

## **Determinação do Tempo de Exposição e Condição de Emulsificação da Mistura Óleo-Água na Superfície do Oceano por Meio de Dados Hiperespectrais e Multiespectrais**

Talita Lammoglia<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP  
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{talita.lammoglia, beto}@ige.unicamp.br

### **Abstract**

This research aims to evaluate spectral reflectance properties of oil-water emulsions, fresh crude oils and fresh oil films over water and the use of their spectral identity to classify remote sensing imagery. Chemometric techniques (i.e. partial least square regression) were tested to estimate the age of water-oil emulsions based on their temporal spectral responses. The chemometric models proved to be efficient to predict oil status considering full-resolution spectra (2150 bands – VNIR-SWIR) and spectra resampled to equivalent hyperspectral (ProspecTIR – 357 bands) and multispectral (ASTER – 9 bands) sensor's resolutions. An oil seepage recorded by the ASTER sensor in November/2004 at the Brazilian coast was here approached to test the designed predictive model. Results indicate that the model can successfully forecast the timeframe of oil exposition in the ocean (i.e., the relative “age” of the seepage), although the limited spectral resolution of the ASTER sensor implies in less accurate estimates. The spectral libraries and the method proposed in this study can be reproduced to other oceanic areas in order to approximate the age of noticeable natural oil seepages or anthropogenic oil spills. This type of information is optimal for seepage or leakage tracing and, therefore, for petroleum exploration and environmental monitoring.

**Palavras-chave:** petroleum, spectroscopy, emulsification, seepage, chemometrics, petróleo, espectroscopia, emulsificação, exsudação, quimiometria.

### **1. Introdução**

Com a alta demanda por recursos energéticos, ainda alicerçada naqueles de origem fóssil, a exploração petrolífera vem migrando para águas mais profundas, particularmente na costa brasileira. Nesse cenário, o sensoriamento remoto ótico é uma alternativa essencial para a detecção e caracterização de manchas de óleo no oceano. Tais manchas, quando relacionadas a escapes naturais de hidrocarbonetos (HCs) da sub-superfície para superfície (i.e., exsudações), são de interesse da exploração petrolífera por assegurarem, pelo menos, a existência de geração e migração de HCs em sub-superfície. As manchas também podem ser resultantes de vazamentos de navios, dutos ou plataformas e sua detecção precoce é alvo das agências de monitoramento ambiental e controle de poluição marinha.

Os estudos de Lammoglia & Souza Filho (2009a, 2010) e Wettle et al. (2009) proporcionaram avanços na caracterização da qualidade (i.e. grau API) de óleos encontrados em manchas oceânicas. Esse tipo de informação agrega valor à simples detecção de exsudações, bem como pode auxiliar no rastreamento da fonte de vazamentos. Considerando esses recentes resultados positivos alcançados com o uso de dados óticos para caracterização de manchas oceânicas, este trabalho busca novos avanços, agora sobre a estimativa do tempo de exposição do óleo na superfície do oceano. Essa informação é igualmente interessante para exploração petrolífera e monitoramento ambiental, uma vez que possibilita inferências mais precisas sobre o ponto fonte de exsudações ou vazamentos.

