



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**IGOR UCHÔA FARIAS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO PARA ESTIMAR A DISPERSÃO DA  
PLUMA DO RIO FRASER-CANADÁ, USANDO A BANDA ESPECTRAL DO  
VERMELHO DO SATÉLITE AQUA/MODIS**

**FORTALEZA**

**2016**

IGOR UCHÔA FARIAS

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO PARA ESTIMAR A DISPERSÃO DA PLUMA  
DO RIO FRASER-CANADÁ, USANDO A BANDA ESPECTRAL DO VERMELHO DO  
SATÉLITE AQUA/MODIS

Monografia apresentada junto ao Programa de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira.  
Coorientador: Profa. Dra. Maycira Costa.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F238d Farias, Igor.

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO PARA ESTIMAR A DISPERSÃO DA PLUMA  
DO RIO FRASER-CANADÁ, USANDO A BANDA ESPECTRAL DO VERMELHO DO SATÉLITE  
AQUA/MODIS / Igor Farias. – 2016.  
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do  
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira.

Coorientação: Profa. Dra. Maycira Costa.

1. Oceanografia. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Climatologia. I. Título.

CDD 551.46

---

IGOR UCHÔA FARIAS

ANÁLISE DE DISPERSÃO DA PLUMA DO RIO FRASER, CANADÁ, USANDO IMAGENS  
DO SENSOR AQUA-MODIS.

Monografia apresentada junto ao Programa de  
Graduação em Oceanografia do Instituto de  
Ciências do Mar da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção do título  
de Bacharelado em Oceanografia.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof. Dr. Marcus Vinicius Chagas da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

À Deus.

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

À minha vó, Lais, pelo seu imenso coração e sua fé em mim.

À Jeane, por nunca ter soltado da minha mão.

À toda minha família, por seu eterno suporte e confiança.

Ao Prof. Dr. Geraldo Ferreira, pela orientação, conselhos e risadas que me ajudaram chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Carlos Teixeira, por seu conhecimento científico e por sua capacidade de encarar seus problemas e de (felizmente também) encontrar soluções.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Maggioni, por seu meu primeiro motivador e incentivador na ciência.

Aos professor Marcus Vinicius pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Todos os amigos do Laboratório de Oceanografia Física que me ajudaram a passar por esse momento com um pouco mais de riso do que o normal.

À Prof. Dra. Maycira Costa que, mesmo a distância me guiou com seus conhecimentos maravilhosamente durante esse processo.

Aos meus amigos Thamila, Agda, Daysiane, Bárbara, Rafael, Vanessa e tantos outros, por seus auxílios científicos (e emocionais) durante esse processo.

À todos os meus amigos que com abraços, “vai dar certos” e palavras motivacionais encheram meus dias com algo inexplicavelmente bom.

Ao CNPQ pela maravilhosa oportunidade de intercâmbio por meio do projeto Ciências Sem Fronteiras (CSF).

À todos que contribuíram pela execução desse trabalho, muito obrigado.

“This isn't the last song, there's no violin, the choir is so quiet and no-one takes a spin. This is the next to last song and that's all”

(Next To Last Song)

## RESUMO

Neste trabalho, a dinâmica espaço-temporal da pluma do rio Fraser será analisada na Columbia Britânica – Canadá por meio do uso do sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que voa a bordo do satélite AQUA durante os anos de 2014 e 2015. Para o desenvolvimento de um modelo linear para estimativa de turbidez, os dados de reflectância da banda do vermelho (645nm) das imagens do satélite AQUA-MODIS e os dados *in situ* de turbidez adquiridos por espectoradiômetros acoplados à balsa *BC Ferries*, usada para transporte de passageiros ao longo da Ilha de Vancouver, foram utilizados. Os *softwares* usados para processamento, visualização e análise dos dados e imagens foram: o SeaDAS para correção geométrica e radiométrica das imagens AQUA-MODIS, o ENVI para a correção atmosférica e o MATLAB para *match up* de dados e tratamento estatísticos e análise dos dados. A partir da análise dos gráficos de dispersão dos dados de turbidez e reflectância, foi desenvolvido um modelo de regressão linear, pois os dados apresentaram uma tendência linear o que resultou num algoritmo de primeiro grau com um coeficiente de correlação  $r=0.57$  e RMSE = 8,54 NTU. Os mapas de turbidez gerados pelo dado modelado coincidiram com as flutuações de vazão e corroboraram com a literatura.

**Palavras-chave:** pluma, Canadá, MODIS, Turbidez.



## ABSTRACT

In the present study, the spatial-temporal dynamics of the Fraser River plume, British Columbia- Canada, has been analyzed through the retrieval data of the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer Sensor ( MODIS), attached to the satellite AQUA, throughout the years of 2014 and 2015. For a development of a linear model to estimate turbidity in the region, the reflectance band data of the AQUA-MODIS satellite imagery and the *in situ* turbidity data provided by the BC Ferries' spectral radiometer in the Salish Sea were used. For the algorithm developing and processing, the softwares used were the SeaDAS, to execute imagery's geometric and radiometric correction; ENVI for atmospheric correction and MATLAB for matching up data, statistics analysis. From the analysis of the scatterplots of the turbidity and reflectance data, a linear regression model have been developed, due to the fact that the data have shown a linear trend, resulting in a correlation coefficient  $r=0.57$  and  $RMSE=8.54$  NTU. The turbidity maps processed through the algorithm have shown great agreement with the *in situ* data and it matches with what is expected by the background bibliography studied.

**Key words:** plume, Canada, MODIS-AQUA, Turbidity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema do processamento de aquisição de dados por um sensor. ....	15
<b>Figura 2.</b> (A) Localização da província da Columbia Britânica no Canadá, (B) Bacia Hidrográfica do Rio Fraser e sua localização no continente e (B) área de estudo.....	19
<b>Figura 3.</b> (A) Temperatura e (B) Precipitação Média Anual na estação meteorológica de Vancouver (latitude 9°14'58" N e longitude 123°07'09" W).....	20
<b>Figura 4.</b> Serie temporal de vazão do Rio Fraser no ano de 2015. ....	21
<b>Figura 5.</b> Página do OceanColorWeb.....	22
<b>Figura 6.</b> Layout da página para download dos dados do AQUA-MODIS adquiridos desde 2002. ....	23
<b>Figura 7.</b> Layout da página do banco de dados Oceans 2.0.....	23
<b>Figura 8.</b> Instrument Box acoplada ao Ferry com (A) BBFL2 EcoTriplet e (B) Termosalinógrafo. ....	24
<b>Figura 9.</b> Balsa de transporte entre a Ilha de Vancouver e o continente BC Ferries.....	24
<b>Figura 10.</b> Toolbox do software SeaDAS.....	25
<b>Figura 11.</b> Correção Atmosférica Dark Subtraction pelo software ENVI: marcação de DN para a subtração. ....	26
<b>Figura 12.</b> Exemplo de match up dos dados in situ e os dados de imagem AQUA-MODIS. ....	28
<b>Figura 13.</b> Série de dados de reflectância (645nm) com correção e sem correção atmosférica. .	29
<b>Figura 14.</b> Scatterplots com reflectância corrigida atmosféricamente (A) e sem correção (B). ....	30
<b>Figura 15.</b> Diagrama de dispersão entre reflectância e turbidez com a retirada de outliers acima de $4\sigma$ . ....	31
<b>Figura 16.</b> Concentração de turbidez nos dias amostrados de dados in situ e output do algoritmo. ....	32
<b>Figura 17.</b> Dispersão da pluma do rio Fraser no ano de 2014. ....	34
<b>Figura 18.</b> Dispersão da pluma do rio Fraser no ano de 2015. ....	35
<b>Figura 19.</b> Plumões de rios adjacentes também abrangidos pelo algoritmo. ....	36
<b>Figura 20.</b> Sensor MODIS acoplado no satélite AQUA. ....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores de RMSE utilizando diferentes pares de coeficiente no modelo proposto.....	31
<b>Tabela 2.</b> Estatística descritiva dos parâmetros Turbidez e Reflectância ( $\rho$ ). .....	32
<b>Tabela 3.</b> Características do AQUA-MODIS .....	40
<b>Tabela 4.</b> Bandas espectrais do satélite AQUA-MODIS.....	41
<b>Tabela 5.</b> Especificações do bbfl2 ecotriplet.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCRS	Canadian Center for Remote Sensing
C°	Graus célsius
DN	Digital Number
ENVI	Environment for Visualizing Images
Km	Kilômetro
m	Metro
mm	Milímetro
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
nm	Nanômetro
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
RMSE	Root Mean Square Error
SeaDAS	SeaWiFS Data Analysis System
TSM	Temperatura de superfície do mar
$\rho$	Reflectância
$\varepsilon$	Emissividade

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	18
3. ÁREA DE ESTUDO.....	19
4. DADOS E METODOLOGIA.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

## 1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são regiões de alta dinâmica e produtividade biológica (SOUZA, 2009). As regiões de interface entre o continente e o oceano são os estuários. Uma descrição bem detalhada dos estuários pode ser encontrada em Potter (2010), que o define como um corpo de água costeiro que está permanentemente ou periodicamente aberto ao oceano. Este recebe, pelo menos, descargas fluviais periódicas, enquanto que sua salinidade é tipicamente menor de que as das águas oceânicas e que varia temporalmente ao longo do seu comprimento. Este também pode se tornar hipersalino em regiões onde a perda de água por evaporação é alta e o fluxo de maré e dos rios são negligenciáveis.

As regiões estuarinas são ambientes de grande importância ecológica e física para os ecossistemas, como também econômica para a população (WILLIAMS & LANGER, 2002). Por serem ambientes que recebem descargas fluviais e de águas de alta salinidade provindas do oceano, o fluxo nessas regiões depende do gradiente de pressão existente. Assim, o aporte fluvial se mostra uma importante variável na dinâmica dessas regiões. Rios como o rio Fraser, objeto de estudo desse trabalho, na Columbia Britânica-Canadá, por exemplo, são sistemas fluviais imprescindíveis na biologia, física e geoquímica dos ambientes costeiros em geral.

