

# ANÁLISE ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL CAPIXABA UTILIZANDO DADOS LANDSAT5/TM

## **Gregório Luiz Galvão Teixeira**

LABESUL – Laboratório de Simulação de Escoamentos com Superfície Livre / PPGEA - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental/ UFES – Universidade Federal do Espírito Santo.

[gregoriogalvao@gmail.com](mailto:gregoriogalvao@gmail.com)

## **Julio Tomas Aquije Chacaltana**

LABESUL – Laboratório de Simulação de Escoamentos com Superfície Livre / PPGEA - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental/ UFES – Universidade Federal do Espírito Santo.

[juliotac@gmail.com](mailto:juliotac@gmail.com)

## **Joel Rojas Acuña**

LABTEL – Laboratorio de Teledetección / FCF - Facultad de Ciencias Fisicas / UNMSM – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

[jrojasa@unmsm.edu.pe](mailto:jrojasa@unmsm.edu.pe)

## **Edward Alburqueque Salazar**

LABTEL – Laboratorio de Teledetección / FCF - Facultad de Ciencias Fisicas / UNMSM – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

[cfiscaster@gmail.com](mailto:cfiscaster@gmail.com)

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar, qualitativa e quantitativamente, os sedimentos em suspensão na região da plataforma continental adjacente ao estado do Espírito Santo (ES). As bandas 2 e 6 do sensor *Thematic Mapper* (TM) foram utilizados para as etapas de pré-processamento e processamento, sendo por fim cálculo da CSS através do algoritmo proposto por Tassan (1987). A correção atmosférica dos dados apresentou um espectro com picos entre 0,5  $\mu\text{m}$  e 0,8  $\mu\text{m}$  como esperado para pixels em água com sedimentos. Os mapas de CSS foram caracterizados com altas concentrações abaixo de 20m, chegando a 60mg/l na região adjacente ao Rio Doce.

**Palavras-Chaves:** CSS; TM; Correção Atmosférica; Plataforma Continental Capixaba.

## **Abstract**

The objective of this study was to evaluate qualitatively and quantitatively, the suspended sediments in the region of the continental shelf adjacent to the state of Espírito Santo (ES). The bands 2 and 6 of *Thematic Mapper* (TM) sensor were used for compute a CSS field through the algorithm proposed by Tassan (1987). The atmospheric correction showed a spectrum with peaks between 0.5  $\mu\text{m}$  and 0,8  $\mu\text{m}$  as expected for pixels in water with sediment. CSS maps were characterized by high concentrations below 20m, up to 60mg/l in the region adjacent to the Rio Doce.

**Keywords:** Atmospheric Correction; Capixaba Continental Shelf.

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de ambientes oceânicos apresenta-se como uma atividade de caráter estratégico, uma vez que agrega conhecimento ao longo do tempo sobre um dado parâmetro, permitindo, com isso, o planejamento e operação de atividades civis e militares nas diversas províncias oceânicas. Dentro deste contexto, têm-se a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) como dois parâmetros importantes de serem monitorados devido aos seus impactos na qualidade da água. A variação destes parâmetros influencia diretamente nas características físicas, químicas e biológicas do ambiente.

Na região da Plataforma Continental (PC) a variação dos parâmetros da qualidade da água está relacionada à presença de plumas sedimentares provenientes das desembocaduras de rios e ressuspensão de sedimentos por ondas, além das plumas térmicas relacionadas aos processos de ressurgência costeira e, as desembocaduras de rios e baías. Esses aportes de sedimento e temperatura na superfície dos oceanos geram impactos nos aspectos físicos da água como densidade e transmitância, que podem causar fortes interferências na propagação de ondas acústicas e eletromagnéticas no meio. Com isso, regiões que apresentam forte variabilidade de propriedades termais e ópticas podem inviabilizar estudos oceanográficos e atividades táticas militares, como a detecção e localização de equipamentos submarinos (Paula et al., 2008). Além disso, é sabida a importância de se monitorar as variáveis físicas dos ambientes oceânicos e costeiros para o exercício íntegro da soberania frente à grande extensão do mar territorial brasileiro (Trotte, 2008). O monitoramento de variáveis da qualidade da água convencionalmente é feito através de equipamentos e amostragem de campo, fatores que são limitantes quando se busca operacionalizar a aquisição de dados em larga escala temporal e espacial. Isso se deve diretamente ao alto custo financeiro e disponibilidade de bóias, navios e outras plataformas flutuantes, além da necessidade de recurso humano especializado para exercer tais atividades.

Sendo assim, o método de sensoriamento remoto vem sendo empregados no monitoramento de variáveis da qualidade de água nos oceanos, como forma alternativa e aditiva de se efetuar a aquisição de dados nas primeiras camadas da superfície dos oceanos. A aquisição de dados através do sensoriamento remoto orbital é caracterizada por um radiômetro a bordo de um satélite que orbita sobre a Terra. Este radiômetro tem como função registrar a radiação eletromagnética irradiada pelas superfícies da Terra e armazena estes dados em diferentes canais, permitindo uma análise discreta da energia emitida pelos alvos de interesse. Essas características conferem ao sensoriamento remoto vantagens no que tange ao monitoramento de regiões oceânicas, dentre as quais podemos destacar a maior cobertura espacial, maior resolução e frequência temporal de amostragem e operacionalmente apresenta um menor custo financeiro. Sendo assim, desde meados do século passado são lançados satélites com finalidades ambientais, com destaque à família de satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) lançados a partir de 1970 e a família de satélites Landsat, iniciando com o *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-A) lançado da série em 1972, com apresentado na Figura 1. Os satélites da família Landsat são equipados com sensores multiespectrais de 4 a 8 bandas, nas quais são armazenadas comprimentos de onda de azul ( $0,452\mu\text{m}$ ) até o infravermelho termal ( $12,42\mu\text{m}$ ), como pode-se observar na Tabela 1 que representa as características dos dados registrados pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat5, a quinta plataforma lançada desta série de satélites. Seu sensor registra dados com 8 bits de níveis de discretização, com resolução espacial que vai de 30m a 120 e uma resolução temporal de 16 dias aproximadamente.

