

Avaliação de estimativas satelitais de absorção de luz e classes de tamanho do fitoplâncton marinho, na estação ANTARES Ubatuba

Relatório Parcial Do Projeto De Iniciação Científica
(PIBIC/CNPq/INPE)

Raissa Bijkerk (Instituto Oceanográfico - USP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: raissa.bijkerk@usp.br

Milton Kampel (INPE/OBT/DSR/MOceanS, Orientador)
E-mail: milton.kampel@inpe.br

COLABORADORES

Mateus Chuqui (IOUSP)
Mayza Pompeu (IOUSP)
Natalia Rudorff (INPE)

Julho de 2017

Sumário

1. Resumo do plano inicial de trabalho:.....	2
2. Etapas realizadas no período a que se refere o relatório:.....	2
3. Detalhamento dos processos realizados:.....	3
a. Comparação entre os métodos Tassan & Ferrari (2002) e adaptado de Mitchell (1990):.....	3
b. Dados satélite:.....	4
c. Cálculo do Sf:.....	4
4. Resultados parciais obtidos:.....	4
a. Gráficos de dispersão da absorbância TF x LAPP.....	5
b. Gráficos de comparação a_{phy_sat} x $a_{phy_in\ situ}$	13
c. Valores de Sf obtidos.....	14
5. Justificativa de eventuais alterações do projeto ou em sua execução:....	15
Referências Bibliográficas	Erro! Indicador não definido.

1. Resumo do plano inicial de trabalho:

O presente projeto busca avaliar a aplicação de algoritmos satelitários em estimativas da composição da comunidade fitoplanctônica marinha na zona costeira, comparando dados obtidos *in situ* e remotamente. O projeto ANTARES-Ubatuba vem monitorando parâmetros físicos, químicos e bióticos em uma estação fixa na isóbata de 40m ao largo de Ubatuba desde 2004. Um dos parâmetros medidos mensalmente é o espectro de absorção de luz do material em suspensão na água do mar, composto por uma mistura de microalgas e detritos. Em 2015 foi verificado um erro na metodologia empregada na análise desse parâmetro, sendo necessário estudos para corrigir os dados de coeficientes de absorção de luz pelo material particulado.

O primeiro objetivo deste projeto é elaborar um fator de correção para os dados da série temporal obtida na estação-fixa ANTARES-Ubatuba a partir de ajustes estatísticos entre o método adaptado de Mitchell (1990) e o método descrito por Tassan & Ferrari (2002). A partir dos resultados obtidos com a comparação dos dois métodos será realizada a correção das estimativas dos coeficientes de absorção de luz pelo material particulado.

Após a adequação dos dados coletados *in situ*, será obtida uma série temporal de imagens MODIS-Aqua (L2_OC) da mesma região nos dias correspondentes à coleta de cada mês. A partir destes dados será estimado o coeficiente de absorção do fitoplâncton a partir da reflectância de sensoriamento remoto acima da água (Rrs) nas bandas de 412 - 678 nm, com algoritmos bio-ópticos semi-analíticos.

Com ambos os dados *in situ* e de satélite será obtido o índice de tamanho (Sf) das células fitoplanctônicas segundo o espectro de absorção do fitoplâncton (α_{ph}) a partir do modelo de mistura espectral proposto por Ciotti et al. (2002) e Ciotti & Bricaud (2006). Por fim será avaliado se o índice de tamanho do fitoplâncton (Ciotti & Bricaud, 2006) estimado por satélite é comparável ao índice obtido por dados de absorção do fitoplâncton *in situ* e se estes são compatíveis às classes determinadas por microscopia e HPLC, na estação ANTARES-Ubatuba.

2. Etapas realizadas no período a que se refere o relatório:

1- Comparar diferentes métodos de estimativa do coeficiente de absorção do fitoplâncton, e selecionar o método mais apropriado para ser implementado na estação-fixa de monitoramento ANTARES-Ubatuba.

2- Aquisição de uma série temporal de imagens MODIS-Aqua (L2_OC) da mesma região da estação-fixa ANTARES-Ubatuba, para estimativa das reflectâncias de sensoriamento remoto nas mesmas datas das coletas mensais *in situ*.

3- Estimar o coeficiente de absorção de luz do fitoplâncton a partir da reflectância de sensoriamento remoto acima da água (Rrs) nas bandas de 412- 678 nm, com o algoritmo semi-analítico que apresentar os melhores resultados comparados às medidas *in situ*.

4- Obter o índice de tamanho (Sf) das células fitoplanctônicas segundo o espectro de absorção do fitoplâncton (α_{ph}) (Ciotti et al., 2002; Ciotti & Bricaud, 2006), a partir dos dados medidos *in situ* e estimados por satélite.

5- Avaliar se o índice de tamanho do fitoplâncton (Ciotti & Bricaud, 2006) estimado por satélite é comparável ao índice obtido por dados de absorção do fitoplâncton *in situ*.

3. Detalhamento dos processos realizados:

a. Comparação entre os métodos Tassan & Ferrari (2002) e adaptado de Mitchell (1990)

As análises comparativas dos métodos de Tassan & Ferrari (2002) e o adaptado de Mitchell (1990) para a obtenção do coeficiente de absorção de luz do material particulado, fitoplâncton e detritos, foram realizadas com o conjunto de dados obtido em 2015 na estação-fixa Antares-Ubatuba. A estimativa da absorbância do material particulado retido no filtro da amostra de água coletada, é realizada com medições de valores de transmitância para o método de Mitchell (1990) e transmitância e reflectância para o método de Tassan e Ferrari (2002). O objetivo deste último método é corrigir a perda de sinal decorrente do retroespalhamento do material particulado, que se agrava em águas costeiras com sedimentos em suspensão. As leituras de ambos os métodos foram realizadas em um espectrofotômetro Shimadzu 2045 dotado de esfera integradora e duplo feixe .

O sistema de organização do banco de dados não é uniforme e esse fato impossibilitou a utilização de uma única rotina para todas as estações. Houve a necessidade de reordenar e renomear os arquivos que estavam fora do padrão, além de conferir cada arquivo para verificar dados espúrios, ausência de dados de transmitância ou reflectância em determinados comprimentos de onda, ou se foi utilizada a função “auto zero” do espectrofotômetro que não é recomendada para o método Tassan e Ferrari (2002). Vale apontar que normalmente, cada coleta mensal in situ tem dados em cinco profundidades . E cada profundidade tem dados de reflectância, transmitância e absorbância do filtro utilizado para reter o material particulado das amostras de água. As leituras são repetidas para cada amostra antes e após aplicar um tratamento de despigmentação (com hipoclorito de sódio a 10%), para extrair os pigmentos fitoplanctônicos da amostra e assim separar a contribuição do detritos e fitoplâncton, no material particulado total. Ainda, há dados do branco do filtro extraído e não extraído para absorbância, transmitância e reflectância. Rotinas em linguagem Python foram criadas para realizar o processamento dos dados de ambos os métodos comparados.

A relação das estações amostrais selecionadas para a análise comparativa entre os métodos, assim como, a cobertura do céu no dia da coleta se encontra na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Número das estações do projeto ANTARES-Ubatuba cujos dados foram utilizados na análise comparativa entre os métodos Tassan & Ferrari (2002) e adaptado de Mitchel (1990), com respectivas datas e cobertura de nuvens na hora da coleta.

Estação	Data	Cobertura do céu (de nuvens)
UBA 122	18/06/15	céu limpo (0/8)
UBA 124	19/08/15	Parcialmente encoberto por nuvens (6/8)
UBA 126	27/10/15	Totalmente encoberto por nuvens (8/8)
UBA 127	25/11/15	Totalmente encoberto por nuvens (8/8)
Uba 128	10/12/15	Totalmente encoberto por nuvens (8/8)

Fonte: Conjunto de dados projeto ANTARES.