Miller (2004) define os rios como os principais meios de transporte de materiais particulados e dissolvidos para os oceanos. O resultado das descargas fluviais em deságue nos estuários são as formações de plumas de sedimento.

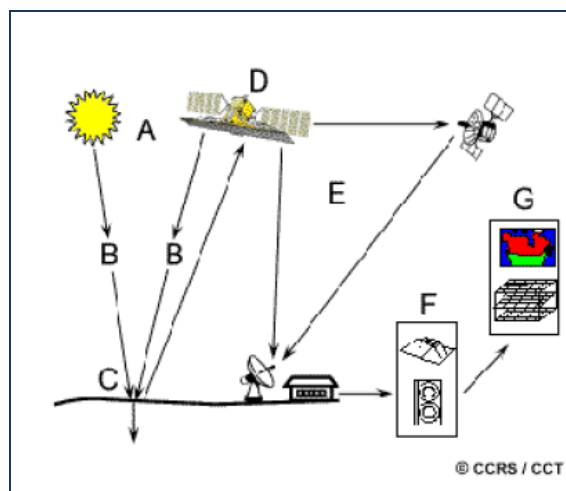
As plumas são resultado do aporte continental e indicadoras da produtividade primária, qualidade de água, do transporte biogeoquímico ou até mesmo do regime de vento e pluviosidade da região. As plumas de rio também podem ser influenciadas pela força de Coriolis dependendo da largura da feição, do raio interno da pluma e da latitude em que se encontram (SIMPSON & SHARPLES, 2012). De acordo com Weimer e Link (1991) as correntes de turbidez, que podem ser causadas pela diferença de densidade pelo sedimento das plumas, são os principais meios transportadores de sedimento nos ambiente marinho e fluvial.

Com finalidade de melhor compreender os parâmetros oceanográficos das regiões costeiras, dados *in situ* são de fundamental importância. As balsas e os navios de transporte tem sido de grande valia para coleta desses parâmetros em diversos países. Entretanto, é desejável também ter uma visão sinótica da região de interesse, e os dados e as imagens de satélite, por sua

alta resolução espacial e temporal, são a ferramenta adequada para auxiliar nos estudos de parâmetros físicos e biofísicos dessas regiões.

Através das imagens de satélite é possível inferir as características físicas, química e biológicas dos alvos à superfície, através da radiação eletromagnética proveniente dos objetos que compõe a cena da área de estudo. Segundo o *Canada Centre for Remote Sensing (CCRS)*, o sensoriamento remoto por satélites se define como um processo de interação entre o objeto de estudo e a radiação que incide nesse objeto. Esse processo é dividido em etapas (figura 1). O primeiro estágio consiste na fonte de energia ou iluminação requerida para que o processo de aquisição ocorra (A). Os sensores remotos podem ser divididos em passivos, cuja aquisição depende da energia (ou luz) que irradia no alvo, e os ativos (Radar de Abertura Sintética, por exemplo), que possuem sua própria fonte de energia para iluminar o alvo de interesse e assim adquirir seus dados.

**Figura 1.** Esquema do processamento de aquisição de dados por um sensor.



Fonte: *Canada Centre for Remote Sensing (CCRS)*.

No período em que a energia viaja da fonte até o alvo (ou do alvo para o sensor), há uma interação entre a energia e a atmosfera (B), quando ocorre uma pequena dissipação de energia, tornando o dado passível de correções. Quando a energia interage com o alvo (C), dependendo de suas propriedades, a energia é espalhada ou retroespalhada para a possível aquisição pelo sensor (D). A energia captada pelo sensor é transmitida para uma estação, que recebe e processa os dados (E). A imagem de satélite é então interpretada e analisada para

extração de informações(F). Por fim, os dados da imagem são utilizados para gerar produtos e ou tirar conclusões sobre o objeto ou área em estudo (G).

Num âmbito mais específico, no que diz respeito à física ótica da água, Morel & Prieur (1977) dividem os corpos d'água em dois tipos: Águas do caso 1 e Águas do caso 2. As águas do caso 1 são águas nas quais o agente dominante nas variações das propriedades óticas são o fitoplâncton e o material de origem. Já as águas do caso 2 são influenciadas não somente pelo fitoplâncton, mas também pelo material particulado encontrado na coluna d'água. As águas do Estreito de Georgia, incluindo o rio Fraser (nossa área de estudo), são caracterizadas como caso 2 (KOMICK, 2007).

Os estudos realizados por Morel & Prieur (1997) utilizaram as variações de reflectância para dividir os corpos d'água em seus respectivos casos. As propriedades óticas de um corpo d'água são definidas pelas variações espectrais de sua reflectância ( $\rho$ ) na superfície em diferentes profundidades.

A reflectância é definida pela razão entre a quantidade de luz que deixa a superfície da coluna d'água (irradiância ascendente ou irradiância de *upwelling*) e a quantidade de luz incidente na superfície da coluna d'água (irradiância descendente ou irradiância de *downwelling*). A reflectância funciona como uma normalização da quantidade de luz que interage entre o sensor e o objeto de estudo, sendo muito utilizada para os estudos de variáveis ambientais como a turbidez, a temperatura, dentre outros (SOUZA, 2009; TEMPFLI, 2009; KHORRAM, 2012).

A turbidez, cuja unidade é o NTU (Unidades nefelométricas de turbidez) do inglês *Nephelometric Turbidity Unit*, é uma variável que representa um efeito ótico que é relacionado com o material particulado em suspensão (MPS) e com propriedades de outros de elementos impuros na água. Quando a luz incide em líquidos com alta concentração de turbidez, a luz é espalhada pela atenuação da intensidade de luz causada pelo material particulado (CHEN, 2009). A quantidade de luz atenuada pelo MPS representa a turbidez do líquido.

Os modelos padrões fornecidos pelos softwares de processamento, atualmente, são considerados errôneos por serem modelos globais que produzem erros elevados quando se trata de regiões de pequena área em relação ao globo. Como a turbidez pode ser estimada a partir de imagens de satélites, o presente estudo visa, conjuntamente com dados *in situ*, estudar a pluma do rio Fraser no Canadá usando dados coletados pela Balsa *BC Ferries*, que faz o transporte de



passageiros entre a Ilha de Vancouver e o continente, e o sensor MODIS a bordo do satélite AQUA, que por sua alta resolução espacial e temporal pode nos ajudar a atingir os objetivos propostos para o presente trabalho.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a dinâmica espaço-temporal da pluma do Rio Fraser utilizando dados *in situ* e imagens do satélite AQUA-MODIS, na banda do vermelho (645 nm).

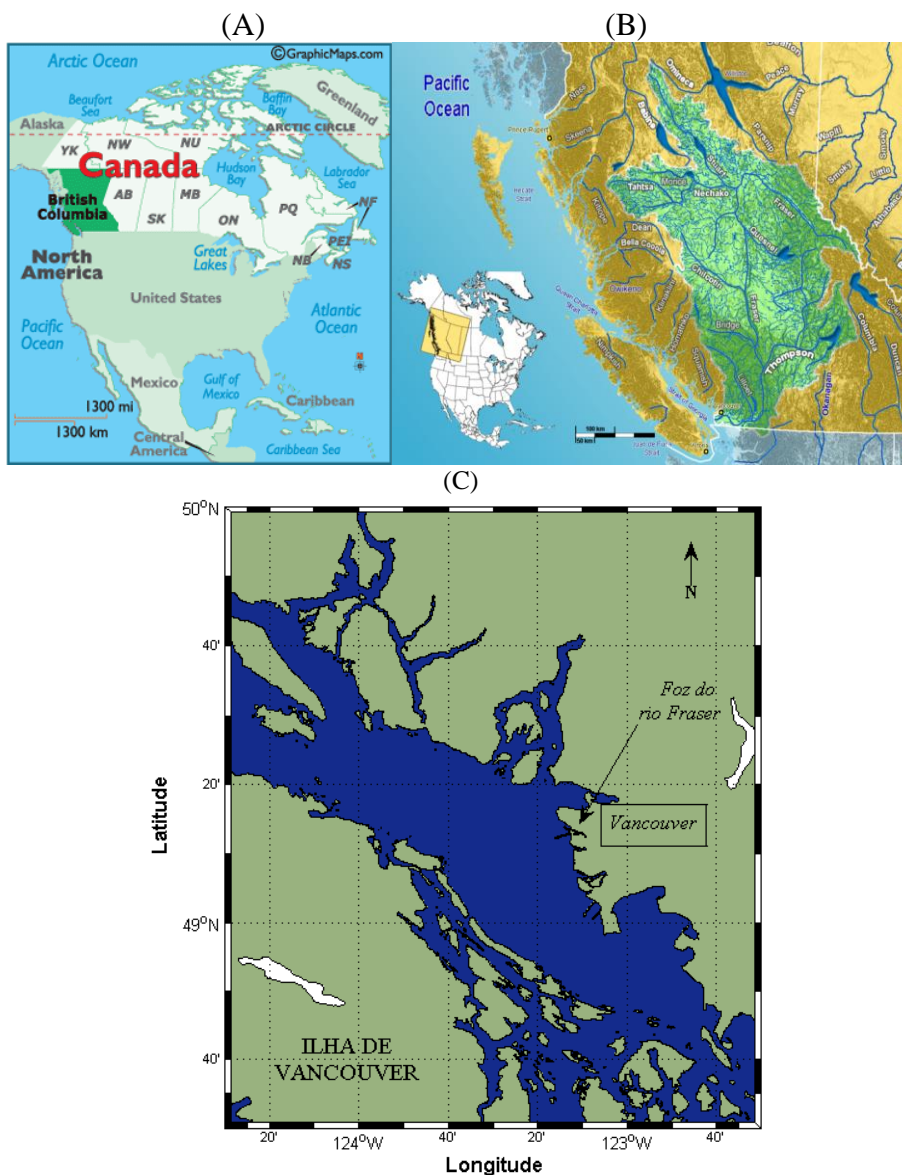
### 2.2 Específicos

- Correlacionar dados *in situ* de turbidez, coletados no rio Fraser, com dados de reflectância das imagens do satélite AQUA-MODIS,
- Desenvolver um algoritmo regional para estimar a turbidez da pluma do rio Fraser utilizando valores de reflectância das imagens do satélite AQUA-MODIS.
- Aplicar o algoritmo nas imagens para o estudo da dispersão da pluma do rio Fraser.
- Gerar imagens de turbidez a partir do algoritmo desenvolvido para um estudo quantitativo e qualitativo da pluma do rio Fraser a fim de que se tenha uma maior conhecimento na dispersão de sedimentos do local.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

Os dados para o presente trabalho foram obtidos na foz do Rio Fraser, que esta localizado na porção noroeste do Canadá, na província da Columbia Britânica (figura 2a). A área de estudo esta inserida no corpo d'água denominado Mar Salish, que inclui o sistema estuarino do estreito de Georgia, a enseada de Pudget e o estreito de Juan de Fuca (figura 2b e c).

