de chl-a mensurados pelo sensor VIIRS são compatíveis aos

obtidos pelo sensor MODIS-Aqua. Porém, os algoritmos de chl-a e métodos de correção atmosférica podem apresentar falhas quando utilizados para estimar a concentração de chl-a em água do caso 2 (*GORDON et al.*, 1983). Sendo assim, esse estudo propõe avaliar se o algoritmo e a correção atmosférica utilizados neste trabalho são apropriados para a região costeira do Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Averiguar a compatibilidade dos valores de chl-a obtidas pelos sensores MODIS-Aqua e VIIRS, e compará-los com medidas *in situ*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização temporal da concentração de chl-a obtida por medições *in situ* no setor externo do CEP.
- Inter-comparação dos valores da concentração de chl-a estimada a partir dos sensores MODIS-Aqua e VIIRS.
- Inter-comparação dos valores da concentração de chl-a estimada a partir do sensor MODIS-Aqua com os dados *in situ*.
- Inter-comparação dos valores da concentração de chl-a estimada a partir do sensor VIIRS com os dados *in situ*.

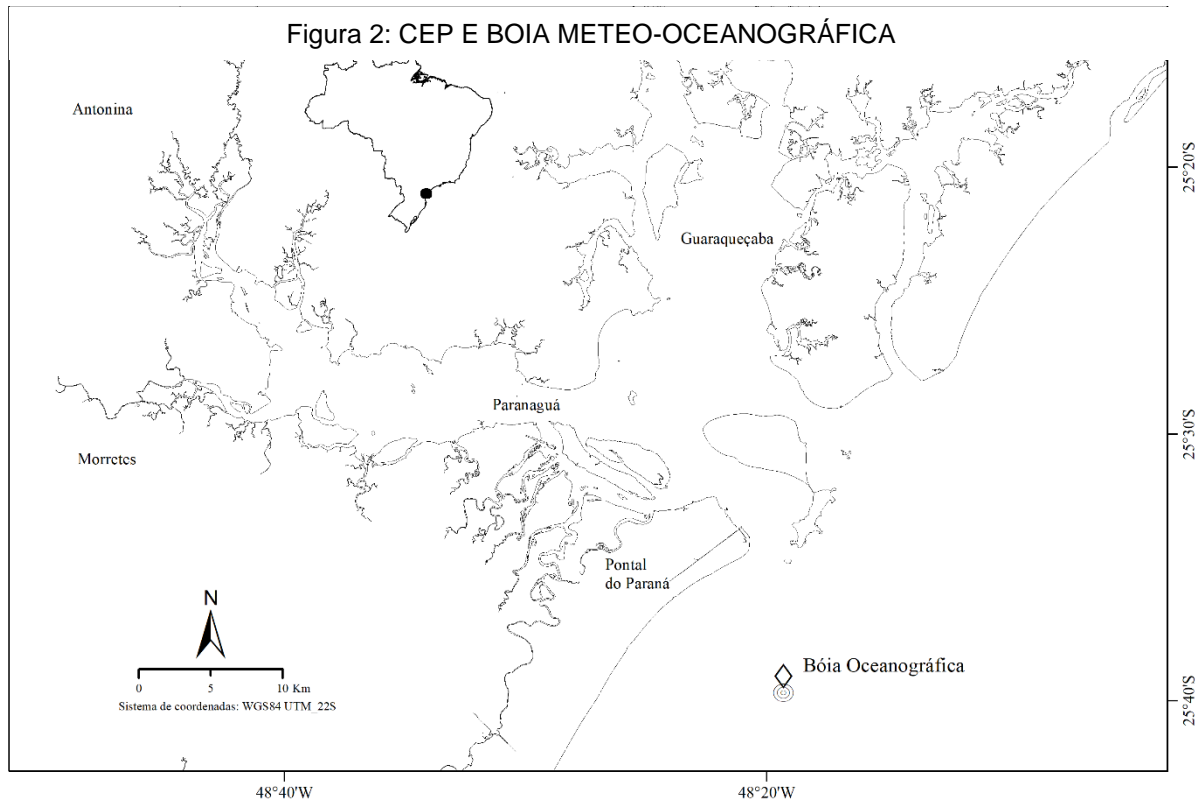
3 ÁREA DE ESTUDO

Segundo Vanhomi e Mendonça (2008) a planície costeira paranaense, que contempla as cidades de Antonina, Guaraqueçaba, Paranaguá, Morretes, Pontal do Paraná, Guaratuba e Matinhos, de acordo com a classificação de Koeppen, é categoria Cfa – Clima Subtropical Úmido (Mesotérmico) sem estação seca estabelecida, verão quente e menor frequência de geada. Nos meses mais quentes, a temperatura média superior a 22°C e nos meses mais gélidos, a temperatura média abaixo de 18°C. Martin² (1992 citado por ANGELOTTI, 2008) afirma que há duas estações bem definidas na região: de abril até setembro, com uma temperatura média de 18.8°C, com pouca precipitação, uma média mensal igual a 111,4 mm, e de novembro até março com temperatura média de 24.5°C e com muita precipitação, com precipitação média mensal superior a 220 mm.

O Litoral do Paraná, embora seja pequeno em comparação a outros estados brasileiros, é importante porque tem dois estuários bem desenvolvidos. A baía de Guaratuba e a baía de Paranaguá (NOERNBERG *et al.*, 2006). A baía de Paranaguá faz parte de um grande complexo estuarino subtropical agregado, que inclui o complexo estuarino Iguape-Cananeia na costa sul do estado de São Paulo. A baía de Paranaguá é melhor definida como um Complexo Estuarino, sendo assim denominada como Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). O CEP (Figura 2) tem aproximadamente 612km² e tem duas principais massas d'água, as baías de Paranaguá e Antonina, com aproximadamente 260km² e as baías de Laranjeiras e Pinheiros, com aproximadamente 200km² (LANA *et al.*, 2000). O CEP tem dois eixos primordiais: O eixo Norte-Sul (N-S) onde tem as baías das Laranjeiras, Pinheiros e Guaraqueçaba, que são ligadas por diversos canais de maré, e o eixo Leste-Oeste (L-O) descrito pelas baías de Paranaguá e Antonina (ANGELOTTI, 2008). Segundo Mantovanelli (1999), o CEP incorpora cerca de 70% da área da bacia hidrográfica litorânea paranaense. Para as baías de Paranaguá e Antonina é escoado o equivalente a uma área de 2.188km² de água doce, equivalendo a 54% da área de drenagem do CEP. Sendo assim, essas duas baías sofrem uma intervenção maior do aporte de água continental. As bacias hidrográficas de Paranaguá e Antonina têm excedente hídrico no verão, aumentando o aporte de água continental no estuário, e

²Martin, F. **Etude de l'écosystème mangrove de la baie de Paranaguá (Paraná, Brésil): analyse des impacts et propositions de gestion rationnelle.** 289 f. These de Doctorat – UFR de Biologie, Université de Paris, Paris, 1992.

assim tendo um potencial maior de erosão, devido ao aumento de chuva nessa época. No inverno ocorre a carência de chuva, já que a evaporação é, em média, sete vezes superior a precipitação (NOERNBERG, 2001).



Fonte: Grupo de Física Marinha – CEM / UFPR.

