



## REMEDIÇÃO DE SEDIMENTO DE PRAIA CONTAMINADO POR PETRÓLEO ATRAVÉS DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS

Jessyca Beatriz Alves Palmeira<sup>1</sup>; Jôsy Suyane de Brito Souza<sup>2</sup>; Antônio Fernando de Souza Queiroz<sup>3</sup>; Luiz Carlos Lobato dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química -  
[jessyca.bpalmreira@gmail.com](mailto:jessyca.bpalmreira@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química -  
[josysbsouza@yahoo.com.br](mailto:josysbsouza@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Meio Ambiente e Petróleo -  
[queiroz@ufba.br](mailto:queiroz@ufba.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química -  
[lclsantos@ufba.br](mailto:lclsantos@ufba.br)

### RESUMO

As atividades petrolíferas podem ocasionar grandes danos ao meio ambiente em situações de acidentes e derrames. Com isso, o desenvolvimento de técnicas de remediação vem ganhando a atenção da comunidade científica mundial. Por se tratar de uma tecnologia relativamente simples e de baixo custo, os sistemas microemulsionados destacam-se pelo seu potencial de recuperação do petróleo, podendo ser utilizado na limpeza de ambientes impactados. Microemulsões são oriundas da solubilização de dois líquidos imiscíveis na presença de um tensoativo e, se necessário, um cotensoativo. Esses sistemas possuem grande aplicação no setor industrial e atualmente ambiental. Estudos revelam sua eficácia na remediação de solos contaminados por derivado de petróleo, como por exemplo, o diesel. A escassez de informações do uso desses sistemas na remediação de sedimento praias contaminados por petróleo e seus derivados é evidente; com isso este trabalho busca reunir informações pertinentes que venham auxiliar no direcionamento e elaboração de projetos a cerca da temática, que posteriormente poderão corroborar na elaboração de planos de contingenciamento.

**Palavras-chave:** Microemulsão, óleo, remediação.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma zona costeira que se estende, na sua porção terrestre, por aproximadamente 8.500km, abrangendo 17 estados e mais de 400 municípios [MMA, 2015.a]; além disso, concentra cerca de 23,58% da população. Composta por um mosaico de grande diversidade e riqueza, nele encontram-se alguns dos ambientes mais sensíveis do planeta como, estuários e manguezais [MMA, 2015.b], além de dunas, restingas, costões rochosos e praias arenosas.

As praias correspondem a uma zona de partículas que cobre parte ou todo o litoral, estando em constante estado de mudança [GARRISON, 2010]. O vínculo do homem com este ambiente data de civilizações remotas, estando estas expostas as mais diversas atividades antrópicas, tornando-as suscetíveis a múltiplas formas de contaminação.

Dentre os impactos antrópicos destacam-se os oriundos do petróleo, devido o seu elevado potencial poluidor.

Inúmeros métodos foram e estão sendo desenvolvidos com o intuito de remover óleo de áreas atingidas. As



pesquisas buscam novas alternativas que apresentem baixo custo e elevada eficiência, além de que danos secundários ao meio ambiente sejam inexistentes ou mínimos [SUN et al., 2010].

A escolha do método utilizado na remediação e limpeza dessas áreas dependem de diversos fatores como, por exemplo, o tipo de óleo e substrato, a fragilidade local e a dimensão da contaminação [CARVALHO, 2003], além do custo financeiro.

É possível fazer uso de processos mecânicos (barreiras e *skimmers*), físicos (queima *in situ*), químico (uso de surfactantes e dispersantes) e biológicos (fitorremediação, bioaugmentação, bioestimulo). Vale ressaltar que de modo geral, todos possuem algum tipo de dano associado, que por sua vez podem apresentar escalas maiores aos ocasionados pelo próprio óleo [CRUZ, 2011].

O sistema de microemulsão tem se mostrado como uma tecnologia interessante no processo de remediação [Araújo, 2004].

Sendo o petróleo a principal fonte de energia mundial [ITOPF, 2013] os riscos de acidentes no setor são elevados. Com isso, este trabalho visa ampliar o conhecimento do uso de sistema microemulsionado em sedimento de praia para a remoção do óleo.