Após obter os valores de absorvância total, de detritos e do fitoplâncton para ambos os métodos, criou-se gráficos de dispersão entre os métodos adaptado de Mitchel (1990) x Tassan & Ferrari (2002) para cada profundidade e cada tipo de absorvância. Para a superfície o valor de absorvância utilizado foi a média das triplicatas.

b. Dados satélite:

As imagens do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua foram obtidas do portal *ocean color* da NASA disponível em: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Procurou-se obter imagens com pouca ou nenhuma cobertura de nuvens na região de Ubatuba, referentes aos dias das coletas, ou em uma janela de até 24 horas antes ou depois da coleta. Apenas duas entre as datas utilizadas obtiveram imagens de qualidade, UBA 124 (19/08/15) e UBA 127 (25/11/15) (as imagens disponíveis referentes a data de coleta da estação UBA 122 não possuíam dados do ponto referente a localização da estação). Porém, as imagens sem nuvens foram obtidas nos dias 20/08/15 e 26/11/15, respectivamente, considerando a janela de 24 h. Essas imagens foram processadas com o auxílio do programa SeaDAS v7.4. O processamento digital envolveu aplicar as correções atmosférica e radiométrica, georreferenciamento e extração dos valores de reflectância de sensoriamento remoto acima da água em uma janela de 3 x 3 pixels em torno das coordenadas da estação-fixa Antares-Ubatuba (23°36'S, 44°58'W).

c. Cálculo do Sf:

Para o cálculo do índice de tamanho (Sf) utilizou-se uma rotina implementada em ambiente Microsoft Excel, baseada no método proposto por Ciotti et al. (2002), e com o auxílio da ferramenta Solver. Os valores do coeficiente de absorção do fitoplâncton *in situ* utilizados foram calculados pela média entre as triplicatas de superfície estimados pelo método de Tassan e Ferrari (2002), que é mais apropriado para águas costeiras. Os cálculos do índice foram realizados de duas formas para os dados *in situ* hiperespectrais: (i) com os valores de absorvância no intervalo de 406 a 700 nm, e resolução de 2 nm; e (ii) com os valores médios correspondentes a cada banda do sensor MODIS-Aqua de 10 nm, centrados em: 412, 443, 469, 488, 531, 547, 555, 645, 667 e 678 nm.

Para os valores de reflectância acima da água obtidos do sensor MODIS-Aqua, nas duas datas próximas das coletas do ANTARES (sem cobertura de nuvens), foram aplicados diferentes modelos bio-ópticos semi-analíticos, já implementados no programa operacional do SeaDAS v7.4: (algoritmos CARDER, GSM, mGIOP, PML, QAA e modelos GIOP e SWIM).

4. Resultados parciais obtidos:

A seguir estão apresentados os gráficos de comparação dos métodos de medição do coeficiente de absorção do material particulado em suspensão: Tassan e Ferrari (2002) (TF) versus o Mitchell (1990) modificado (LAPP, Laboratório de Produção Primária Marinha).

As comparações foram realizadas para as estações 122 (18/06/15), 124 (19/08/15), 126 (27/10/15), 127 (25/11/15), e 128 (10/12/15), na Estação fixa ANTARES-Ubatuba, para as amostras de superfície (Figura 1) e nas profundidades de: 5 m (Figura 2), 10 m (Figura 3), 25 m (Figura 4) e fundo (Figura 5).

Também foram realizadas comparações para o coeficiente de absorção dos detritos nas mesmas profundidades (Figuras 6 a 10) e para o coeficiente de absorção do fitoplâncton (Figuras 11 a 15).

De modo geral o método LAPP tende a superestimar os maiores valores de absorbância, que são dos comprimentos de onda do azul e vermelho, onde há maior absorção da matéria orgânica particulada e dos pigmentos fotossintetizantes do fitoplâncton. Os menores valores tendem a ser subestimados, mas a maior diferença é a superestimativa dos maiores valores tanto para o material particulado total, detritos e fitoplâncton, em todas as profundidades.

Para fazer a correção do método LAPP é preciso então aplicar um ajuste espectral para cada comprimento de onda, já que o erro é espectralmente dependente. Há também uma certa variação da diferença dos métodos entre as amostras, o que indica que o erro pode ser dependente do tipo de material. O número de estações com a realização dos dois métodos no entanto (N=5), é pequeno para poder obter uma curva média de ajuste que possa ser aplicado a toda a série temporal ANTARES, com estações desde 2004.

Para análises comparativas com dados de satélite e da comunidade fitoplânctônica, é recomendado seguir usando os dados obtidos pelo método de Tassan e Ferrari (2002), que está mais correto e apropriado para águas costeiras, enquanto não se tem um fator de correção adequado para o método LAPP.

a. Gráficos de dispersão da absorbância TF x LAPP

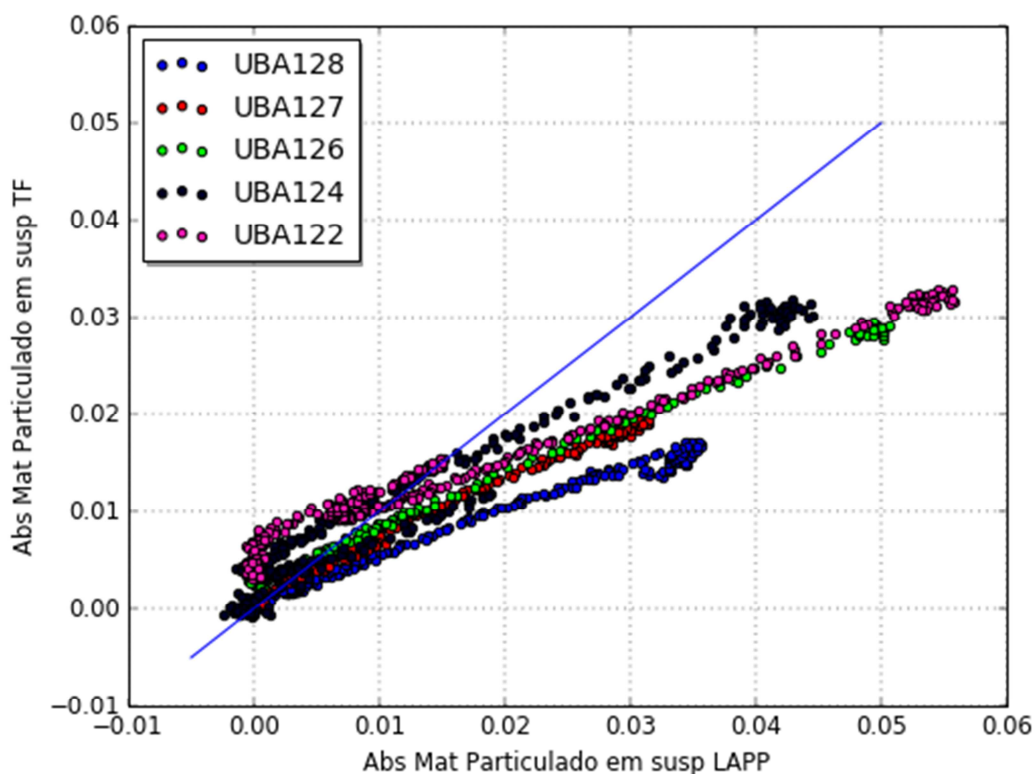


Figura 1: Gráfico de dispersão da absorbância do material particulado total em cada comprimentos de onda, para as amostras de superfície (média de triplicatas) das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