Brandini (1985) encontrou a variação da concentração de chl-a na superfície da baía de Paranaguá entre 2.86 e 13.99mg/m³ e os maiores valores ocorreram na parte mais interna da baía devido as concentrações elevadas de nutrientes e salinidades mais baixas. Brandini *et al.* (1988), encontraram concentrações de chl-a que variaram entre 0.7 e 24.6mg/m³ na baía de Paranaguá, sendo que os valores mínimos ocorreram próximos a desembocadura e os máximos nas regiões interna da baía. O estudo feito por Lopes *et al.* (1998) na baía de Paranaguá demonstrou que a concentração de chl-a variou entre 0.2 e 6.7mg/m³, sendo que no verão variou entre 0.3 e 6.2mg/m³ e no inverno variou entre 0.2 e 6.7mg/m³. As maiores concentrações foram encontradas nas áreas intermediárias. Aproximadamente 75% dos valores acima de 3mg/m³ ocorreram em salinidades acima de 10 e abaixo de 26, mas não houve correlação significativa entre os dois parâmetros.

Segundo Lamour (2007), o CEP tem duas desembocaduras com deltas de maré formados na Plataforma Continental (PC) rasa, com profundidade menor que 20 metros. As duas desembocaduras são qualificadas como Norte e Sul conforme a sua posição geográfica em referência à Ilha do Mel. A desembocadura Sul apresenta o canal da Galheta. A desembocadura norte apresenta dois canais, o Norte, posicionado a norte da Ilha das Palmas, e o Sueste, localizado a sul dessa mesma ilha. Estes três canais (Norte, Sueste e Galheta) já serviram como canal de navegação para adentrar ao CEP. Por isso, passaram por dragagens. Na atualidade, o canal de navegação é o da Galheta.

Na desembocadura Sul, as ondas quebram no banco de areia da Galheta ocasionando em uma inclinação na direção das ondas que chegam até os balneários de Pontal do Sul e Atami. Isto facilita a concepção de uma corrente de deriva no sentido Ponta do Sul – Praia de leste, sendo possível enxergar isso pela falta de correntes de retorno entre os balneários de Pontal do Sul e Atami e pela inclinação das correntes de retorno, que surgem a partir do balneário Atami. Na desembocadura Norte as ondas sofrem uma mudança de direção após refratar nos bancos de areia, adentrando no CEP pela parte mais profunda do canal Norte (NOERNBERG, 2001).

As plumas estuarinas ocorrem quando águas menos densas deixam os estuários e se espalham sobre águas da PC, que são mais salinas e densas do que as águas do setor interno do estuário (ANGELOTTI, 2008). Uma característica inerente das plumas estuarinas é que são muito dinâmicas. Seu tipo e tamanho depende da vazão dos rios, estresse do vento e condições de maré (MORRIS *et al.*, 1995). O limite em direção ao mar de uma pluma estuarina é de difícil demarcação, pois a pluma tem aptidão a se dissolver gradualmente às águas costeiras com menor salinidade (JOUANNEAU; LATOUCHE, 1982).

Noernberg (2001) afirma que há uma grande influência da pluma estuarina sobre a plataforma adjacente rasa, chegando a vinte e cinco quilômetros (25 km) da desembocadura, para fora da costa, assim excedendo a isóbata de vinte metros (20 m).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DADOS *IN SITU*

Os dados *in situ* foram adquiridos pela boia AXYS *WatchKeeper* (Figura 3) que estava fundeada na coordenada 25°39'47.1"S e 48°19'22.7W no período de 17/12/2013 até 17/11/2014, com medições horárias.

Figura 3: BOIA AXYS WATCHKEEPER

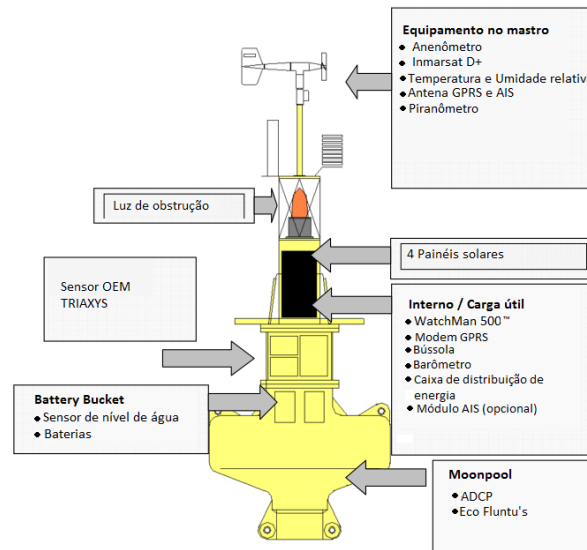


Fonte: APPLICATION Manual – WatchKeeper Buoy (2013).

A boia utilizada neste trabalho fez parte do programa SiMCosta – Sistema de Monitoramento da Costa. Esse programa é um sistema de observação integrante, com o ideal de realizar um monitoramento contínuo, automático e em tempo real de inúmeros parâmetros meteo-oceanográficos pela costa brasileira. A médio e longo prazo, esse sistema tem a intenção de gerar e disponibilizar informações ambientais mais robustas e concisas para o estudo dos oceanos, clima, ecologia. Com esse sistema será possível realizar estimativas sobre os impactos das mudanças climáticas e os riscos de eventos extremos na costa brasileira (TORALLES, 2014). É uma boia marinha de tamanho médio que possui um casco de plástico dividido em três partes. Os parâmetros meteo-oceanográficos que podem ser medidos por ela são: velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa e pressão barométrica. O

casco inferior da boia pode ser equipado com um *moonpool* (Figura 4) para abrigar sensores de qualidade da água. Os sensores (Tabela 3) estão localizados em suportes personalizados na estrutura (APPLICATION Manual – WatchKeeper Buoy, 2013).

Figura 4: COMPONENTES DA BOIA



Fonte: APPLICATION Manual – WatchKeeper Buoy (2013).

Tabela 3: SENSORES DA BOIA

Tipo de sensor	Fabricante	Modelo	Quantidade	Dispositivos manipuladores
Direcional de ondas	AXYS	TRIAXYS NW OEM	1	TRIAXYS Next Wave OEM
Perfilador de corrente marinha (ADCP)	Nortek	Aquadopp Profiler 600kHz	1	
Sensor de inundação	AXYS	Flood Sensor	1	AXYS Flood
CTD (Condutividade, temperatura e profundidade)	SeaBird	SBI37SIP	1	CTD Seabird
Turbidímetro e Fluorímetro	Wetlabs	ECOFLUNTUS	1	FLNTU_Wetlabs
Velocidade e direção do vento	Gill	Windsonic	1	Wind Generic
Bússola	KVH	C100	1	Compass KVH
Temperatura do ar	Rotronic	MP101A	1	ATH Generic
Barômetro	RM Young	61302fs	1	Baro_PT100
Piranômetro	Licor	LI200SA	1	ADC_Input

Fonte: Adaptada de APPLICATION Manual – WatchKeeper Buoy (2013).

Os valores de chl-a utilizados neste trabalho foram obtidos por um sensor do tipo turbidímetro e fluorímetro, modelo ECOFLUNTU'S, que é de combinação,

medindo as concentrações de chl-a através da fluorescência (APPLICATION Manual – WatchKeeper Buoy, 2013).

A fluorescência natural no oceano é referente a irradiação da chl-a que é instigado pela luz solar em uma banda restrita centrada em 683 nanômetro, resultante da assimilação de luz natural pelo fitoplâncton (CHAMBERLIN *et al*, 1990). A partir da sua descoberta, vem sendo usada para adquirir dados para descrever a biomassa fitoplanctônica na coluna d'água (MOREL; PRIEUR, 1977; NEVILLE; GOWER, 1977; KAMPEL, 2003). As medições de fluorescência natural podem ser utilizadas para estimar a produção primária (KIEFER *et al.*, 1989).

A boia registrou, através do seu sensor, dados de clorofila em micrograma por litro ($\mu\text{g/L}$) a cada 1 hora, começando as 11 horas do dia 17/12/2013 e finalizando as 12h do dia 17/11/2014. O valor de chl-a foi obtido através do processamento realizado pelo software da boia. A conversão do sinal digital do sensor para a concentração de chl-a utilizada no trabalho, foi encontrado através da equação abaixo.

