



## IBP1542\_07 PIG DETECTOR TÉRMICO DE PEQUENOS VAZAMENTOS EM GASODUTOS

Daniel Camerini<sup>1</sup>, Felipe Oliveira<sup>2</sup>, Cláudio Camerini<sup>3</sup>, Jean Pierre von der Weid<sup>4</sup>, José Augusto P. Silva<sup>5</sup>, Miguel Freitas<sup>6</sup>

IBP1542\_07

### PIG DETECTOR TÉRMICO DE VAZAMENTOS EM GASODUTOS

Daniel Camerini<sup>1</sup>, Felipe Oliveira<sup>2</sup>, Cláudio Camerini<sup>3</sup>, Jean Pierre von der Weid<sup>4</sup>, José Augusto P. Silva<sup>5</sup>, Miguel Freitas<sup>6</sup>.

Copyright 2007, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*, realizada no período de 2 a 4 de outubro de 2007, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*.

## Resumo

Os dutos podem sofrer processos de degradação provocados por diversos fatores como corrosão, impactos e defeitos de fabricação, criando a possibilidade de ocorrência de vazamentos. Atualmente diferentes sistemas de detecção de vazamento com sensores instalados ao longo dos gasodutos têm sido testados. Porém, eles ainda não são eficientes quando os vazamentos são pequenos. Uma solução alternativa é a tecnologia de inspeção interna utilizando pigs instrumentados.

Vazamentos de gases altamente pressurizados por superfícies metálicas são caracterizados pelo ruído acústico gerado pela expansão do gás e pela queda de temperatura característica da expansão quasi-adiabática do gás no local do vazamento, com o conseqüente resfriamento da parede no entorno do ponto de vazamento. Partindo de análises teóricas, decidiu-se desenvolver um pig capaz de detectar variações térmicas ao longo da parede do gasoduto de forma a identificar o ponto de vazamento pela sua perda de calor. Com o tempo, a perda de calor se propaga e é capaz de resfriar uma região em torno do furo com área suficientemente grande para que seja detectada por um pig instrumentado.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar a ferramenta, suas potencialidades e os resultados obtidos nos testes, além de discutir sua eficácia na detecção de vazamentos e as possibilidades para o futuro.

## Abstract

Leaks in gas-pipelines can be caused by some processes like corrosion, impacts and fabrication defects. Nowadays, leak detection systems using different kinds of sensors are being installed and tested in gas-pipelines. These systems are very efficient and reliable, but don't detect small leaks. An alternative solution is the inspection technology of instrumented pigs. High pressure gas leaks through metallic walls are characterized by the acoustic noise and the thermal cooling caused by the quasi-adiabatic gas expansion on the leak area. With theory analysis, the project of an instrumented pig capable to measure small thermal variations on the pipeline wall was started. The cooling area around the gas leak grows along the time and is capable to be detected by the pig.

This paper presents the inspection tool, its potentialities, the tests results and a discussion about its efficiency in gaspipeline leak detection and future possibilities.

## 1. Introdução

Os gasodutos podem sofrer processos de degradação provocados por corrosão, impactos, fadiga, defeitos de fabricação e erros de operação. Tais processos podem levar a uma falha do duto caracterizada pelo vazamento de gás

<sup>1</sup> Mestre, Engenheiro de Automação – PUC-Rio/CPTI

<sup>2</sup> Estudante, Técnico Eletrônico – PUC-Rio/CPTI

<sup>3</sup> Mestre, Engenheiro de Equipamentos – PETROBRAS/CENPES

<sup>4</sup> PHD, Professor Titular e Pesquisador – PUC-Rio/CPTI

<sup>5</sup> Mestre, Engenheiro Pesquisador – PUC-Rio/CPTI

<sup>6</sup> Mestre, Engenheiro Pesquisador – PUC-Rio/CPTI

para o exterior.

Atualmente diferentes sistemas de detecção de vazamentos "on line", que utilizam transdutores tais como acústico e de pressão, têm sido instalados e testados nos mais diversos tipos de tubulações. Porém, estes sistemas de monitoração não são eficientes quando os vazamentos são pequenos com vazão em torno de 1% do volume total bombeado. Devido às atenuações que o sinal do vazamento sofre ao longo do duto, os transdutores não são capazes de detectá-los. Uma solução alternativa é deslocar o sensor para perto da origem do vazamento, por intermédio de ferramentas de inspeção interna chamadas de pigs instrumentados.