### 1.1. Praias

Correspondem as feições deposicionais mais comuns, constituídas por sedimentos inconsolidados, podendo seu material variar de matacão, blocos, seixos, e cascalhos a silte muito fino; formado comumente por areia, e tendo como mineral predominante o quartzo [SCHMIEGELOW, 2004; GARRISON, 2010]. A relação entre o tamanho das partículas e a inclinação da praia depende da energia das ondas, e a porosidade, da forma das partículas e do empacotamento dos sedimentos [GARRISON, 2010].

Quanto ao estado morfodinâmico, podem ser classificadas genericamente como reflexivas, onde as ondas são grandes ocasionando uma praia com elevada granulometria e inclinação; e dissipativas, com ondas de pequena altura, e praia com menor granulometria e inclinação [SCHMIEGELOW, 2004].

São locais de lazer, e grande atração turística e muito utilizada na prática de esportes náuticos. É um importante elemento paisagístico e natural que deve ser preservado, tendo papel de extrema importância na proteção da linha de costa. Do ponto de vista ecológico, de acordo com a hidrodinâmica local, pode existir elevada concentração de biomassa, como bivalves, crustáceos e outros invertebrados, além de peixes da zona de arrebentação, que representam significativo elo na cadeia alimentar; além de muitos destes serem consumidos pelo homem [MUEHE, 2004; CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005].

### 1.2. Petróleo

O petróleo, tomando-se como base a teoria orgânica [BRAGA et al., 2005], é uma mistura complexa, oriundo da matéria orgânica acumulada nos ambientes de baixa energia em condições ideais; em seu estado líquido trata-se de uma substância oleosa, inflamável, com tonalidade variando entre o preto ao castanho, odor e propriedades características; podendo ser denominado de leve ou pesado de acordo com seus constituintes [THOMAS, 2001; BRAGA et al., 2005; CRUZ, 2011]. É formado por uma mistura de compostos naturais, sobretudo hidrocarbonetos (saturados, parafínicos, naftênicos, aromáticos, naftenoaromáticos), que representa cerca de 90% de sua composição, e em menor concentração derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organo-metálicos [ZÍLIO; PINTO, 2002].

As características do petróleo bruto variam de acordo com o campo produtor, e sua composição em virtude de alguns



fatores como o da matéria orgânica de origem e a evolução térmica da rocha geradora [THOMAS, 2001; VEIGA et al., 2008].

Três tipos de rochas sedimentares são especialmente importantes para a geração e acúmulo de petróleo: a rocha geradora (geralmente um folhelho), a rocha armazenadora ou reservatório (arenitos e calcários porosos) e a rocha selante ou capeadora (principalmente folhelhos e calcários impermeáveis). As condições básicas para a formação de um sistema petrolífero incluem elementos como a formação de uma bacia sedimentar, alta produtividade biológica, preservação e acumulação da matéria orgânica, deposição de sedimentos granulares e material argiloso ou carbonático, além de um soterramento lento e gradual, e presença de planos de fissuras [CASTRO, 1984].

Devido a sua elevada capacidade como poluente, derrames de óleo em ambientes costeiros, p. ex., as praias, podem ter consequências graves, tal como a supressão da biota local.

### 1.3. Derramamentos de óleo em ambientes costeiros

Mesmo com incentivos no setor de energias limpas e renováveis, o petróleo ainda ocupa posição de destaque na produção de energia mundial. Esse aumento da demanda tem gerado uma busca constante por novas áreas de exploração e tecnologias.

Alguns estudos demonstram que o nível e a extensão dos danos ambientais oriundos de derramamentos de óleo no ambiente marinho estão relacionados a vários fatores, que atuam simultaneamente, como por exemplo: o volume de óleo derramado e suas características físicas e químicas [LOPES et al., 2007].

O óleo derramado, imediatamente sofre mudanças da sua composição original, devido à combinação de processos intempéricos, que são:

espalhamento, evaporação, dissolução, dispersão natural, emulsificação, oxidação ou foto-oxidação, sedimentação, biodegradação. Com o passar do período o mesmo se torna menos tóxico, mais denso, viscoso e persistente [CETESB, 2013].

Cruz [2011] demonstra que as principais causas de acidentes com derrames acima de 700 toneladas de óleo apresentam a estatística onde 35% é oriundo de encalhe e 29% colisões.