**Figura 2.** (A) Localização da província da Columbia Britânica no Canadá, (B) Bacia Hidrográfica do Rio Fraser e sua localização no continente e (B) área de estudo.



Fonte: Graphicmaps (A), Maps of Canadian Rivers (B) e elaborado pelo autor (C).

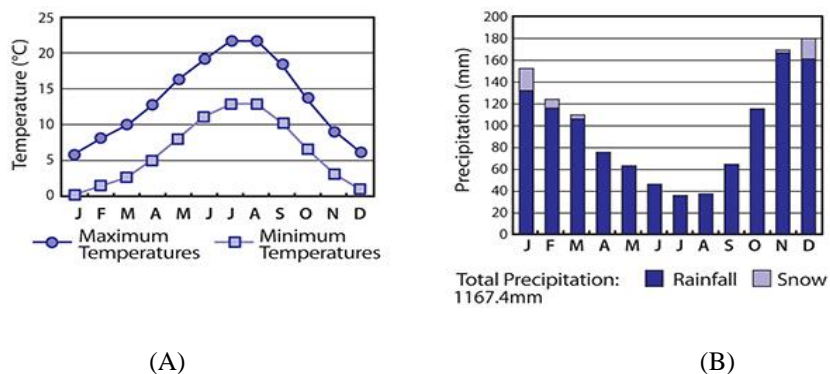
O estreito de Georgia é considerado a região costeira de maior importância econômica da província da Columbia Britânica no Canadá. Mais de 70% da população está localizada em sua periferia que funciona como uma via de comércio com alto desenvolvimento econômico e industrial. O estreito de Georgia é uma região também muito importante para as desovas de salmão, tornando-se um dos locais com maior comércio de pesca no mundo (Thomson, 1981).

A precipitação é típica de zonas temperadas com aporte pluvial e de neve como fatores de precipitação, cuja média anual é de 1167mm. A Figura 3a mostra a temperatura e a precipitação, média climatológica mensal, na estação meteorológica de Vancouver, localizada na latitude 9°14'58" N e longitude 123°07'09" W.

Nesta área, os meses mais frios e mais quentes, como era de se esperar, são os de inverno e verão, respectivamente. Os meses onde as temperaturas mínimas são menores são os meses de dezembro e janeiro (0 °C). Nos meses de Julho e Agosto (meses de verão) as temperaturas mínimas atingem os 10 °C e as máximas aproximadamente 22 °C (Figura 3a).

Os meses mais chuvosos em Vancouver são os meses de outono e inverno, onde a média climatológica varia entre aproximadamente 120 mm e 170 mm e os meses menos chuvosos são Junho, Julho e Agosto (final da primavera e meses de verão), onde a climatologia da precipitação apresenta valores inferiores a 50 mm (Figura 3 b).

**Figura 3.** (A) Temperatura e (B) Precipitação Média Anual na estação meteorológica de Vancouver (latitude 9°14'58" N e longitude 123°07'09" W)

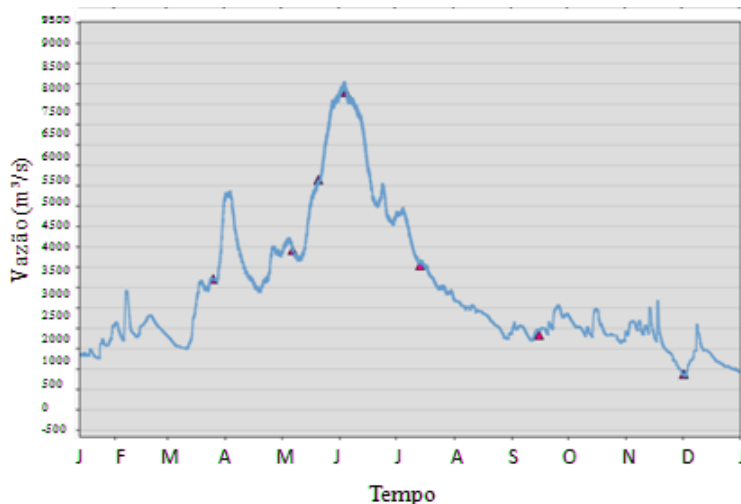


Fonte: adaptado de: <http://wateroffice.ec.gc.ca/>, acesso em 18/07/16.

No aspecto hidrológico, o Rio Fraser (figura 2a) é um dos rios mais importantes do Canadá. Seu fluxo de sedimentos transportado para o Oceano Pacífico é excedido, em toda a América do Norte, apenas pelas descargas dos rios de Columbia e Yukon (Johannesen, 2003).

Com uma bacia de drenagem de 250.000 km<sup>2</sup> e média anual de vazão de 3400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, o Rio Fraser é uma das fontes mais significantes de água e material em suspensão do Estreito de Georgia (Milliman, 1979). Embora a precipitação seja mais significativa nos meses de outubro a março (Figura 3b), a vazão do rio Fraser é elevada principalmente no verão, conforme mostra a Figura 4. Este fato se explica pelo aporte de água devido ao derretimento da neve localizada nas regiões montanhosas do Canadá (figura 2a), próximas à nossa área de estudo.

**Figura 4.** Serie temporal de vazão do Rio Fraser no ano de 2015.



Fonte: adaptado de: <http://wateroffice.ec.gc.ca/>, acesso em 13/07/16.

Segundo Thomson (1981), o derretimento da neve provindas das áreas montanhosas da porção mais central do Canadá conta como dois terços da vazão total do rio anualmente. O fluxo de água doce aumenta em seu máximo no final de Maio até o fim de Junho e seu mínimo é em dezembro onde só começará a aumentar na primavera do ano consecutivo (figura 4).

Ainda de acordo com Milliman (1979), o Rio Fraser tem uma grande importância devido sua dinâmica e a sua influência nos ecossistemas e populações fitoplânctônicas. A concentração de sedimentos e material particulado no geral determina a quantidade de luz que penetra na coluna d'água influenciando a população de fitoplâncton que necessita da luz por serem organismos fotossintéticos.

## 4. DADOS E METODOLOGIA

### 4.1 Base de Dados

Com finalidade de estudar a relação entre reflectância e turbidez foram utilizados dados coletados *in situ* na foz do rio Fraser, no estreito de Georgia e de imagens de satélite da mesma região.

#### 4.1.1 Imagens de satélite

As imagens utilizadas neste trabalho foram as do satélite AQUA-MODIS, órbita descendente disponibilizadas pela NASA através do site OceanColorWeb (figura 5), dos anos 2014 e 2015. A princípio foram selecionadas 730 imagens, pelo menos 1 imagem para cada dia do período de estudo. Os dados que o site disponibiliza podem ser adquiridos desde seu estado “raw” (Nível 0) sem correções atmosférica, geométrica e radiométrica ou seus produtos (Nível 1 e 2) de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e Clorofila (figura 6).

Figura 5. Página do OceanColorWeb

Fonte: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Acessado em 23/06/2016.

**Figura 6.** Layout da página para download dos dados do AQUA-MODIS adquiridos desde 2002.

The screenshot shows the NASA Ocean Color website interface. At the top, there is a navigation bar with 'Home', 'Data Search', 'Data Viewer', 'Help', and 'Log Out'. Below this is a search bar with the text 'Search for a location, instrument, or data product'. The main content area is divided into several sections:

- SeaWiFS:** GAC, MLAC.
- MODIS:** Aqua, Terra.
- MERIS:** RR, FRS.
- Other Instruments:** VIIRS (Suomi-NPP), OCTS (ADEOS), HICO (ISS), CZCS (Nimbus-7).
- Filters:** Select swaths containing (at least): any part, 25%, 50%, 75%, all. Select only oceans having in situ matchups.
- Radius (km):** 72, 400, 800, 1200, 1500.
- Map:** A world map showing Chl a concentration. The title is 'Sunday, 23 June 2002 through Monday, 25 April 2016'. The label 'Chlorophyll' is at the bottom.
- Data Table:** A table showing data for February, March, and April 2016. The table has columns for days of the week (S, M, T, W, T, F, S) and rows for each day. The data values are represented by colored cells (green, yellow, red, blue).

Fonte: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>. Acessado em 27/06/2016.

#### 4.1.2 Dados in situ

Os dados *in situ* foram adquiridos no website da *Ocean Networks Canada* (figura 7). O banco de dados *Oceans 2.0* oferece dados da região da Columbia Britânica-Canadá (figura 3b), relativos à TSM, salinidade, nutrientes, turbidez dentre outras variáveis, sendo a turbidez o dado de interesse para este trabalho.