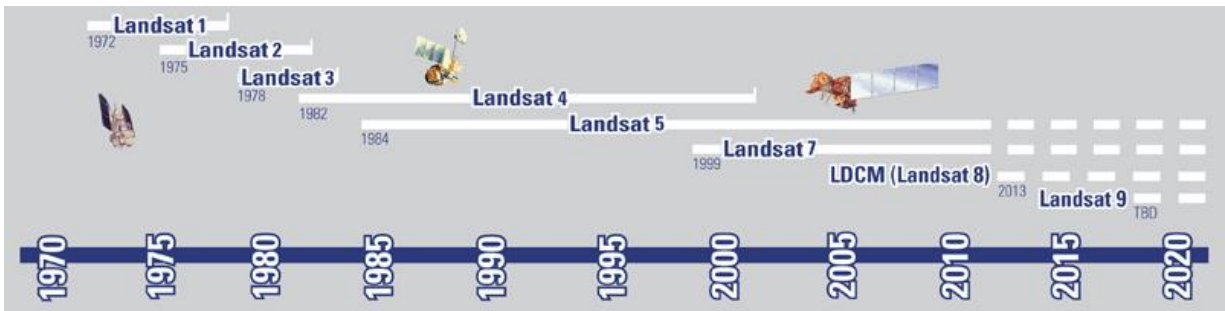


Figura 1. Serie histórica de lançamento e período de atividade dos satélites da série Landsat.  
 Fonte: [http://landsat.usgs.gov/about\\_landsat1.php](http://landsat.usgs.gov/about_landsat1.php)

O desenvolvimento de pesquisas sobre a potencialidade do uso dos dados dos satélites Landsat vem apontando a viabilidade de estes serem utilizados no monitoramento de variáveis como a CSS (Ritchie et al., 1974; Kritikos et al., 1974; Gordon e Morel, 1983; Tassan, 1987).

Trabalhos recentes vêm aplicando algoritmos de características empíricas e semi-analíticas para avaliar as regiões costeiras e oceânicas no Brasil. Estes algoritmos apresentam embasamento físico que vai deste uma regressão entre os dados de reflectância e CSS *in-situ* até modelos mais robustos que se fundamentam nas teorias de transferência radiativa (Oliveira, 2009).

Tabela 1. Características dos dados provenientes do sensor TM. FE = Faixa Espectral; IE = Intervalo Espectral ; COC = Comprimento de Onda Central ; RE = Resolução Espacial; RR = Resolução Radiométrica.

BANDAS	FE	IE [ $\mu\text{m}$ ]	COC [ $\mu\text{m}$ ]	RE [m]	RR [bits]
BANDA 1	Azul	0,452 - 0,518	0,485	30	8
BANDA 2	Verde	0,528 - 0,609	0,569	30	8
BANDA 3	Vermelho	0,626 - 0,693	0,660	30	8
BANDA 4	IV próximo	0,776 - 0,904	0,840	30	8
BANDA 5	IV médio	1,567 - 1,784	1,676	30	8
BANDA 6	IV termal	10,45 - 12,42	11,435	120	8
BANDA 7	IV médio	2,097 - 2,349	2,223	30	8

Os algoritmos empíricos apresentam-se computacionalmente mais vantajoso que os demais, uma vez que são de fácil implementação e as equações são calculadas diretamente, gerando assim um menos custo computacional. Genericamente estes algoritmos apresentam a seguinte estrutura:

$$\log(\text{CSS}) = (A) + (B) \times \log(\rho_n) \quad (1)$$

A variável  $\rho_n$  é a reflectância proveniente da superfície do oceano calculada a partir dos dados da banda de comprimento de onda central  $n$ .  $A$  e  $B$  são os coeficientes extraídos da relação empírica. Esta facilidade e rapidez de cálculo são pontos chaves quando se pretende gerar produtos utilizando uma base grande de dados ou quando estes dados se apresentam em

matrizes enormes de dados, como no caso das imagens de satélite. Um dos contrapontos dos algoritmos empíricos é a forte relação dos seus resultados com a área na qual foram coletados os dados de campo, no caso a CSS. Assim, a quantificação da CSS pode ser comprometida quando utilizados os mesmos coeficientes em diferentes regiões.

Alguns trabalhos vêm utilizando algoritmos empíricos para regiões próximas as desembocaduras de rios e regiões costeiras do Brasil (Lorenzetti et al., 2007; Teixeira et al., 2011; Filho et al., 2011;). Lorenzetti et al. (2007) estudou a distribuição de sedimento na desembocadura do Rio São Francisco a partir da aplicação das equações propostas por Tassan (1987), tendo como resultado uma melhor performance com o uso da banda 2 do sensor TM. Teixeira et al. (2011) analisaram o comportamento das equações de Tassan (1987) para o cálculo da CSS no estuário da Baía de Vitória. Em comparação com dados de CSS *in-situ* os autores observaram que a banda 2, ver tabela 1, do sensor TM sobrestimava os valores de campo, o que possivelmente era devido às baixas profundidades existentes. Os mesmos apontaram a banda 2 a que melhor representa a CSS da área de estudo. Filho et al. (2011) a partir de medidas concentração de sedimento da água *in situ*, gerou coeficientes próprios para a região da costa do Cacaú –BA, através do ajuste logarítmico entre os dados de campo e a reflectância das imagens Landsat 5. A partir de análise dos mapas de CSS o autor conclui que é viável a aplicação do algoritmo para a região de estudo e ressalta o caráter específico da aplicação do algoritmo.