## 2. Material e Métodos

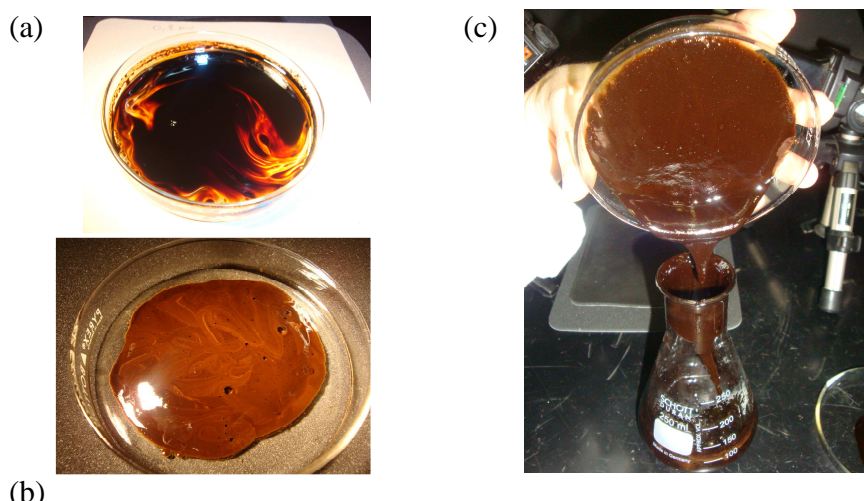
### 2.1. Amostras & Espectroscopia

Para desenvolvimento desta pesquisa foram selecionadas 3 amostras de HCs da oleoteca da UNICAMP com os seguintes graus API: 19,2; 19,4 e 27,7. A classificação do grau API de petróleo é inversamente proporcional a sua densidade específica (cf. [www.api.org](http://www.api.org)). Outras características composicionais dos petróleos são apresentadas na **Tab. 1**. Os experimentos para caracterização espectral de óleo cru, filme de óleo e de emulsões foram realizados separadamente para cada diferente óleo. Cerca de 5 ml de óleo foram colocados em tubos tipo Erlenmeyer em ambiente aquoso (**Fig. 1**). A água utilizada para o experimento foi preparada com o *Instant Ocean Sea Salt* (Aquarium Systems Inc., Sarrebourg France), simulando a água do oceano.

Uma vez preparadas, as amostras foram colocadas em “banho-maria” numa agitadora Dubnoff (Marconi®). Na agitadora, a água foi mantida com temperatura entre 20 e 24 °C, que corresponde ao intervalo de temperaturas representativas da água do mar no litoral de São Paulo e Rio de Janeiro. Em intervalos temporais regulares (i.e. 24h, 48h, 72h, etc), as amostras foram transferidas para placas de petri e medidas para reflectância com o espectrorradiômetro FieldSpec-3 High Resolution da Analytical Spectral Devices (ASD), que opera no intervalo de 350-2500nm, com resolução ultraespectral (> 2000 bandas). As medidas foram executadas com objetivas de 5° e com a fonte de iluminação posicionada a 180° da fibra ótica de medida.

**Tabela 1.** Características composicionais das amostras selecionadas para o estudo em % massa/massa.

	1	2	3
°API	19,2	19,4	27,7
Viscosidade a 50° (mm <sup>2</sup> /s)	84,9	78,5	20,4
Saturados (% m/m)		40,2	68,1
Aromaticos (% m/m)		33,3	17,6
Resinas (% m/m)		23,4	14,3
Asphaltenos (% m/m)		3,1	< 0,5



**Fig. 1.** Amostra de óleo grau API 19,4 como (a) filme de óleo sobre água, (b) emulsão óleo-água após 48h na bateadeira e (c) emulsão após 72h na bateadeira.

## 2.2 Quimiometria

Para complementação da caracterização espectral proposta nesse trabalho, optou-se pelo uso de técnicas de quimiometria (i.e estatística multivariada), centrada na Análise de Componentes Principais e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais. Diversos trabalhos publicados demonstram a aplicabilidade dessa técnica para interpretação de espectros de transmitância ou absorvância de HCs (e.g. Kallevik et. al., 2000; Aske et al., 2001; Pasquini e Bueno, 2007), mas poucos abordam espectros de reflectância e com objetivos no sensoriamento remoto.

A regressão por mínimos quadrados parciais (MQP) é uma técnica que combina características da Análise de Componentes Principais com regressão múltipla objetivando relacionar variações das respostas (variáveis Y) com as variações dos parâmetros de predição (variáveis X). Esse tipo de regressão correlaciona componentes das variáveis X, nesse caso os valores de reflectância, que são relevantes também para as variáveis preditas (Y) (i.e. tempo de emulsão). Nesse processo, são encontrados *Scores* e *Loadings* que decompõem simultaneamente X e Y com a premissa de explicar ao máximo a covariância entre essas variáveis. Em seguida, é efetuada uma regressão entre as variáveis latentes (i.e. *scores* e *loadings*) e a resposta (Aske et al. 2001, The Unscrambler® 2009). O propósito do uso desta técnica é o cálculo do valor de resposta desconhecido usando um modelo de regressão. Ademais, é bastante adequada para dados correlacionados e/ou redundantes, como dados espectrais, e para relações não triviais, como espectro de reflectância e tempo de emulsificação.