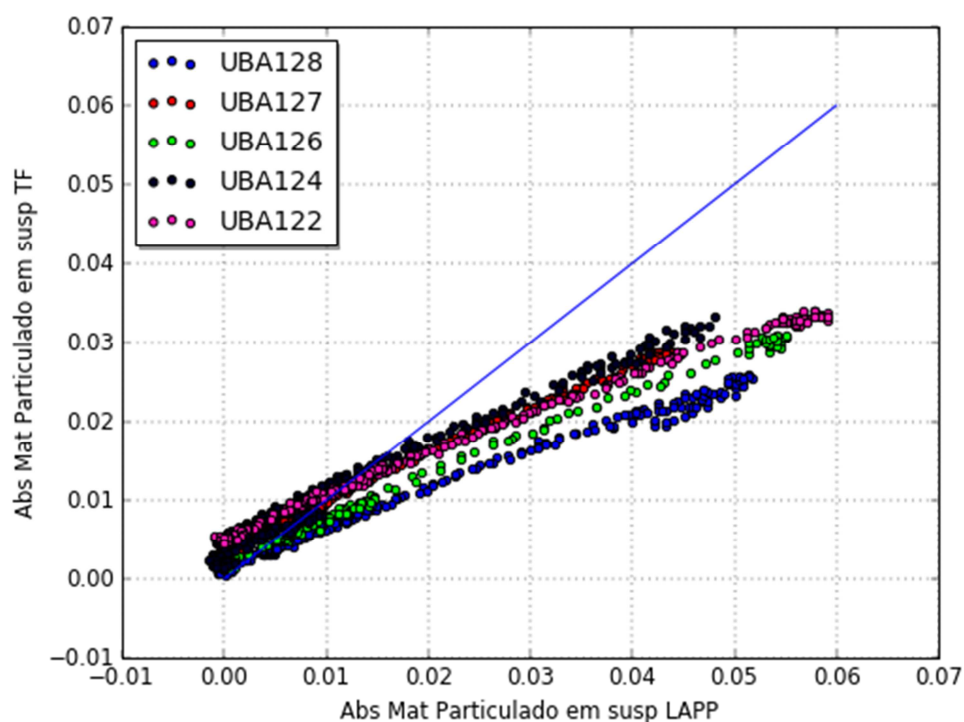


Figura 2: Gráfico de dispersão da absorbância do material particulado total em cada comprimentos de onda, para as amostras de 5m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

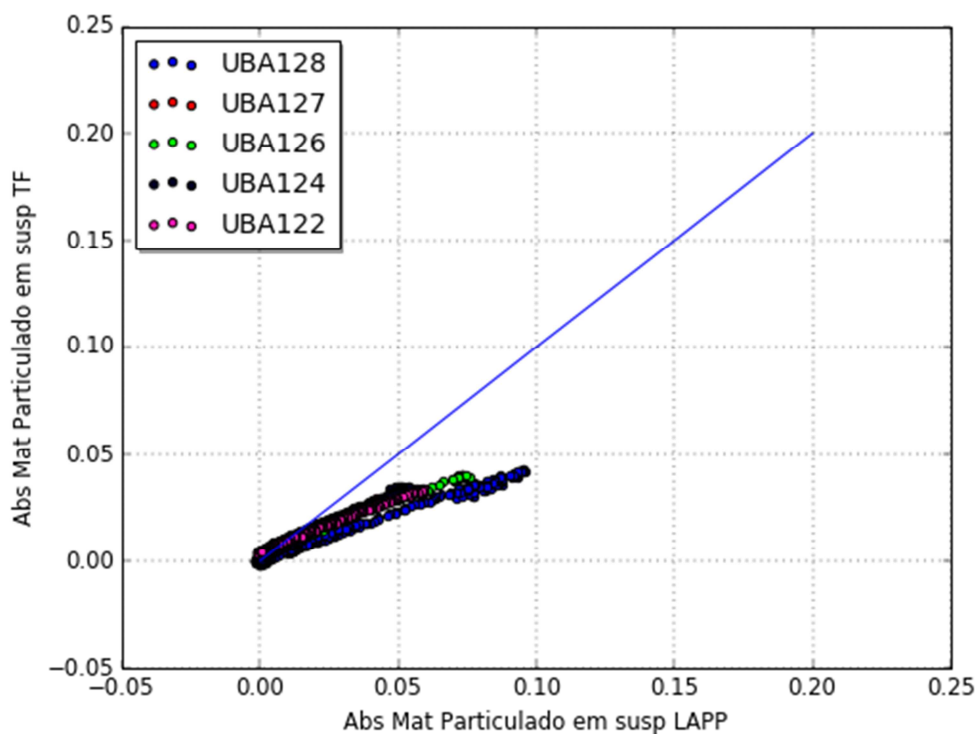


Figura 3: Gráfico de dispersão da absorbância do material particulado total em cada comprimentos de onda, para as amostras de 10m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

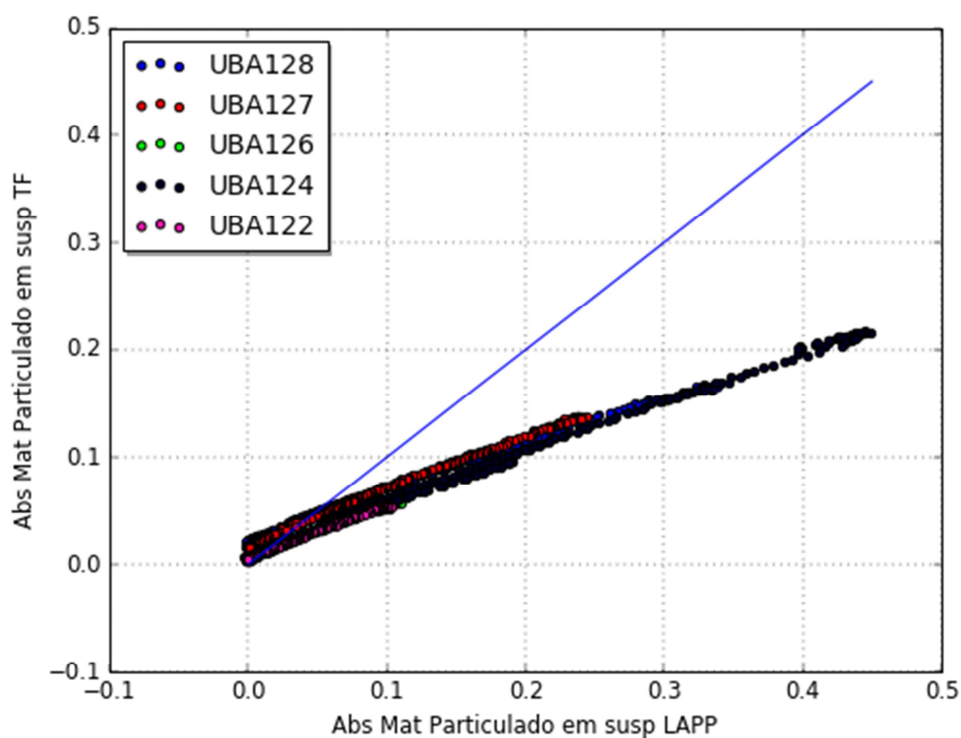


Figura 4: Gráfico de dispersão da absorbância do material particulado total em cada comprimentos de onda, para as amostras de 25m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