Estudos sobre a CSS na plataforma continental sudeste do Brasil se apresentam ainda bastante escassos, dada a importância de se conhecer a distribuição quali-quantitativa desta propriedade. Sendo, portanto, necessário o desenvolvimento de métodos que permitam o monitoramento da CSS nas regiões internas à plataforma continental, com maior confiabilidade para que estes dados sejam utilizados por tomadores de decisões e sejam, também, fontes de dados de entrada para modelos numéricos que visem o estudo da CSS nos ambientes marinhos.

## **2. OBJETIVOS**

Sendo assim, tem-se como objetivo avaliar, qualitativa e quantitativamente, os sedimentos em suspensão das primeiras camadas dos corpos de água presentes na região da plataforma continental adjacente ao estado do Espírito Santo (ES), e assim observar a viabilidade do uso de dados de satélite para a análise da CSS nesta região.

## **3. METODOLOGIA**

Foram utilizadas 127 imagens registradas pelo sensor Thematic Mapper (TM/Landsat5) adquiridas através da base de dados disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Todas as imagens foram obtidas dentro do ponto/órbita 74/215 segundo a Worldwide Reference System (WRS), região destacada em azul na Figura 2. Duas bandas foram utilizadas para a observação e análise da distribuição da CSS, a banda 2 para a quantificação propriamente dita, e a banda 6 como uma variável utilizada na etapa de processamento, como será especificado mais a frente. A partir das imagens cruas dadas em níveis digitais (ND), foram conduzidas as etapas de pré-processamento e processamento. A etapa de pré-processamento consiste no processamento dos dados com a finalidade de adquirir informações necessárias para o cálculo das variáveis de interesse, a CSS. A correção geométrica e o ajuste radiométrico dos dados são as etapas nas quais ocorre o ajuste espacial da imagem e a quantificação de variáveis físicas a partir dos valores digitais da imagem crua. Para tanto, foram implementados os cálculos da radiância e, a partir daí, foi estimada a reflectância dos píxel, juntamente com a temperatura de brilho da banda 6 (vide Tabela 1).

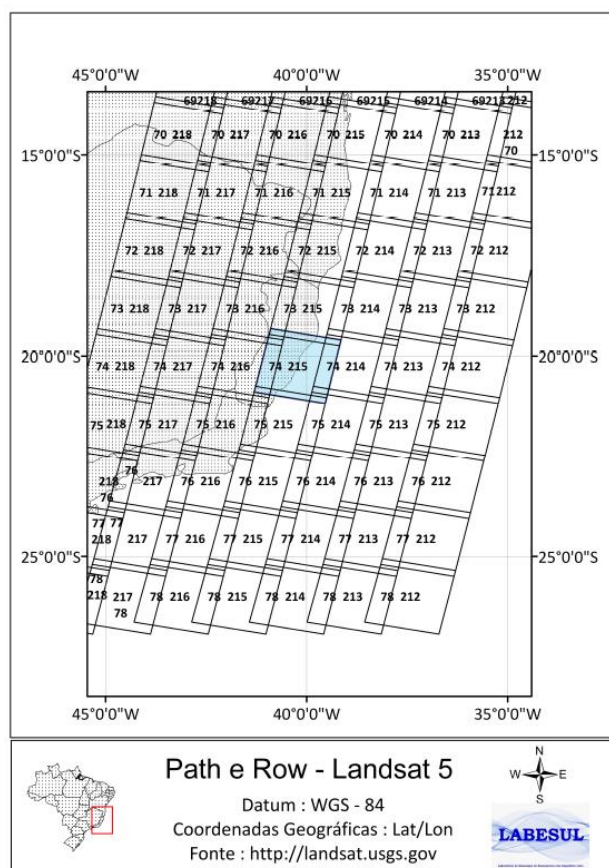


Figura 2. Em azul a localização do ponto e órbita das imagens Landsat5/TM dentro das diversas passadas do landsat5.

Para a correção geométrica dos dados utilizou-se um polinômio de primeira ordem para o ajuste espacial e uma reamostragem dos pixels pelo método de vizinhos mais próximos, com a finalidade de conservar as características espectrais dos dados. A radiância dos dados foram calculadas segundo o proposto por Chander et al. (2009). Os valores de  $LMIN_{\lambda}$  e  $LMAX_{\lambda}$  são tabelados no mesmo trabalho.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + LMIN_{\lambda} \quad (2)$$

$L_{\lambda}$  = Radiância Espectral que chega à abertura do sensor [ $W/m^2 sr \mu m$ ];

$Q_{cal}$  = Valor quantizado do pixel processado [ND];

$Q_{cal\ min}$  = Valor mínimo quantizado do pixel processado correspondente ao  $LMIN_{\lambda}$  [ND];

$Q_{cal\ max}$  = Valor máximo quantizado do pixel processado correspondente ao  $LMAX_{\lambda}$  [ND];

$LMIN_{\lambda}$  = Radiância espectral para o sensor que é escalada para o  $Q_{cal\ min}$  [ $W/m^2 sr \mu m$ ];

$LMAX_{\lambda}$  = Radiância espectral para o sensor que é escalada para o  $Q_{cal\ max}$  [ $W/m^2 sr \mu m$ ].

