

Imagens TM/Landsat na detecção de mancha de óleo na Baía da Guanabara-RJ - Brasil.

MILTON KAMPEL¹

SILVANA AMARAL¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil
milton@ltd.inpe.br, silvana@dpi.inpe.br

Abstract This paper proposes a methodology to identify and to estimate the spatial area of an oil film spilled over the Guanabara Bay waters, in January 2000, using digital image processing of TM/Landsat images. An analysis of principal components over the TM original bands pointed out the oil film. Techniques of image segmentation in conjunction with field observation defined and estimated an area of 133,45 Km² for the oil spill. The main limitation was the cloud coverage observed in the image. We suggest the additional use of other satellites, including microwave sensors, for environmental monitoring of similar disasters.

Keywords: Remote sensing, TM/Landsat, Oil spill, Guanabara Bay.

1 Introdução

A questão da poluição por óleo nos oceanos, incluindo os estuários, está relacionada a dois aspectos potencialmente opostos da atividade humana: por um lado, existe a poluição resultante de atividades empreendidas com o intuito de atender às necessidades da sociedade - a extração, o transporte, e o uso do petróleo como fonte de energia - e por outro lado há um forte anseio na preservação dos recursos vivos marinhos, tanto para interações gerais como para legado a gerações futuras.

Uma vez que a densidade específica do petróleo é inferior a da água do mar, eventuais manchas ou filmes de óleo gerados por vazamentos tendem a flutuar. Ainda, diversos fatores naturais atuam sobre o óleo derramado no mar, como o espalhamento superficial, evaporação, dispersão, dissolução, emulsificação, oxidação fotoquímica, biodegradação, adsorção-precipitação e a redução mecânica (MacKay e McAuliffe, 1989).

O impacto ambiental da introdução de óleo no mar depende da intensidade destes fatores naturais, bem como do tipo e quantidade do material derramado, das características hidrológicas do corpo d'água e sua composição biológica. A mancha de óleo pode ser deslocada pela ação das correntes e ventos, com possíveis impactos sobre ecossistemas costeiros, afetando diretamente atividades sócio-econômicas como a pesca e o turismo.

Os inúmeros casos de derrames de petróleo ocorridos no litoral brasileiro nos últimos anos têm incentivado os órgãos e entidades envolvidas nestes episódios a aperfeiçoarem cada vez mais os métodos, tanto preventivos como corretivos, para a minimização dos danos gerados por estas ocorrências. Dentre os maiores acidentes registrados estão os com os navios Takimya Maru, em 1974, com 6.000 ton vazadas, Brazilian Marina, em 1978, com o mesmo volume,

Marina em 1985 com 2.500 ton, todos no canal de São Sebastião, SP e o navio Tarik Ibn Ziyad, na Baía de Guanabara, RJ, também com 6.000 ton (Poffo et al., 1997).

Em 18/01/2000, cerca de 1,3 mil toneladas de óleo combustível (tipo MF-380) vazaram de uma das 14 linhas do sistema de transferência de produtos da refinaria Duque de Caxias (REDUC) para o terminal da Ilha D'Água (TORGUÁ), na Baía de Guanabara. A mancha de óleo se espalhou por extensa área e atingiu diversos ecossistemas, incluindo praias, costões rochosos e manguezais localizados na parte norte/nordeste da baía. Entre as praias mais seriamente atingidas pode-se destacar o litoral de Magé, as praias de Mauá, Anil, Paquetá, Ilha do Governador e São Gonçalo. A Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, severamente afetada, é um dos mais importantes nichos ecológicos da região, abrangendo um manguezal de 14 mil hectares.

A detecção, controle e monitoramento dos derrames de óleo no mar tem sido preocupação de diversas instituições e governos, visando o estabelecimento de padrões de controle e legislações específicas. O monitoramento e o gerenciamento ambiental são extremamente facilitados se a informação sobre a poluição marinha estiver disponível de forma periódica. O sensoriamento remoto pode ser utilizado para facilitar a aquisição de tais informações. As técnicas de sensoriamento remoto apresentam significativo potencial em fornecer métodos eficientes para detecção de poluentes e parâmetros de qualidade de água. A visão sinóptica obtida por meio de sensores remotos a bordo de plataformas orbitais ou aerotransportadas, fornece informações que não são prontamente disponíveis pelo emprego de técnicas de medição convencionais.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a utilização de imagens orbitais do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5 na detecção e estimativa da extensão da mancha de óleo decorrente do derrame ocorrido na Baía da Guanabara, RJ, em 18 de janeiro de 2000.

