



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

## REMEDIÇÃO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO ATRAVÉS DE TENSOATIVOS: REMOÇÃO DE NaCl

Erimarcyo de Melo Barbosa<sup>1</sup>; Josberton Gomes de Andrade<sup>2</sup>; Laura Priscila da Silva Ornelas<sup>3</sup>;  
Lucas Silva Pereira Sátiro<sup>4</sup>; Marilha Vitória Soares Fernandes<sup>5</sup>; Carlos Enrique de Medeiros  
Jeronimo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Potiguar - Unp, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo e gás – [erimarcyo.mb@hotmail.com](mailto:erimarcyo.mb@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Potiguar - Unp, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo e gás –  
[josertonengenharia@hotmail.com](mailto:josertonengenharia@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Potiguar - Unp, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo e gás – [lauraornelas2701@gmail.com](mailto:lauraornelas2701@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Potiguar - Unp, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo e gás – [lucaspstiro@gmail.com](mailto:lucaspstiro@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Potiguar - Unp, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo e gás – [fernandesilhamar@gmail.com](mailto:fernandesilhamar@gmail.com)

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dr. Em Engenharia Química – [c\\_enrique@hotmail.com](mailto:c_enrique@hotmail.com)

### RESUMO

É notável o crescimento do potencial de resíduos sólidos provenientes das atividades petrolíferas, gerados durante o processo de perfuração de poços, bem como o acúmulo e as alternativas para destino destes; no qual os mesmos podem causar impactos no meio econômico, social e principalmente ambiental, tais como contaminação do solo, caso descartados sem tratamento prévio. Tendo em vista a necessidade do tratamento do cascalho oriundo da perfuração dos poços, o presente trabalho tem por objetivo realizar sucessivas lavagens no cascalho, juntamente com soluções aquosas a base de tensoativos em variadas proporções, com o intuito de remover o teor de NaCl presente no mesmo e deixá-lo dentro dos padrões das Normas Técnicas (ABNT). Foram realizadas análises da eficiência para uma sequência de lavagens adicionando novas soluções aquosas ao mesmo solo lavado. Diante da sequência de 8 lavagens, foi observado que apenas 1 é suficiente para a remoção do NaCl. Desta forma, verificou-se que o método utilizado se mostrou eficiente e viável, tendo em vista o número de lavagens.

**Palavras-chave:** remediação de solo, remoção de NaCl, cascalho de perfuração, tensoativos.

### 1. INTRODUÇÃO

É notório o cenário do crescente problema do potencial de resíduos sólidos provenientes das atividades petrolíferas, no qual os mesmos podem causar impactos no meio econômico, social e ambiental, mas principalmente no meio ambiental; pois

podem causar contaminação nos lençóis freáticos e contaminação do solo onde foi depositado.

Com a grande geração de resíduos, existe a necessidade de desenvolver atividades e pesquisas para sua adequação às normas vigentes. A norma NBR 10004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

**www.conepetro.com**  
**.br**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

(ABNT) classifica os diversos resíduos em Classe I (perigoso) e Classe II (não perigoso). (Abreu & Sousa, 2005).

Diante da necessidade do tratamento do cascalho oriundo da perfuração dos poços, o presente trabalho tem por objetivo realizar sucessivas lavagens no cascalho com o intuito de remover o teor de NaCl presente no mesmo e deixando dentro das normas vigentes.

As lavagens serão realizadas com dois tipos de misturas: apenas com água e com soluções aquosas de tensoativos em variadas concentrações e combinação de tensoativos e co-tensoativos. Serão realizadas 8 etapas de lavagem para determinar em quantas lavagens o NaCl terá sido removido da maneira esperada.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo, com a finalidade de determinar o teor de NaCl nos solos no decorrer das lavagens foi construída uma curva de correlações do teor de NaCl em função da condutividade. A construção da curva foi baseada em análises de condutividade nas soluções de água deionizada e solo com concentrações conhecidas de NaCl.

Foi realizado também um ensaio de granulometria da amostra de cascalho

utilizada para a realização das lavagens e da curva de correlações. Além disso, foram desenvolvidas atividades referentes à aplicação de remediador em condições laboratoriais controladas, visando à obtenção de conhecimento quanto à sua potencial eficiência. Foram realizadas análises da eficiência para uma sequência de lavagens adicionando novas soluções aquosas ao mesmo solo lavado.

### 2.1 CURVA DE CORRELAÇÕES “TEOR DE NaCl x CONDUTIVIDADE”

O objetivo desse procedimento foi poder determinar de forma empírica o teor de NaCl presente em cada etapa da lavagem.