A reflectância no topo da atmosfera, reflectância TOA (*Top Of Atmosphere*), foi calculada segundo o proposto por Chander et al. (2009):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos(\theta_s)} \quad (3)$$

$\rho_{\lambda}$  = Reflectância TOA planetária [s.u.];

$\pi$  = Constante matemática de valor 3.14159 [s.u.];

$d$  = Distância Sol-Terra [unidades astronômicas];

$ESUN_{\lambda}$  = Irradiância solar média para a exoatmosfera [ $W/m^2 \mu m$ ];

$\theta_s$  = Ângulo zênite solar [graus].

No caminho da energia eletromagnética entre a superfície do oceano e o sensor, ocorrem contribuições atmosféricas no sinal devido principalmente a processos como espelhamento e absorção. E esses efeitos devem ser compensados. Métodos de compensação dos efeitos atmosféricos vêm sendo desenvolvido com base nas equações de transferência radiativa. Métodos mais recentes, como o apresentado por Cooley et al. (2002), utilizam variáveis físicas como o conteúdo de vapor de água e nível topográfico da Terra. Além disso, estes modelos utilizam técnicas que permitem compensar efeitos de regiões adjacentes e, com isso, ter uma correção mais robusta utilizando simulações de modelos como o da Equação 4.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left( \frac{B\rho}{1 - \rho_e} \right) + L_a \quad (4)$$

$L_{\lambda}$  = Radiância Espectral que chega à abertura do sensor [ $W/m^2 \mu m$ ];

$L_a$  = Radiância retroespalhada pela atmosfera [ $W/m^2 \mu m$ ]

$\rho$  = Reflectância da superfície [s.u.];

$\rho_e$  = Reflectância média da superfície para uma região aproximada [s.u.];

$S$  = Albedo esférico da atmosfera [s.u.];

$A$  e  $B$  = são coeficientes que dependem de condições geométricas e atmosféricas e independem da superfície alvo [s.u.].

Neste modelo então apresenta as duas reflectâncias como incógnita, já que os coeficientes  $S$ ,  $L_a$ ,  $A$  e  $B$  podem ser calculados através de modelos físicos atmosféricos que assimilam os ângulos de observação, ângulo solar e elevação média da cena. Para os dados de elevação foram utilizados dados provenientes do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) que apresenta uma resolução espacial de aproximadamente 90m e são disponibilizados pelo Jet Propulsion Laboratory (JPL) pelo endereço <http://wetlands.jpl.nasa.gov/index.html>. Destes dados foram extraídas as alturas médias relativas aos limites das cenas do Landsat5/TM, como apresentado na Figura 3. A partir dos dados corrigidos atmosféricamente deu-se início à etapa de cálculo da CSS. Dados de campo foram disponibilizados pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente - Espírito Santo (IEMA-ES), entretanto, não houve concordância entre as datas dos dados e das imagens Landsat viáveis. Optou-se então por utilizar diretamente uma das equações propostas por Tassan (1987). Foi implementada então a Equação 5, a qual utiliza a banda 2/TM para estimar a CSS. A escolha desta equação é devido essa ser a que apresentou

um melhor desempenho em ambos trabalhos elaborados por Tassan (1987) e Lorenzetti et al. (2007).

$$\log(CSS) = (3,08 \pm 0,27) + (1,70 \pm 0,14) \times \log(\rho_{0,569}) \quad (5)$$

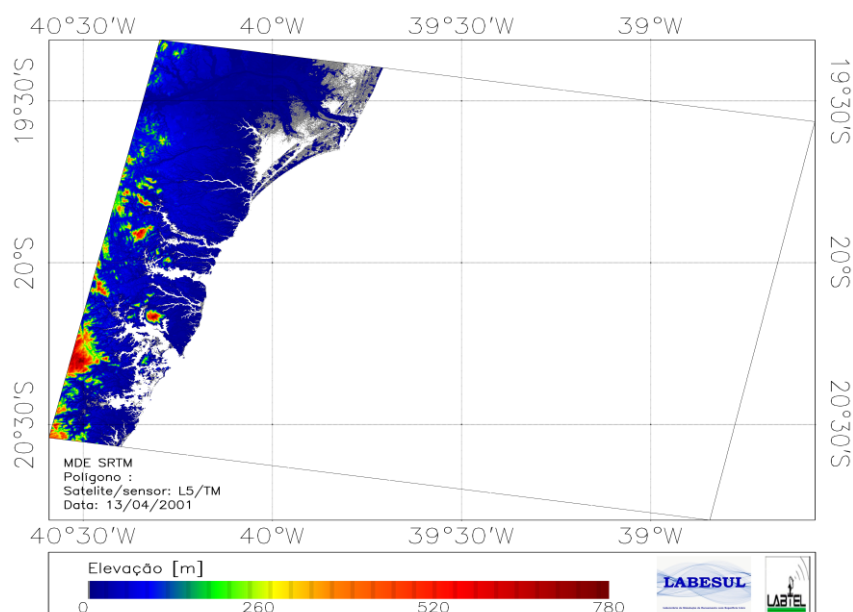


Figura 3. Modelo digital de Elevação (MDE) baseado nos dados SRTM.