2 Área de Estudo

A Baía de Guanabara (**Figura 1**) é um ambiente costeiro que apresenta sérios problemas ambientais (Kjerfve et al., 1997) derivados do desordenado crescimento urbano e industrial a partir da década de 50. Segundo dados do censo IBGE de 1991, uma população de 7,3 milhões de habitantes vive na área de influência direta da baía. Este ambiente estuarino que conta com um volume médio de 22 bilhões de m³ de água ao longo de seus 391 Km², recebe diariamente cerca de 400 ton de efluentes orgânicos, onde apenas uma pequena parte recebe algum tipo de tratamento (PDBG, 2000).

A contaminação por diversos poluentes orgânicos e inorgânicos é notoriamente conhecida (JICA, 1994; Lacerda et al., 1994). Existem aproximadamente, 6.000 indústrias em seu entorno com diversas atividades, além de dois portos comerciais, 16 terminais marítimos de petróleo e a maior refinaria de petróleo do Brasil – a REDUC, que introduz cerca de 1,4 toneladas de óleo por dia em suas águas (JICA, 1994). A baía também sofre com a introdução crônica de hidrocarbonetos de petróleo, neste caso associados a lançamento de esgoto e rejeitos industriais, entre outros, que faz com que sejam observadas alterações dos níveis naturais destes contaminantes em água e sedimento (Hamacher, 1996; Azevedo, 1998).

A Baía de Guanabara, atualmente seriamente impactada pela descarga poluída da região metropolitana do rio de Janeiro, originou-se do afogamento marinho de uma bacia fluvial Pleistocênica. Está rodeada por maciços montanhosos litorâneos e escarpas da serra do mar (serra dos órgãos), colinas isoladas ou agrupadas em pequenos aglomerados. A descarga fluvial recebida é proveniente de dezenas de rios, sendo os maiores com nascentes na serra do mar ou no maciço litorâneo, com seu valor médio estimado em $100 \pm 59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A massa d'água da baía é

forçada por maré semi-diurna mista, gerando correntes de sizígia máxima de 0,5 e 1,6 ms^{-1} no interior da baía e na sua entrada, respectivamente. A profundidade média é 7,6 m e a região mais profunda, com cerca de 50 m, localiza-se no estreitamento entre as pontas de São João e de Santa Cruz (Amador, 1977; Kjerfve et al., 1997).