A detecção do local onde existe vazamento é de extrema importância, pois as tubulações que apresentam pequenos vazamentos precisam ser rapidamente reparadas para que se minimizem os riscos de acidentes, danos pessoais, ambientais, sociais e perdas materiais.

Existem algumas opções de escolha dos equipamentos para inspecionar os processos de degradação dos gasodutos tais como pigs geométricos, magnéticos e de ultra-som. No entanto tais dispositivos não são capazes de detectar pequenos vazamentos, ou seja, de diferenciar uma condição de degradação de uma situação em que já houve a falha.

Os vazamentos de gases altamente pressurizados, por superfícies metálicas, são caracterizados pela rápida expansão de volume e conseqüente resfriamento da região do vazamento. Com o tempo a perda de calor se propaga e é capaz de resfriar uma região em torno do furo com área suficientemente grande para que seja detectada por um sensor de temperatura que consiga detectar a variação de temperatura localizada.

Este trabalho apresenta o pig detector de vazamentos por infravermelho para inspeção interna de gasodutos capaz de detectar pequenas variações de temperatura na parede do duto através da medição da intensidade de ondas infravermelhas, ao longo do gasoduto de forma a identificar o ponto de vazamento pela sua perda de calor.

## 2. Metodologia

O pig aqui chamado de Detvaz, é equipado com uma coroa radial de sensores de ondas infravermelhas a qual registra as temperaturas, por intermédio das variações das intensidades de radiações emitidas ao longo da parede do gasoduto.

As informações coletadas pelos sensores são armazenadas na eletrônica embarcada para posterior análise em laboratório, onde o perfil térmico completo do gasoduto pode ser visualizado e analisado, o que permite a localização dos pontos de vazamentos.

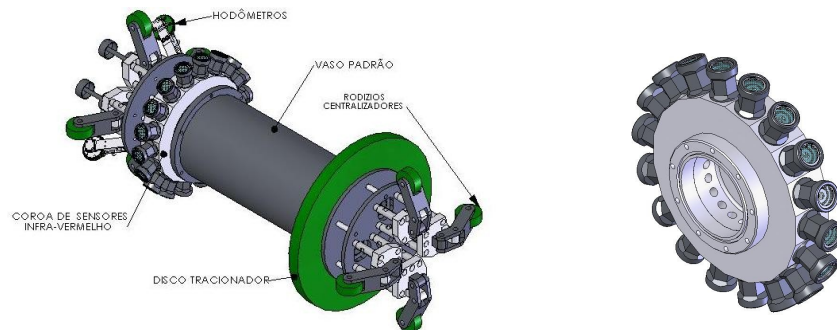


Figura 1 – Esquema de montagem do pig Detvaz e a coroa de sensores infra-vermelhos.

Os sensores infravermelhos apresentam vantagens significativas no desempenho e eficiência do dispositivo. A primeira é que o sensor não precisa entrar em contato físico com o duto, o que preserva sua integridade já que assim não sofre esforços físicos de atrito, arraste e impactos contra a face da parede interna do duto. A segunda é que o sensor apresenta rápida resposta temporal, ou seja, ele é sensível a rápidas e repentinas variações de temperatura, uma qualidade imprescindível em sensores para aplicação em pigs instrumentados, pois estes se deslocam em altas velocidades, principalmente em gasodutos. A terceira é a alta sensibilidade do sensor infravermelho, que pode detectar pequenas variações de temperatura em torno de décimos de grau Celsius.

O pig detector de vazamentos por infravermelho também pode ser equipado com sensores adicionais para medição de outras variáveis de interesse no escoamento do gás, como sensores de vibração, pressão e microfones. A análise destes sinais em conjunto pode permitir uma detecção e localização precisa e segura do local do pequeno vazamento de gás.

## 2. Testes de laboratório

### 2.1 Simulação de vazamento de gás

O objetivo deste primeiro teste foi detectar a amplitude da queda de temperatura e dimensionar a área da região

de resfriamento ao redor de um furo em tubo pressurizado internamente com gás.