Figura 5: EQUAÇÃO DE CONVERSÃO

Fator de escala de Clorofila

A concentração de clorofila expressada em $\mu\text{g/L}$ pode ser derivada usando a equação:

$\text{CHL } (\mu\text{g/L}) = \text{Fator de escala} \times (\text{Saída} - \text{Contagem sombreada})$

	Análogo	Digital
Contagem sombreada	0.061 V	47 Contagem
Fator escala	10 $\mu\text{g/l/V}$	0.0122 $\mu\text{g/l/Contagem}$
Saída máxima	4.98 V	4130 Contagem
Resolução	0.6 mV	1 Contagem
Temperatura ambiente durante a calibração:	21.5	°C

Fonte: Adaptada de FOLHA de caracterização FLNTU (2013).

4.2 DADOS DOS SENSORES

As imagens de satélite dos sensores MODIS-Aqua e VIIRS foram obtidas gratuitamente pela NASA através do site <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, tendo como referência as coordenadas geográficas da boia (25°39'47.1"S e 48°19'22.7W) entre janeiro de 2013 e dezembro de 2015.

No site da NASA é possível usar uma ferramenta chamada "Quick Look" que permite abrir uma pré-visualização das imagens, facilitando e permitindo definir quais

imagens utilizar através da observação referente à presença (ou não) dos fatores que impossibilitam o uso das imagens (STEIN, 2010).

Existem três fatores que impossibilitam o uso das imagens, e são eles: (1) presença de nuvens, sendo o fator de maior limitação, porque as bandas usadas para a OC são incapazes de trabalhar na presença de nuvens, (2) o ângulo de visada do sensor durante o imageamento e (3) presença de ruídos, que interferem e podem até tornar os dados inválidos. O problema mais comum encontrado na presença dos ruídos é o “*sun glint*” que nada mais é do que uma faixa vertical esbranquiçada ao longo da imagem. O *sun glint* sobrestima os valores geofísicos (FREITAS; NOERNBERG, 2007).

A coleta e processamento dos dados de satélite de visualização da terra é realizado pelo OBPG. Esses dados são organizados de inúmeras maneiras, refletindo diferentes agrupamentos espaço-temporais e de parâmetros (FELDMAN – Product Levels, 2013).

Os dados de nível 0 são brutos, ou seja, os dados dos instrumentos não são processados em resolução total. Foram excluídos todos os artefatos de comunicação gerados entre a nave espacial e a estação terrestre presentes nesses dados. São fornecidos apenas para algumas das missões (FELDMAN – Product Levels, 2013).

Os dados de nível 1 são subdivididos em dois tipos: 1A e 1B. Os dados 1A são dados de nível 0 referenciados no tempo e registrados com conhecimentos complementares, como os coeficientes de calibração radiométrica e geométrica, computadas e anexadas, mas não aplicadas. Os dados de nível 1B são dados de nível 1A com a utilização de calibrações de radiometria e de instrumento (FELDMAN – Product Levels, 2013, p.1).

Os dados de nível 2 consistem em variáveis geofísicas derivadas na mesma resolução que os dados de nível 1 de origem. Essas variáveis são agrupadas em alguns conjuntos de produtos, por exemplo, OC, SST e SST4 para o MODIS (FELDMAN – Product Levels, 2013, p.1).

Dentre os produtos oferecidos pela NASA, o utilizado neste trabalho foi NETCDF *Climate and Forecast (CF) Metadata Convention*, imagem do nível 2 de processamento, em formato HDF (*Hierarchical Data Format*).

Os valores de chl-a das imagens de satélite para os sensores (MODIS-Aqua e VIIRS) foram extraídos utilizando o aplicativo SeaDAS v. 7.4, disponibilizado pela NASA através do site <https://seadas.gsfc.nasa.gov/>.

O SeaDAS é um pacote de software que processa, exibe, analisa e controla a qualidade dos dados da OC. Foi criado para suportar a missão *SeaWIFS*, agora apoia a maioria das missões para aquisição de dados da OC (FELDMAN - SeaDAS, [2013]). Nas imagens de nível 2 de processamento, o SeaDAS executa a chl-a até o grau de produto com o algoritmo padrão OC3M (O'REILLY *et al.*³, 2000 citado por VALERIO *et al.*, 2015), que é uma extensão dos modelos OC2V2 e OC4v4. Este algoritmo é proveniente para chl-a de 0.08 até 90 mg/m³, porém, grande parte das medições se agrupam entre 0.08 e 3mg/m (VALERIO *et al.*, 2015).

4.3 MODELO DE ANÁLISE DOS DADOS

Foi realizada a conversão dos valores de chl-a da boia, para a mesma unidade de medida obtida pelos sensores. De micrograma/L (µg/L) foram convertidos para micrograma/metro cúbico (mg/m³). Após esta transformação foi realizada uma análise temporal dos valores de chl-a obtidos *in situ* pela boia.

Para a inter-comparação dos dados de chl-a entre os sensores MODIS-Aqua e VIIRS, foram realizadas análises gráficas e correlação linear de Pearson entre as variáveis através do valor de r e r^2 . Para avaliar a normalidade dos dados foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk*. Posteriormente, todo esse processo de análise foi repetido para realizar a inter-comparação entre os valores de chl-a de cada um dos sensores com os dados *in situ*.

³O'Reilly, J. E., *et al.* Ocean color chlorophyll-a algorithms for SeaWIFS, OC2 and OC4. In: Hooker, S. B; Firestone, E. R., (eds.). SeaWIFS postlaunch technical reports series. Greenbel: NASA, 2000, v. 11, p-9-23, 2000.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados conforme a ordem descrita na metodologia. Primeiro foram expostos e discutidos os dados obtidos *in situ*. Em seguida foram relatados os dados obtidos pelos sensores MODIS-Aqua e VIIRS e sua inter-comparação. Posteriormente foram mencionados e debatidos os resultados da inter-comparação dos valores de chl-a de cada um dos sensores com os dados *in situ*.

Tabela 4: PERÍODO E MÉTODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DE chl-a

Clorofila a	Período		Aquisição de dados
<i>In Situ</i>	dez/13	nov/14	Horário
Modis Aqua e VIIRS	abr/13	set/15	Imagens boas

Fonte: Boia *WatchKeeper* e NASA

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

5.1 COMPARAÇÃO DOS DADOS *IN SITU*

Ao total foram 278 dias de operação da boia, com 6.442 medições. O mês com o maior número de observações foi março de 2014, com 744 observações em 31 dias e com menor número de observações foi abril de 2014, com 228 observações em 10 dias. Em alguns meses, como abril, ocorreram falhas nas medições que ocasionaram em dias ou períodos sem aquisição de dados. As causas foram: (1) bioincrustação marinha, (2) retirada do equipamento para limpeza da bioincrustação marinha e (3) retirada do equipamento para descarregar os dados.

Bioincrustação marinha pode ser definida como um resultado da ocupação e desenvolvimento de bactérias, algas e/ou invertebrados que não tem capacidade locomotivas sobre as superfícies imersas, sejam naturais (como madeiras, rochas, outros espécimes, etc.) ou desenvolvidas pelo ser humano, como plataformas, cascos de navios, cais, recifes artificiais e boias (GAMA et al, 2009). Segundo esse mesmo autor, quando a bioincrustação marinha ocorre em boias meteo-oceanográfica com instrumentos de monitoramento (como sensores para registrar salinidade, oxigênio dissolvido, temperatura, chl-a, turbidez, entre outros), reduz a vida útil da boia.