Os erros dos modelos de calibração e predição podem ser expressos pelo RMSE (*Root Mean Squared Error*). O erro de predição (RMSEP) é calculado por:

$$\sqrt{\sum (y_{ip} - y_{ir})^2 \div n} \text{ (Eq. 1)}$$

onde  $y_{ip}$  = valor do parâmetro Y estimado para a amostra I;  $y_{ir}$  = valor de referência para aquele valor e  $n$  = número de amostras utilizadas.

Esse erro, que apresenta a mesma unidade dos parâmetros originais utilizados, pode ser entendido como a média dos erros de predição. O *Root Mean Squared Error of Calibration* (RMSEC) é a medida do ajuste e qualidade do modelo com base apenas nos valores das amostras de calibração (Geladi e Kowalski 1986; Beebe e Kowalski 1987; The Unscrambler® 2009). Para processamento, foram utilizados pelo menos três espectros representativos de cada fase dos experimentos.

## 2.3 Normalização e Simulação para Sensores Remotos Operacionais

Uma vez registrados, os espectros de reflectância foram re-amostrados para a resolução espectral de sensores remotos atualmente em operação, objetivando avaliar empiricamente a possibilidade de caracterização do tempo de exposição de exsudações com base nos dados destes sensores. O valor da resposta espectral para cada intervalo (i.e. banda) a ser re-amostrada é calculado com base em uma gaussiana centrada no ponto máximo da distribuição de cada banda do sensor. Para a re-amostragem foram selecionados os arranjos espectrais dos seguintes sensores: (i) sensor aeroportado hiperespectral ProSPECTIR. Este sensor opera com 357 bandas contiguas entre 396-2467 nm (VIS-NIR-SWIR), com resolução de 2,4 a 18 nm no intervalo do VNIR e resolução entre 6 e 23 nm no intervalo do SWIR ([www.spectir.com](http://www.spectir.com)); (ii) o sensor multiespectral *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), a bordo da plataforma TERRA, o qual oferece ao todo 14 bandas, dentre as quais 9 no VIS-NIR-SWIR (Abrams e Hook 2002).

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultados da Caracterização Espectral

Como já destacado em Kallevik et al. (2000), observa-se que, a despeito da influência da reflectância da água e das bolhas da emulsão, as respostas de reflectância espectral dos HCs permite a sua caracterização. A partir da resposta espectral das amostras (**Fig. 2**) percebe-se que quanto mais consistente a emulsão (i.e. maior tempo de agitação da água com o óleo), mais as feições espectrais diagnósticas dos óleos, bem como as de OH, tornam-se ressaltadas. Assim, as curvas espectrais indicam que a emulsão óleo-água pode facilitar o mapeamento e caracterização das manchas *offshore*. Após períodos de exposição em torno de 10 dias de emulsificação, observa-se uma variação mais sutil na resposta espectral das amostras.