O teste foi realizado na área de testes destrutivos do CTDUT com o tubo instalado no interior da casa-mata. A pressurização do tubo foi realizada por cilindros de nitrogênio. O tubo de testes tem 203,2 mm de diâmetro, parede de 8,0 mm de espessura, 4 metros de extensão e com furo de 1,0mm de diâmetro.

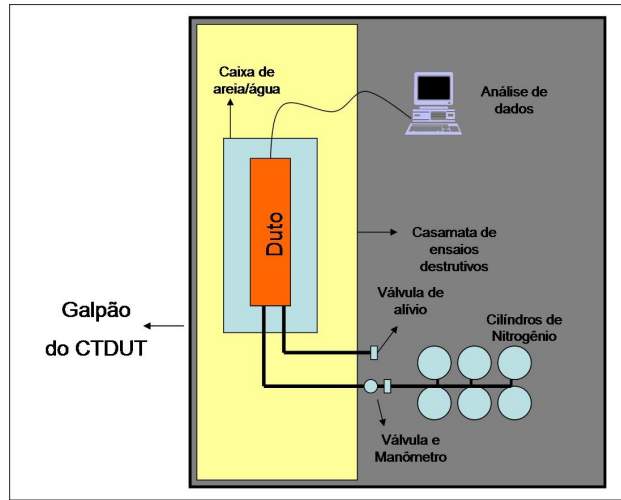


Figura 2 – Esquema de montagem do aparato experimental.



Figura 3 – Tubo de teste no interior da casa-mata.

Para medição da temperatura da parede ao redor do furo foi utilizado apenas um sensor infra-vermelho instalado em um sistema mecânico de deslocamento. Neste sistema, o sensor é deslocado longitudinalmente em um trecho de 295 mm de extensão. O sistema foi colocado no interior do tubo na posição em que se localizava o furo. O sensor inspeciona o mesmo trecho diversas vezes, se deslocando para frente e para trás.

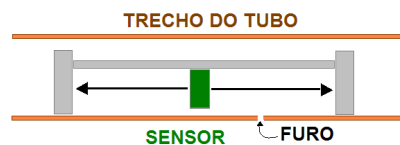


Figura 4 – Sensor posicionado em cima da região do furo.

## 2.2- Resultados da simulação de vazamento de gás.

O tubo foi pressurizado com nitrogênio com pressão interna inicial de 500 psi e o vazamento durou 30 minutos. O gráfico a seguir apresenta o perfil de temperatura ao redor do furo com pressão interna de 470 psi.

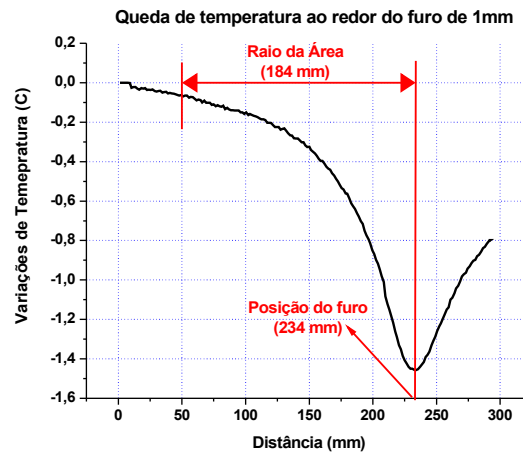


Figura 5 – Queda de temperatura a 470 psi.

A queda máxima de temperatura foi de 1,4°C e a área de resfriamento apresentou um raio de 184 mm. Considerando que a área de resfriamento ao redor do furo seja circular, ela teria 0,106 m<sup>2</sup> com diâmetro de 0,368 m. A tecnologia atual de pigs instrumentados do CETUC/CENPES é capaz de [aquisitar/adquirir](#) dados a uma frequência de 1kHz. Com uma velocidade de 5,0 metros por segundo, um trecho de 0,30 m seria [aquisitado/adquirido](#) com 60 amostras, [um](#) valor [suficiente/significativo](#) para [permitir](#) sua análise [e a confiabilidade da medida](#).

Um outro aspecto relevante notado no teste foi a influência da pressão interna do tubo na amplitude do sinal. Os gráficos a seguir apresentam a variação da queda de temperatura com a variação da pressão interna.