Em seguida foi gerada a paleta de cor, cuja finalidade foi relacionar os valores de cada pixel a uma classe e com isso facilitar a interpretação dos dados. As paletas tiveram suas classes distribuídas conforme variavam os valores de CSS no espaço. Por fim, foi feito o mascaramento de terra e nuvem. A máscara de terra teve sua construção a partir do vetor de linha de costa proveniente do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Este foi inserido na imagem ortorretificada LT52150742006101CUB00 do banco de dados Legacy/ Glovis e em seguida esta matriz foi binarizada em regiões internas e externas ao vetor, com valores de 0 e 1 respectivamente. A máscara de nuvem foi obtida segundo o método Fmask (Function of Mask) de discretização por propriedades físicas das nuvens, levando em consideração a distribuição reflectância do topo da atmosfera (TOA) e a temperatura de brilho da banda 6 (Sospedra et al. 1998) de cada cena (Zhu e Woodcock, 2012). Este algoritmo leva em consideração as diferentes alturas de nuvens, e, a partir disso, discrimina 4 alvos: nuvem, sombra de nuvem, neve e terra.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos podem ser divididos na avaliação da correção atmosférica obtida pelo modelo utilizado e na análise da distribuição da CSS pela região e estudo. Na figura 4 são apresentados diferentes comportamentos espectrais pela relação água/sedimento. Picos entre 0,5  $\mu\text{m}$  e 0,8  $\mu\text{m}$  podem ser explicados pela presença de sedimento no pixel. O comportamento da curva da Figura 4.1 é caracterizado pelo pico em 0,569  $\mu\text{m}$ , com baixos valores de reflectância  $\sim 0,1$  devido possivelmente a menor concentração de sedimentos presente no pixel, se comparada com os valores apresentados na Figura 4.2. A curva na Figura 4.2 tem seu pico em  $\sim 0,66 \mu\text{m}$  com valores de reflectância próximos de 0,15. Esse aumento do

valor e deslocamento curva espectral, relativo à Figura 4.1, deve-se ao aumento da concentração deste sedimento em suspensão para uma água do tipo 2 como verificado no trabalho de Han (1997).

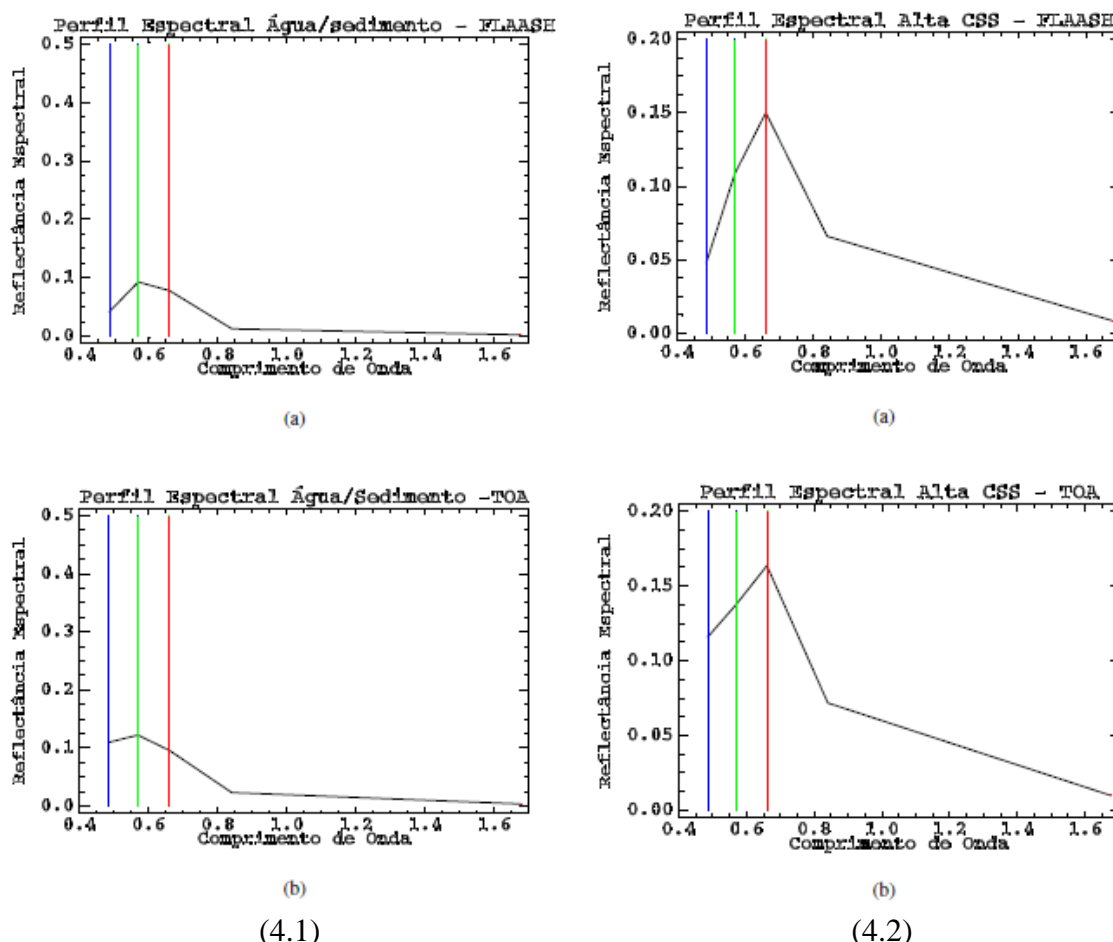


Figura 4. Comportamento espectral de um pixel amostrado dentro da plataforma (esquerda) e outro localizado na desembocadura do Rio Doce (direita). Ambos os espectros apresentados da reflectância superficial (a) e para a reflectância TOA (b). Representada nas linhas coloridas a posição das 3 primeiras bandas do sensor TM no espectro eletromagnético.

Neste tipo de água, o material inorgânico em suspensão, ou as substâncias orgânicas, são os principais responsáveis pelo espalhamento no meio (Morel e Prieur, 1977). O mesmo autor salienta ainda que esta é a região do espectro eletromagnético mais afetado com a variação de concentração, sendo que os de maior comprimentos de onda são mais estáveis com uma relação quase linear com a concentração de sedimento. Comparando as sub-figuras (a) e (b) de ambas figuras 4.1 e 4.2 observamos que a correção atmosférica resultou em uma melhor definição da curva espectral das reflectâncias, evidenciando, assim, os valores característicos dos alvos.