**Figura 7.** Layout da página do banco de dados *Oceans 2.0*.

The screenshot shows the Ocean Networks Canada Data Search interface. The main area is a map of the Pacific Northwest coast of Canada, showing the coastline and several data points marked with colored dots. A sidebar on the left contains a tree view of data sources, including:

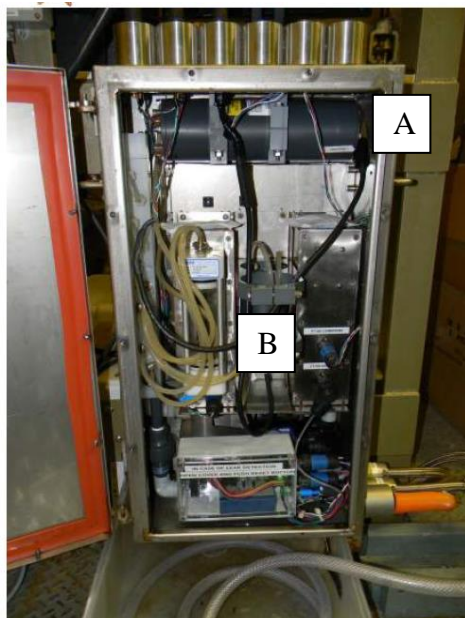
- Ocean Networks Canada
  - ARCIS
  - ARCIS
  - Challenger Sound
  - Challenger Channel
  - Northwest Pacific Ocean
  - Rocky Coast
  - Salish Sea
  - British Columbia Panicle
  - International Bay - Okanagan II
  - Transwestern - Delta Point
  - Transwestern - Okanagan III
  - Transwestern - South Bay
  - Chinook Passage
  - Salish Sea
  - Strait of Georgia
  - Delta
  - East
- ECOM
- POASMEA
- ROD

Fonte: <http://dmas.uvic.ca/>. Acessado em 27/06/2016.

Os dados de turbidez no *Ocean 2.0* são coletados por um sensor modelo ECO Triplet BBFL2 787 da WETLabs (figura 8) acoplados em balsas de transporte (figura 9) entre a Ilha de

Vancouver e o continente. O sensor coletada dados a cada 10 s. Além de turbidez, o sensor descrito coleta dados diários de fluorescência, material orgânico dissolvido e clorofila (para mais detalhes das especificações do equipamento, ver Anexo A.

**Figura 8.** *Instrument Box* acoplada ao Ferry com (A) BBFL2 EcoTriplet e (B) Termosalinógrafo.



Fonte: Report on maintenance, cleaning and in situ calibration of the BBFL2, Sastri (2014).

**Figura 9.** Balsa de transporte entre a Ilha de Vancouver e o continente *BC Ferries*.



Fonte: O autor.



Para selecionar somente os dados medidos de boa qualidade da sonda, somente os dados de cinco dias após as datas de limpeza do BBFL2 foram selecionados para análise.

Ressalta-se que a balsa que coletou os dados para este trabalho realizava, em média, quatro viagens por dia. Porém os dados utilizados são aqueles coletados entre 12 e 14 h, que são os mais próximos da hora de passagem descendente do satélite AQUA-MODIS sobre área de estudo.

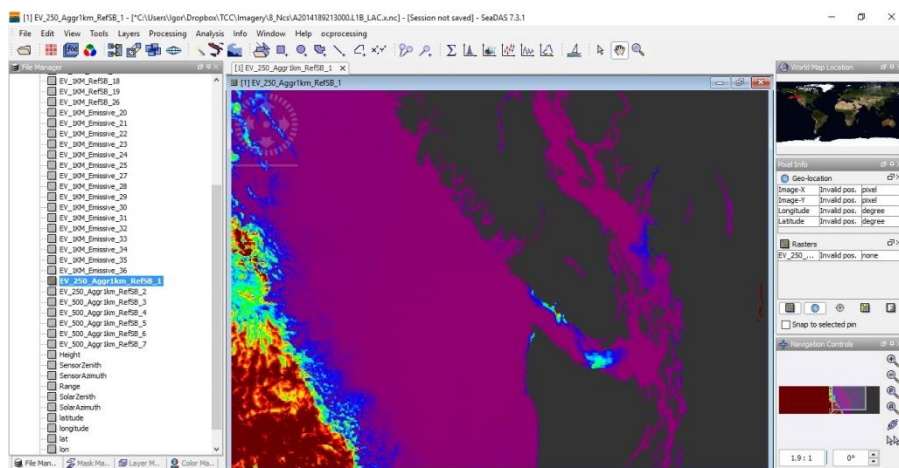
## 4.2 Processamento dos dados

No processamento e análise das imagens de satélites e dos dados *in situ* foram utilizados três softwares: SeaDAS, ENVI e MatLab. O processamento das imagens AQUA-MODIS foi dividido em: 1) correção geométrica, radiométrica e atmosférica, 2) análise estatística, 3) aplicação do algoritmo e 4) *match up de dados*.

### 4.2.1 Correção geométrica, radiométrica e atmosférica das Imagens

As imagens foram inicialmente processadas utilizando o software SeaDAS, desenvolvido pela NASA especificamente para tratar imagens provenientes do sensor MODIS (Figura 10). As imagens foram baixadas sem nenhum tipo de correção. O seaDAS foi utilizado para realizar a correção radiométrica e geométrica e visualização de bandas espectrais.

**Figura 10.** Toolbox do software SeaDAS

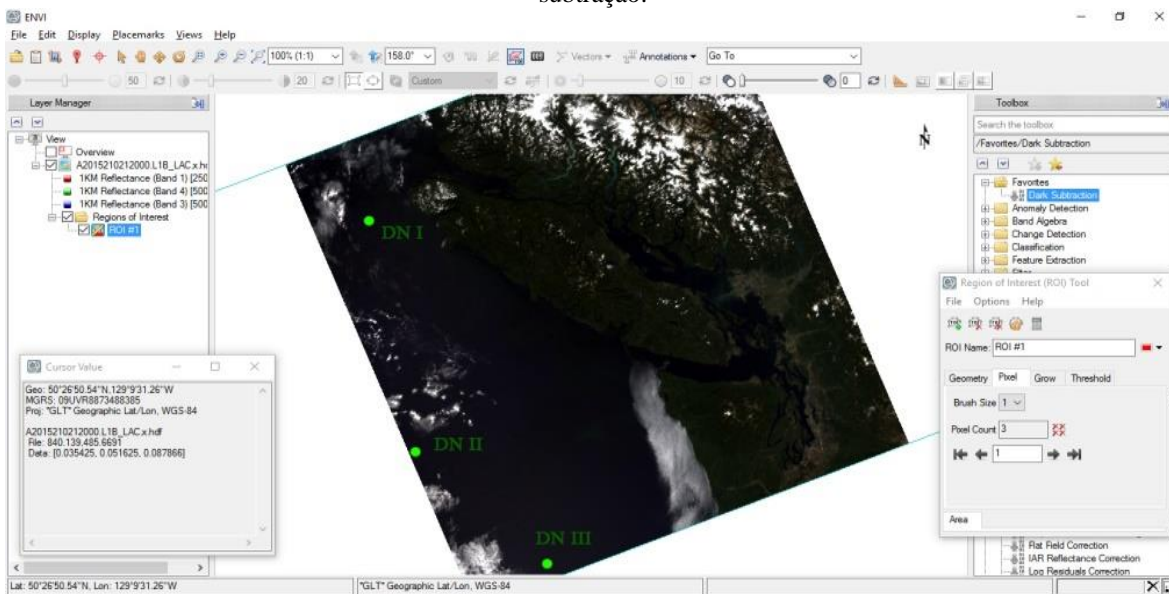


Fonte: O autor.

Após a primeira etapa do processamento, para retirar os efeitos atmosféricos provenientes do espalhamento e retroespalhamento, correção atmosférica foi requerida. A correção atmosférica foi executada por uma das funções do toolbox do *software* ENVI denominada *Dark Object Subtraction* que é baseada na correção atmosférica denominada de *Dark Pixel Assumption*. Nesse tipo de correção, os valores de pixel (ou *pixel values* ou *digital number* ou ainda DN) são analisados e os valores no oceano, mais distantes de regiões costeiras, onde a turbidez pode potencialmente afetar os dados de irradiância ascendente, são considerados nulos partindo do princípio de que o oceano vai absorver a maior parte da radiação eletromagnética, na banda do vermelho, fazendo com que a radiancia que chega ao sensor MODIS seja praticamente nula, ou seja, emissividade praticamente zero (EMISSIVITY..., 2010).

Feita essa suposição, três pontos foram escolhidos na parte mais afastada da costa, onde a porcentagem de cobertura de nuvens era praticamente nula (figura 10). A média desses valores de DN foi subtraída em todos os pixels da imagem. Realizando este procedimento, supomos que os valores resultantes da correção atmosférica são valores sem o espalhamento e retroespalhamento atmosférico (processos que alteram os DN).

**Figura 11.** Correção Atmosférica Dark Subtraction pelo software ENVI: marcação de DN para a subtração.



Fonte: O autor.

#### 4.2.2 Análise Estatística

Após as correções mencionadas anteriormente, os dados de reflectância da banda do vermelho (645nm) foram correlacionados com os dados *in situ* de turbidez na foz do Rio Fraser com finalidade de desenvolver um algoritmo que permitisse converter os dados de reflectância da área (variável dependente) com a turbidez da região (variável independente). Gerou-se então um diagrama de dispersão com o objetivo de verificar a existência de relação entre a variável dependente e a variável independente e verificou-se que os dados apresentavam uma tendência linear positiva. Optou-se então por aplicar um modelo de regressão linear simples aos dados.

Segundo Dogliotti et al. (2015), para regiões com alta turbidez como a do Estreito de Georgia, a banda de 250 m do Vermelho do AQUA-MODIS é a melhor escolha para correlacionar com a turbidez da região. Petus et al. (2010) criou um algoritmo regional usando a banda do vermelho do AQUA-MODIS (250 m) para a pluma do rio Adour (França) onde a turbidez varia de 0,5 a 70 NTU corroborando a escolha da banda espectral para este trabalho.

#### 4.2.3 Aplicação de Algoritmo

Com o algoritmo gerado, foi possível aplicá-lo nas imagens de satélites selecionadas como também comparar e analisar os dados obtidos pelo algoritmo em relação aos dados obtidos *in situ*. Essas análises tiveram como objetivo verificar se o modelo proposto superestimava ou subestimava os valores gerados, quando comparado aos dados medidos *in situ*.