Para a construção da curva foram preparadas soluções de 15g de solo com concentração conhecida de NaCl e 45g de água deionizada. As soluções foram agitadas por 5 minutos, ficaram em repouso por mais 3 minutos, e após isso foi realizado a análise da condutividade das soluções.

Tendo os respectivos valores de condutividade e teor de NaCl foi plotado um gráfico de dispersão, traçada a linha de tendência polinomial de ordem 2 e obtida a equação correspondente.

### 2.2 GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria é utilizado para determinar a distribuição granulométrica

**www.conepetro.com**  
**.br**

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

do solo, ou em outras palavras, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representada na massa seca total utilizada para o ensaio.

Os solos grossos (areias e pedregulhos), possuindo pouca ou nenhuma quantidade de finos, podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento.

Através dos resultados obtidos desse ensaio, foi possível realizar a construção da curva de distribuição granulométrica, que possui fundamental importância na caracterização geotécnica do solo, principalmente no caso dos solos grossos, e ainda para ter o conhecimento se com a variação de granulometria alguns dos parâmetros a serem analisados também variam juntos.

O objetivo primordial deste ensaio de granulometria foi obter a curva granulométrica do solo a ser utilizado. Com o auxílio da curva granulométrica foi possível estimar as percentagens (em relação ao peso seco total), correspondentes a cada fração granulométrica do solo.

Equipamentos:

- Balança
- Almofariz e pistilo
- Estufa
- Jogo de peneiras (50|38|25|19|9,5|4,8|2,38|2|1,2|0,6|0,42|0,29|0,15|0,075mm)
- Agitador de peneiras

- Quarteador

Preparação da Amostra:

Após o recebimento da amostra de solo, a mesma foi preparada. Uma determinada quantidade de solo foi seca na estufa à 105°C por 24h (uma quantidade maior do que aquela que será utilizada no ensaio), desmancham-se os torrões e, em seguida, o material é homogeneizado cuidadosamente; para que o material ensaiado seja representativo da jazida, a quantidade de solo a ser utilizada no ensaio deve ser obtida por quarteamento (realizado manualmente ou com o uso do quarteador), obtendo-se assim uma amostra de solo homogeneizada para se efetuar os ensaios; a amostra de solo seco na estufa foi pesada e todo o material foi peneirado na peneira de abertura 10 (#10 - 2,00mm). Deve-se tomar o cuidado de desmanchar os possíveis torrões que ainda possam existir no solo, de modo a assegurar que fiquem retidos na peneira de abertura #10 apenas os grãos maiores que a abertura da mesma, o material retido na peneira #10 (2,00mm) é utilizado no peneiramento grosso do solo. Do material que passa na #10 retiram-se quantidades suficientes de solo para a realização do peneiramento fino.

O peneiramento grosso foi realizado utilizando-se a quantidade de solo que fica retida na peneira de abertura #10 (2,00mm),



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

no momento da preparação da amostra. Primeiramente as peneiras de aberturas maiores e igual a #10 foram colocadas umas sob as outras com as aberturas das malhas crescendo de baixo para cima. Em baixo da peneira de menor abertura (#10) foi colocado o prato que recolheu os grãos que por ela passaram. Em cima da peneira de maior abertura foi colocada a tampa para que se evite a perda de partículas no início do processo de vibração. Após o peneiramento, as frações de solo retidas em cada peneira foram pesadas, até chegar à #10 (2,00mm).

O peneiramento fino foi realizado utilizando-se cerca de 500g de solo que passou na #10 (2,00mm), no momento da preparação da amostra. As peneiras de aberturas compreendidas entre as peneiras #10 (2,00mm) e #200 (0,075mm) foram empilhadas, o material seco foi colocado no conjunto de peneiras e o conjunto foi agitado por 5 minutos. Após o peneiramento foi realizada a pesagem da fração de solo retida em cada peneira.

A partir dos valores obtidos foi possível traçar a curva de distribuição granulométrica, marcando-se no eixo das abcissas, em escala logarítmica, os “diâmetros” das partículas e no eixo das ordenadas, em escala natural, os percentuais das partículas menores do que os diâmetros

considerados, isto é, os percentuais de solo que passam nas peneiras.

O experimento foi baseado na norma NBR-7181/ABNT – Análise Granulométrica de Solos; onde durante todo o procedimento verificou-se que a utilização da norma foi de grande importância para um resultado mais exato e detalhado, uma vez que com tal análise é possível observar as dimensões do solo, permitindo assim um futuro reaproveitamento do mesmo e ainda se este permite uma trabalhabilidade adequada, uma vez que tais processos de reaproveitamentos sejam de extrema importância e desejo das indústrias.