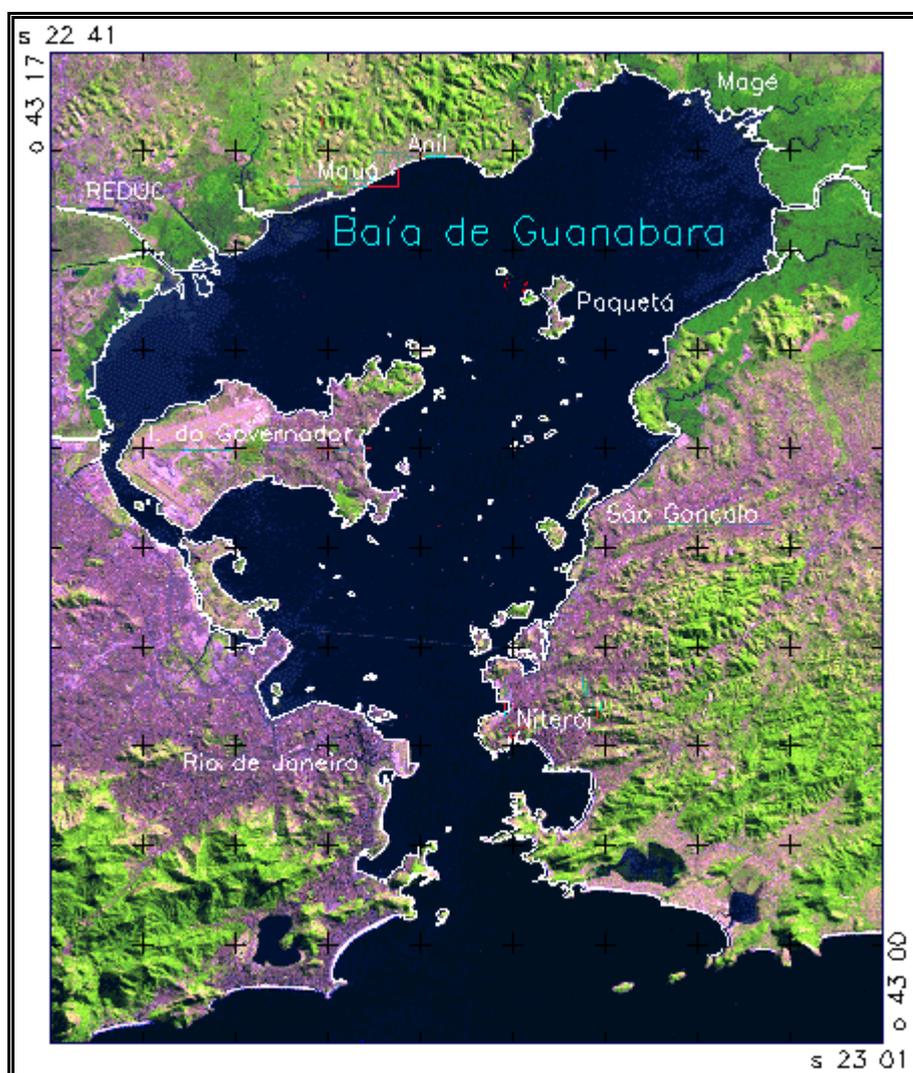


Figura 1 – Composição colorida 3B/4G/R5 da imagem TM/Landsat de 21/03/99, mostrando a área de estudo.

3 Materiais e Métodos

Foram utilizadas duas imagens TM/Landsat, ambas referentes a órbita-ponto 217/76, de duas datas: 21/03/99, a imagem pretérita, e 19/01/00, passagem subsequente ao derrame de óleo ocorrido em 18/01/00 na Baía de Guanabara.

A seqüência metodológica proposta é apresentada de forma resumida no fluxograma da **Figura 2**. Nos parágrafos que se seguem é feita uma descrição mais detalhada da metodologia utilizada.

As imagens originalmente obtidas com correção geométrica nível 5, foram registradas para a projeção Mercator, tomando-se como base a carta náutica N.º 1501 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), escala 1:50.000.

A imagem de 21/03/99, com ausência de cobertura de nuvens sobre a área de estudo, foi registrada com a carta náutica 1501. Esta imagem de 1999 registrada, serviu de referência para o registro da imagem de 19/01/00. O registro foi realizado empregando-se uma transformação polinomial de primeiro grau, obtendo-se um erro quadrático médio menor que 0,8 pixel.