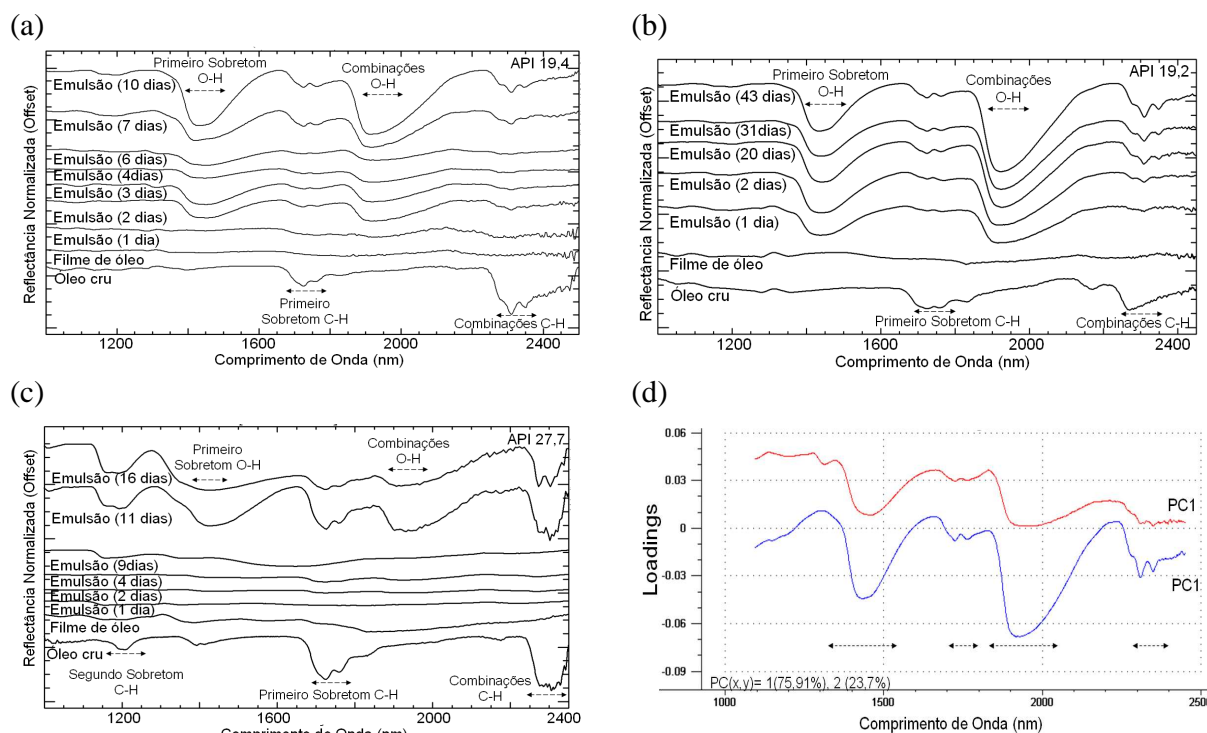
A interpretação química dessas variações (Staniloae et al. 2001, Perez-Caballero et al. 2009) sugere que a exposição ao ambiente e emulsão de HCs favorece a perda de estruturas alifáticas lineares, as quais são mais voláteis e de mais fácil degradação, enquanto estruturas aromáticas e ramificadas, mais recalcitrantes, permanecem e, conseqüentemente, tornam-se proporcionalmente mais expressivas na emulsão. Ademais, emulsões estáveis são caracterizadas, por espectroscopia FT-IR, pelo aumento da aromaticidade, diminuição do comprimento das cadeias laterais de álcalis e redução da ramificação das cadeias (Khadim et al. 1999).

#### 3.2. Resultados da Quimiometria

Testes comparativos foram realizados entre resultados obtidos com os espectros sem remoção do contínuo e com remoção do contínuo. A comparação indicou que o processamento de ambos os tipos de espectros apresenta resultados similares. Entretanto, visando futura comparação dos espectros de laboratório com os espectros adquiridos por sensores remotos, optou-se pelo uso de espectros normalizados pela remoção do contínuo. Ademais, a análise com dados não normalizados pode ser influenciada por outros fatores não relacionados às feições diagnósticas dos alvos de interesse.

Foi também testado o processamento com a primeira derivada dos espectros (derivada Savitzky-Golay). A derivada é uma maneira de corrigir efeitos de base e melhorar a robustez do modelo, considerando-se o processamento a partir das medidas da declividade da curva espectral em cada ponto. Os resultados obtidos com os espectros normalizados pela remoção do contínuo, em comparação aos obtidos a partir da primeira derivada dos mesmos, foram semelhantes. Assim, considerando-se que os sensores remotos muitas vezes possuem poucas bandas, optou-se pelo uso mais prático e de fácil interpretação dos espectros normalizados apenas pela remoção do contínuo.

Os resultados obtidos computando-se também as medidas realizadas com 16, 20, 31 e 43 dias de exposição acrescentaram degradação aos modelos. Tal degradação é coerente com a análise visual dos espectros (**Fig. 2b**), uma vez que pouca variação é observada entre os espectros de reflectância destas amostras. Observa-se que emulsificações por grandes períodos (i.e. mais de 20 dias) apresentam pouca alteração dos espectros de reflectância. Ademais, a variação dos espectros não acontece de modo linear em relação às amostras emulsificadas por menores períodos. A partir dos *loadings* das principais componentes mais relevantes para a análise do conjunto de dados (**Fig. 3**), percebe-se que os intervalos espectrais de maior importância para caracterização das amostras, de acordo com sua condição de emulsificação, são coincidentes com os relacionados aos sobretons e combinações da ligação OH, bem como da C-H.