#### 4.2.4 Match up de dados

De aproximadamente 730 imagens, apenas as imagens que estavam dentro da faixa de datas de limpeza da instrumentação da balsa foram selecionadas. A hora de aquisição das imagens de satélite também foi levado em consideração, uma vez que as mesmas tinham que ser adquiridas em horários o mais próximo possível da aquisição das imagens de satélite.

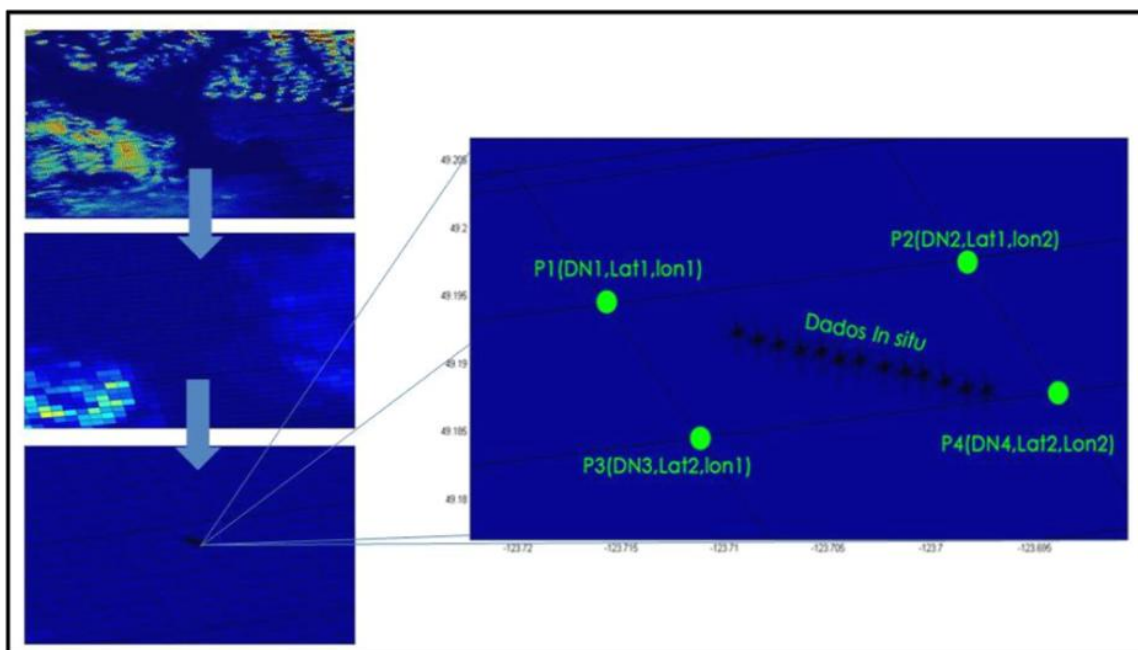
Assim, 45 imagens foram filtradas para a análise, onde apenas 16 foram de fato corrigidas e usadas como amostra para a regressão linear ( $\rho$  versus turbidez) tendo em vista que

imagens com distorção da cena adquirida e imagens com alta cobertura de nuvens foram descartadas.

Um total de 730 de pontos foi utilizado para realizar a regressão entre as variáveis reflectância e turbidez.

A população amostral de reflectância adquirida nas imagens de satélite foi a média entre 4 (quatro) pixels (com seus correspondetes DN's, latitudes e longitudes). As posições geográficas (latitude e longitude) de todos os grupos de pixels da imagem de satélite corresponderam às mesmas regiões de interesse em que a balsa coletava os dados *in situ* (figura 12). Os dados *in situ* posicionados na respectiva área delimitadas entre os 4 pixels da imagem de satélite foram representados pela mediana da população amostral.

**Figura 12** Exemplo de *match up* dos dados *in situ* e os dados de imagem AQUA-MODIS.



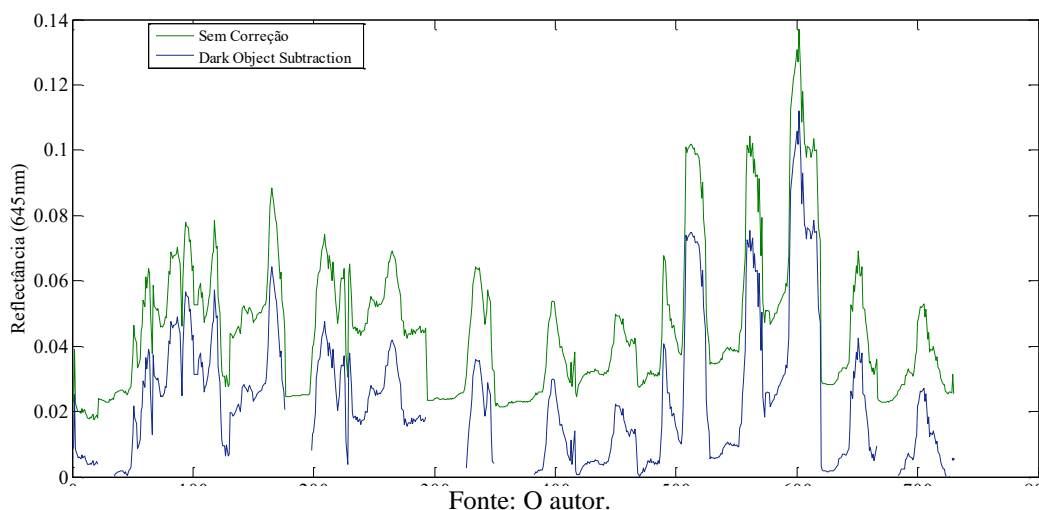
Fonte: Autor.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Correção atmosférica

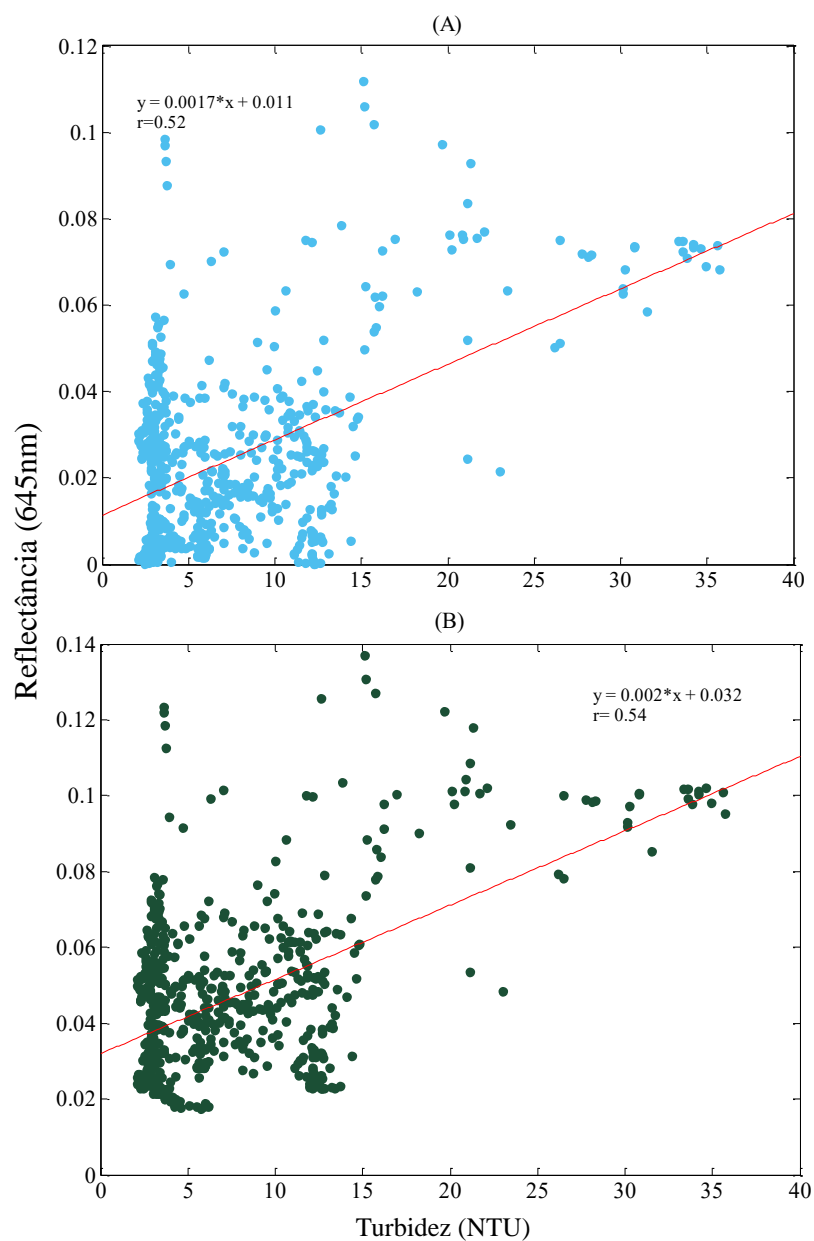
Antes de aplicar a regressão linear aos dados, a correção atmosférica foi avaliada a fim de verificar se a mesma produzia resultados mais robustos em relação às imagens sem correção atmosférica. Na figura 13, podemos observar a comparação entre os dados corrigidos e os sem correção atmosférica. Como se trata de uma subtração de valores, os dados com correção atmosférica apresentaram um comportamento esperado, ou seja, com valores mais próximos de zero em toda a série.

**Figura 13.** Série de dados de reflectância (645nm) com correção e sem correção atmosférica.



Para uma avaliação estatística, gráficos de dispersão foram gerados de ambas as reflectâncias (com e sem correção atmosférica) com os dados de turbidez (figura 14). A correlação entre os dados de reflectância não corrigidos foi maior que a proveniente dos dados com correção atmosférica.

Figura 14. Scatterplots com refletância corrigida atmosféricamente (A) e sem correção (B).