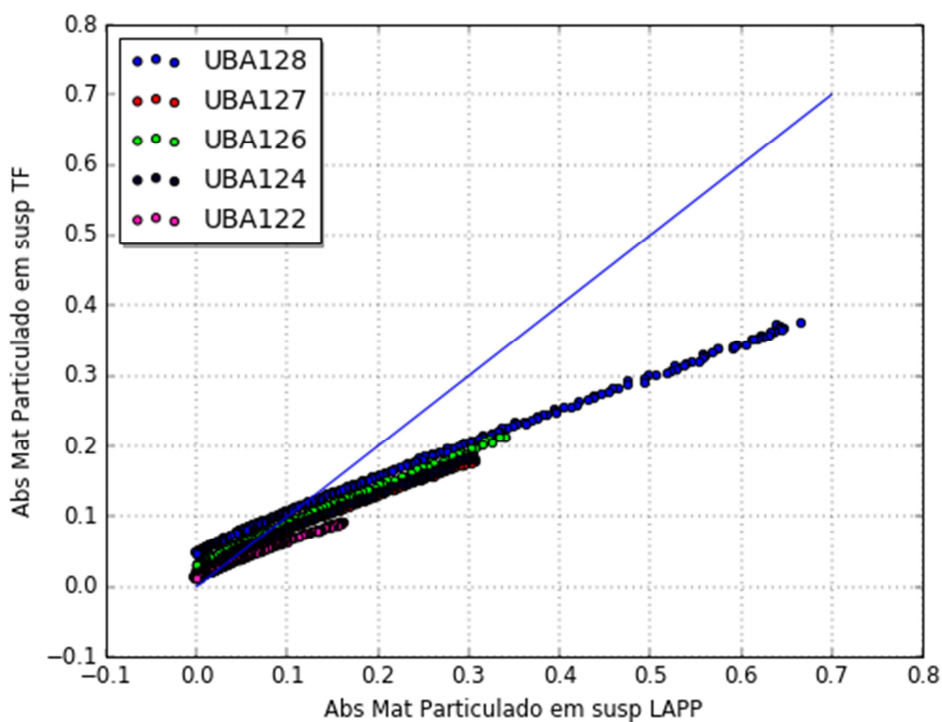


Figura 5: Gráfico de dispersão da absorbância do material particulado total em cada comprimentos de onda, para as amostras de fundo das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

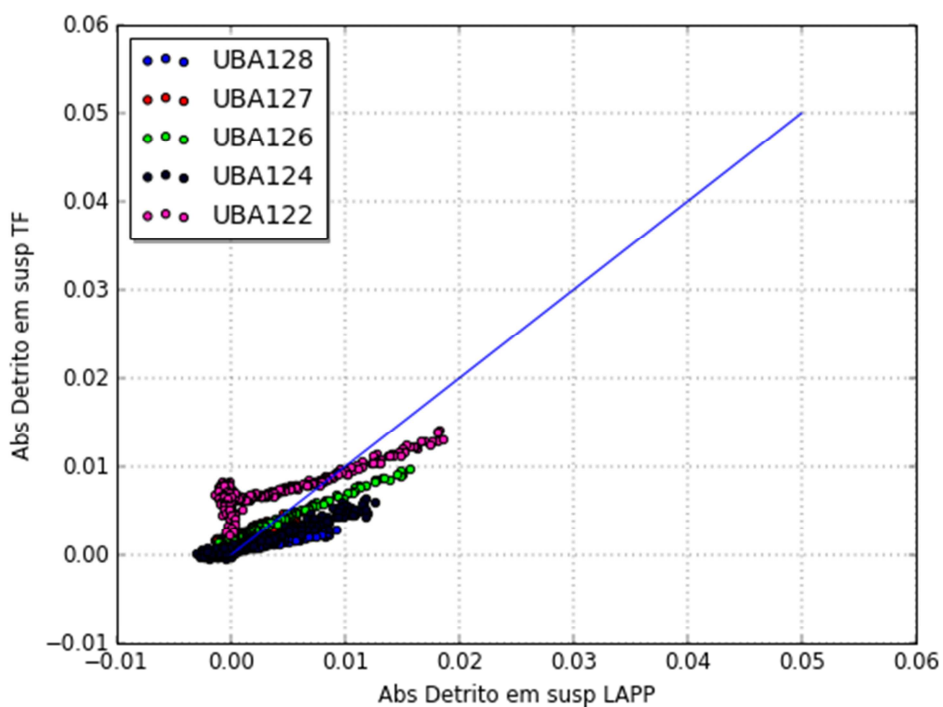


Figura 6: Gráfico de dispersão da absorvância dos detritos em cada comprimento de onda, para as amostras de superfície (média de triplicatas) das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

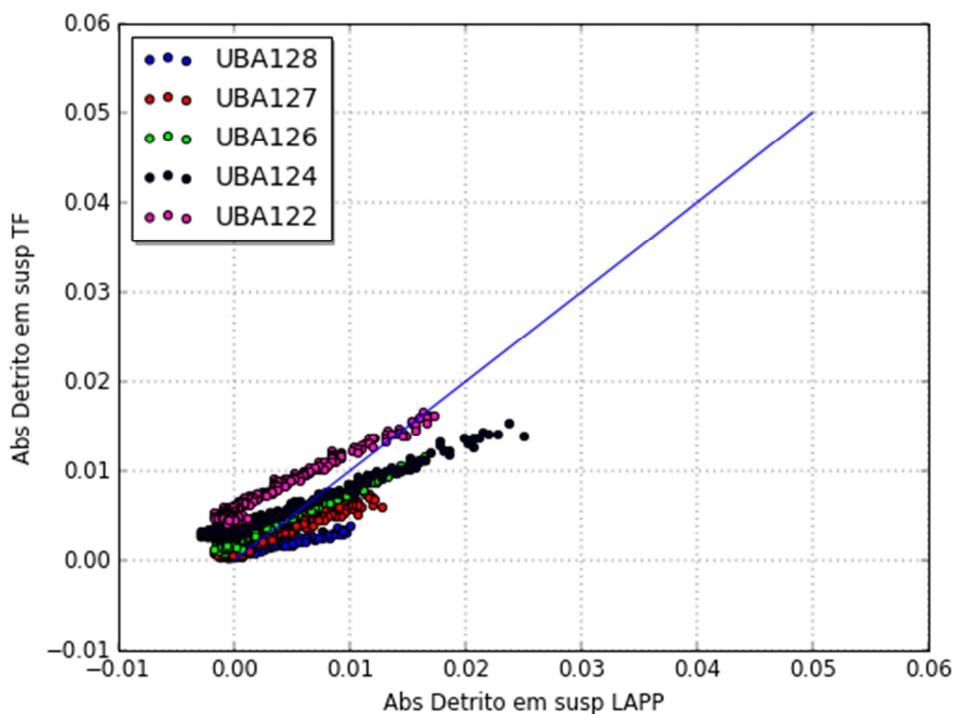


Figura 7: Gráfico de dispersão da absorvância do detrito em suspensão em cada comprimento de onda, para as amostras de 5m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

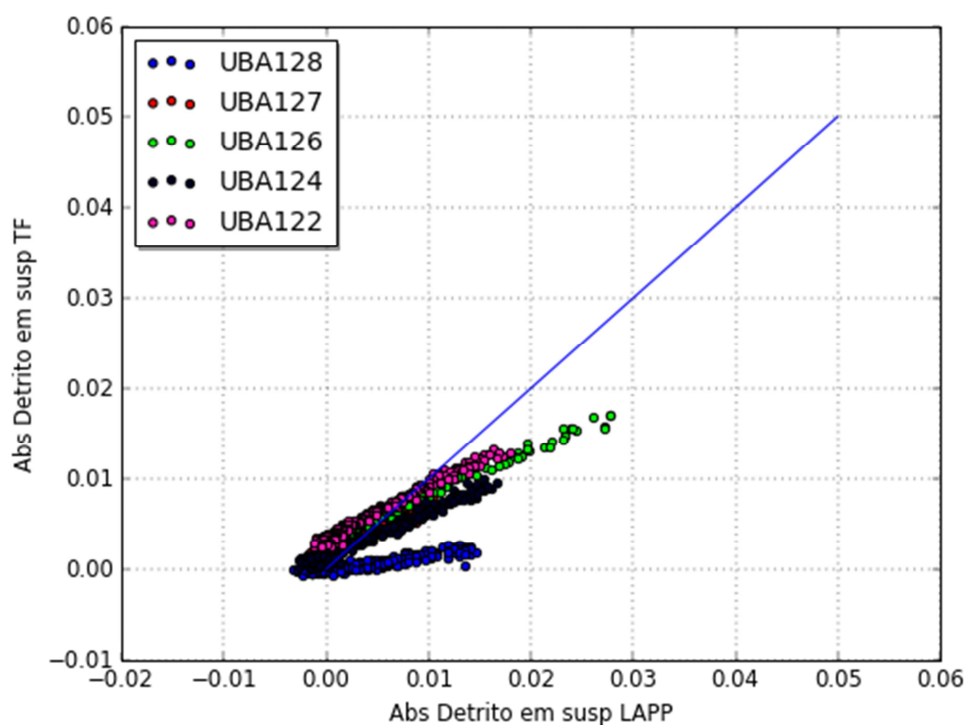


Figura 8: Gráfico de dispersão da absorbância do detrito em suspensão em cada comprimentos de onda, para as amostras de 10m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