**Fig. 2.** Resposta de reflectância espectral do óleo cru, filme de óleo e emulsões ao longo do tempo para amostra com petróleo de grau API (a) 19,4 ; (b) 19,2 e (c) 27,7. As principais feições diagnósticas de HCs (e.g., Kallevik et al. 2000), estão indicadas na figura. (d) *Loadings* do modelo preditivo para os óleos de grau API 19. Note que as regiões do espectro com maior relevância para a análise estatística coincidem com as regiões das feições espectrais diagnósticas de HCs (C-H) e OH.

Os erros de calibração dos modelos são apresentados na **Tab. 2**. Comparando-se os erros preditivos, observa-se que a qualidade dos modelos é distinta para sensores hiperespectrais e multiespectrais. No caso dos sensores hiperespectrais, o modelo indica uma possibilidade preditiva em torno de 1 dia de erro. Em contraste, para curvas registradas na resolução de sensores multiespectrais, como o ASTER, o modelo é severamente degradado.

**Tabela. 2.** Erros de calibração e de predição dos modelos gerados a partir de espectros em resolução total (FieldSpec FR) e re-amostrados para os sensores ProspecTIR e ASTER.

	VNIR / SWIR					
	Óleo API 19			Óleo API 27		
	FieldSpec	ProspecTIR	ASTER	FieldSpec	ProspecTIR	ASTER
<b>Espectro</b>						
<b>RMSEC</b>	12,6	15,0	39,3	12,4	19,1	33,8
<b>RMSEP</b>	13,3	20,9	48,9	18,3	22,9	44,7

#### 4. Estudo de Caso: Área teste com cena ASTER

Como estudo de caso, foi selecionada uma cena ASTER de 23/Nov/2004, na qual foi registrada uma extensa mancha de óleo sobre a superfície da bacia de Campos, litoral do Rio de Janeiro. Essa exsudação foi alvo de diversas publicações (e.g., Lorenzetti et al. 2006, Bentz et al. 2007, Lammoglia e Souza Filho 2009b), entretanto, nenhuma delas teve como foco a avaliação do tempo de exposição e emulsão do óleo com a água do mar.

A mancha registrada pelo sensor ASTER situa-se sobre o mega campo de Marlim Sul (**Fig. 3**), o qual contém petróleo de densidade entre 17 e 24 °API (Mello 1994). Lammoglia e Souza Filho (2010), a partir de dados de sensoriamento, indicaram que o óleo presente nessa mancha tem grau API próximo de 19,6. Assim, no presente trabalho, optou-se pelo uso dos modelos preditivos do tempo da exsudação gerados com petróleo de graus API 19,2 e 19,4.

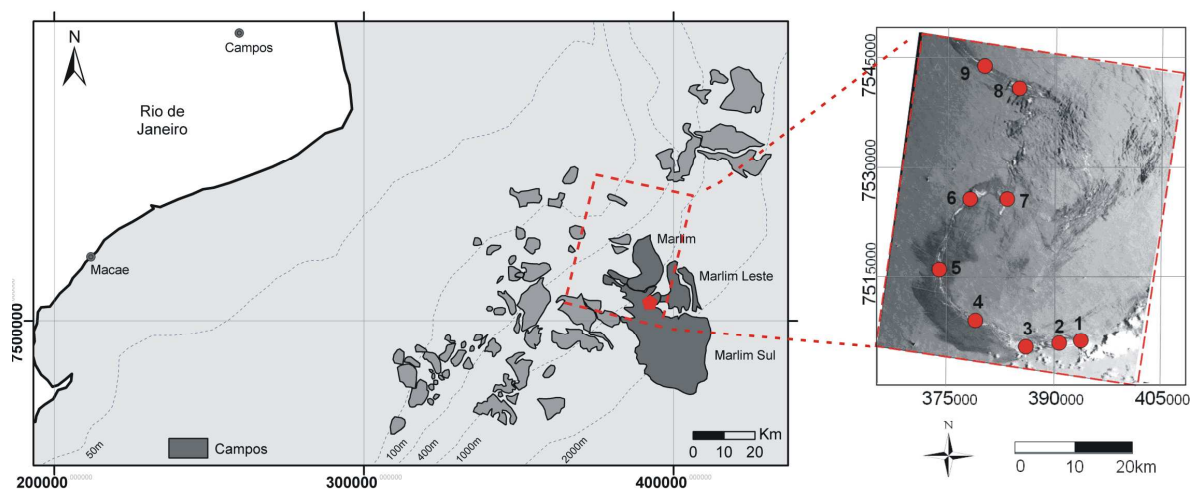
O sensor ASTER possui três subsistemas de imageamento independentes que cobrem as 3 bandas no VIS-NIR com resolução espacial de 15m; 6 bandas no SWIR com resolução espacial de 60 metros e 5 bandas no TIR com resolução espacial de 90 metros. Cada cena cobre aproximadamente 60 x 60 km (Abrams e Hook 2002). As bandas do SWIR do sensor ASTER são invariavelmente afetadas pelo efeito de *cross-talk* (Iwasaki et al., 2001). Esse efeito foi corrigido a partir do software desenvolvido por Iwasaki e Tonooka (2005). Para a correção dos efeitos atmosféricos e conversão dos dados para reflectância, utilizou-se o modelo de transferência radiativa MODTRAN4, implementado no software *Atmospheric Correction Now* (ACORN) (Imspec 2001).