Os valores de chl-a variaram entre 0.03 e 7.96mg/m³ durante o período de amostragem. O valor mínimo foi obtido no dia 08/05/2014 as 14 horas e o máximo no dia 07/02/2014 as 06 horas (Tabela 5).

Tabela 5: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIA – VALORES DE chl-a *IN SITU*

Mês	Mínimo (mg/m ³)			Máximo (mg/m ³)			Média Mensal (mg/m ³)
	Valor	Data	Horário	Valor	Data	Horário	
dez/13	0.73	31/12/2013	16:00	2.83	27/12/2013	22:00	1.33
jan/14	0.69	18/01/2014	15:00	7.66	24/14/14	14:00	1.91
fev/14	0.65	25/02/2014	10:00	7.96	07/02/2014	06:00	2.25
mar/14	0.82	19/03/2014	15:00	3.69	21/03/2014	19:00	1.73
abr/14	1.03	01/04/2014	14:00	5.87	08/04/2014	19:00	2.42
mai/14	0.03	08/05/2014	14:00	3.58	28/05/2014	21:00	1.15
jun/14	0.44	01/06/2014	15:00	7.94	23/06/2014	03:00	1.92
jul/14	0.28	17/07/2014	14:00	2.73	12/07/2014	17:00	1.17
ago/14	0.4	23/08/2014	19:00	7.92	16/08/2014	21:00	3.32
set/14	0.36	21/09/2014	14:00	7.79	02/09/2014	07:00	2.15
out/14	0.18	10/10/2014	15:00	3.25	03/10/2014	22:00	1.07
nov/14	0.68	01/11/2014	19:00	7.94	16/11/2014	09:00	4.29

Fonte: Boia *WatchKeeper*

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Legenda: Azul – Valor Máximo; Vermelho – Valor Mínimo

Tabela 6: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIA EM CADA ESTACÃO – chl-a *IN SITU*

Estação	Data Inicial e Final	Mínimo (mg/m ³)	Máximo (mg/m ³)	Média Mensal (mg/m ³)
Verão	21/12/13 até 20/03/14	0.66	7.96	1.78
Outono	20/03/14 até 21/06/14	0.03	5.87	1.73
Inverno	21/06/14 até 22/09/14	0.18	7.94	1.95
Primavera	22/09/14 até 21/12/14	0.4	7.94	3.18

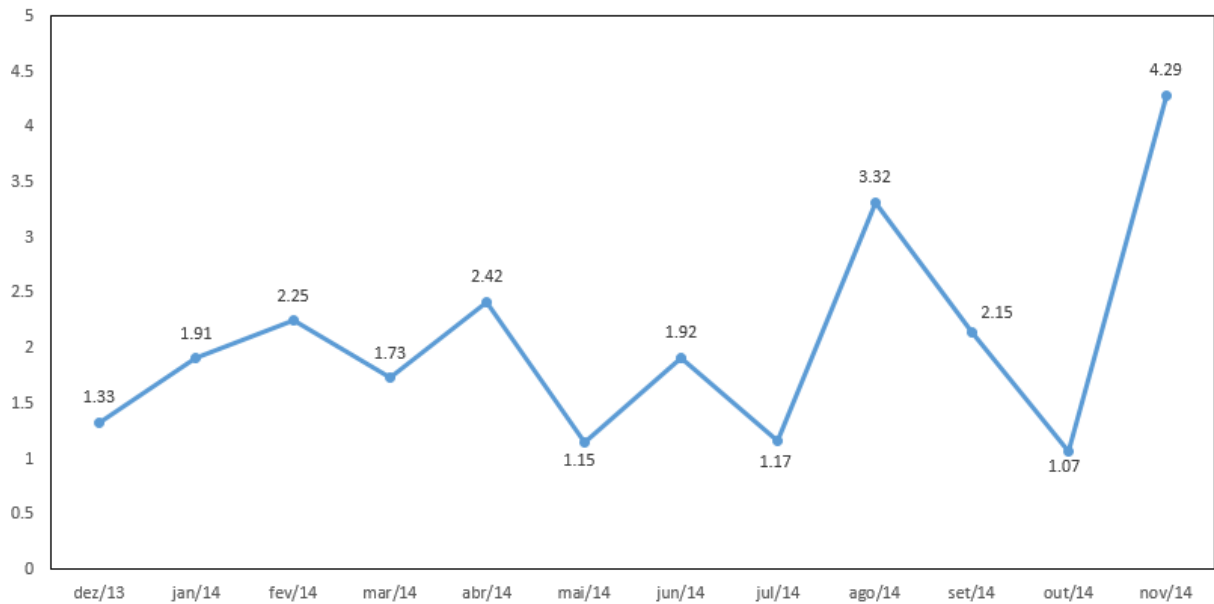
Fonte: Boia *WatchKeeper* e *U.S. Naval Observatory*

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Legenda: Azul – Valor Máximo; Vermelho – Valor Mínimo

O valor máximo de chl-a foi obtido no verão e o mínimo foi no outono. Porém, por mais que o maior valor de chl-a tenha sido obtido no verão, a maior média de chl-a foi obtida na primavera (Tabela 6). As concentrações elevadas foram encontradas nos meses de fevereiro, junho e novembro de 2014. As concentrações abaixo de 0.5mg/m³ ocorreram entre maio e outubro de 2014.

A média mensal dos valores de chl-a variou entre 1.07 e 4.29mg/m³. A mínima foi no mês de outubro de 2014 e a máxima no mês de novembro de 2014 (Gráfico 1).

Gráfico 1 – MÉDIA MENSAL DE chl-a *IN SITU*

Fonte: Boia *WatchKeeper*

Brandini *et al.* (2007) encontraram uma variação de chl-a entre 0.02 e 10.8mg/m³. Foram encontrados dois períodos de acumulação de biomassa fitoplanctônica (verão). O primeiro período foi entre fevereiro e março de 1998 (final do verão) e o segundo período foi final da primavera e início do verão do mesmo ano. As concentrações elevadas ocorreram nos meses de novembro e dezembro de 1997 e 1998, e também em março de 1998. As concentrações abaixo de 0.5mg/mg³ apareceram entre os meses de agosto e novembro de 1997, por ser o período mais frio. Baixas concentrações também aconteceram no final do verão de 1999, entre janeiro e março.

A variação de chl-a e o valor máximo terem sido encontrados no verão apoiaram os resultados apresentados por Brandini *et al.* (2007). As concentrações elevadas são parcialmente correspondentes (mês de novembro) com as encontradas por Brandini *et al.* (2007) e da mesma maneira ocorreu com as concentrações abaixo de 0.5mg/m³ (agosto, setembro e outubro).

5.2 DADOS OBTIDOS PELOS SENSORES MODIS-Aqua E VIIRS E SUA INTER-COMPARAÇÃO

Durante o período de 01/01/2013 até 31/12/2015, foram obtidas quarenta e três imagens definidas como boas para a aquisição dos dados de chl-a para os sensores MODIS-Aqua e VIIRS. O valor mínimo de chl-a em ambos os sensores ocorreu na primavera de 2014, sendo que no sensor MODIS-Aqua foi 0.99mg/m³ no dia 07/12 e no sensor VIIRS foi 0.91mg/m³, no mesmo dia. O valor máximo de chl-a no sensor MODIS-Aqua ocorreu durante o inverno de 2013 e foi 5.61mg/m³ no dia 13/07. No sensor VIIRS ocorreu durante o verão de 2015 e foi 5.34mg/m³ no dia 09/02. A média dos valores de chl-a do sensor MODIS-Aqua foi 2.69mg/m³ e do sensor VIIRS foi 2.33mg/m³ (Tabela 7). Apenas em quatro datas (23, 31, 32 e 35) os valores de chl-a entre os sensores foram iguais, sendo uma parcela pequena do total de imagens.