### 2.3 PROCEDIMENTO DE 8 LAVAGENS DO SOLO

É necessário realizar o procedimento para observar o comportamento do cascalho realizando 8 lavagens a partir do solo inicial, adicionando líquido ao sólido, ou seja, o solo que foi utilizado nas lavagens, ficando retido nas filtragens; foi reaproveitado o solo e aplicado novas soluções ao mesmo e repetindo o processo.

Nesse procedimento, para cada lavagem foram utilizados 15g de cascalho com adição de 45g da solução aquosa (desde apenas água destilada, solução com o tensoativo MPCD, solução de tensoativo VOS ou solução do tensoativo E) colocados em

**[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

béqueres e agitados por 5 minutos com o auxílio de agitador e barra magnética, ficam em repouso por 3 minutos e depois são feitas as análises de condutividade, pH e ORP. Após isso, a amostra é filtrada e segue para adição da próxima lavagem. A fase sólida é colocada em estufa a 40°C por 1 hora para secagem completa (remoção de umidade), antes do novo processo de lavagem. A nova lavagem é realizada com esse solo seco e uma nova solução igual à utilizada na primeira. O processo foi repetido de modo a completar 8 lavagens para cada tipo de solução e os parâmetros foram analisados em cada lavagem.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa foi avaliado o comportamento do cascalho com a utilização dos seguintes agentes remediadores, dentre apenas água, a tensoativos e co-tensoativos, em diferentes concentrações:

Tensoativo E: tensoativo iônico;  
Tensoativo VOS: tensoativo iônico;  
Tensoativo MPCD: tensoativo não iônico;  
Renex: Co-tensoativo e água.

#### 3.1 CURVA DE CORRELAÇÕES

As concentrações de NaCl no solo e suas respectivas condutividades que foram

utilizadas para a construção da curva e determinação da equação empírica podem ser observadas na tabela abaixo:

Condutividade (m/cm)	Ppm NaCl no solo
0,4108	0
32,5	50000
59,68	100000
81,22	150000
99,31	200000
123,5	250000
141,5	300000
159,6	350000
170,1	400000
186,8	450000
189,5	500000
202,9	550000

Tabela 1: Valor das condutividades e suas respectivas concentrações de NaCl presente no solo.

Diante da tabela é possível observar que a condutividade manteve-se crescente de acordo com o crescimento da concentração de NaCl em ppm.

A curva de correlações e sua equação podem ser observadas no gráfico abaixo:

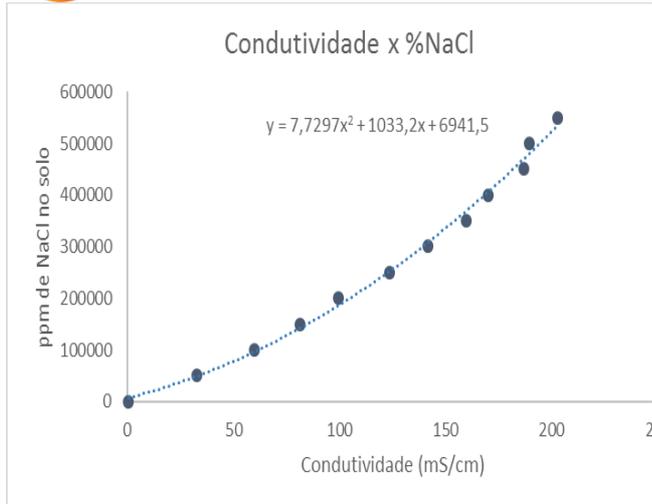


Gráfico 1: Condutividade x NaCl (%)

Diante do gráfico de condutividade x teor de NaCl é possível observar que não há uma grande dispersão nos resultados, mostrando-se assim a confiabilidade dos dados.

### 3.2 GRANULOMETRIA

A curva granulométrica elaborada a partir do ensaio de granulometria realizado com a amostra de solo utilizada para as análises presentes neste relatório pode ser observada no gráfico a seguir:

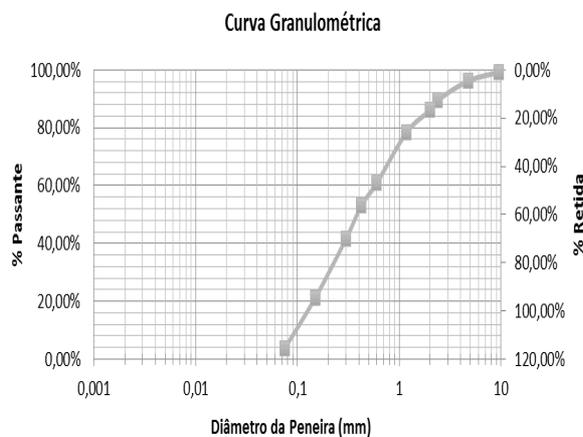


Gráfico 2: Curva Granulométrica

A partir do gráfico é possível observar que a amostra utilizada apresentou sua maior parte com faixa granulométrica entre areia média e areia fina.