Na busca de espectros representativos das diferentes condições de emulsão circunscritas a mancha de óleo, optou-se pela extração de espectros médios de pequenas sub-regiões contidas na extensão da mancha registrada na imagem ASTER, conforme indicado na **Fig. 3**. Os espectros representativos desses pontos são apresentados na **Fig. 4**. Os resultados das estimativas do tempo de exposição do óleo na superfície do oceano (i.e. idade da exsudação) a partir de cada um desses espectros estão apresentados na **Tab. 3**.

Segundo informações do IBAMA (GEAMA 2010), o escape foi identificado no dia 18/11/2004 pelo sistema robótico de monitoramento de sub-superfície (ROV – *Remotely Operated Vehicle*) da Petrobras, no bloco MLS-107. A mancha foi confirmada em superfície pela equipe do IBAMA no dia 20-11-2004. Assim, na data de registro da cena ASTER (23/11/2004), a mancha observada estaria próxima do seu 5º dia de exposição. Considerando-se que o escape de HCs ocorreu como pulsos e de modo contínuo durante esse período, a expectativa era de que os modelos quimiométricos registrassem variações entre filme de óleo recente até 5 dias dentro da extensão da mancha.

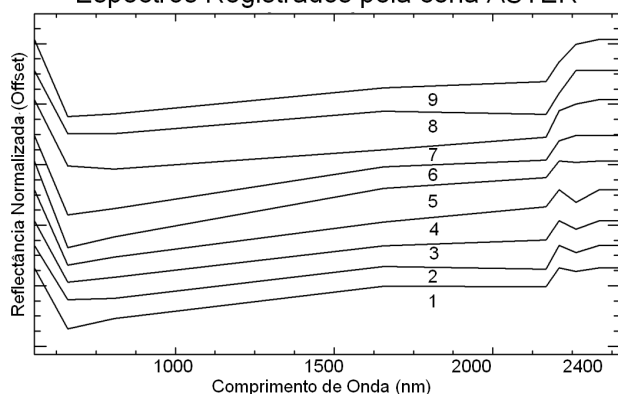
Os modelos quimiométricos gerados a partir dos dados de laboratório com petróleo de grau API 19, simulando a resposta espectral do sensor ASTER, indicam variações entre 3 e 4 dias de exposição da mancha. Considerando a baixa resolução espectral dos dados ASTER, o resultado é satisfatório. Entretanto, os modelos não indicaram a presença de óleo mais fresco (recém exposto ao ambiente) nas proximidades do ponto inicial da exsudação, tal como previsto.

Deve-se ponderar, contudo, que os resultados obtidos neste estudo de caso apresentaram razoável sucesso na estimativa do tempo de emulsão do óleo. Ademais, foi possível estimar que o tempo de exposição do filme de óleo sobre a água do mar aumenta conforme o distanciamento dos pixels analisados (i.e., espectros do óleo) em relação ao ponto fonte da mancha. Assim, a despeito da insuficiente robustez dos modelos devido ao pequeno número de bandas oferecidas pelo sensor ASTER nesse estudo de caso, observou-se que os resultados foram interessantes no mapeamento da tendência de maior tempo de exposição com o distanciamento da fonte da feição investigada (ver **Tab. 3**)



**Fig. 3.** Área de Estudo: Baía de Campos – litoral do estado do Rio de Janeiro. A estrela indica o ponto focal da exsudação. O retângulo tracejado em vermelho indica a área na cena ASTER (novembro 2004) onde a exsudação foi registrada (mapa base adaptado de Milani e Araújo 2003). Os círculos 1-7 na imagem à direita correspondem às sub-regiões onde espectros representativos da exsudação foram extraídos a partir de pixels da imagem ASTER convertida para reflectância.