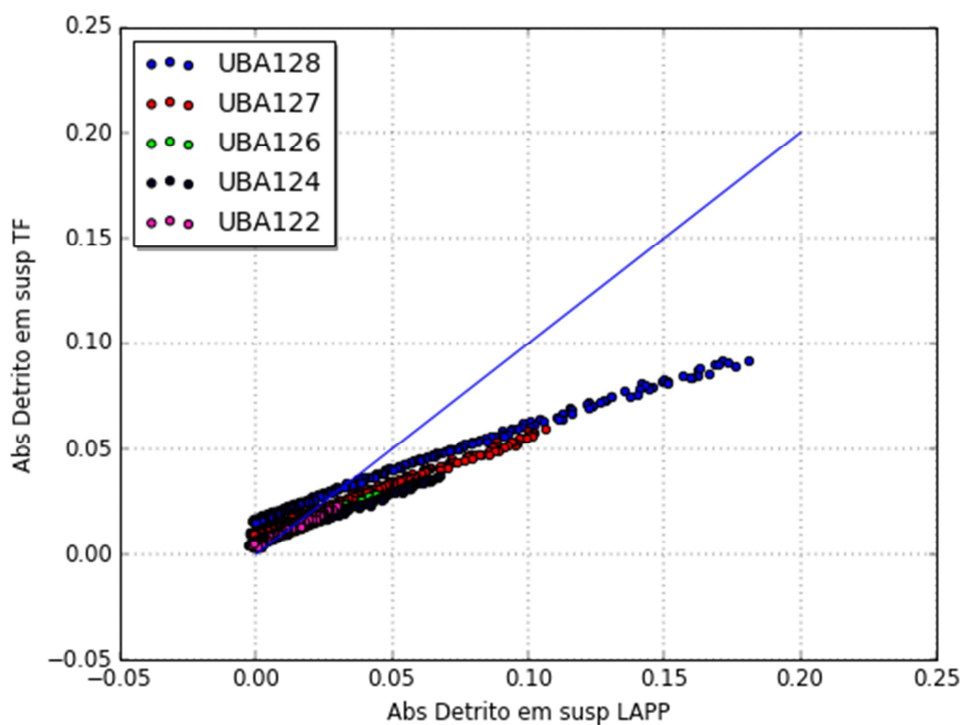


Figura 9: Gráfico de dispersão da absorbância do detrito em suspensão em cada comprimentos de onda, para as amostras de 25m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

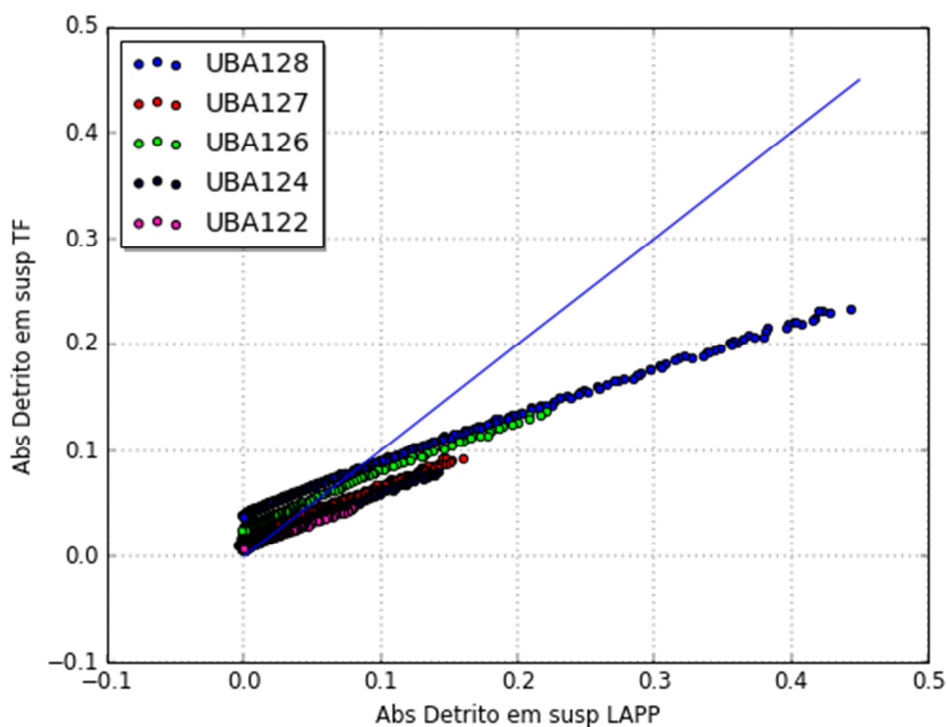


Figura 10: Gráfico de dispersão da absorbância do detrito em suspensão em cada comprimentos de onda, para as amostras de fundo das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

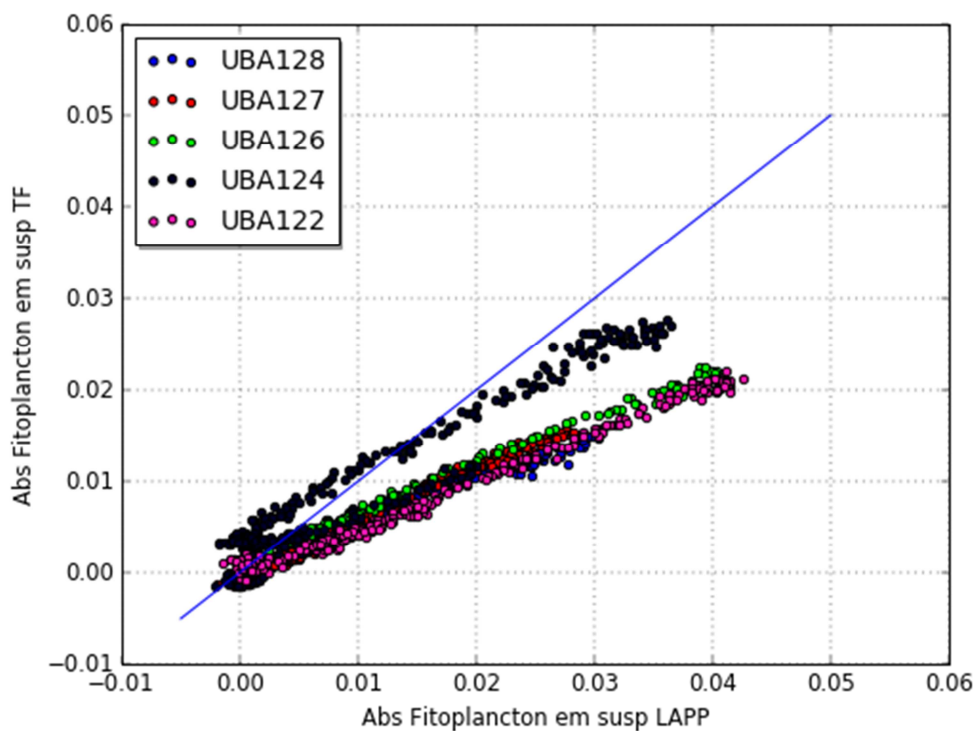


Figura 11: Gráfico de dispersão da absorbância do fitoplâncton em cada comprimentos de onda, para as amostras de superfície (média de triplicatas) das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