Tabela 7: VALORES DE chl-a ADQUIRIDOS PELOS SENSORES.

Continua

N	Data	Modis Aqua	VIIRS	Diferença
1	28/04/2013	1.8	2.09	0.29
2	30/04/2013	2.57	2.71	0.14
3	07/05/2013	2.47	2.44	0.03
4	10/05/2013	2.04	1.8	0.24
5	25/05/2013	2.04	1.92	0.12
6	01/06/2013	1.88	1.67	0.21
7	04/06/2013	1.63	2.44	0.81
8	08/06/2013	1.64	1.45	0.19
9	13/07/2013	5.61	4.67	0.94
10	28/07/2013	3.22	2.86	0.36
11	02/08/2013	5.4	3.83	1.57
12	21/08/2013	2.72	2.07	0.65
13	30/08/2013	2.92	2.12	0.8
14	12/09/2013	2.81	2.72	0.09
15	04/12/2013	1.98	1.2	0.78

Tabela 7: VALORES DE chl-a ADQUIRIDOS PELOS

Conclusão

N	Data	Modis Aqua	VIIRS	Diferença
16	06/02/2014	1.72	1.03	0.69
17	10/02/2014	4.11	2.18	1.93
18	10/03/2014	2.09	1.64	0.45
19	06/04/2014	3.92	3.45	0.47
20	08/04/2014	3.92	2.48	1.44
21	18/04/2014	3.71	3.06	0.65
22	20/05/2014	1.87	1.34	0.53
23	04/06/2014	2.3	2.3	0.00
24	30/06/2014	3.49	3.12	0.37
25	07/08/2014	2.5	2.14	0.36
26	21/08/2014	1.16	1.42	0.26
27	24/08/2014	3.12	2.08	1.04
28	09/09/2014	1.79	1.4	0.39
29	13/09/2014	1.41	1.4	0.01
30	07/12/2014	0.99	0.91	0.08
31	09/02/2015	5.34	5.34	0.00
32	25/02/2015	4.19	4.19	0.00
33	24/03/2015	3.15	2.69	0.46
34	11/04/2015	2.96	2.49	0.47
35	20/05/2015	1.46	1.46	0.00
36	07/06/2015	4.17	3.17	1.00
37	19/07/2015	2.47	1.84	0.63
38	26/07/2015	2.42	1.94	0.48
39	01/08/2015	1.54	1.98	0.44
40	03/08/2015	1.86	2.92	1.06
41	15/08/2015	2.54	2.18	0.36
42	31/08/2015	1.88	1.66	0.22
43	16/09/2015	2.92	2.45	0.47

Fonte: NASA

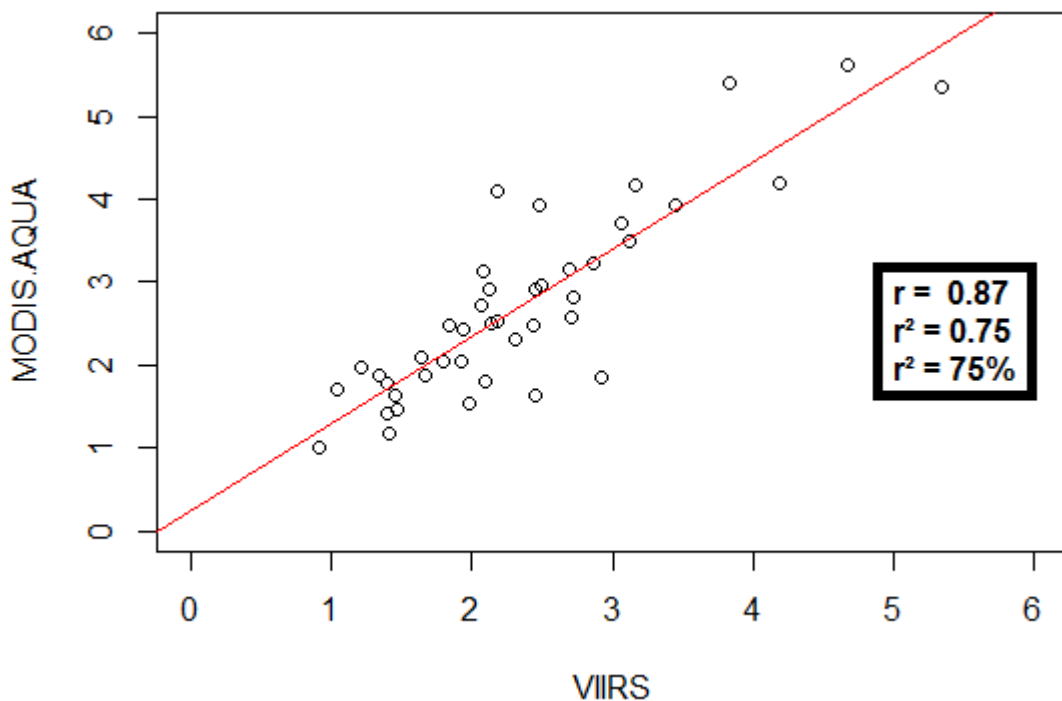
Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Legenda: Azul – Valor Máximo; Vermelho – Valor Mínimo

Todavia, mesmo sendo apresentada apenas uma pequena parcela de imagens com correspondência, o valor encontrado de r foi 0.87, indicando que há uma correlação forte positiva entre os valores de chl-a do sensor VIIRS com o sensor

MODIS-Aqua. Corroborando com esse resultado, o r^2 demonstra que cerca de 75% da variabilidade de chl-a entre os sensores podem ser explicados pelo modelo de regressão (Gráfico 2). Como o p valor no teste de Shapiro foi 0.3092, foi possível inferir que há uma distribuição normal entre os valores de chl-a dos sensores. Esses resultados estão dentro do esperado pela própria natureza do sensor VIIRS. Sendo assim, é possível inferir que há a possibilidade de que trabalhos científicos posteriores que necessitem utilizar os dados de chl-a do sensor MODIS-Aqua para realizar uma caracterização temporal possam utiliza-los, pois são compatíveis com os dados do sensor VIIRS.

Gráfico 2 – DISPERSÃO DOS VALORES DE chl-a ENTRE OS SENSORES



Fonte: NASA

Nota: Dados trabalhado pelo autor

5.3 INTER-COMPARAÇÃO DOS VALORES DE CLOROFILA-a DOS SENSORES COM DADOS *IN SITU*

As imagens obtidas para realizar a inter-comparação entre cada um dos sensores com os dados *in situ* foram extraídas através da proximidade entre o horário e dia de aquisição, com base nos valores adquiridos *in situ*.

Foram obtidas dezenove imagens para a inter-comparação dos valores de chl-a entre o sensor MODIS-Aqua e os dados *in situ* durante o período de 18/12/2013 e

09/10/2014 e trinta e seis imagens para a inter-comparação dos valores de chl-a entre o sensor VIIRS e os dados *in situ* entre 24/01/2014 e 09/11/2014.

Na inter-comparação entre o sensor MODIS-Aqua e *in situ*, o valor mínimo de chl-a no sensor MODIS-Aqua foi 0.97mg/m³ no dia 28/01/14 as 17 horas e para os dados *in situ* foi 0.21mg/m³ no dia 09/10/14 as 17 horas. O valor máximo de chl-a no sensor MODIS-Aqua foi 4.1mg/m³ no dia 10/02/14 as 14 horas e para os dados *in situ* foi 4.84mg/m³ no dia 12/08/14 as 17 horas (Tabela 8). A média de chl-a no sensor MODIS-Aqua foi 2.3mg/m³ e para os dados *in situ* foi 1.29mg/m³.