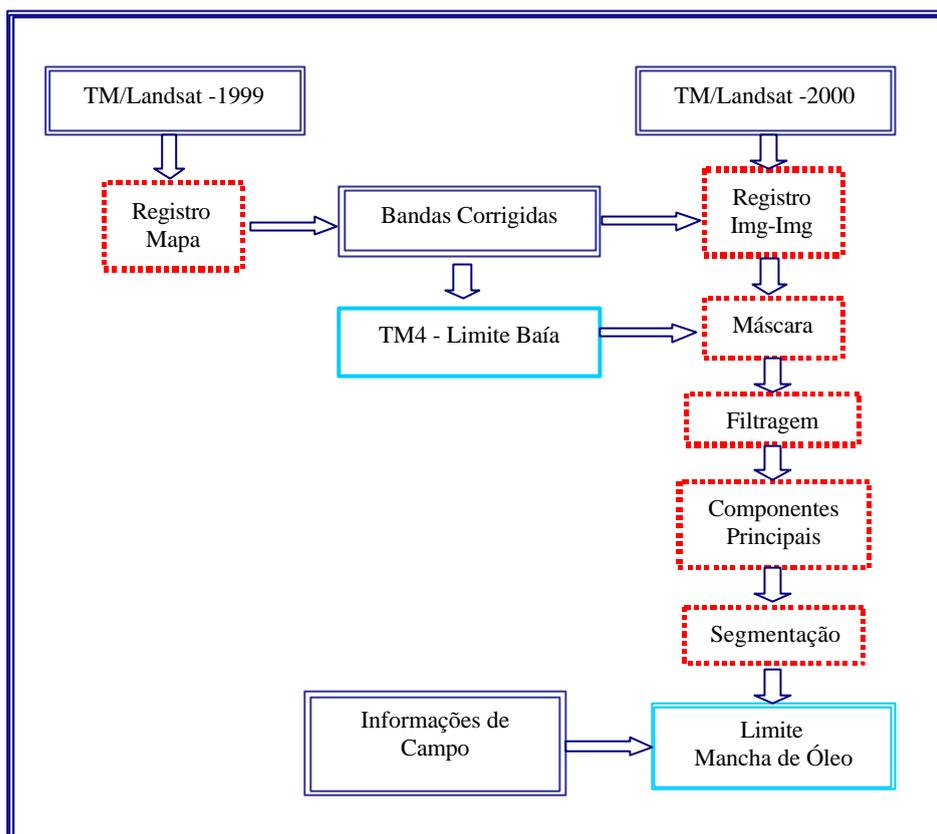


Figura 2 - Fluxograma da seqüência metodológica proposta para o processamento digital das imagens TM/Landsat.

A intensa cobertura de nuvens presente em 19/01/00 dificultou a observação de parte da Baía de Guanabara, restringindo-se assim, a área útil daquela imagem. A composição colorida das bandas 1, 2 e 3 do sensor TM, referentes aos canais azul, verde e vermelho, respectivamente, pode ser observada na **Figura 3**.

Para reduzir o efeito de *striping* observado nos canais 1, 2 e 3 do sensor TM/Landsat sobre as águas da baía, foram realizados testes com aplicação de diferentes filtros, experimentando-se diferentes direções e tamanhos de máscara.

Uma vez que a radiação eletromagnética na faixa do infravermelho próximo é intensamente absorvida pela água, pode-se utilizar a banda 4 do sensor TM para a definição do limite terra-água. A banda 4 da imagem de 21/03/99, que não apresentava cobertura de nuvens, foi classificada pelo método do fatiamento, gerando-se uma imagem temática com duas classes: terra e água. Esta imagem temática foi vetorizada, obtendo-se assim o limite vetorial da baía (**Figura 3**). As bandas TM da imagem de 19/01/00 foram mascaradas utilizando-se álgebra de

mapas. O limite da baía restringiu espacialmente as bandas TM, de modo que os planos de informação gerados passaram a conter somente níveis digitais referentes à classe água. Este procedimento otimizou os processamentos digitais realizados posteriormente sobre a imagem.