Analisando os campos de CSS observa-se uma maior concentração situada em profundidades menores que 20m e frente à desembocadura do Rio Doce diminuindo em direção às maiores profundidades. Na Figura 5 as maiores concentrações são observadas próximas ao Rio Doce com valores superiores a 40 mg/l, enquanto em setores afastados do Rio Doce predominam valores próximos de 10mg/l. Por outro lado, na Figura 6, mesmo predominando o padrão espacial de distribuição da CSS, observa-se um aumento dos valores, estando presente agora CSS maiores que superiores a 70mg/l frente ao Rio Doce e nas



profundidades menores que 20m estão presentes concentrações superiores a 30mg/l. Esta variação de CSS nas porções distantes da desembocadura do Rio Doce está coerente com o observado por IEMA (2011) encontrou para o período de outono valores de ~12,5mg/l e período de inverno com valores de ~32,5mg/l.

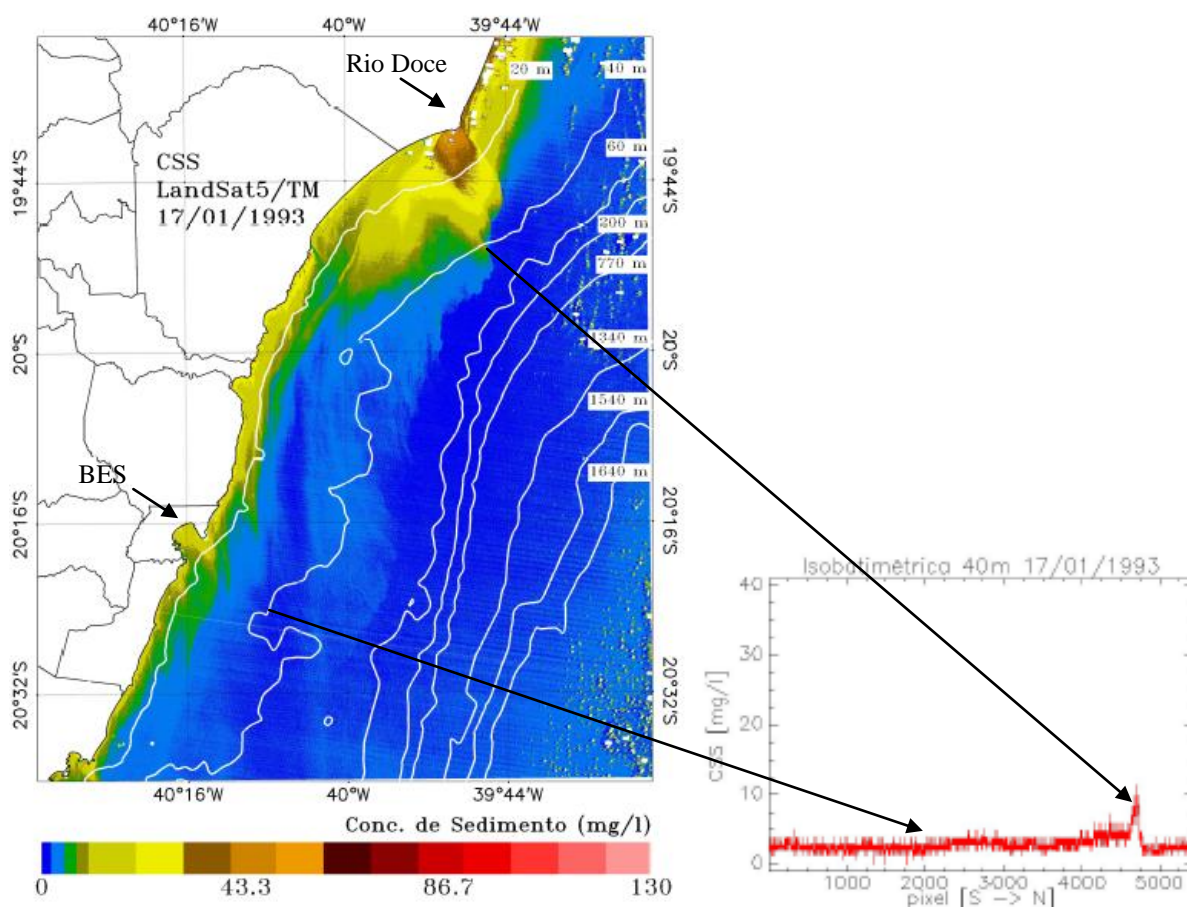


Figura 5. CSS para o dia 17/01/1993 Landsat5/TM e o comportamento da CSS para a linha de controle na posição da isobatimétrica de 40m.

Quanto à advecção da pluma de sedimento, tem-se que nas imagens analisadas essa se dava para SO, estando mais evidente na Figura 6, devido, possivelmente, á maior concentração distribuída sobre a plataforma continental capixaba. Para uma avaliação conjunta da distribuição espacial e valores da CSS foi elaborada uma linha de controle na posição da isobatimétrica de 40m. Esta tem sua origem ao sul da isobatimétrica amostrando pixel-a-pixel os valores de CSS até o limite norte da isobatimétrica nas figuras. Ao longo da linha de controle podemos referenciar algumas feições da linha de costa como a Baía do Espírito Santo (BES), próxima ao píxel 2000 e a desembocadura do Rio Doce, frente ao píxel 4000, como mostrado nas Figuras 5 e 6. Em ambos gráficos das Figuras 5 e 6 observamos um padrão restrito às profundidades menores que 40m, com exceção da porção frente ao Rio Doce, onde ocorre a passagem da pluma de sedimento pela isobatimétrica de 40m, sendo esta pluma com valores de 10mg/l e chegando entorno de 35mg/l no gráfico da figura 6. O aumento de valores da CSS para os pixels próximos a 3000 observado no gráfico da Figura 6 deve-se a advecção para SO da pluma proveniente da região próxima à desembocadura do Rio Doce.