Na inter-comparação entre o sensor VIIRS e *in situ*, o valor mínimo de chl-a encontrado *in situ* foi 0.21mg/m³ no dia 09/10/14 as 17 horas e para o sensor VIIRS foi 0.82mg/m³ no dia 09/11/14 as 17 horas. O Valor máximo de chl-a encontrado *in situ* foi 4.69mg/m³ no dia 01/09/14 as 17 horas e para o sensor VIIRS foi 6.52mg/m³ no dia 05/04/14 as 17 horas (Tabela 9). A média de chl-a encontrando *in situ* foi 1.63mg/m³ e no sensor VIIRS foi 2.12mg/m³.

Tabela 8: VALORES DE chl-a ADQUIRIDOS DO SENSOR MODIS-Aqua E *IN SITU*

N	Data	Horário	Modis Aqua	In Situ	Diferença
1	18/12/2013	14:00	1.96	0.93	1.03
2	27/12/2013	17:00	2.17	1.18	0.99
3	19/01/2014	17:00	2.04	0.73	1.31
4	28/01/2014	17:00	0.97	0.94	0.03
5	06/02/2014	14:00	1.71	1.94	0.23
6	10/02/2014	14:00	4.1	1.42	2.68
7	10/03/2014	14:00	2.49	1.04	1.45
8	17/03/2014	17:00	2.33	1.01	1.32
9	19/03/2014	17:00	1.07	0.85	0.22
10	06/04/2014	15:00	3.92	1.61	2.31
11	08/04/2014	14:00	3.91	1.79	2.12
12	20/05/2014	14:00	1.87	0.39	1.48
13	04/06/2014	13:00	2.03	0.8	1.23
14	30/06/2014	12:00	3.49	0.86	2.63
15	31/07/2014	16:00	2.45	0.78	1.67
16	07/08/2014	13:00	2.5	2.47	0.03
17	12/08/2014	17:00	1.64	4.84	3.2
18	21/08/2014	14:00	1.16	0.77	0.39
19	09/10/2014	17:00	1.7	0.21	1.49

Fonte: Nasa e boia *WatchKeeper*

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Legenda: Azul – Valor Máximo; Vermelho – Valor Mínimo

Tabela 9: VALORES DE chl-a ADQUIRIDOS DO SENSOR VIIRS E *IN SITU*

N	Data	Horário	VIIRS	In Situ	Diferença
1	24/01/2014	18:00	1.5	4.22	2.72
2	26/01/2014	17:00	0.91	4.56	3.65
3	29/01/2014	16:00	1.57	1.01	0.56
4	31/01/2014	17:00	1.12	0.9	0.22
5	05/02/2014	17:00	1.26	3.13	1.87
6	06/02/2014	17:00	1.03	2.14	1.11
7	09/02/2014	18:00	5.75	0.87	4.88
8	10/02/2014	17:00	2.18	1.42	0.76
9	09/03/2014	18:00	1.86	1.27	0.59
10	10/03/2014	17:00	1.64	1.1	0.54
11	05/04/2014	17:00	6.52	2.36	4.16
12	06/04/2014	17:00	3.45	1.5	1.95
13	07/04/2014	17:00	2.01	1.09	0.92
14	08/04/2014	16:00	2.47	2.61	0.14
15	12/05/2014	17:00	2.29	0.82	1.47
16	20/05/2014	16:00	1.34	0.45	0.89
17	30/05/2014	17:00	1.15	0.47	0.68
18	03/06/2014	17:00	2.21	0.61	1.6
19	04/06/2014	17:00	2.3	0.69	1.61
20	16/06/2014	16:00	2.15	1.09	1.06
21	30/06/2014	17:00	3.12	0.86	2.26
22	01/07/2014	17:00	2.2	0.43	1.77
23	22/07/2014	17:00	1.41	0.36	1.05
24	02/08/2014	17:00	1.65	0.89	0.76
25	04/08/2014	16:00	2.35	1.62	0.73
26	07/08/2014	17:00	2.614	3.21	0.60
27	11/08/2014	17:00	2.26	4.6	2.34
28	21/08/2014	17:00	1.41	0.55	0.86
29	24/08/2014	16:00	2.07	0.57	1.5
30	01/09/2014	17:00	1.4	4.69	3.29
31	23/09/2014	17:00	2.06	0.92	1.14
32	08/10/2014	17:00	1.51	0.28	1.23
33	09/10/2014	17:00	1.07	0.21	0.86
34	28/10/2014	18:00	4.68	1.12	3.56
35	30/10/2014	17:00	1.41	2	0.59
36	09/11/2014	17:00	0.82	4.02	3.2

Fonte: Nasa e boia *WatchKeeper*

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

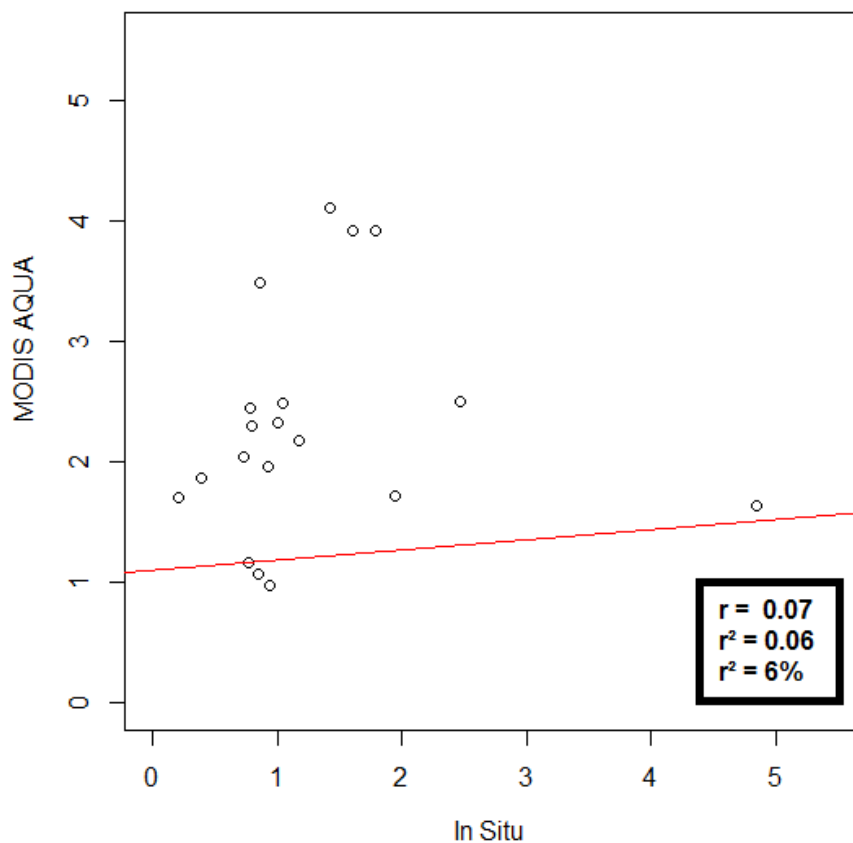
Legenda: Azul – Valor Máximo; Vermelho – Valor Mínimo

Nas duas inter-comparações não houve correlação. Entre o sensor MODIS-Aqua e *in situ*, o p valor de r foi 0.07 e o r^2 foi 0.06, demonstrando que apenas 6% da variabilidade de chl-a entre as variáveis podem ser explicadas pelo modelo de regressão linear (Gráfico 3). Entre o sensor VIIRS e *in situ*, o p valor de r foi -0.10 e o r^2 foi 0.01, evidenciando que apenas 1% da variabilidade de chl-a entre as variáveis podem ser explicadas pelo modelo de regressão linear (Gráfico 4).