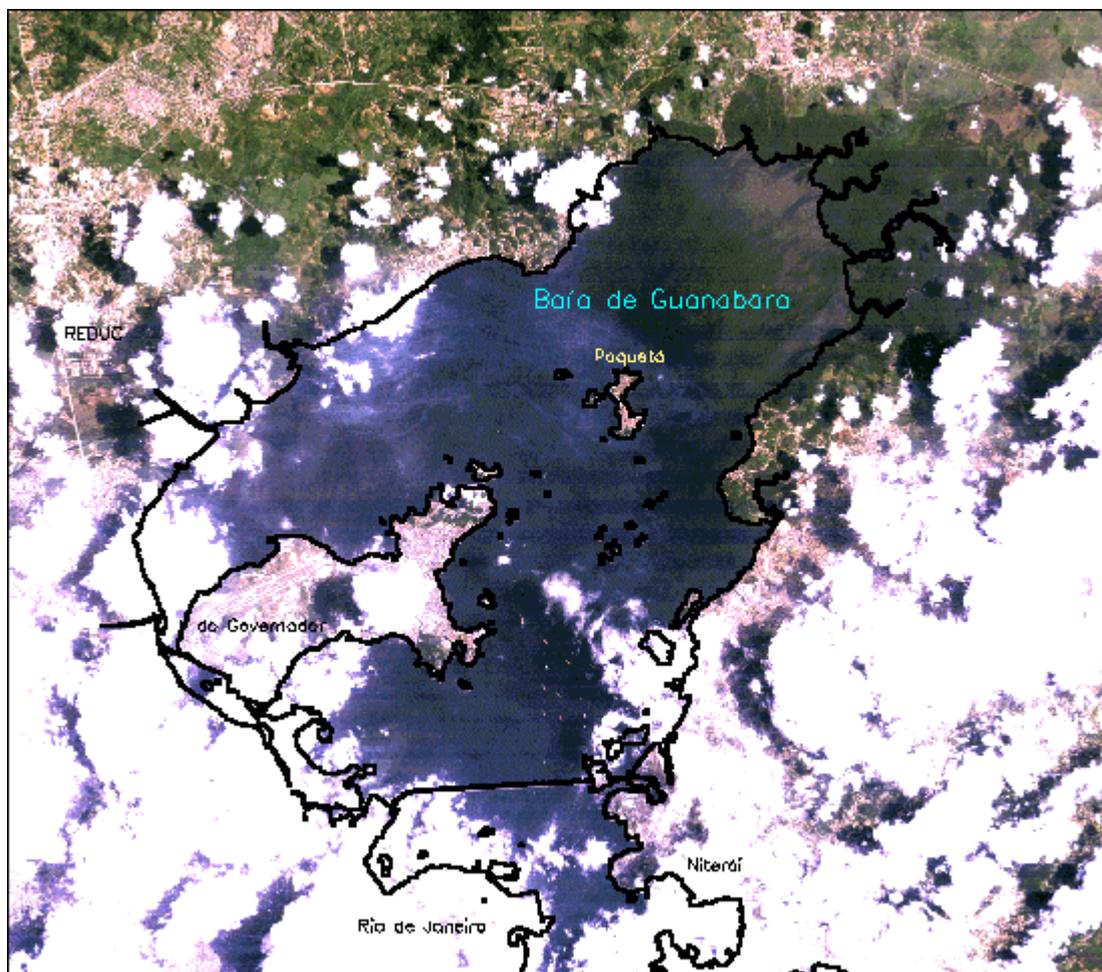


Figura 3 - Composição colorida 1B/2G/3R da imagem TM/Landsat de 19/01/00, dia posterior ao derrame de óleo ocorrido na Baía de Guanabara.

Para reduzir o espaço de atributos e tentar identificar a presença de óleo na superfície da baía, foi realizada uma análise de componentes principais sobre o conjunto das 6 bandas espectrais (1, 2, 3, 4, 5 e 7) disponíveis para a imagem TM/Landsat de 19/01/00. Aplicou-se a cada componente principal um realce dos níveis digitais para que todas as componentes tivessem a mesma variância e os valores digitais fossem distribuídos entre 0 e 255.

O resultado final, com a delimitação da mancha de óleo, foi gerado através da edição de regiões, obtidas pelo uso de segmentação das imagens de componentes principais, e informações de campo (visita ao local do derrame).

4 Resultados

A aplicação de filtro mediana recursiva para redução do *striping* observado nas bandas 1, 2 e 3 (canais visíveis) das imagens TM/Landsat, não se mostrou eficiente (resultados não mostrados).

Desta forma, o uso de filtros não foi incorporado à metodologia final empregada na obtenção da extensão da mancha de óleo.

A **Tabela 1** mostrada a seguir, apresenta os autovalores e as porcentagens de variância explicada pelas componentes principais calculadas para as seis bandas da imagem de 19/01/00. As duas primeiras componentes principais (CP) explicam juntas, cerca de 82% da variância total das bandas TM/Landsat. Somente a primeira CP contribui com 69% da variância total.