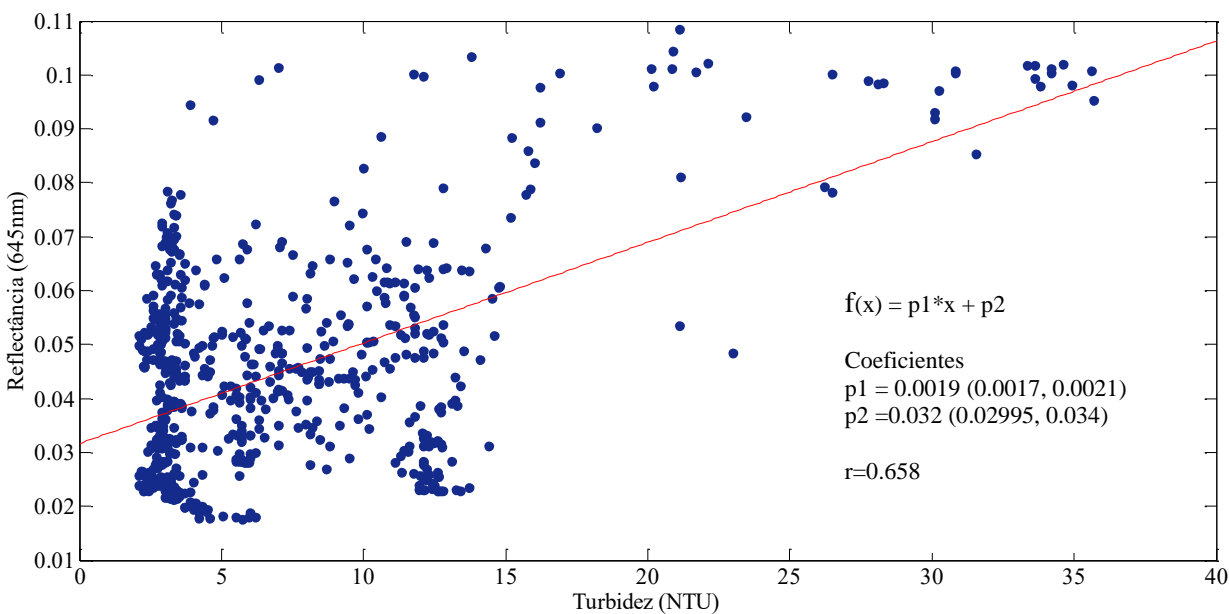
Fonte: O autor.

Devido ao coeficiente de correlação das imagens sem correção atmosférica ( $r = 0,54$ ) ter magnitude ligeiramente maior que o das imagens com correção atmosférica ( $r = 0,52$ ), esta foi escolhida para análise. Uma vez que foram detectados *outliers* decidiu-se, para o desenvolvimento do algoritmo, eliminar os dados que apresentaram valores maiores ou iguais a 4

(quatro) desvios padrões ( $\sigma$ ). Os *outliers* podem ter sido adquiridos devido à falhas do *match up* (seção 4.3.4). O novo coeficiente de correlação obtido foi de  $r=0,57$ .

Finalmente, o algoritmo desenvolvido foi um polinômio de primeiro grau (figura 15). Foram encontrados dois pares de coeficientes para o ajuste do algoritmo com um grau de confiança de 95%. A tabela 1 mostra a raiz do erro quadrático médio (RSME) dos pares de coeficientes utilizados no modelo linear ( $\rho = p1T + p2$ ). Vale ressaltar que os RSME apresentados na Tabela 1 são aqueles resultantes dos testes realizados com os valores de  $p1$  e  $p2$ .

**Figura 15.** Diagrama de dispersão entre reflectância e turbidez com a retirada de *outliers* acima de  $4\sigma$ .



Fonte: O autor.

**Tabela 1.** Valores de RMSE utilizando diferentes pares de coeficiente no modelo proposto.

Coeficientes (p1,p2)	RMSE (NTU)
(0,0019;0,032)	9,59
(0,0017; 0.029)	10,69
(0,0021;0.034)	8,54

Fonte: O autor.

Com isso, os coeficientes  $p1=0,0021$  e  $p2=0,034$  foram escolhidos para serem utilizados no modelo, por apresentarem menor RMSE, ou seja, 8,54 NTU. Na tabela 2, pode-se observar os parâmetros estatísticos dos dados *in situ* e da reflectância das imagens de satélite.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos parâmetros Turbidez e Reflectância ( $\rho$ ).

Medida	Turbidez <i>in situ</i>	Reflectância (645nm)
Mínimo	2,1	0,0176
Máximo	35,7	0,1085
Média	6,935	0,0445
Moda	3,3	0,0238
Mediana	4,025	0,0418
Desvio Padrão	6,071	0,0198
r de Pearson	0,568	0,568
Número de Dados	730	730

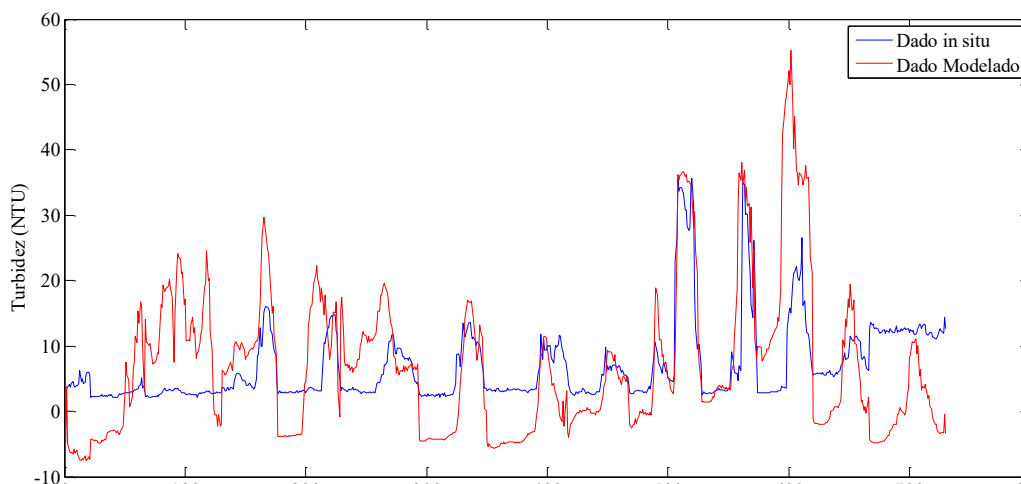
Fonte: O autor.

## 5.2 Mapas de Turbidez

Após a escolha dos coeficientes, o modelo utilizado para estimativa da turbidez ( $T$ ) a partir da reflectância ( $\rho$ ) foi:

$$T = \frac{(\rho - 0.034)}{0.0021}$$

Com isso, o algoritmo foi avaliado junto aos dados *in situ* para observar superestimativas ou subestimativas ao longo da série de dados (figura 16).

**Figura 16.** Concentração de turbidez nos dias amostrados de dados *in situ* e *output* do algoritmo.

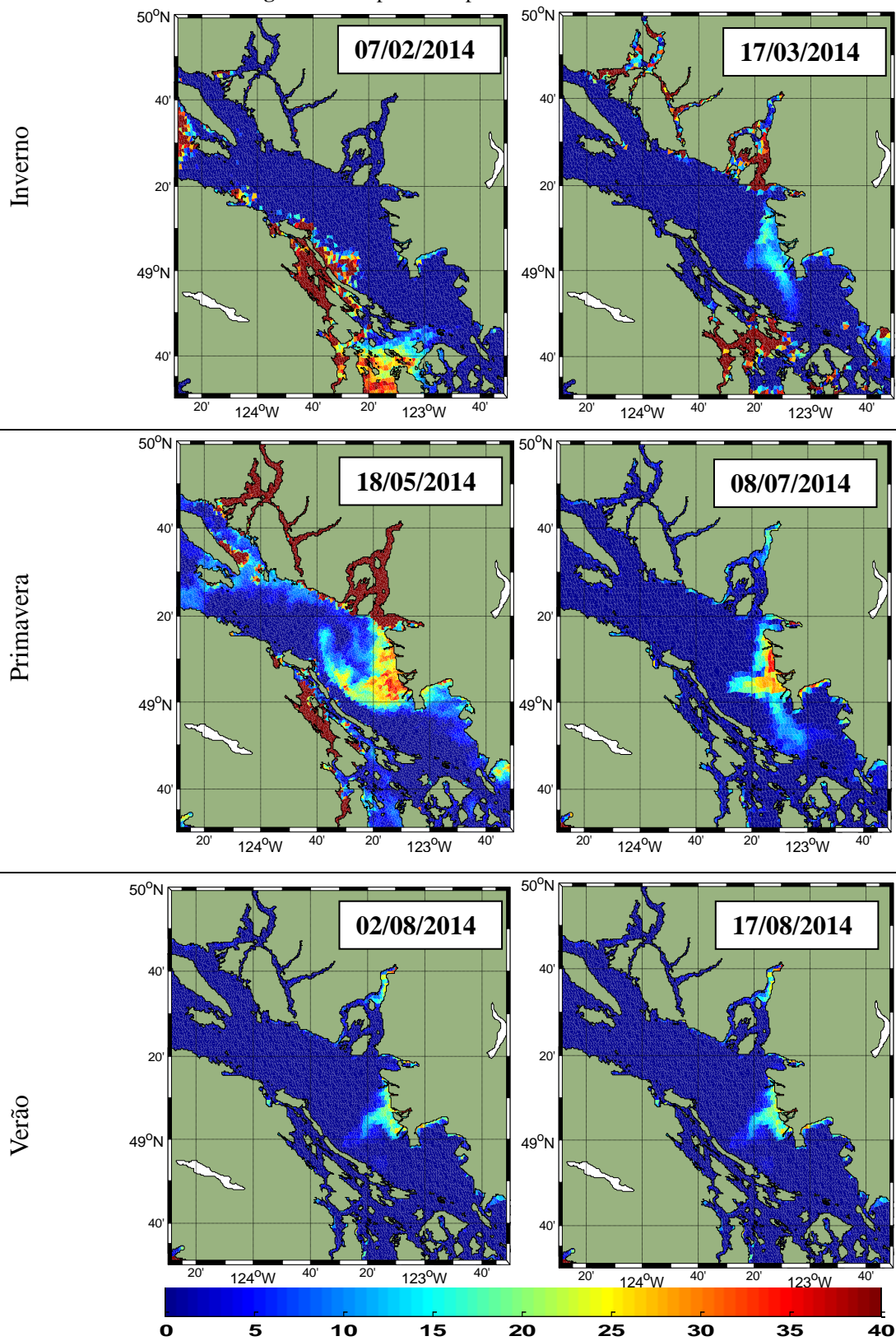
Fonte: O autor.