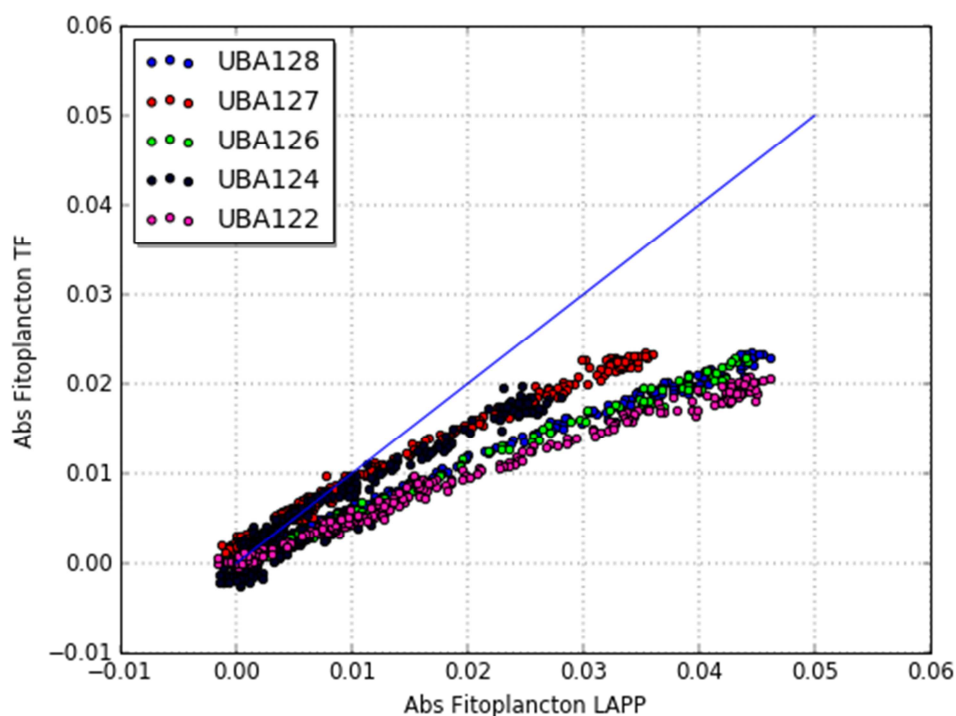


Figura 12: Gráfico de dispersão da absorbância do fitoplâncton em cada comprimentos de onda, para as amostras de 5m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

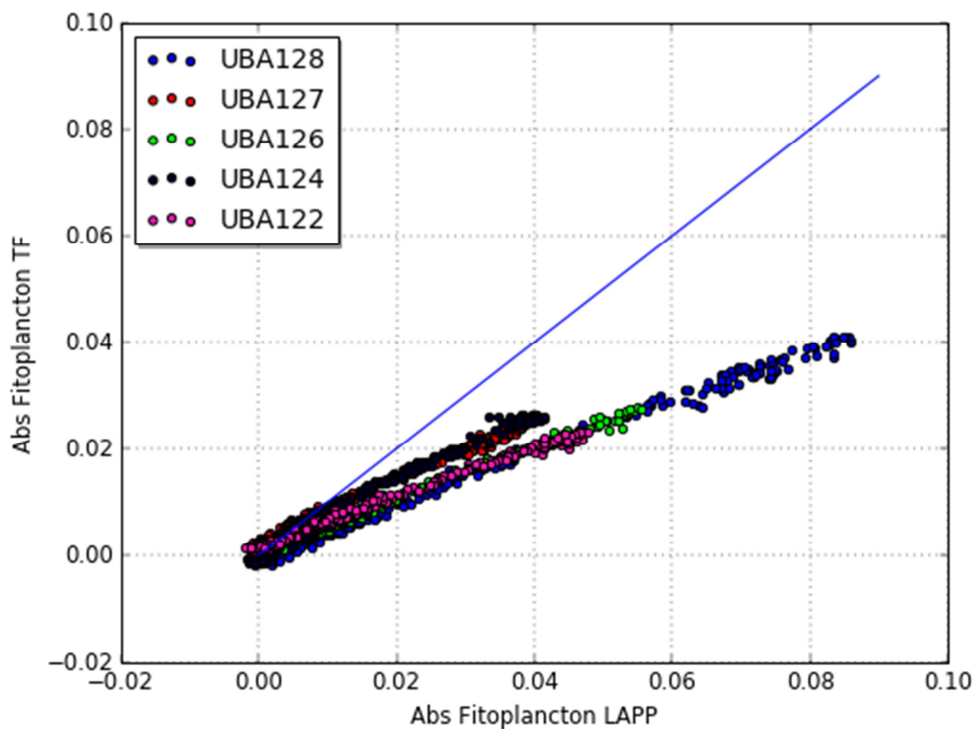


Figura 13: Gráfico de dispersão da absorbância do fitoplâncton em cada comprimentos de onda, para as amostras de 10m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

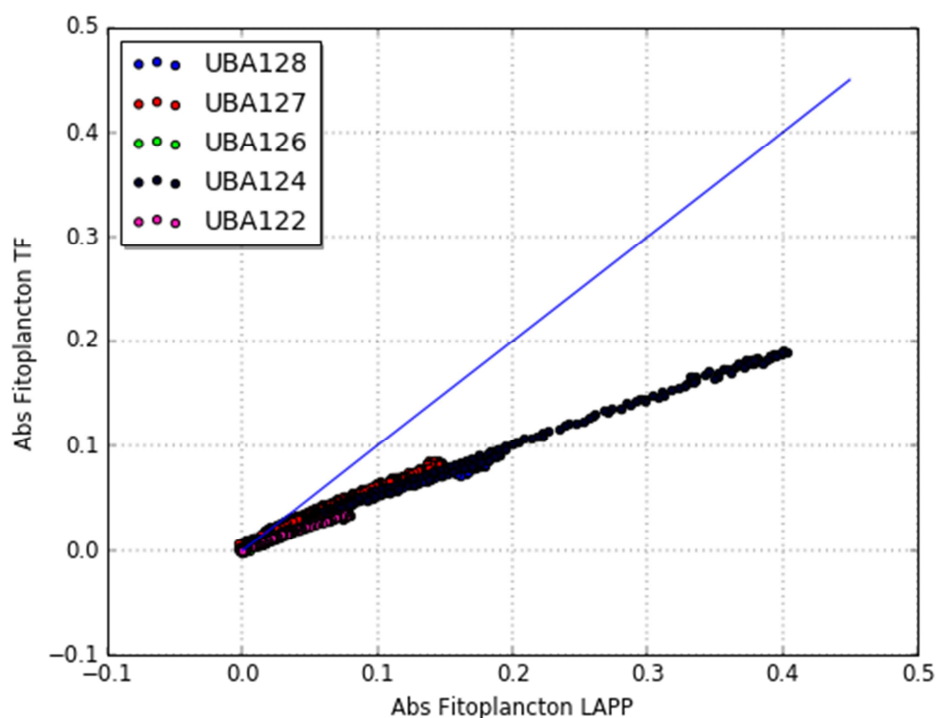


Figura 14: Gráfico de dispersão da absorbância do fitoplâncton em cada comprimentos de onda, para as amostras de 25m das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