Em geral tem-se que há uma significativa variação da distribuição da CSS na

plataforma continental capixaba, e que pode estar relacionada com as características meteorológicas dos períodos em questão. Sendo a Figura 5 representativa de um campo de CSS para o dia 17/01/1993, verão e a Figura 6 para o dia 30/07/2011, inverno, temos que fatores meteorológicos característicos deste período, como as ondas, ventos e o ciclo hidrológico, promovem a ressuspensão e advecção dos sedimentos.

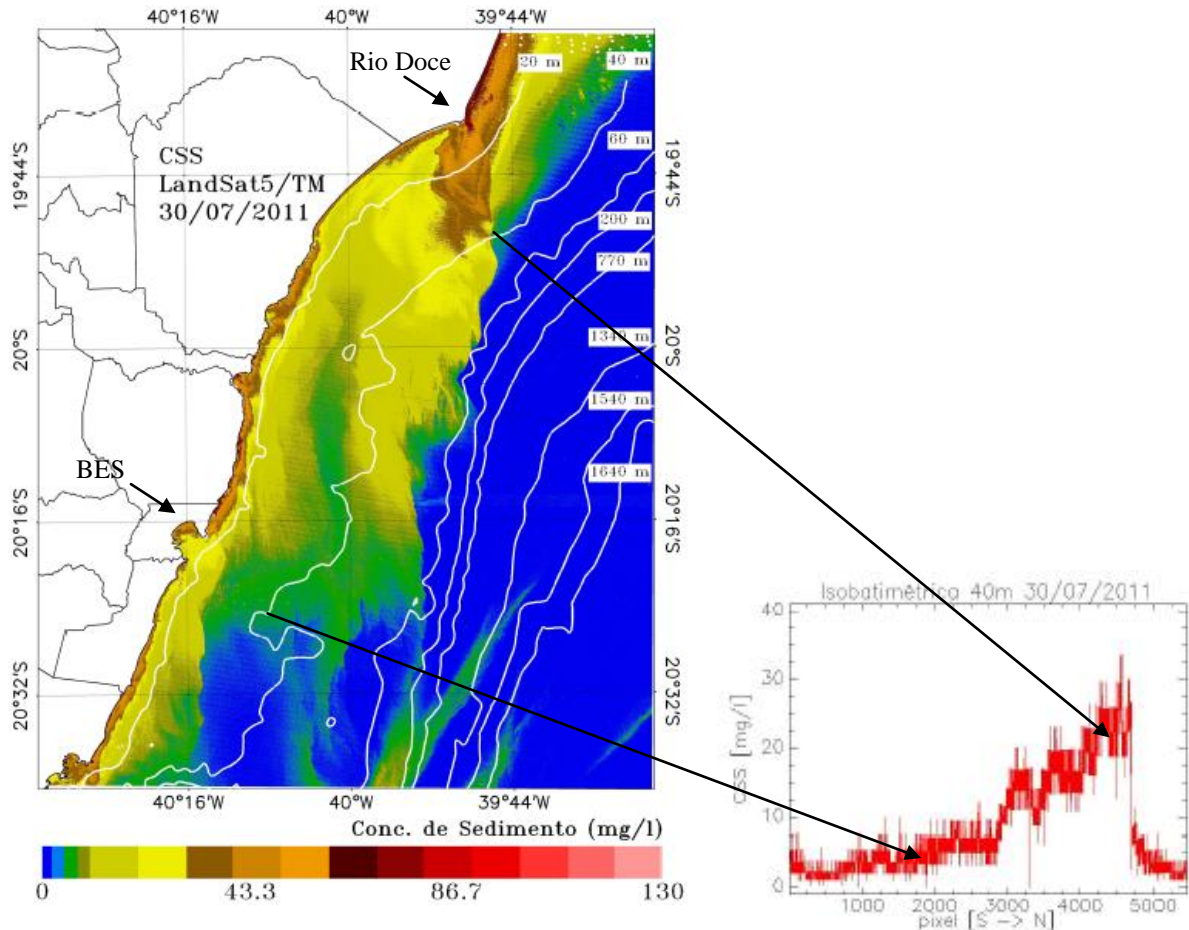


Figura 6. CSS para o dia 30/07/2011 Landsat5/TM e o comportamento da CSS para a linha de controle na posição da isobatemétrica de 40m.

A predominância de ventos de E-NE é caracterizada nos trabalhos de Piumbini (2009) e Rossi-Wongtschowsky et al. (2006). Essa predominância ocorre ao longo de todo ano e é interrompida com a entrada de frentes frias nos períodos de inverno. Este padrão pode explicar diretamente o comportamento da advecção da pluma se dar nas imagens para SO. Além disso, resultados numéricos encontrados por Piumbini (2009) caracterizam os períodos de verão e primavera como estações de incidência de ondas com períodos baixos, cuja moda da distribuição está entre 7 e 8 segundos, já as estações de outono e inverno apresentam ondas de períodos superiores, entre 8 e 9 segundos. A capacidade de ressuspensão de sedimento por ondas de maiores períodos que chegam à plataforma continental permite relacionar então o aumento da CSS na Figura 6 com o aumento da capacidade de remobilização dos sedimentos das ondas nos meses de inverno. Além disso, outro fator que permite inferir a maior atuação de ondas na Figura 6 é a menor CSS na desembocadura e calha do Rio Doce quando comparada com a Figura 5. Essa maior concentração na Figura 5 é explicada pelas maiores vazões do Rio Doce nos períodos iniciais do ano hídrico decaindo os valores de vazões em

direção aos meses de agosto, como apresentado no trabalho de Campos (2011). Sendo assim, as altas concentrações nas adjacências da desembocadura do Rio Doce e CSS menores em sua calha, Figura 6, descrevem uma característica atuação de ondas na região.