Pode-se observar que o dado modelado superestima alguns pontos da série, porém apresenta uma flutuação que concorda com os dados *in situ* ao longo de toda a série. Para



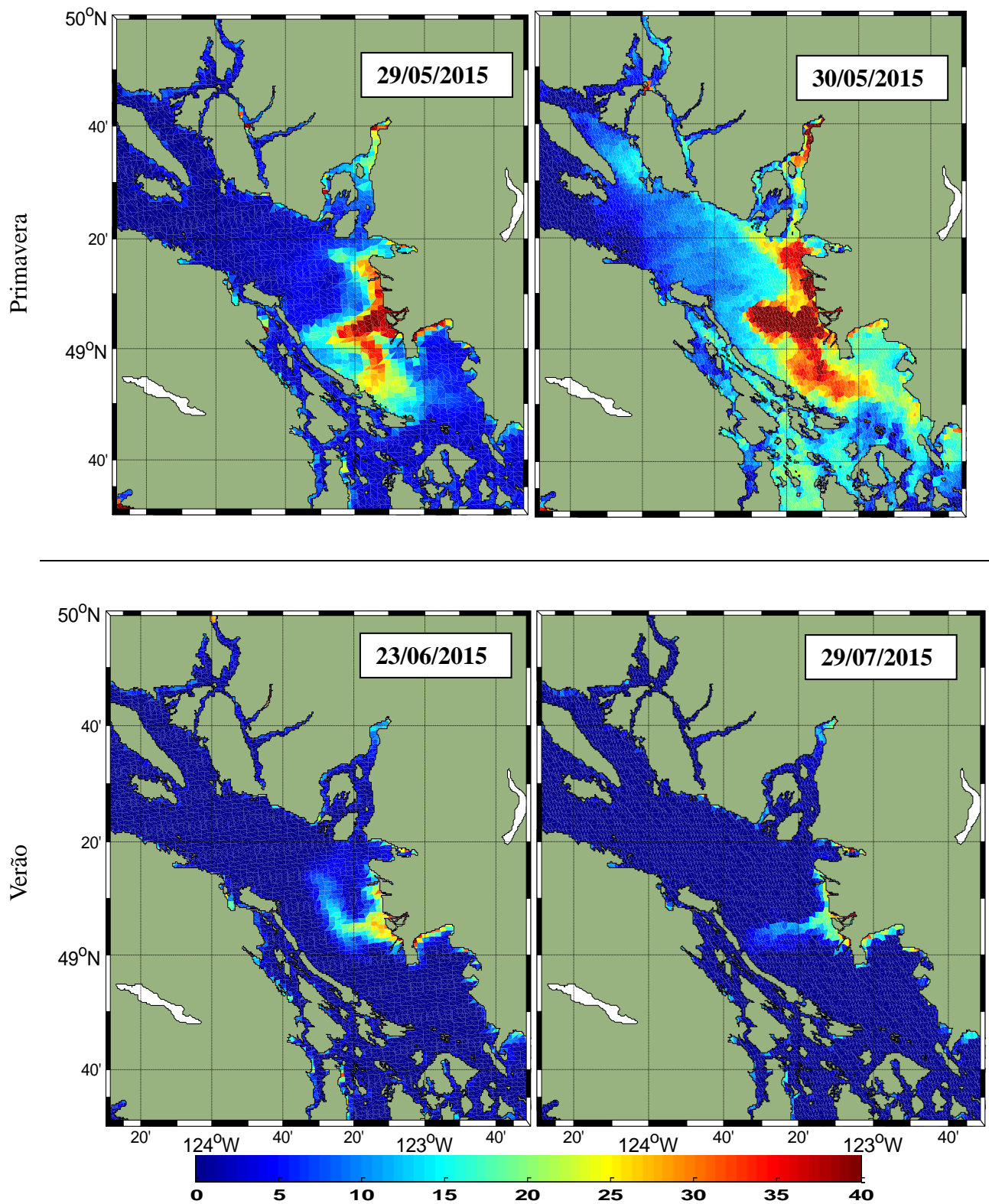
analisar a dispersão da pluma e sua sazonalidade, o algoritmo foi aplicado nas imagens de satélite que serviram de amostra para a análise (figura 17)

**Figura 17.** Dispersão da pluma do rio Fraser no ano de 2014.



Fonte: O autor.

Figura 18. Dispersão da pluma do rio Fraser no ano de 2015.



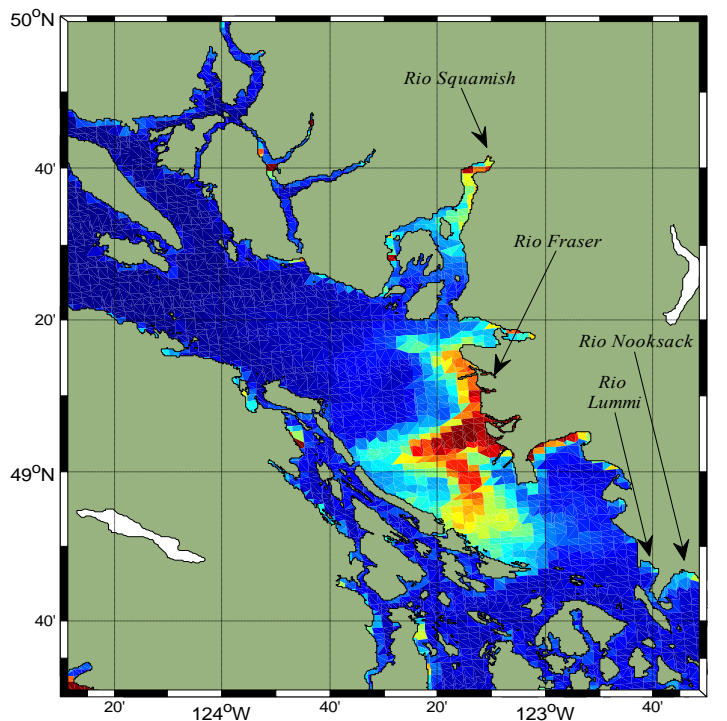
Fonte: O autor.

Se observarmos novamente a flutuação de vazão no ano de 2015 na figura 4, nota-se que a pluma do rio Fraser no mês de maio, junho e julho na figura 17 e figura 18 têm o mesmo comportamento, levando que em consideração que a vazão máxima se encontra no final de maio e início de junho (momento no qual a pluma apresenta maiores valores de turbidez como também maior extensão) e que essa vazão diminui drasticamente nos meses consecutivos o que é corroborado com Komick (2007).

Como a vazão do rio Fraser tem aproximadamente dois terços de influência de derretimento de neve vindas das regiões montanhosas do continente, a temperatura é um fator muito importante na dinâmica da pluma do rio Fraser.

Podemos também observar a influência de outros rios na concentração de turbidez na região. Rios mais ao sul da foz do rio Fraser como o rio Nooksack e o rio Lummi, localizados na parte norte do Estados Unidos, ou na parte mais ao norte do Canadá onde o derretimento de neve é intenso pode-se observar grande aportes de turbidez como na região da foz do rio Squamish (figura 19).

**Figura 19.** Plumas de rios adjacentes também abrangidos pelo algoritmo.



Fonte: O autor.

## 6 CONCLUSÃO

O uso de modelagem de dados para a criação de mapas de turbidez se mostra como uma importante ferramenta para as análises de regiões costeiras assim como seu monitoramento.

A correção atmosférica denominada *Dark object subtraction*. foi considerada, para a região estudada, dispensável no desenvolvimento do algoritmo, levando em consideração que o coeficiente de correlação foi mais alto com as imagens não corrigidas.

O algoritmo criado não leva em consideração as propriedades óticas da água que são relevantes no *output* dos resultados o que pode ter gerado um coeficiente de correlação da ordem de  $r = 0,57$ .

O uso de uma maior população amostral de imagens de satélites e onde há, concomitantemente, disponibilidade de dados *in situ* pode melhorar o *skill* dos modelos de regressão entre a reflectância e a turbidez.

## REFERÊNCIAS

CHEN, S., FANG, L., ZHANG, L., HUANG, W. **Remote sensing of turbidity in seawater intrusion reaches of Pearl River Estuary – A case study in Modaomen water way, China.** Estuarine, Coastal and Shelf Science 82 (2009) 119–127.

DATA Search. **Ocean Color Web.** Disponível em: <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>>. Acesso em: 29 de Junho 2015.

DOGLIOTTI, A. I., RUDDICK, K. G., NECHAD, B., DORAXAN, D., & KNAEPS, E. (2015). **A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters.** Remote Sensing of Environment, 156, 157–168. 2015.

EMISSIVITY of the Ocean. **The Science of Doom: Evaluating and Explaining Climate Science.** 2010. Disponível em: <<https://scienceofdoom.com/2010/12/27/emissivity-of-the-ocean/>>. Acesso em: 07 de Julho de 2016.

JOHANNESSEN, S.C.; MACDONALD, R.W. D; PATON, D.W. **A sediment and organic carbon budget for the greater Strait of Georgia.** Estuarine, coastal and shelf science, v. 56, p. 845 – 860, 2003.

KHORRAM, S. **Remote sensing.** 2012 ed. Berkeley, CA: Springer, 2012.

KOMICK, N. M. **Remote sensing chlorophyll-a in the Strait of Georgia.** Masters Abstracts International. Vol. 47, no. 01, 159 p. 2007., v. 47, n. 01, p. 159, 2007.

MILLIMAN, D. J. **Sedimentation in the Fraser River and its Estuary, Southwestern British Columbia (Canada).** Estuarine and Coastal Marine Science, v. 10, p. 609-633, 1979.