O acidente na plataforma de perfuração *offshore* – *Deepwater Horizon*, no Golfo do México em abril de 2010, chocou a comunidade mundial, com o vazamento de aproximadamente 780.000m<sup>3</sup> de óleo cru no mar, sendo considerado o maior desastre ambiental da história dos Estados Unidos, gerando um grande prejuízo econômico e ambiental, com a morte de milhares de animais (aves, peixes, tartarugas), e impactos em diversos ecossistemas como, por exemplo, recifes de corais. O óleo derramado por cerca de três meses levantou uma bandeira amarela para a deficiência do sistema [INAFUKU & HELAL, 2011].

Com uma costa extensa e com mais de 70% do petróleo produzido oriundo de poços na plataforma continental e líder mundial em exploração de petróleo em águas profundas, o Brasil tem grandes desafios no setor a superar, e deve superá-lo rapidamente [PEREIRA; AQUINO, 1999].

### 1.4. Microemulsão

As microemulsões são sistemas de alta estabilidade, baixa viscosidade, de formação espontânea, límpidas, com grande poder de solubilização, o que dentre outras propriedades as tornam sistemas com amplo poder de aplicação. Alguns fatores influenciam a formação e aplicação das microemulsões, como: influência do tensoativo, temperatura, salinidade, razão cotensoativo/tensoativo (C/T), natureza do composto apolar,



natureza e concentração do cotensoativo [GOMES, 2010].

Os tensoativos por sua vez, são substâncias naturais ou sintéticas, anfílicas, responsáveis pela adsorção de moléculas tensoativas nas interfaces líquido-líquido, líquido-gás ou sólido-líquido de um dado sistema; podendo ser classificados quanto a carga da superfície ativa como iônico (aniônico e catiônico), não-iônico ou zwitteriônicos [ROSSI, 2006].

O cotensoativo é uma molécula não-iônica associada ao tensoativo iônico e sua presença é facultativa, cuja função é auxiliar na estabilização do sistema quando o tensoativo possui uma grande parte polar, podendo ser utilizado um álcool, por exemplo [GOMES, 2010].

As microemulsões são fisicamente diferenciadas das emulsões pelo seu tamanho, pois os diâmetros das gotículas nas emulsões são maiores que 1µm, o que lhes confere a cor branca-leitosa e ausência de transparência [PEGADO, 2008].

Com amplo campo de aplicação, as microemulsões vem sendo utilizadas nos processos industriais, tais como, na separação e purificação, recuperação terciária do petróleo, prolongamento da atividade enzimática; preparo de organogéis; reações de polimerização e extração de cátions metálicos, entre outros [PEGADO, 2008].

#### 1.4.1. Estudos utilizando sistemas microemulsionados

Atualmente pesquisadores vêm utilizando estes sistemas na aplicação das mais diversas áreas indo desde o uso de tensoativos na fabricação de fármacos, otimização de processos industriais, inibidor de agentes corrosivos, remediação de solos, tratamento de água produzida, recuperação de petróleo, entre outros.

Araújo [2004] iniciou estudos com sistema de microemulsão utilizando tensoativo através do óleo de algodão,

para a remediação de solos contaminados por óleo diesel.

Paulino [2007], Albuquerque [2008] e Vale [2009] realizaram estudos com diferentes sistemas microemulsionados na recuperação avançada do petróleo, constatando sua eficiência.

Dantas et al. [2011] realizaram estudos na remoção de óleo pesado adsorvidos em rocha calcária com usos de microemulsões, e verificaram que o mesmo pode ser utilizado para remediar calcários e arenitos.

Greco [2010] fez uso de sistemas microemulsionados para remoção de petróleo em areia produzida, constatando que a rápida mobilização do óleo, alta eficiência, estabilidade e possibilidade de ajuste de viscosidade; torna-os altamente potenciais na aplicação de limpeza.

## **2. METODOLOGIA**

Este trabalho compreende o levantamento e revisão bibliográfica de trabalhos publicados relacionados ao tema; sendo utilizados livros, artigos, monografias, dissertações, teses, relatórios, boletins, dentre outros, disponíveis no acervo da biblioteca da Universidade Federal da Bahia, no Portal de Periódicos CAPES, plataformas online governamentais e internet, que servirão como referência na constituição de um agrupamento de informações a respeito de áreas impactadas por atividades petrolíferas e microemulsão.