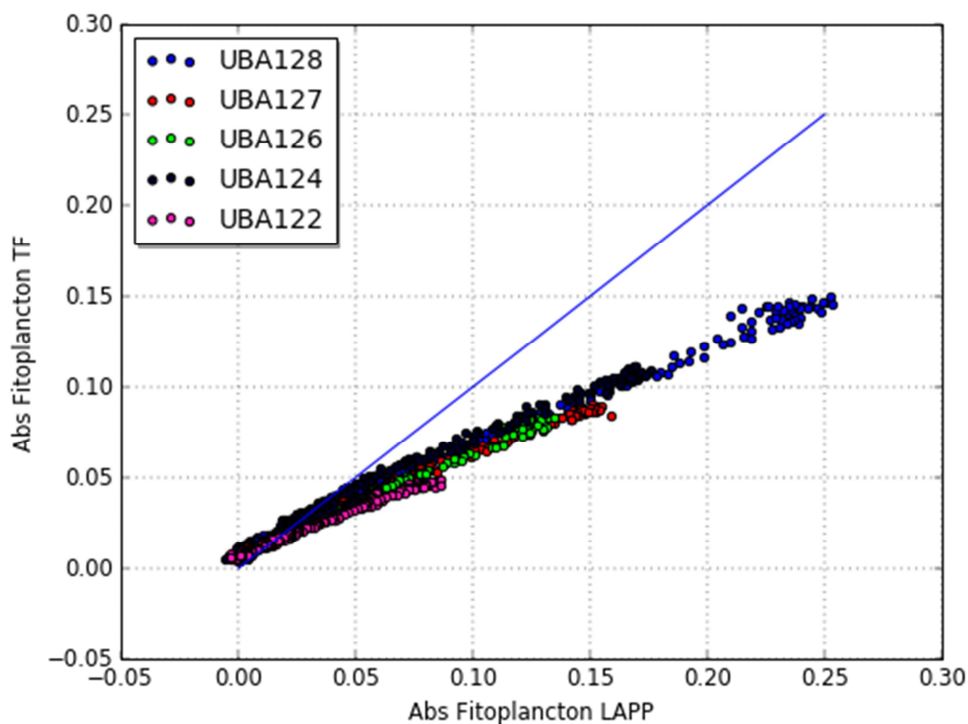


Figura 15: Gráfico de dispersão da absorbância do fitoplâncton em cada comprimentos de onda, para as amostras de fundo das estações 122 (rosa), 124 (preto), 126 (verde), 127 (vermelho) e 128 (azul) ANTARES-Ubatuba. A linha azul indica a reta $y = x$ (1:1).

b. Gráficos de comparação a_phy_sat x a_phy_in situ

Nas comparações do coeficiente de absorção do fitoplâncton estimados a partir da reflectância de sensoriamento remoto acima da água MODIS-Aqua, com os diferentes modelos bio-ópticos, o modelo que apresentou os melhores resultados (mais próximos das medidas in situ) foi o GIOP e o pior foi o PML, tanto para a estação 124 (Figuras 16 e 17) e 127 (Figuras 18 e 19).

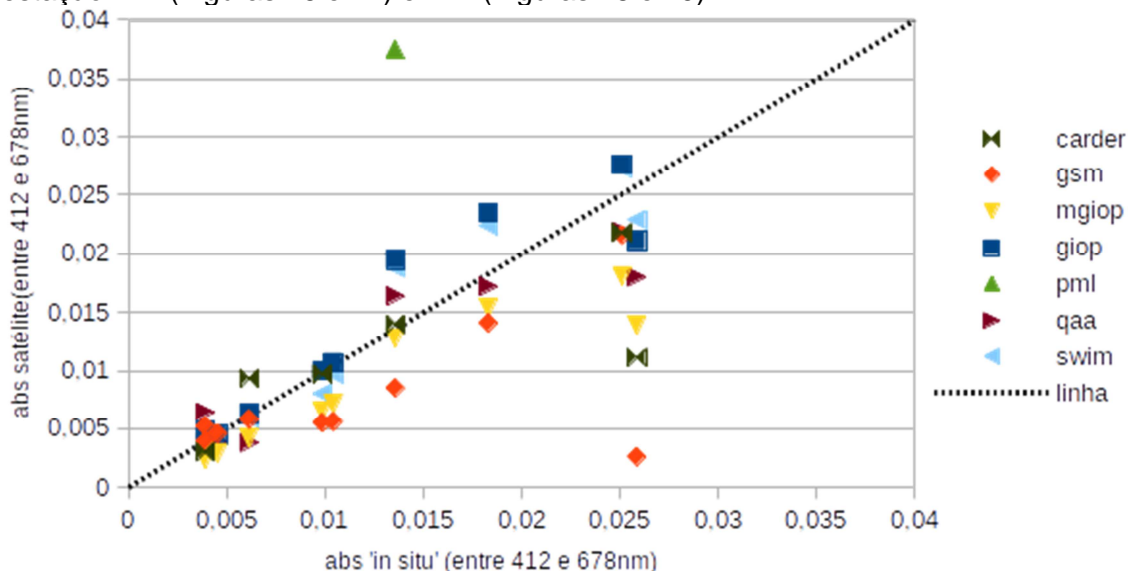


Figura 16: Gráfico de dispersão da absorção do fitoplâncton na superfície na estação UBA 124 do projeto ANTARES para os parâmetros do satélite MODIS-AQUA indicados na legenda - linha preta pontilhada indica reta $y = x$ (1:1).

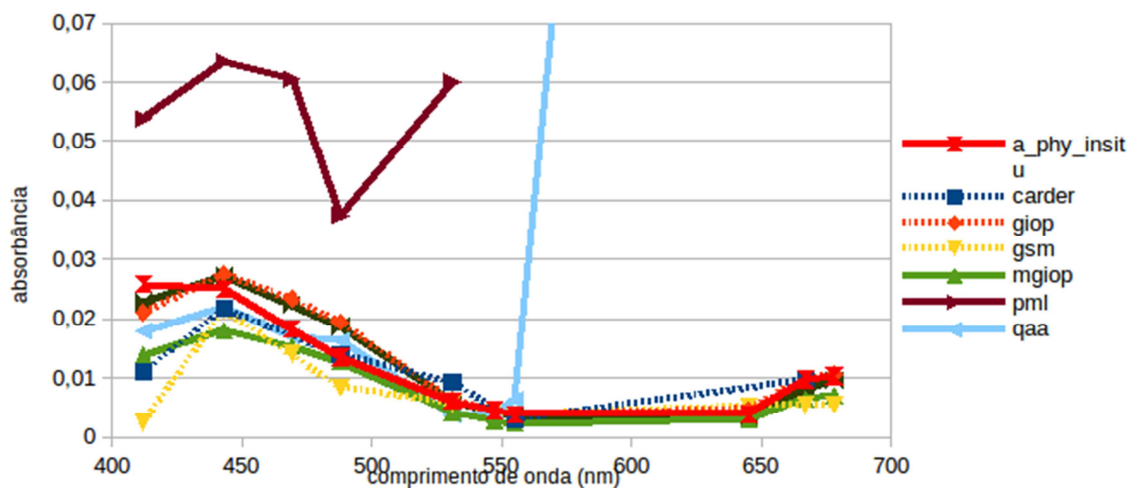


Figura 17: Gráfico dos espectros de absorção do fitoplâncton na superfície da estação UBA 124 para os valores obtidos pelos parâmetros do satélite MODIS-AQUA e pelo método laboratorial.