MILLER, R. L.; MCKEE B. A., **Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters.** Remote Sensing of Environment, 93, p. 259-266, 2004.

MODIS Properties. **Aqua: Project Science.** Disponível em: <<http://aqua.nasa.gov/modis>>. Acesso em: 29 de Jun. 2015.

MOREL, A.; PRIEUR, L. **Analysis of variations in ocean color.** Limnology and Oceanography, Texas, V. 22, n. 4, p. 709-722, 1977.

SASTRI, A.; KROGH, J.; SUNDSTROM, C. **Report on maintenance, cleaning and *in situ* calibration of the BBFL2 instrument aboard the BC Ferries, Queen of Alberni.** Ocean Networks Canada, University of Victoria, Victoria, BC.

SHORT. N.M., **The Remote Sensing Tutorial** [web site]. National Aeronautics and Space

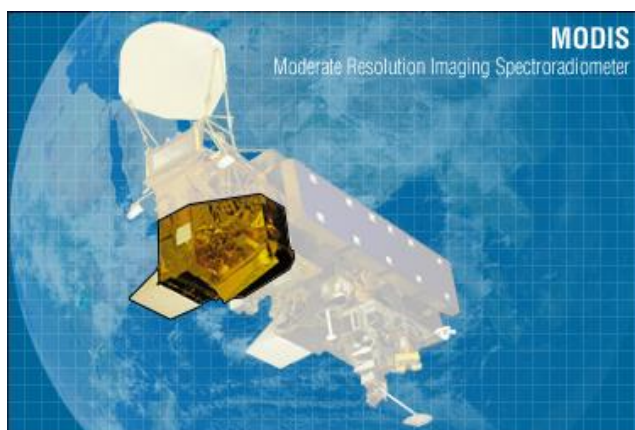
- Administration (NASA), Goddard Space Flight Center (2010), <http://rst.gsfc.nasa.gov/>
- SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 382, 2009.
- SIMPSON, J. H.; SHARPLES, J. **Introduction to the Physical and Biological Oceanography of Shelf Seas**. Cambridge, p.70, 2012.
- PETUS, C.; CHUST, G.; GOHIN, F.; DOXARAN, D.; FROIDEFOND, J.; M., & SAGARMINAGA, Y. (2010). **Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MODIS 250-m imagery**. *Continental Shelf Research*, 30, 379 – 392.
- PIDWIRNY, M. (2006). **"Introduction to Geographic Information Systems". Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition**. Disponível em: <<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/2e.html>>. Acesso em 05 de Julho de 2016.
- POTTER, I. C., CHUWEN, B. M., HOEKSMAN, S.D.; ELLIOT, M. **The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline**. *Estuarine, Coastal and Science*. Volume 87, Issue 3 30 April 2010, 497–500
- TEMPFLI, K.; KERLE, N.; HUURNEMAN, C. G.; JANSSEN, L.L.F. **Principles of Remote Sensing**. The International Institute for Geo-information Science and Earth observation (ITC). 2009.
- THOMSON, R.E.; **Oceanography of the British Columbia Coast**. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. Sci. 56: 291 p.
- WEIMER, P. LINK, M. H. **Global petroleum occurrences in submarine fans and turbidite systems**. Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems. Springer. New York, 1991. 9-67, Cap 2.
- WILLIAM, G.L. & LANGER, O.E. **Review of Estuary Management Plans in British Columbia**. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 2002.

## ANEXO A

### ESPECIFICAÇÕES DO AQUA-MODIS

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, ou MODIS, (figura 20) é um sensor que voa a bordo dos satélites, TERRA e AQUA, desenvolvidos pela NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, do inglês *National Aeronautics and Space Administration*) e lançados ao espaço em 1999 e 2002, respectivamente. O sensor MODIS do satélite de órbita polar AQUA, apesar de ter passado sua expectativa de vida funcional, continua até hoje gerando dados com alta qualidade que são úteis nos fenômenos e processos abrangidos pelo Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (ver mais detalhes na Tabela 4).

**Figura 20.** Sensor MODIS acoplado no satélite AQUA.



Fonte: <http://aqua.nasa.gov>, acesso em 22/06/16

**Tabela 3.** Características do AQUA-MODIS

Orbita:	Polar, 'Sun-synchronous'
Lançamento:	4 de maio de 2002
Inclinação:	98.2°
Altitude:	705 km
Período:	98.8 minutos
Semi-eixo:	7085 km
Excentricidade:	0.0015
Resolução Espacial:	250 m (1 e 2), 500m (3 a 7), 1000m (8 a 36)



Peso (Satélite): 2,934 kg

Peso (Sensor): 228,7 kg

Tempo de vida: 6 anos

---

Fonte: Elaborada pelo autor com base no NASA bulletin, 2002.

O satélite AQUA-MODIS possui 36 bandas espectrais que se diferenciam em resolução espacial (250,500 ou 1000 m no nadir) e espectral (variando entre 0,4 e 14,5  $\mu\text{m}$ ). A sua órbita nominal é heliossíncronica, circular, quase-polar, com altitude de 705 Km, e o horário de cruzamento com o Equador terrestre da órbita ascendente é 13:30 hora local. A inclinação da órbita com o Equador terrestre é de 98°, e o período nodal de 99 minutos. No que se diz ao objeto de estudo requerido: de resolução espacial. A banda utilizada no trabalho em questão foi a do vermelho com resolução espacial de 250m.

**Tabela 4.** Bandas espectrais do satélite AQUA-MODIS.

Uso Primário	Band	Comprimento	Radiância do espectro (W/m <sup>2</sup> - $\mu\text{m}$ -sr)
Limites da Terra/Nuvens/Aerosols	1	620 - 670 $\mu\text{m}$	21.8
	2	841 - 876 $\mu\text{m}$	24.7
Propriedades da Terra/Nuvens/Aerosols	3	459 - 479 $\mu\text{m}$	35.3
	4	545 - 565 $\mu\text{m}$	29.0
	5	1230 - 1250 $\mu\text{m}$	5.4
	6	1628 - 1652 $\mu\text{m}$	7.3
	7	2105 - 2155 $\mu\text{m}$	1.0
Cor do oceano/ Fitoplâncton/ Biogeoquímica	8	405 - 420 $\mu\text{m}$	44.9
	9	438 - 448 $\mu\text{m}$	41.9
	10	483 - 493 $\mu\text{m}$	32.1
	11	526 - 536 $\mu\text{m}$	27.9
	12	546 - 556 $\mu\text{m}$	21.0
	13	662 - 672 $\mu\text{m}$	9.5
	14	673 - 683 $\mu\text{m}$	8.7
	15	743 - 753 $\mu\text{m}$	10.2
	16	862 - 877 $\mu\text{m}$	6.2
Vapor de água atmosférico	17	890 - 920 $\mu\text{m}$	10.0
	18	931 - 941 $\mu\text{m}$	3.6
	19	915 - 965 $\mu\text{m}$	15.0
Uso Primário	Banda	Comprimento	Radiância do Espectro
Superfície e Temperatura da Nuvens	20	3.660 - 3.840 $\mu\text{m}$	0.45(300K)
	21	3.929 - 3.989 $\mu\text{m}$	2.38(335K)
	22	3.929 - 3.989 $\mu\text{m}$	0.67(300K)

	23	4.020 - 4.080 $\mu$ m	0.79(300K)
<b>Temperatura Atmosférica</b>	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)
<b>Nuvens Cirrus e Vapor</b>	26	1.360 - 1.390	6.00
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)
<b>Propriedades da Nuvens</b>	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)
<b>Ozônio</b>	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)
<b>Superfície e Cobertura de nuvens</b>	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)
<b>Altitude no alto da atmosfera</b>	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)

**Fonte:** Elaborada pelo autor com base no NASA bulletin, 2002.

As principais aplicações do MODIS-AQUA para o oceano são principalmente: concentração de clorofila de subsuperfície, cobertura de gelo e análise de sedimentos, como também a análise de material suspenso em águas costeiras, o objetivo de análise do presente trabalho.

**ANEXO B**  
**ESPECIFICAÇÕES DO BBFL2 ECOTRIplet**

**Tabela 5.** Especificações do bbfl2 ecotriplet

<b>Especificações Mecânicas</b>	
Diâmetro	6.3 cm
Comprimento	12.7 cm
Peso no ar	0.4 kg
Peso na água	0.02 kg
<b>Especificações Elétricas</b>	
Resolução digital de <i>outputs</i>	12 bit
RS-232 <i>output</i>	19200 baud
Taxa simples	Para 4 Hz
Registrador de dados interno	Possui
Baterias internas	Opcional
Conector	MCBH6M
<i>Input</i>	7–15 VDC
Corrente típica	60 mA
Corrente <i>standby</i>	140 $\mu$ A
Memória de Dados	77,000 amostragens
<b>Especificações Ambientais</b>	
Intervalo de Temperatura	0 to 30 deg C
Profundidade	600 m
<b>Especificações Óticas</b>	
<i>Bandas de espalhamento</i>	470, 532, 650, and 700 nm
Sensibilidade	0.003 m <sup>-1</sup>
Precisão	0–5 m <sup>-1</sup>
<i>Clorofila</i>	470/695 nm
Sensibilidade	0.025 $\mu$ g/l
Precisão	0–50 $\mu$ g/l
<i>CDOM</i>	370/460 nm
Sensibilidade	0.28 ppb
Precisão	0–375 ppb
<i>Uranina</i>	ex/em:470/530 nm
Sensibilidade	0.15 ppb
Precisão	0–300 ppb
<i>Rodamina</i>	ex/em: 518/595 nm
Sensibilidade	0.13 ppb
Precisão	0–175 ppb
<i>Ficocianina</i>	ex/em: 630/680 nm
Sensibilidade	0.13 ppb
Precisão	0–175 ppb
<i>Ficoeritrina</i>	ex/em: 518/595 nm
Sensibilidade	0.09 ppb
Precisão	0–175 ppb
<i>Linearidade</i>	99% R <sup>2</sup>