Tabela 1 – Autovalores e porcentagens de variância explicada pelas componentes principais calculadas para a imagem de 19/01/00

Componente Principal (CP)	Autovalor	Porcentagem
CP1	18,77	68,94
CP2	3,53	12,97
CP3	2,63	9,67
CP4	1,33	4,88
CP5	0,60	2,20
CP6	0,36	1,34

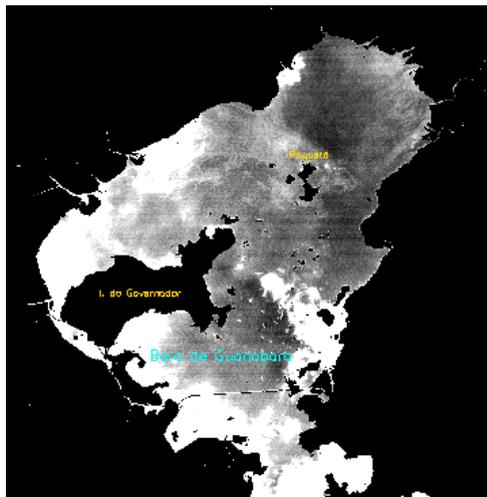
A **Tabela 2** mostra os autovetores utilizados para a transformação das componentes principais. A banda 1 foi a que mais contribuiu com informação para a primeira componente principal (CP 1). Uma vez que somente níveis digitais referentes à classe água foram considerados na transformação por componentes principais, a maior contribuição deve-se aos canais visíveis (bandas 1, 2 e 3).

Tabela 2 - Matriz de autovetores utilizados na transformação por componentes principais da imagem TM/Landsat de 19/01/00

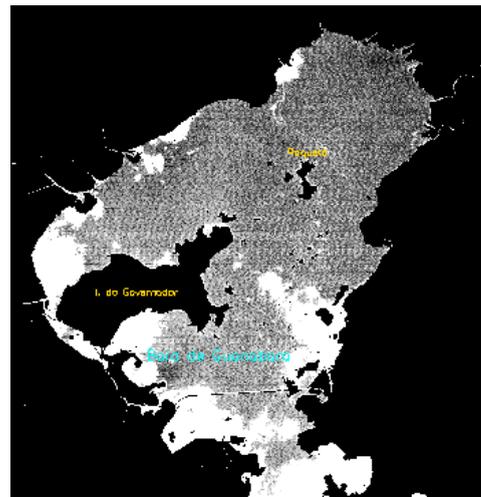
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
CP 1	0,83	0,33	0,33	0,25	0,12	0,10
CP 2	-0,05	-0,12	-0,13	-0,04	0,31	0,93
CP 3	-0,53	0,40	0,58	0,45	-0,04	0,14
CP 4	-0,11	-0,04	-0,04	0,14	0,93	-0,32
CP 5	-0,08	-0,57	-0,16	0,79	-0,14	-0,01
CP 6	-0,04	0,63	-0,71	0,30	-0,06	0,00

A **Figura 4** apresenta as componentes principais obtidas para a imagem de 19/01/00. A CP 1 contém a informação de brilho associada às sombras de nuvens e às variações da reflectância espectral de massas d'água opticamente diferenciáveis na baía. É possível observar nesta CP 1 uma frente (borda) notável marcando o limite da mancha de óleo, desde a Ponta do Saco na parte norte da baía, passando a leste da Ilha de Paquetá e mais ao sul, aproximando-se da Ilha do Governador.

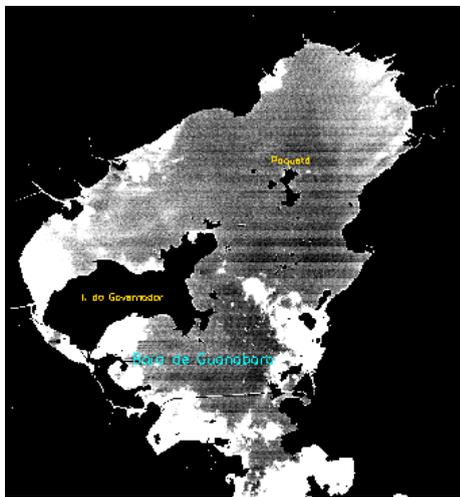
A CP 2 e as subseqüentes componentes principais apresentam, gradativamente, menos contraste entre as feições presentes nas águas da baía.