Espectros Registrados pela cena ASTER



**Fig. 4.** Espectros de reflectância extraídos da cena ASTER, conforme indicado na Fig. 3.

	Valor Predito (horas)	Desvio Padrão
1	73,4	70,5
2	75,0	62,7
3	79,5	59,61
4	86,2	63,5
5	86,1	66,3
6	88,4	82,3
7	88,7	123,6
8	94,8	83,2
9	97,0	100,9

**Tabela 3.** Resultados preditivos do tempo de exposição ambiental e emulsificação de acordo com os espectros apresentados na Fig. 4.

### 5. Discussão e Conclusões

A partir de experimentos de laboratório foi possível a caracterização das respostas espectrais de reflectância da emulsão óleo-água. Ficou demonstrado que, com o aumento da emulsificação do óleo-água, as feições espectrais diagnósticas de HCs (~1,73/1,75 e 2,31/2,35  $\mu\text{m}$ ) são ressaltadas, ainda que no caso de finos filmes de óleo sobre água sejam mais sutis. Da mesma forma, as feições diagnósticas de OH (~1,4 e 1,9  $\mu\text{m}$ ) também se tornam mais pronunciadas com o aumento do tempo de exposição. Os modelos preditivos gerados por MQP, a partir de espectros medidos em laboratório, indicam a possibilidade de estimativa do tempo de emulsão e exposição ambiental do óleo cru em manchas no oceano. Ademais, mesmo quando a resolução espectral é degradada para sensores hiperespectrais (e.g., ProspectIR) e multiespectrais (e.g., ASTER), os modelos preditivos ainda sim mostram-se eficientes. Entretanto, é notável a redução da robustez dos modelos conforme a redução do número de bandas dos sensores utilizados.

Com base no modelo gerado a partir dos dados de laboratório foi possível a investigação de uma área teste na Bacia de Campos. O modelo indicou que o filme de óleo sobre a água tinha entre 3 e 4 dias de exposição ao ambiente. Segundo registros históricos, o óleo contido na mancha tinha entre 0 a 5 dias de exposição, a depender da região da mancha. Assim, os modelos apresentaram estimativas razoáveis. A despeito de não ter indicado óleo recém-exposto na porção inicial da mancha, as estimativas confirmaram a tendência de aumento do tempo de exposição e emulsificação com o distanciamento do ponto de origem da mancha, além da indicação do tempo de emulsão.

Essas conclusões indicam a potencialidade do método aqui proposto pela primeira vez na literatura para estimativas do tempo de exposição do óleo sobre a água. Embora os resultados obtidos com o sensor ASTER tenham sido interessantes, apesar da limitação de bandas, destaca-se que o método é significativamente aquilatado na medida em que envolve dados hiperespectrais.