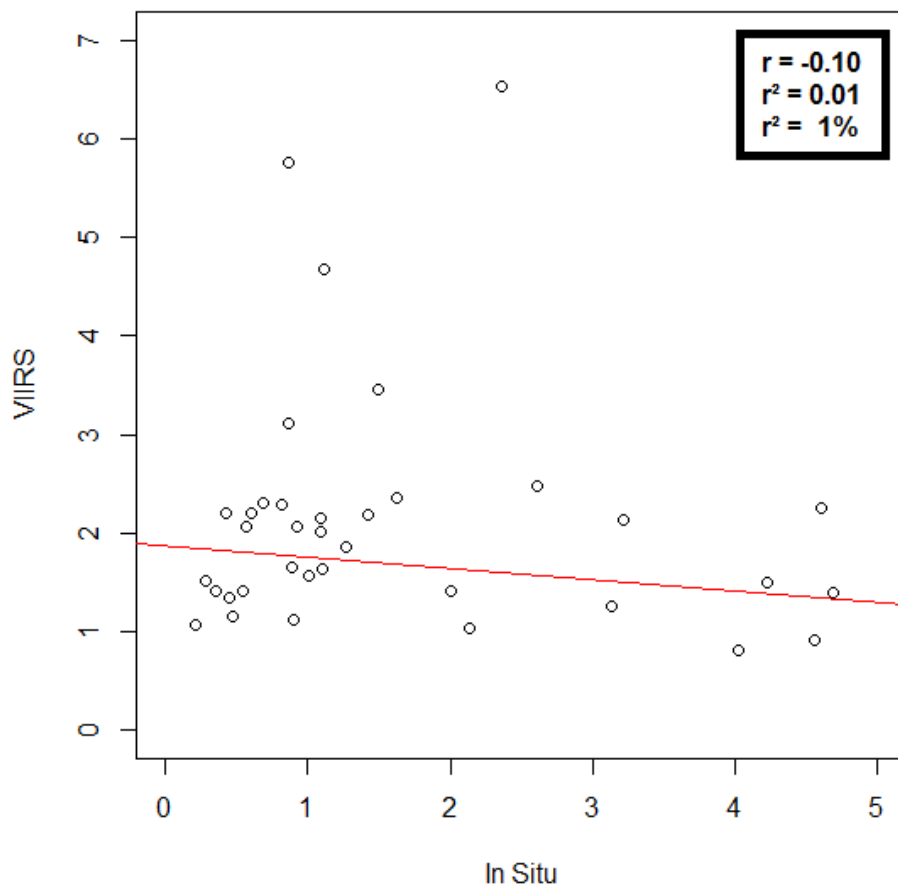
As duas variáveis podem estar perfeitamente correlacionadas, todavia, se não for de modo linear, o coeficiente será próximo de zero ou zero (VIALI, 2016). Quando o valor de “r” for próximo ou igual a zero, deve ser investigado por outros meios (CORRELAÇÃO de pearson, 2015).

Pelo teste de *Shapiro-Wilk* é possível inferir que não há distribuição normal entre os valores de chl-a do sensor MODIS-Aqua com dados *in situ* e do sensor VIIRS com dados *in situ*. O p valor na inter-comparação entre o sensor MODIS-Aqua e *in situ* foi 0.00005485 e entre o sensor VIIRS e *in situ* foi 0.0001757.

Gráfico 3 – DISPERSÃO DOS VALORES DE chl-a ENTRE O SENSOR MODIS-Aqua E *IN SITU*



Fonte: Nasa e boia *WatchKeeper*
Nota: Dados trabalhado pelo autor

Gráfico 4 – DISPERSÃO DOS VALORES DE chl-a ENTRE O SENSOR VIIRS E *IN SITU*

Fonte: Nasa e boia *WatchKeeper*
 Nota: Dados trabalhado pelo autor

Valerio *et al.*, (2015) encontrou um r^2 de 0.02 e um valor de teste de hipótese T de *Student* de 0.678 em uma análise comparativa da concentração de chl-a estimada pelo sensor MODIS-Aqua e medidas *in situ* no litoral norte de São Paulo, na estação Antares-Ubatuba, com a utilização de imagens de nível 1A. O número de amostras foi baixo, somente seis, com isso inferiram que a estimativa de chl-a por sensoriamento remoto para este número amostral tem grande disparidade com os dados *in situ*, porém, aplicando o teste T de *Student*, concluiu que não há diferença significativa entre os dados de chl-a do MODIS-Aqua e *in situ*.

Comparando os métodos utilizados, nível de processamento das imagens, número amostral e os resultados entre este trabalho e o trabalho de Valerio *et al.*, (2015), há a possibilidade de que melhores resultados na correlação entre cada um

dos sensores com os dados *in situ* poderiam ser encontrados através do uso de um número amostral próximo ao empregado neste trabalho, sendo maior que o utilizado por Valerio *et al.*, (2015), e de imagens nível 1A.

A não correlação entre os valores de chl-*a* de cada um dos sensores com os dados *in situ* pode ser devido a área de estudo ser definida como água do caso 2. Os algoritmos de chl-*a* e métodos clássicos de correção atmosféricas são calibrados com bases extensas de dados *in situ* em águas predominantemente oceânicas (caso 1). Consequentemente esses algoritmos e correções atmosféricas se tornam menos sensíveis nas águas do caso 2, devido à complexidade óptica das águas costeiras. Sendo assim, para futuros estudos analisando esta correlação seria interessante a utilização de imagens de nível 1A e inserção de correções atmosféricas e algoritmos de chl-*a* específicos para a área de estudo, com o intuito de obter melhores resultados na comparação entre os valores de chl-*a* de cada um dos sensores com os dados *in situ*.

6 CONCLUSÃO

Com base no atual cenário, em que o sensor MODIS-Aqua já ultrapassou o seu tempo de vida projetado em nove anos e o sensor VIIRS é o atual sensor em que a NASA tem investido, foi possível inferir através de uma inter-comparação no valor de chl-*a*, que há uma correlação forte positiva e ocorre uma distribuição normal entre o sensor MODIS-Aqua e o sensor VIIRS. Na inter-comparação de cada um dos sensores com os dados *in situ* não houve correlação linear e nem distribuição normal.

Foi possível inferir que os algoritmos e correções atmosféricas utilizadas nesse trabalho para a inter-comparação entre os valores de chl-*a* dos sensores com os dados *in situ* não são apropriados para a área externa do CEP. Sendo assim, é necessário utilizar imagens de nível 1A com diferentes algoritmos e modelos de correção atmosféricas para descobrir os melhores algoritmos e correções atmosféricas para as estimativas de chl-*a* no setor externo do CEP. Com a descoberta dos melhores algoritmos e correções atmosféricas para a área de estudo em questão, seria interessante, em trabalhos futuros, realizar a caracterização temporal de chl-*a* e a sua variabilidade espaço-temporal no setor externo do CEP, inserindo outras variáveis na análise, como a temperatura da água, presença de matéria orgânica dissolvida, salinidade e turbidez, que aparecem como importantes condicionantes da concentração de chl-*a*.

REFERÊNCIAS

ANGELOTTI, R. **Variabilidade da pluma e da estratificação termo-halina na desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá e plataforma adjacente.** 152 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2008.

APPLICATION manual - WatchKeeper Buoy, 2013.

BERTHELOT, B.; DESCHAMPS, P.Y. Evaluation of bio-optical algorithms to remotely sense marine primary production from space. **J.Geophys.Res.**, v.99, p. 7979-7989, 1994.

BRANDINI, F. P. Ecological studies in the bay of paranaguá. i. horizontal distribution and seasonal dynamics of the phytoplankton. , v. 33, n. 1, p. 139 - 147, 1985.