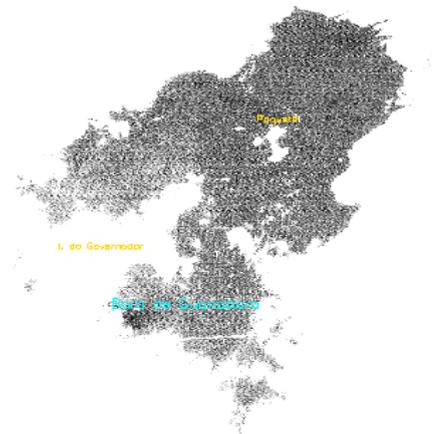
CP 1



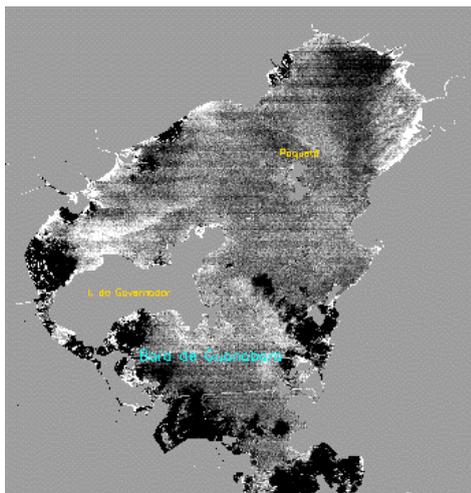
CP 2



CP 3



CP 4



CP 5



CP 6

Figura 4 – Componentes principais obtidas a partir da imagem de 19/01/00.

Na CP 3, é possível notar o aporte de material orgânico e inorgânico para a baía, proveniente dos rios da região de Magé (parte nordeste). As demais componentes contêm tipicamente menos estrutura da imagem e mais ruído que as primeiras.

A CP 1 foi segmentada por regiões e o resultado deste processamento foi editado levando-se em consideração as observações visuais obtidas a partir de visita à área de estudo no mesmo período. Desta forma, foi possível delimitar a mancha de óleo, como pode ser observado na **Figura 5**.

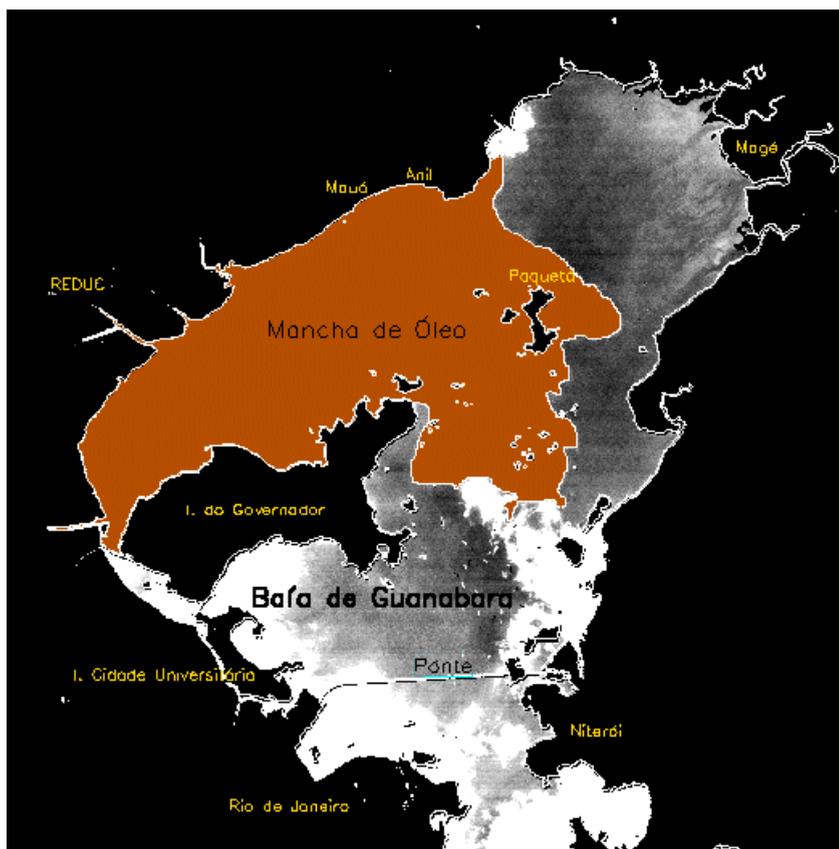


Figura 5 – Extensão da mancha de óleo em 19/01/00 estimada a partir do processamento da primeira componente principal.