Estudos auxiliares sobre a formação, desenvolvimento e condições operacionais de diferentes sistemas microemulsionados, direcionados a identificação de uma microemulsão eficiente na remediação de sedimento de praia contaminados por petróleo, considerando as características morfológicas dos sedimentos dos principais tipos de praia, deverão ser realizados para agregar informações a este trabalho .



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão da literatura revela uma ampla série de estudos a cerca dos temas: petróleo, derramamentos, impactos ambientais e econômicos, e sistemas microemulsionados; sob diversas condições, matrizes e interações. Entretanto, a biografia levantada até o presente momento, sugere que poucos estudos foram realizados sobre o uso da técnica de microemulsão para remediação de sedimento contaminado por petróleo, o que destaca a importância do aprimoramento e ampliação desses estudos; tanto no ponto de vista ambiental, por representar um método potencialmente eficaz na remediação de ambientes contaminados; como econômico, devido sua simplicidade tecnológica perante outras metodologias.

Destaca-se também a necessidade da obtenção de informações sobre a interação e impactos dos constituintes do sistema microemulsionado com o ecossistema local, a fim de verificar possíveis interferências na composição do sedimento e/ou água que venham afetar a biota.

Com a realização desse levantamento foi possível constatar algumas fragilidades e ausência de informações a respeito do tema, que servirão de direcionamento na realização de trabalhos futuros. Além de reunir sucintamente informações relevantes a cerca do assunto.

Através de experimentos futuros realizados em laboratório, espera-se atestar a eficiência dos compostos microemulsionados, sob proporções adequadas, na remoção de petróleo em sedimento praias. Contudo, acredita-se que esse trabalho apresenta-se como uma ferramenta de auxílio no conhecimento da ampliação e desenvolvimento de uma tecnologia simples, eficaz, eficiente, de baixo custo e menor impacto no tratante a remediação de áreas impactadas por atividades

petrolíferas. Permitindo o aumento dos conhecimentos que envolve o processo de microemulsão e remediação, o que poderá auxiliar nas tomadas de decisões em caso de áreas contaminadas e elaboração de planos de contingenciamento.

### 4. CONCLUSÕES

Sabe-se que as reservas de petróleo são finitas e há um aumento da demanda energética mundial, ocasionando uma pressão no setor de produção indo-se até áreas remotas em território marinho e ou mesmo regiões desertas congeladas, como o Alasca, em busca de novas fontes. A capacidade da exploração petrolífera confere grande poder ao país e é estratégica na economia mundial [INAFUKU; HELAL, 2011].

Frente aos riscos de acidentes e derrames no setor, a ampliação do conhecimento o uso de processos eficientes e de menor dano ambiental no procedimento de contenção do óleo é essencial.

Os órgãos públicos, a sociedade civil e a comunidade científica integram-se e preparam-se para atender situações emergenciais e amenizar impactos em regiões anteriormente afetadas por óleo, objetivando mitigar os efeitos causados por acidentes ao longo dos anos, assim como futuros. A elaboração de um plano de contingência é imprescindível na determinação de procedimentos em situações semelhantes, garantindo os interesses sociais, ambientais e institucionais envolvidos.

### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PRH – 52 – Programa de Recursos Humanos em Petróleo e Meio Ambiente da Agência Nacional de Petróleo – ANP/ UFBA e ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Química da Universidade



Federal da Bahia (UFBA) pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, H.S. **Obtenção e aplicação de sistemas microemulsionados na recuperação avançada de petróleo.** 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal-RN.

ARAÚJO, V.S. **Estudo de sistemas microemulsionados para remediação de solos contaminados com óleo diesel.** 2004. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Graduação em Engenharia Química, Natal-RN.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Pearson Practice Hall, 318p, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Zona Costeira e Marinha.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha>>. Acessado em: 28 de março de 2015.a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Zona Costeira e seus usos múltiplos.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/a-zona-costeira-e-seus-m%C3%BAltiplos-usos>>. Acessado em: 28 de março de 2015.b.