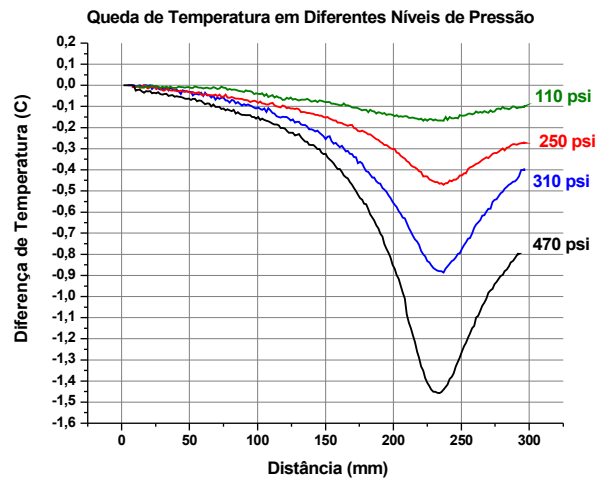


Figura 6 – Queda de temperatura variando a pressão.

O ruído (rms) na medida da temperatura varia de 0,0045 C (pressão 470 psi) a 0,0035 C (110 psi), de modo que a relação sinal ruído variou de cerca de 300 no melhor caso para uma relação de 50 no pior caso.

Abaixo de 100 psi (7,0 kgf/cm<sup>2</sup>) a relação sinal ruído é pequena não permitindo uma visualização segura do vazamento. Porém, a maioria dos gasodutos opera com pressões acima de 430 psi ou 30 kgf/cm<sup>2</sup> e isso não aparece como um problema nas futuras operações de campo.

### 2.3- Conclusões do teste de simulação de vazamento de gás.

Os resultados demonstraram que a queda de temperatura ao redor de um furo em um tubo altamente pressurizado por gás é possível de ser detectada por sensores infra-vermelhos instalados em pigs instrumentados.

Os resultados do teste demonstraram que para um furo de 1,0 mm de diâmetro em um tubo com pressão interna de 470 psi, o sensor detectou uma área fria com extensão de 368 mm, com variação de temperatura máxima de 1,4 °C e com relação sinal/ruído de 300.

### 3. Teste com o primeiro protótipo.

O objetivo do primeiro teste do protótipo foi detectar e localizar regiões de frio com diferentes dimensões e amplitudes. O teste foi realizado no tubo reto de 14" do CTDUT. Neste tubo o pig pode ser deslocado pelo seu interior através de um cabo de aço tracionado por um motor.



Figura 7 – Protótipo do Pig Detvaz.

No ponto de resfriamento foi instalado um sensor termopar para monitoramento da temperatura da parede externa e o resfriamento foi gerado por pedras de gelo que foram colocadas no mesmo ponto do termopar, conforme as figuras abaixo:



Figura 8 – Pedras de gelo para resfriamento do tubo.

No início do teste o termopar indicava 31°C. As pedras de gelo resfriaram a parede do tubo até o termopar indicar o valor de 7°C e foram retiradas de cima do tubo. A seguir, a parede do tubo entrou num período de lento aquecimento no sentido de retornar à sua temperatura original. Durante este período, o pig foi constantemente deslocado pelo interior do tubo a fim de que seus sensores pudessem detectar e registrar as diferentes variações térmicas da parede. Para cada passagem do pig pelo tubo foi registrado o valor medido pelo termopar, ao todo foram 10 passagens. Durante estas passagens também simulamos um segundo ponto de resfriamento com apenas duas pedras de gelo.

O objetivo deste segundo ponto é analisar a resolução dos sensores do pig e testar sua capacidade de detectar áreas com pequenas dimensões.

Os gráficos dos dados obtidos e a temperatura marcada pelo termopar em algumas passagens estão apresentados nas figuras a seguir:

