

## ISOLANTE TÉRMICO MEDIANTE O REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS DE PERFURAÇÃO E REFUGO DE MATERIAIS ISOLANTES COMERCIAIS

Elierton Evangelista das Neves<sup>1</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>2</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa Junior<sup>3</sup>; Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>4</sup>; Raphael Araújo de Holanda<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [elierton@ufrnet.br](mailto:elierton@ufrnet.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [cleiton@ufrnet.br](mailto:cleiton@ufrnet.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [cleitonformiga@ufrnet.br](mailto:cleitonformiga@ufrnet.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [ffontes@ufrnet.br](mailto:ffontes@ufrnet.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [raphaelholanda@gmail.com](mailto:raphaelholanda@gmail.com)

### RESUMO

O propósito deste trabalho é descrever os procedimentos de desenvolvimento de um material alternativo para isolamento térmico a alta temperatura de tubulações de distribuição e injeção de vapor mediante o reaproveitamento do refugo de materiais isolantes comerciais tais como o silicato de cálcio e a lã de rocha, ambos associados em forma de blindas com o rejeito de perfuração de poços de petróleo terrestre. Este trabalho dividiu-se em três principais partes, a primeira refere-se à coleta e preparação das amostras de materiais como encontrado em campo, ou seja, materiais que já foram submetidos às altas temperaturas de processo, a segunda foi o planejamento de ensaios com o auxílio do software comercial para planejamento de experimentos *Design-Expert*<sup>®</sup> V10 e execução dos ensaios de determinação da condutividade térmica para as composições planejadas com o uso do equipamento medidor de condutividade térmica *KD2-Pro* da empresa *Decagon Devices, Inc.*, os resultados destes ensaios foram realimentados no *Design-Expert*<sup>®</sup> V10 para geração de um modelo matemático com saída gráfica das curvas de nível que representam as blindas ternárias e por fim executou-se uma simulação computacional em regime permanente com o uso do software comercial *Ansys*<sup>®</sup> para comprovar teoricamente a aplicabilidade do novo material como isolante térmico para conservação de energia e proteção pessoal. Os resultados obtidos na simulação computacional apontaram que foi atingida uma temperatura máxima de 57,3°C na superfície de uma proteção mecânica em alumínio do isolamento térmico projetado com uma espessura 38,1 mm e aplicado a uma tubulação de aço carbono diâmetro nominal três polegadas *sch. 80* quando submetida a uma temperatura de 313°C.

Palavras-Chaves: Isolante Térmico, Cascalho de Perfuração, Reaproveitamento.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de materiais isolantes na conservação de energia e proteção pessoal é extensamente aplicado nas áreas de produção de petróleo terrestre, principalmente em campos considerados maduros onde métodos térmicos de recuperação secundária com a injeção cíclica e/ou contínua de vapor são utilizados. Uma grande parte da infraestrutura montada em campo para a distribuição do vapor desde as unidades geradoras até os poços necessitam serem isoladas termicamente. Dentre os materiais isolantes mais usuais nestas instalações destacam-se as canaletas feitas em Silicato de Cálcio e Lã de Rocha.

A manutenção da confiabilidade das instalações e a necessidade de se alterar ou ampliar o traçado de linhas de distribuição e injeção de vapor por vezes implica na remoção e substituição de todo o isolamento térmico destas tubulações, o que implica no descarte de muito material.

As empresas de petróleo devem sempre buscar alternativas ambientalmente sustentáveis para as suas operações e com esta visão buscou-se desenvolver um material

isolante térmico que pudesse além de cumprir seu papel na conservação de energia e proteção das pessoas pudesse também permitir o reaproveitamento de vários rejeitos gerados em sua atividade.

## 2. METODOLOGIA

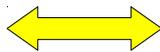
### 2.1. Preparação das amostras

Para o desenvolvimento do novo material isolante térmico identificou-se um dos materiais mais abundantes no processo de produção de petróleo, o Cascalho de Perfuração (CAS). Este material é produzido durante a perfuração de um poço de petróleo em uma sonda de perfuração.

Durante a perfuração o cascalho de perfuração é pré-separado da “lama de perfuração”, fluido usado para, entre outras importantes funções, carrear o cascalho de perfuração até a superfície que posteriormente é coletado em caixas de coleta de cascalho para sejam encaminhados a processamento em seu destino final. A Figura 1 ilustra a localização das caixas de coleta de cascalho na área da sonda de perfuração onde foi obtida a amostra usada neste trabalho.



Figura 1: Sonda de perfuração – caixas de coleta de cascalho.



Juntamente com o CAS coletaram-se refugos de materiais isolantes comerciais aplicados nas tubulações de injeção de vapor, a Figura 2 ilustra parte das amostras coletadas no campo dos materiais Silicato de Cálcio (SIL) e da Lã de Rocha (LR) que originalmente apresentavam-se no formato de canaletas envolvidas externamente às tubulações.

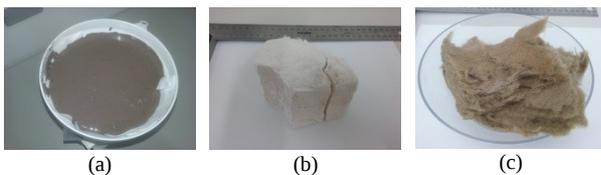


Figura 2: Cascalho (a), silicato de cálcio (b) e lã de rocha (c).

Após coletados os materiais processados separadamente, sendo que o CAS foi submetido inicialmente à secagem ao tempo, e posteriormente o CAS, LR e SIL foram desintegrados manualmente com auxílio de um gral com pistilo e peneirados em peneira com abertura NBR 1,18 mm. As Figuras 3 (a) a (c) ilustram as matérias-primas processadas e utilizadas na composição do novo material isolante térmico.