A área desta mancha de óleo, obtida a partir da metodologia proposta, e referente à imagem de 19/01/00, foi calculada como sendo equivalente a 133,45 Km². Nos dias que se seguiram, a extensão da mancha foi aumentando, chegando a atingir outras regiões nas partes nordeste (Magé) e leste (São Gonçalo) da baía. Massone et al. (2000) determinaram que as maiores concentrações de hidrocarbonetos poliaromáticos totais (HPA) nas águas da baía, medidas 10 dias após o derrame, situavam-se na parte norte/nordeste da baía. Comparando estas concentrações médias de HPA com medidas anteriores (Hamacher, 1996; Azevedo, 1998), observa-se um aumento de 4 a 8 vezes.

5 Considerações Finais

O presente trabalho demonstrou a utilização de imagens TM/Landsat na identificação e estimativa da extensão da mancha de óleo decorrente do derrame ocorrido na Baía de Guanabara, em janeiro de 2000.

A análise por componentes principais das seis bandas TM/Landsat, aliadas a técnicas de segmentação de imagens e informações de campo, permitiram a identificação da mancha de óleo. De acordo com a metodologia proposta, a área desta mancha foi estimada em 133,45 Km².

As maiores limitações ao emprego das técnicas propostas neste trabalho são a cobertura de nuvens e a resolução temporal das imagens Landsat (16 dias), que limitam o monitoramento da evolução de um desastre ambiental desta natureza. O uso de imagens de outros satélites, incluindo sensores de microondas, aumentaria o emprego potencial do sensoriamento remoto nessas questões ambientais.

Referências

- Amador, E.S. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza**. Rio de Janeiro, Reproarte Gráfica e Editora, 1997. 539 p.
- Azevedo, L.A.C. Determinação de hidrocarbonetos em amostras de água e mexilhões da baía de Guanabara. Dissertação de Mestrado, Departamento de Química, PUC, Rio de Janeiro. 1998. 120 p.
- Hamacher, C. Determinação de hidrocarbonetos em amostras de água e sedimento da Baía de Guanabara. Dissertação de Mestrado, Departamento de Química, PUC, Rio de Janeiro. 1996. 105 p.
- Japan International Cooperation Agency (JICA.). **The study on recuperation of the Guanabara Bay ecosystem** Rio de Janeiro, 1994. V. 3-4.
- Kjerfve, B.; Ribeiro, C.H.A.; Dias, G.T.M.; Fillipo, A.M.; Quaresma, V.S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, 17(13):1609-1643, 1997
- Lacerda, L.D.; Graça, N.M.; Quintanilha, C.P. **Bibliografia sobre a contaminação por metais pesados em ambientes costeiros do Estado do Rio de Janeiro**. Niterói, Rio de Janeiro: UFF, 1994. 57 p. (Série Geoquímica Ambiental, 4).
- MacKay, D.; McAuliffe, C.D. Fate of hydrocarbons discharged at sea. **Oil&Chemical Pollution**, 5(1):1-20, 1989.
- Massone, C.G.; Gabardo, I.T.; Meniconi, M.F.G.; Carreira, R.S. Distribuição de hidrocarbonetos totais (HPAS) nas águas da Baía de Guanabara após o derrame de óleo de janeiro de 2000. In: XIII Semana Nacional de Oceanografia, Itajaí, 29 out.-3 nov., 2000. **Anais**, Itajaí, UNIVALI, 2000, pp. 853-855.
- PDBG. **Programa de Despoluição da Baía de Guanabara**. [online]. <http://www.pdbg.org.br/carga_desp.html>. novembro de 2000.
- Poffo, I.R.; Nakasaki, A.; Aventurato, H.; Meyer, J.F.C.A.; Cantão, R.F. Estudo dos deslocamentos de manchas de óleo no canal de São Sebastião-SP, como instrumento para planejamento de operações emergenciais. In: VII Congresso Latino-americano sobre Ciências do Mar, Santos, 22-26 de setembro, 1997. **Proceedings**, São Paulo, IOUSP/ALICMAR, 1997, pp. 306-307.