A classificação do solo pode ser observada na tabela a seguir:

Classificação do solo	
Pedregulho	3,75%
Areia grossa	11,09%
Areia média	36,82%
Areia fina	37,98%
Silte + Argila	3,61%

Tabela 2: Classificação do solo em porcentagem.

### 3.3 PROCEDIMENTO DE 8 LAVAGENS DO SOLO

Para o procedimento adLnoS (Adicionar um líquido novo em um solo constante retido de cada lavagem e filtragem) foi analisada a condutividade das amostras e convertida para teor de NaCl através da curva de correlações. Dessa forma, o comportamento do teor de NaCl durante as 8 lavagens do procedimento adLnoS pode ser observado no gráfico abaixo.



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

### LS Teor de NaCl (ppm)

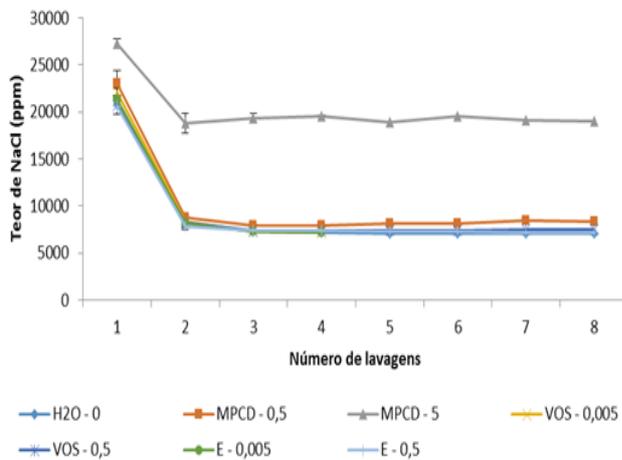


Gráfico 3: Teor de NaCl durante as lavagens (adLnoS)

A partir do gráfico é possível observar que as soluções com baixas concentrações de tensoativo apresentam resultados semelhantes, distanciando-se apenas da solução do tensoativo MPCD a 5%.

Além disso, nota-se que para essas concentrações mais baixas, na primeira lavagem há uma redução significativa no teor de NaCl, que se mantém quase constante nas lavagens posteriores. Dessa forma, antes que sejam realizadas análises complementares, e levando apenas o teor de NaCl em consideração, é possível concluir que para essa proporção de líquido e sólido uma lavagem seria suficiente para a remediação desse solo.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que para a proporção de cascalho e solução aquosa utilizada, uma lavagem seria suficiente para retirar todo o NaCl possível de ser removido.

Dessa forma, observa-se que a lavagem de cascalho com solução aquosa na proporção 1:3 e secando na estufa a 40°C mostra-se um método eficiente para a remoção do NaCl presente.

Além disso, foi possível observar que grandes concentrações de tensoativo não tem um efeito positivo durante as lavagens. Diante do fato de apenas água, e baixas concentrações de tensoativo terem apresentado resultados parecidos na remoção do NaCl seria necessário a realização de análises de outros parâmetros para determinar qual o tensoativo mais eficiente.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao professor Dr. Carlos Enrique pela oportunidade, e à Universidade Potiguar – Unp/E-labora.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, N. C.; SOUSA, H.F.; Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a Indústria de Petróleo: O Caso de Fazenda Belém - Icapuí/CE. In: **XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção**, 2005.



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

DALTIN, Decio. **TENSOATIVOS:** química, propriedades e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2011. 43 p.

Disponível em:  
<<http://www.usp.br/massa/2014/qfl2453/pdf/Tensoativos-livrodeDecioDaltin-Capitulo1>>

ARAÚJO, Manuelle Meike Silva de. **ESTUDO DE QUEBRA DE EMULSÕES DE PETRÓLEO UTILIZANDO MICROEMULSÕES E CÉLULA DE DESIDRATAÇÃO ELETROSTÁTICA.** 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Ufrn - Ct Nupeg, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

SILVA, Daniel Nobre Nunes da. **TRATAMENTO DE CASALHO DE PERFURAÇÃO UTILIZANDO SISTEMAS MICROEMULSIONADOS.** 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Centro de Tecnologia - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

Disponível em: <  
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20026>>

VADER, F. V. V., Adsorption of detergents at the liquid-liquid interface. Parte 1. Transactions of Faraday Society, 56, p. 1067-1077. 1960.



**[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)