Figura 3: Processamento manual: (a) - LR, (b) - CAS e (c) - SIL.

## 2.2 Corpos de prova

Com o auxílio de uma balança de precisão e bureta, preparou-se as blendas dos materiais com as composições definidas na programação de experimento extraída do software *Design-Expert®V10*. As composições ensaiadas estão listadas na Tabela 1.

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

(83) 3322.3222

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

Tabela 1: Programação do experimento.

Blenda Nº	CAS (%vol.)	SIL (%vol.)	LR (%vol.)
1	100	0,0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	50	25	25
7	50	35	15
8	50	15	35
9	0	50	50
10	33,3334	33,3334	33,3334

Após definidas as proporções dos componentes das blendas, preparou-se os corpos de prova de dimensões  $D=50$  mm e  $L=200$  mm e com compactação do próprio peso em queda de 100 mm por seis vezes.

### 2.3 Medição da condutividade térmica

Tendo sido preparados os corpos de prova, procedeu-se a medição da condutividade térmica  $k$  (W/m. K) com o uso do aparelho medidor de condutividade térmica *KD2-Pro* que possibilita a medição dessa grandeza conforme método preconizado pela norma ASTM D-5334-14[2]. A Figura 4 ilustra a utilização do medidor de condutividade térmica.



Figura 4: Medição da condutividade térmica com o KD2-Pro.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Condutividade térmica das blendas

Para cada blenda de material isolante foram realizados cinco ensaios, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados ensaio com o KD2-Pro.

Blenda	$k_{méd}$	$s^2$	erro
Nº	(W/m.K)		
1	0.2120	0.00000350	0.0032
2	0.0960	0.00004670	0.0088
3	0.0310	0.00000017	0.0067
4	0.1310	0.00000337	0.0030
5	0.1150	0.00000137	0.0031
6	0.1320	0.00000120	0.0024
7	0.1300	0.00000130	0.0010
8	0.0990	0.00000050	0.0042
9	0.7055	0.00000142	0.0035
10	0.1367	0.00000322	0.0031

Pode-se observar que o erro associado às medições são relativamente baixos e que dentre as blendas ensaiadas cuja composição envolve a presença dos três componentes CAS, SIL e LR a blenda de nº 8 apresentou um valor mais baixo para a condutividade térmica  $k$  na ordem de 0,099 W/m.K.

#### 3.2. Superfície de resposta

Com o uso do software comercial *Design-Expert*® V10 foi possível gerar um modelo matemático da blenda ternária a partir das repostas obtidas nos ensaios conforme listados na tabela 2. O modelo cúbico especial que representa a blenda em estudo apresentou os seguintes coeficientes para a Equação 1.

$$\text{Raiz (y)} = b^*_{1 \cdot x_1} + b^*_{2 \cdot x_2} + b^*_{3 \cdot x_3} + b^*_{12 \cdot x_1 x_2} + b^*_{13 \cdot x_1 x_3} + b^*_{23 \cdot x_2 x_3} + b^*_{123 \cdot x_1 x_2 x_3} \quad [1]$$

Onde:

$$\begin{aligned} b^*_1 &= +0,46369779375594 \\ b^*_2 &= +0,30842801174801 \\ b^*_3 &= +0,1755474782637 \\ b^*_{12} &= -0,05378752495305 \\ b^*_{13} &= +0,07268212942745 \\ b^*_{23} &= +2,47920864735370 \\ b^*_{123} &= -5,71506511332433 \end{aligned}$$

Sendo:  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  as composições dos materiais CAS, SIL e LR respectivamente e  $y$



Esta saída gráfica gerada pelo software Ansys® permite identificar uma variação de distribuição de temperaturas radial de 57,3 °C a 313°C, este valor está de acordo com as exigências preconizadas na norma N-0550 que é de 60°C na superfície externa do isolamento da tubulação.

#### 4. CONCLUSÕES

A principal conclusão deste trabalho foi identificar que a possibilidade de se reduzir o volume de resíduos gerados na indústria de petróleo sejam em seu intrínseco processo de perfuração ou na manutenção de sua infraestrutura de superfície é uma alternativa viável como solução técnica dentre as ações que venham ampliar a sustentabilidade ambiental, tendo em vista que se pode preparar blindas que maximizem o uso do rejeito de perfuração de poços com outros materiais refugados sem comprometer a principal característica física final que é a resistência térmica a passagem de calor através do revestimento representada pela condutividade térmica  $k$ .

Pode-se reconhecer também que este trabalho não permite responder como seria aplicado fisicamente no isolamento de

tubulações aquecidas, sendo assim sugere-se que em trabalhos futuros sejam confeccionados corpos de provas em formas de canaletas para aplicação em teste de campo.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CEMEP e a organização do II CONEPETRO pelo apoio, aceitação e disseminação deste trabalho e em especial ao Ativo de Produção do Alto do Rodrigues da UO-RNCE da PETROBRAS pelo fornecimento das amostras dos materiais utilizados.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D5334-14, *Standard Test Method for Determination of Thermal conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure*. ASTM International, West Conshohocken – PA. USA, 2014.

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

N-0550, Projeto *de Isolamento Térmico a Alta Temperatura*. Norma Petrobras. CONTEC, 12/2008.

SPEC 5L, *Specification for Line Pipe*. *American Petroleum Institute*, API Publishing Service, Washington, DC, USA, 2012.

NETO, B. B., *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*, 4ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2010.



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

(83) 3322.3222

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