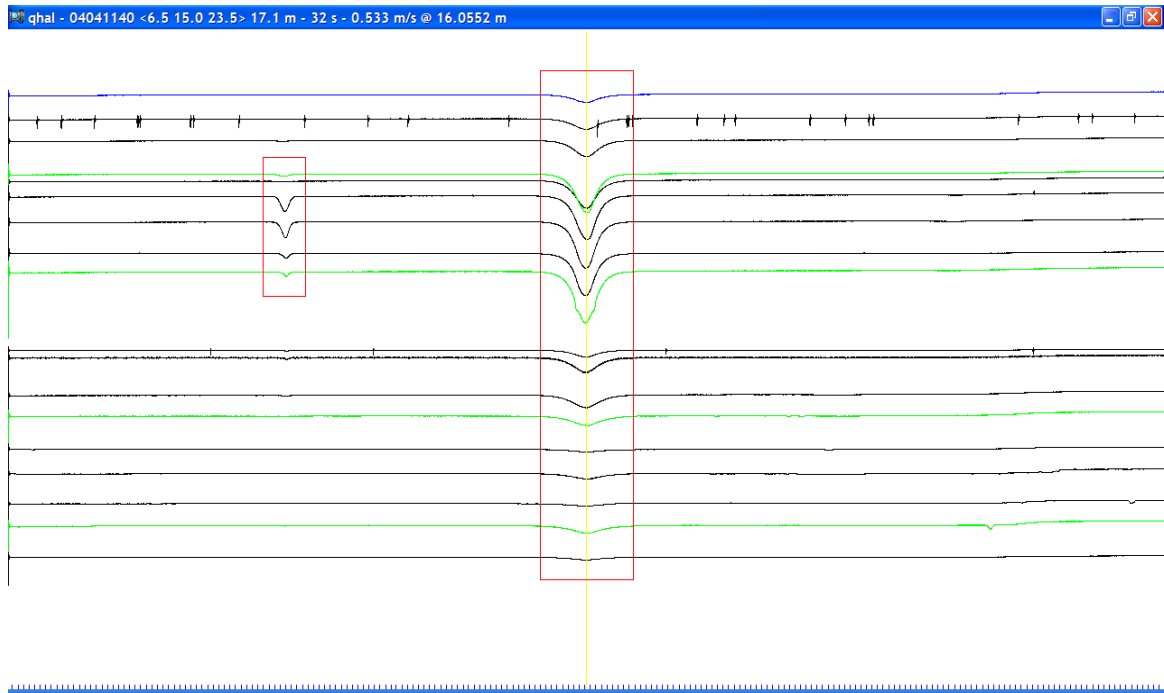


Figura 9 – Sinais dos pontos de resfriamento, termopar indicando 7°C.

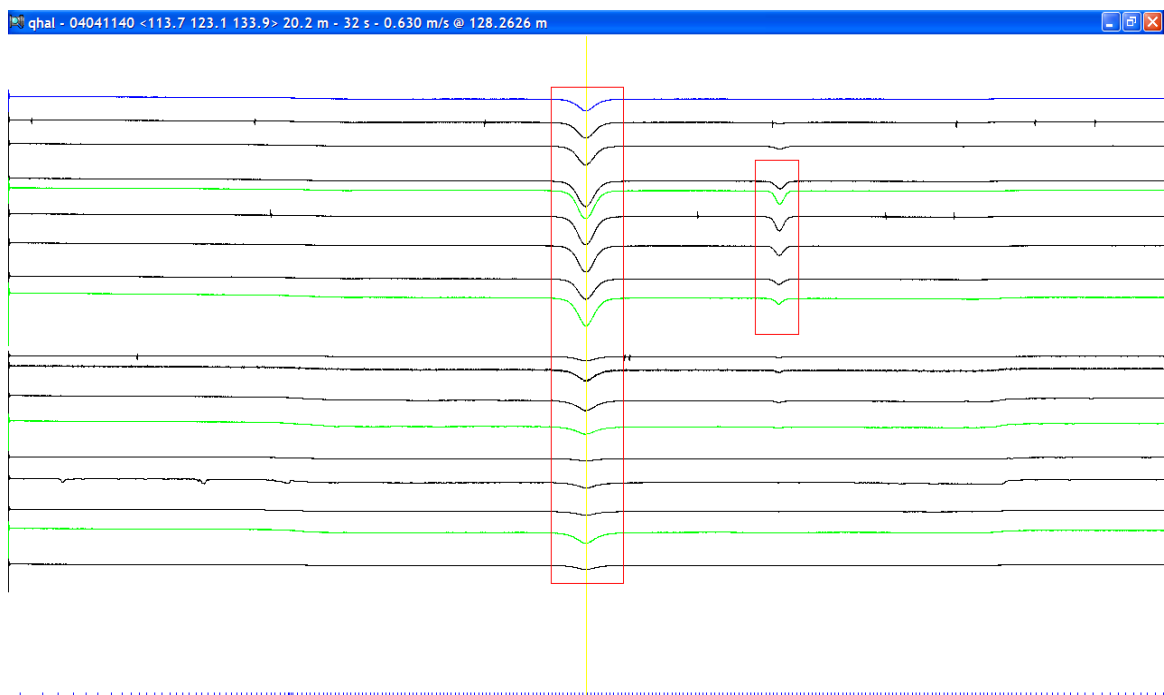


Figura 10 – Sinais dos pontos de resfriamento, termopar indicando 20°C.