CARVALHO, M. **Mapeamento da sensibilidade ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará utilizando imagens**

**ETM+/LANDSAT 7 e geoprocessamento.** 2003, 253p. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional Pesquisa de Espaciais (INPE), Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos -SP.

CASTRO, R. D. **De onde vem o petróleo. Cartilha Sociedade Brasileira de Geologia.** In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Intemperismo do óleo.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerencia-mento-de-riscos/Vazamento%20de%20Oleo/223-Intemperismo%20do%20%C3%93leo/>>. Acessado em: 27 de janeiro de 2013.

CORREIA, M.D.; SOVIERZOSKI, H.H. **Ecosistemas marinhos: recifes, praias e manguezais.** EDUFAL, p. 20-22, 2005.

CRUZ, J.F. **Avaliação da ação de surfactantes em simulações de derrame de óleo no mar.** 2011, 31f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Geoquímica do Petróleo e Ambiente. Salvador-BA.

DANTAS, T.N. de C.; NETO, A.A.D.; ROSSI; VIANA, F.F.; SANTOS, G.C. M. do N. **Remoção de óleo pesado adsorvidos em rocha calcária utilizando sistema microemulsionado.** In: *6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2011.*

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia.** Cengage, 2010.

GOMES, D.A.A. **Aplicação de microemulsões na solubilização de frações pesadas de petróleo.** 2009. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte,



Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Natal - RN.

GRECO, L. **Uso de sistemas microemulsionados para remoção de petróleo de área produzida.** In: Semana de Petróleo e Gás-UFRJ, 2010.

INAFUKU, L.Y.; HELAL, M.P. **Avaliação da capacidade de resposta a um acidente envolvendo vazamento de grande magnitude de óleo no mar durante a atividade de perfuração offshore no Brasil.** 2007, 97f. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro - RJ.

ITOPF. **International Tanker Owners Pollution Federation Limited.** Disponível em: <<http://www.itopf.com/dispersa.html>>. Acessado em: 02 de novembro de 2013.

LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; POFFO, I.R.F. **Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SP, 2007.

MUEHE, D. **Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmicos e evolutivos.** In: Projeto ORLA: subsídios para um projeto de gestão. Projeto Orla, 104 p., 2004.

PAULINO, L.C. **Estudo de sistemas microemulsionados utilizando água do mar na recuperação avançada de petróleo.** 2007. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal-RN.

PEGADO, R.M. **Estudos das propriedades físico-químicas de biocombustíveis microemulsionados.** 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do

Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal-RN.

PEREIRA, A.S.; AQUINO NETO, F.R. D.E. **Estado da Arte da Cromatografia Gasosa de Alta Resolução e Alta Temperatura.** Rio de Janeiro, 1999.

ROSSI, C.G.F.T.; DANTAS T.N.C.; NETO, A.A.D.; MACIEL, M.A.M. **Tensoativos: uma abordagem básica e perspectivas para aplicabilidade industrial.** Rev. Univ. Rural. Sér. Ci. Exatas e da Terra, vol. 25, n. 1-2, p. 59-71, 2006.

SUN, J.; KHELIFA, A.; ZHENG, A.X.; WANG, Z.; SO, L.L.; WONG, S.; YANG, C.; FIELDHOUSE, B. **A laboratory study on the kinetics of the formation of oil-suspended particulate matter aggregates using the NIST-1941b sediment.** Marine Pollution Bulletin, No. 60, pp. 1701-1707, 2010.

SCHMIEGELOW, J.M.M. **O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas.** Interciência, 2004.

THOMAS, J.E. **Fundamentos da Engenharia de Petróleo.** Interciência, 2001.

VALE, T.Y.F. **Desenvolvimento de tensores e sistemas microemulsionados para recuperação de petróleo.** 2009. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal-RN.

VEIGA, I.G.; TRIGÜIS, J.A.; CELINO, J.J.; OLIVEIRA, O.M.C. **Hidrocarbonetos saturados em sedimento de manguezais na área norte da Baía de todos os Santos.** EDUFBA, cap. 8, p. 150 2008.

ZÍLIO, E.L.; PINTO, U.B. **Identificação e distribuição dos principais grupos de**



**compostos presentes nos petróleos  
brasileiros.** Bol. Téc. PETROBRAS, 2002