BRANDINI, F. P. Composição e distribuição do fitoplâncton na região Sueste do Brasil e suas relações com as massas de água (Operação Sueste – julho/agosto 1982). **Ciência e Cultura.** v. 40, n. 4, p. 334-341, 1988.

BRANDINI, F. P.; SILVA, A. S.; SILVA, E. T.; KOLM, H. Sources of Nutrients and Seasonal Dynamics of Chlorophyll in the Inner Shelf off Paraná State - South Brazil Bight. **Journal of Coastal Research**, v. 235, p. 1131–1140, 2007.

CHAMBERLIN, W.S.; BOOTH, C.R.; KIEFER, D.A.; MORROW, J.H.; MURPHY, R.C. Evidence for a single relationship between natural fluorescence, photosynthesis and chlorophyll in the sea. **Deep-Sea Res.**, v.37, n.6, p. 951-973, 1990.

CLARK, D.K.; SHERMAN, J.W. Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: ocean color applications. **MTS Journal**, v.20, n.2, p. 43-56, 1986.

CORRELAÇÃO de Pearson. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Correlacao/Correlacao_Pearson_Spearman_Kendall.pdf>. Acesso em: 28/10/2017.

DARECKI, M.; STRAMSKI, D. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 89, n. 3, p. 326–350, 2004

FELDMAN, G. C.; MCCLAIN, C.R. **Ocean Color Forum.** Eds. KURING, N.; BAILEY, S. W.; THOMAS, D.; FRANZ, B. F.; MEISTER, G.; WERDELL, P. J.; EPLEE, R. E.; MACDONALD, M.; RUBENS, M. NASA Goddard Space Flight Center, 2005. Disponível em: <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 30/10/2017.

FELDMAN, G.C. **Algorithm Description**, 2013. Disponível em: <<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/>>. Acesso em: 23/10/2017

FELDMAN, G.C. **Clorofila a**, 2013. Disponível em:

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/>. Acesso em: 23/10/2017

FELDMAN, G.C. **Level Products**, 2013. Disponível em: <<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/products/>>. Acesso em: 23/10/2017.

FELDMAN, G.C. **SeaDAS**, 2013. Disponível em: <<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 23/10/2017.

FOLHA de Caracterização FLNTU, 2013.

FREITAS, F. .; NOERNBERG, M. . Análise dos fatores limitantes da resolução temporal do sensor Aqua-Modis em estudos de águas costeiras: Um exemplo no sul do Brasil. **XII COLACMAR**, Florianópolis, p. 1–3, 2007.

GAMA, P. A. .; PEREIRA, C. R.; COUTINHO, R. Bioincrustação marinha. **Biologia Marinha. 2ª Edição**. p.299–318, 2009.

GORDON, H. R.; MOREL, A. Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery. In: Barber, R.T; Mooers, N.K.; Browman, M.J.; Zeitzschel (eds.). **A Review, Lecture notes on coastal and estuarine studies**, Springer-Verlag, New York, 114p, 1983.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. **Algae**. 1. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2000. p.2

HU, C.; LEE, Z.; FRANZ, B. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 117, n. 1, p. 1–25, 2012.

JOUANNEAU, J. M.; LATOUCHE, C. Estimation of fluxes to the ocean from megatidal estuaries under moderate climates and problems they present. **Hydrobiologia**. n. 91, p. 23-29, 1982.

KAMPEL, M. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados *in situ* na costa sudeste brasileira**, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KECK, A. Building a Bridge to a New Era of Earth Observations. **NPP NPOESS Preparatory Project - Nasa**, October, 2011

KIEFER, D.A.; CHAMBERLAIN, W.S. Natural fluorescence of chlorophyll a: relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the Western South Pacific gyre. **Limnol. Oceanogr.**, v.34, n.5, p. 868-881, 1989.

LALLI, M. C; PARSONS, R. T; **BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY AN INTRODUCTION**, 2. Ed. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 1997.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá – PR**. 177 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

- LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. 2000. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: SEELIGER, U.; LACERDA, L. D.; KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 131-145.
- LOPES, R. M.; VALE, R. DO; BRANDINI, F. P. Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 46, n. 2, p. 195–211, 1998.
- MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Curitiba, 146 f. Dissertação de mestrado em Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- MASUOKA, E. **Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)**. Disponível em: <<https://ncc.nesdis.noaa.gov/VIIRS/>>. Acesso em: 26/10/2017.
- MENEZES, V. V. **Relação entre processos físicos e a cor do oceano Atlântico tropical**. 159 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 709–722, 1977.
- MORRIS, A. W.; ALLEN, J. I.; HOWLAND, R. J. M.; WOOD, R. G. The Estuary Plume Zone: source or sink for land-derived nutrient discharges? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. n. 40, p. 387-402, 1995.
- NEVILLE, R. A.; GOWER, J. F. R. Passive remote sensing of phytoplankton via chlorophyll α fluorescence. **Journal of Geophysical Research**, v. 82, n. 24, p. 3487–3493, 1977.
- NOERNBERG, M. A. **Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná - Brasil: um estudo a partir de dados *in situ* e Landsat-TM**. 142 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- NOENBERG M. A., LAUTERT, L.F.C.; ARAUJO A.D.; MQRONE, E.; ANGELOTTI, R.; NETTO JR., J.P.B.; KRUG, L.A. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Brasil, 39: 1627- 1631, 2006.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. Ed. São Paulo: Edgar Blücher, p. 02 – 03, 1992.
- PARKINSON, C. Aqua. **Igarss 2014**, , n. 1, p. 1–5, 2014.
- PARKINSON, C. Aqua EOS Mission. Disponível em: <<https://aqua.nasa.gov/>>. Acesso em: 23/10/2017.

PLATNICK, S. **EOS**, 2017. Disponível em: < <https://eospso.nasa.gov/>>. Acesso em: 23/10/2017.

PLATNICK, S. **Mission Profiler**, 2017. Disponível em: < <https://eospso.nasa.gov/>>. Acesso em: 23/10/2017.

PLATNICK, S. **SeaWIFIS**, 2017. Disponível em: < <https://eospso.nasa.gov/>>. Acesso em: 23/10/2017.

SILVEIRA, L.P. **INTEGRAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E IMAGENS MULTIESPECTRAIS APLICADA AO MAPEAMENTO DO USO DA TERRA NA REGIÃO DE GUAXUPÉ (MG)**. Alfenas, 2013.

SCHALLES, J. F. Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll a concentrations in coastal waters with varying suspended matter and CDOM concentrations. **Remote sensing of aquatic coastal ecosystem processes: science and management applications**, p. 27–79, 2006.

SOUZA, R. B. Sensoriamento Remoto dos Oceanos. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 6, n. 1, 24 p, 2003.

STEIN, E. A. M. **VARIABILIDADE DE CLOROFILA NAS ÁGUAS DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ E PLATAFORMA ADJACENTE: UMA AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS E CORREÇÕES ATMOSFÉRICAS DO SENSOR MODIS**, Pontal do Paraná, 2010.

TORALLES, E. **SiMCosta**. Disponível em: <http://www.mudancasclimaticas.zonascosteiras.furg.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79:sistema-fará-monitoramento-meteorológico-e-oceanográfico-detalhado-da-região&catid=11&Itemid=380&lang=pt>. Acesso em: 21/11/2017.

VALERIO, L. P.; KAMPEL, M.; GAETA, S. A. Análise comparativa da concentração de clorofila-a estimada pelo sensor MODIS-Aqua e medidas *in situ* no litoral norte de São Paulo: Estação Antares-Ubatuba. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, p. 5530–5537, 2015.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 49–63, 2008.

VIALI, L. **Estatística Básica- Correlação e Regressão**. 2016.