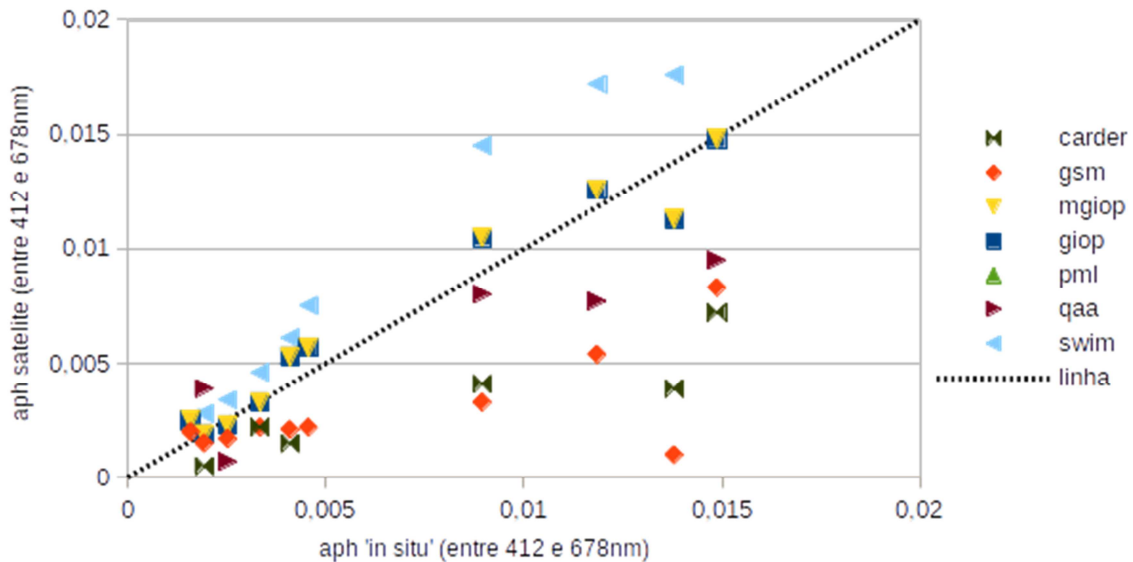


Figura 18: Gráfico de dispersão da absorção do fitoplâncton na estação UBA 127 do projeto ANTARES para os parâmetros do satélite MODIS-AQUA indicados na legenda - linha preta pontilhada indica reta $y = x$ (1:1) (pontos referentes ao parâmetro PML estão fora da escala definida).

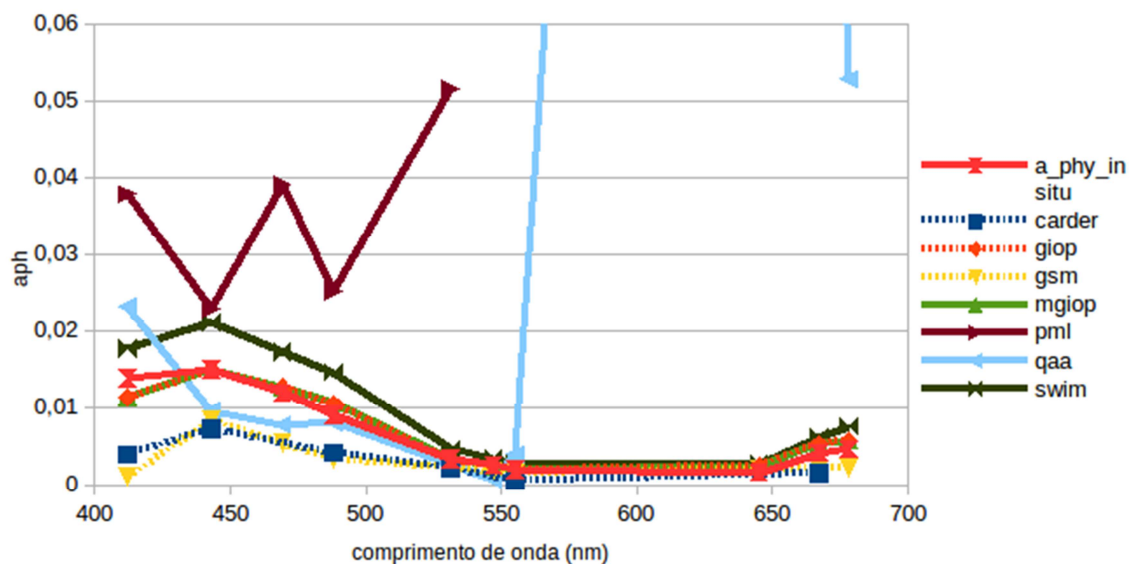


Figura 19: Gráfico dos espectros de absorção do fitoplâncton na superfície da estação UBA 127 para os valores obtidos pelos parâmetros do satélite MODIS-AQUA e pelo método laboratorial.

d. Valores de Sf obtidos

Para a estimativa do índice de tamanho de célula fitoplanctônica foi então utilizado o valor de absorção do fitoplâncton por satélite estimado pelo modelo GIOP nas duas estações (124 e 127). O valor obtido por satélite da estação 124 (0,52) superestimou o índice medido in situ (0,28), indicando a dominância de células menores, que o medido in situ. Já para a estação 127 o índice por satélite foi muito semelhante ao obtido in situ, mostrando o forte potencial deste índice estimado a partir de valores de absorção do fitoplâncton do modelo GIOP, para indicar a dominância de grupos diferentes tamanhos celulares para a Estação ANTARES. O próximo passo é comparar o índice de tamanho com dados de microscopia e pigmentos determinados

por HPLC, para verificar se de fato o índice apresenta uma coerência com a dominância de grupos fitoplanctônicos de diferentes tamanho.

Tabela 2. Valores de Sf obtidos em cada estação para cada metodologia empregada

estações	todo espectro	média 10nm	MODIS (giop)
UBA 124	0.358281326	0.286060441	0.522244845
UBA 127	0.406931872	0.479781975	0.479785596

Fonte: Autor

5. Justificativa de eventuais alterações do projeto ou em sua execução:

O processamento de dados antigos provou-se mais complexo do que o estimado anteriormente. Além dos arquivos não estarem organizados uniformemente e serem bem volumosos, os dados tiveram que ser verificados um por um para certificar-se de que não foram obtidos com a função "auto zero".

Fora as dificuldades descritas acima com o banco de dados, o processo de obtenção do fator de correção do método antigo empregado no LAPP foi superestimado, sendo claramente necessária uma análise mais profunda para cumprir o objetivo.

A necessidade de um maior número amostral se faz presente, tanto para a comparação entre os métodos laboratoriais (TF e LAPP), quanto para a comparação entre os valores de Sf obtidos pelo método TF e pela análise das imagens de satélite.

A recomendação é de manter as medições *in situ* realizadas pelos dois métodos, até que se tenha um número mais representativo das variações entre amostras, e poder obter um fator de correção mais robusto.

Os objetivos da próxima etapa são:

- Obter fator de correção entre métodos TR e LAPP
- Aplicar o fator de correção na série de absorção do fitoplâncton (desde 2004) para tornar as medidas da série consistentes e equivalentes às medidas do novo método que será implementado
- Avaliar se os índices de tamanho do fitoplâncton (Ciotti & Bricaud, 2006) estimado por satélite e índice obtido por dados de absorção do fitoplâncton *in situ* são comparáveis às classes determinadas por microscopia e HPLC, na estação ANTARES-Ubatuba.
- obter mais dados para resultar em uma conclusão mais robusta

Referências Bibliográficas

1. Tassan, S. & Ferrari, G. M. "A sensitivity analysis of the 'Transmittance-Reflectance' method for measuring light absorption by aquatic particles". *Journal of Plankton Research*, Vol.24, pg 757-774, 2002.
2. Mitchell, B. G., et al. "Algorithms for Determining the Absorption Coefficient of Aquatic Particles Using the Quantitative Filter Technique (QFT)". *SPIE Vol 1302 Ocean Optics X*, 1990.
3. Ciotti, A. M.; et al. "Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient". *Limnol. Oceanogr.*, 47(2), pg 404-417, 2002.
4. Ciotti, A. M. & Bricaud, A. "Retrievals of a size parameter for phytoplankton and spectral light absorption by colored detrital matter from water-leaving radiances at SeaWiFS channels in a continental shelf region off Brazil". *Limnol. Oceanogr.: Methods* 4, pg 237-253, 2006.