## 5. CONCLUSÕES

Esse trabalho propôs a modelagem e a análise quantitativa da CSS proveniente da banda 2 do sensor TM. Utilizaram-se técnicas de ajuste radiométrico e correção atmosférica para o pré-processamento das imagens e uso de um algoritmo empírico proposto por Tassan (1987). A correção atmosférica se mostrou satisfatória quanto ao comportamento das curvas espectrais quando confrontada com as de trabalhos descritos na literatura. Devido ao fato de tais literaturas terem em mãos dados in-situ, foi possível validar as saídas da correção atmosférica. Portanto, pode-se concluir que o método utilizado mostrou-se funcional para o pré-processamento deste trabalho. Os campos de CSS estimados a partir modelo empírico apresentaram valores satisfatórios, uma vez que a ordem de grandeza obtida está dentro do observado em dados medidos na região (IEMA, 2011). A variação do padrão espacial e concentração entre as imagens mostrou-se relacionada com a variação de fatores meteorológicos como vento, onda e o regime hidrológico da região estudada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAMPOS, A. P. M. ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PLUMA DO RIO DOCE (ES) ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO. [S.l.], Dissertação de Mestrado apresentada ao 2011 ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.
- [2] CHANDER, G.; MARKHAM, B.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for landsat mss, tm, etm+, and eo-1 ali sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, p. 893–903, 2009.
- [3] COOLEY, T. et al. Flaash, a modtran4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2002. IGARSS '02. 2002 IEEE International, v. 3, p. 1414 – 1418, 2002.
- [4] FILHO, C. A. T. F.; STREZEL, G. M. R.; PAULA, F. C. F. Um modelo numérico para a detecção da pluma sedimentar na costa do cacau, ilhéus -bahia, brasil, em uma imagem landsat tm. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, p. 7059–7066, 2011.
- [5] GORDON, H. R.; MOREL, A. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A Review. In: *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*. [S.l.]: Springer-Verlag New York, LLC, 1983.
- [6] HAN, L. Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 63, n. 6, p. 701–705, 1997.
- [7] IEMA. Análise Estatística dos Monitoramentos Marinhos, Relatório Consolidado, CTA-DT-086/11. [S.l.], 2011.
- [8] KRITIKOS, H.; YORINKS, L.; SMITH, H. Suspended solids analysis using erts-a data. *Remote Sensing Environment*, v. 3, p. 69–78, 1974.

- [9] LORENZZETTI, J. A. et al. Uso de imagens landsat como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio são francisco. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 8, p.
- [10] MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variation in ocean color. Limnology and Oceanography, v. 22, p.709–722, 1977.
- [11] OLIVEIRA, E. N. IMPACTO DE BARRAGENS SOBRE A DISPERSÃO DE MATÉRIA E A SUSTENTABILIDADE DA PLUMA COSTEIRA DO RIO SÃO FRANCISCO (AL/SE): ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL POR SENSORIAMENTO REMOTO. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, 2009.
- [12] PAULA, A. C.; CALADO, L.; MATTOS, R. A. O Emprego de Feições Oceanográficas Detectadas por Plataformas Satelitais em Apoio a Operações Navais. In: Encontro de Usuários de Sensoriamento Remoto das Forças Armadas, 3, 2008. p. 20-21.
- [13] PIUMBINI, P. P. CLIMA DE ONDAS DE GRAVIDADE E ESTADO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM AMBIENTES MARINHOS NO ESPÍRITO SANTO. [S.l.], 2009. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.
- [14] RITCHIE, J. C.; MCHENRY, J. R.; WILSON, R. B. The relationship of reflected solar radiation and the concentration of sediment in the surface water of reservoirs. [S.l.]: University of Tennessee Space Institute, 1974. 57-72 p.
- [15] ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. et al. O Ambiente Marinho. In: Ministério do Meio Ambiente. Programa REVIZEE - Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos da Zona Econômica Exclusiva do Brasil. [S.l.]: IBGE:Rio de Janeiro, 1989. ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. et al. O Ambiente Marinho. In: Ministério do Meio Ambiente. (Org.). Programa REVIZEE- Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos da Zona Econômica Exclusiva do Brasil. [S.l.]: Brasília: MMA, 2006. 21-75 p.
- [16] SOSPEDRA, F.; CASELLES, V.; VALOR, E. Effective wavenumber for thermal infrared bands application to landsat tm. International Journal of Remote Sensing, v. 19, p. 2105–2117, 1998.
- [17] TASSAN, S. Evaluation of the potential of the thematic mapper for marine application. International Journal Remote Sensing, v. 8, n. 10, p. 1455–1478, 1987.
- [18] TEIXEIRA, G. L. G. et al. Distribuição da css a partir de imagens de satélite como suporte a decisão para amostragem destinada à estudos virológicos. ANAIS DO CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIENCIAS DO MAR, Florianópolis, p. 377–392, 2011.
- [19] TROTTE, J. Por que monitorar permanentemente os oceanos? Revista Marítima Brasileira. 3º trimestre, 2008.
- [20] ZHU, Z.; WOODCOCK, C. E. Object based cloud and cloud shadow detection in landsat imagery. Remote Sensing of Enviroment, v. 118, p. 83–94, 2012.