Uma outra análise interessante é a resolução do pig tanto radial quanto longitudinal, no gráfico abaixo destacamos as regiões frias e suas dimensões:

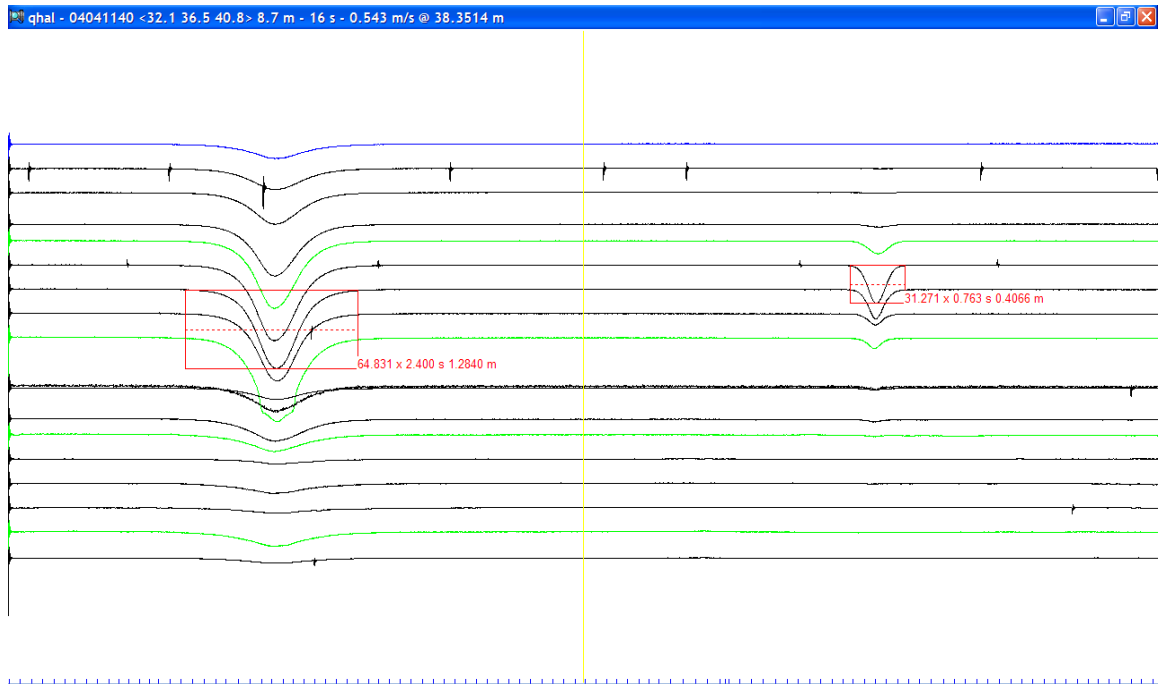


Figura 11 – Dimensões das áreas resfriadas.

A região fria maior apresenta 1,28 metro de comprimento e sensibilizou 15 dos 18 sensores, o que representa 80% da seção do tubo. Já a menor é de 0,40 metro e foi detectada por 5 sensores, o que representa 28% da seção do tubo.

### 3.1 - Conclusões

Com estes dados e com a medição realizada pelo termopar, podemos concluir que os sensores do pig são capazes de detectar variações de temperatura da ordem de 1 grau celsius e com dimensões da ordem de décímetros.

Lembrando do teste de simulação de vazamentos de gás realizado na casa-mata do CTDUT o vazamento por um furo de 1,0 mm de diâmetro gerou uma área fria de 0,38 metros com amplitude de 1,4°C, podemos avaliar que o pig tem grande potencial para detectar estes pequenos vazamentos com uma boa relação sinal ruído em uma operação real.

As próximas etapas do projeto são o teste do pig no loop de testes do CTDUT e a realização de corridas de teste em gasodutos reais.