## 6. Referências Bibliográficas

- Abrams, M. e Hook, S. 2002. **ASTER User Handbook. Version 2**. JPL, 135 p.
- Aske, N.; Kallevik, H.; Sjöblom J. Determination of Saturate, Aromatic, Resin, and Asphaltenic (SARA) Components in Crude Oils by Means of Infrared and Near-Infrared Spectroscopy. **Energy & Fuels**, v. 15, p. 1304-1312, 2001.
- Beebe, K.R. e Kowalski B.R. An introduction to Multivariate Calibration and Analysis, **Anal Chem.**, v. 59, n. 17, p. 1007A-1017A, 1987.
- Bentz, C.B.; Lorenzetti J.A.; Kampel, M.; Politano, A.T.; Lucca, E.V.L. Contribuição de dados ASTER, CBERS, R99/SIPAM e OrbiSAR-1 para monitoramento oceânico – Resultados do Projeto FITOSAT. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3755-3762, 2007.
- GEAMA – Grupo Executivo de Ações de Meio Ambiente. Disponível em <http://www.geama.defesacivil.rj.gov.br/modules.php?name=News&file=print&sid=35>. Acessado em julho-2010.
- Geladi, P. e Kowalski, B.R. Partial Least-Square Regression: A Tutorial, **Anal. Chim. Acta** v.185, p. 1-17, 1986.
- Iwasaki, A.; Fujisada, H.; Akao, H.; Shindou, O.; Akagi, S. Enhancement of spectral separation performance for ASTER/SWIR. **Proceedings of SPIE**, The International Society for Optical Engineering, 4486, p. 42-50, 2001.
- Imspec. **ACORN User's Guide**. Analytical Imaging and Geophysics. Boulder, CO, USA, 64 pp.
- Iwasaki, A. e Tonooka, H. 2005. Validation of crosstalk correction algorithm for ASTER/SAWIR. **IEEE T Geosci Remote**, 43(12): 2747-2751, 2001.
- Kallevik, H.; Hansen S.B.; Sjöblom, S.; Kvalheim, O.M.; Martin, O.; Sjöblom, J. Crude Oil Emulsion Characterized by means of Near Infrared Spectroscopy and Multivariate Techniques. **J. of Disp. Science and Technology**, v. 21, n. 3, p. 245-262, 2000.
- Khadim, M.A. e Sarbar, M.A. Role of asphaltene and resin in oil field emulsions. **J. Petrol. Sc. & Eng.**, v. 23, p. 213–221, 1999.
- Lammoglia, T. e Souza Filho, C.R. Caracterização Espectral de petróleos de bacias produtoras brasileiras. In **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, RN, Brasil, p. 3235-3242, 2009a.
- Lammoglia, T. e Souza Filho, C.R. Detecção e classificação de exsudações de hidrocarbonetos off-shore por espectroscopia e sensoriamento remoto, In **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Natal, RN. p. 3243-3251, 2009b.
- Lammoglia, T. e Souza Filho, C.R. Offshore Hydrocarbon Seepage Characterization through Spectroscopy, Multivariate Statistics and Optical remote Sensing. In: **IGARSS/IEEE**, Oahu, Hawaii, p. 5033, 2010.
- Lorenzetti, J.A.; M. Kampel, C.M. Bentz, A.R.; Torres, Jr. A Meso-scale Brazil current frontal Eddy: Observations by ASAR, RADARSAT-1 complemented with visible and infrared sensors, IN SITU data and numerical modeling. In **SEASAR**, Frascati, Italy, SP-613, 2006.
- Mello, M.R.; Koutsoukos, E.A.M.; Morhriak, W.U.; Bacocoli, G. Selected petroleum systems in Brazil, In L. B. Magoon and W.G.Dow (eds). The petroleum system - From source to trap, **AAPG Memoir 60**, p. 499–512, 1994.
- Milani, E.J. e Araújo, L.M. Recursos Minerais Energéticos: Petróleo. In L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti and J.H. Gonçalves (Eds.) **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, BR, p. 541-576, 2003.
- Paquini, C. e Bueno, A.F. Characterization of petroleum using near-infrared spectroscopy: Quantitative modeling for the true boiling point curve and specific gravity. **Fuel**, v. 86, p.1927–1934, 2007.
- Pérez-Caballero, G.; Andrade, J.M.; Muniategui, S.; Prada D. Comparison of single-reflection near-infrared and attenuated total reflection mid-infrared spectroscopies to identify and monitor hydrocarbons spilled in the marine environment. **Anal Bioanal Chem**, 395, 2335–2347, 2009.
- Staniloae, D; Petrescu, C. Pattern Recognition-Based Software for Oil Spills Identification by Gas Chromatography and IR Spectrophotometry. **Environ Forensics**, v. 2, p. 363–366, 2001
- The Unscrambler 9.7® - CAMO ASA – Disponível em <http://www.camo.com/>. Acessado em set/2009.
- Wette, M.; Daniel, P.J.; Logan, G.A.; Thankappan, M. Assessing the effect of hydrocarbon oil type and thickness on a remote sensing signal: A sensitivity study based on the optical properties of two different oil types and the HYMAP and Quickbird sensors. **Rem. Sens. of Environment**, v. 113, n. 9, p. 2000-2010, 2009.