



IBP1221_06

SISTEMAS EMBARCADOS BASEADOS EM DSP'S PARA FILTRAGEM E PRÉ-DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM OLEODUTOS

Victor J. L. Duarte¹, André L. Maitelli², Andrés O. Salazar³, Adrião D. D. Neto⁴, Rodrigo S. Martins⁵, Rodrigo P. R. dos Santos⁶

IBP1221_06

SISTEMAS EMBARCADOS BASEADOS EM DSP'S PARA FILTRAGEM E PRÉ-DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM OLEODUTOS

Victor J. L. Duarte, André L. Maitelli, Andrés O. Salazar, Adrião D. D. Neto, Rodrigo S. Martins, Rodrigo P. R. dos Santos

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, 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 Oil & Expo and Conference 2006*.

Resumo

A detecção de vazamentos em oleodutos é utilizada não somente para evitar perda de produção, mas também para evitar as consequências de derramamentos nocivos ao meio ambiente e com implicações legais. As técnicas de detecção com base no sinal de pressão são simples e eficientes. Entretanto, o sinal de pressão é sujeito a ruídos e interferências de outros sinais. Um sistema embarcado capaz de filtrar o sinal de pressão e proceder uma análise das condições de operação, possibilita uma detecção rápida e evita uma transmissão excessiva de informações e, conseqüentemente, uma sobrecarga no supervisório. Este trabalho consiste em implementar em um sistema embarcado uma filtragem e pré-deteção com processamento local baseados em DSP's (Digital Signal Processor). O sinal de pressão adquirido é proveniente de um duto da PETROBRAS no Rio Grande do Norte. O sinal é localmente filtrado e analisado para determinar se se encontra em condições adequadas. O DSP, que constantemente recebe as informações do sensor, ao detectar um possível vazamento envia os dados, já devidamente filtrados, para o sistema de supervisão para que este possa fazer uma análise mais detalhada. O supervisório, com maior capacidade de processamento, determinará com maior exatidão a provável ocorrência de vazamento. O produto final deste trabalho será um sistema para a detecção de vazamentos com maior rapidez e exatidão.

Abstract

The pipeline leak detections are used not only to avoid production lose but also to avoid consequences of nocives oil overflow to environment and legal implications. The detection techniques based in pressure signal are simple and efficiencies. However, the pressure signal is subject of noise and others signal interference. An embedded system, that is capable to filter a pressure signal and proceed a operation condition analyze, makes possible a faster leak detection and avoid an excessive transmission of information and consequently an overload of the supervision. This paper shows a developed work that implements acquisition, filter and local process through an embedded system called DSP's (Digital Signal Processor). The pressure signal is acquired from a pipeline of PETROBRAS in Rio Grande do Norte. The signal is filtered and locally analyzed to determine if it encounter in good conditions. When the DSP, that constantly receives information from the sensor, detects a potential leak it sends data already filtered for the supervision system. The supervision system, which has more processor capacity, will appoint with more accuracy a probable occurrence of

¹ Graduando em Engenharia de Computação – UFRN Pesquisador

² Dr. Engenheiro Eletricista – UFRN Professor

³ Dr. Engenheiro Eletricista – UFRN Professor

⁴ Dr. Engenheiro Eletricista – UFRN Professor

⁵ Msc. Engenheiro de Computação – UFRN Pesquisador

⁶ Engenheiro de Computação

leakage. The final product of this work will be a faster and more accuracy pipeline system leak detection.

1. Introdução

Este artigo propõe o uso de sistemas embarcados baseados em processadores digitais de sinais (DSP's) para aumentar a eficiência dos sistemas de detecção de vazamentos em oleodutos de regime de escoamento multifásico. Os dados de pressão adquiridos para os testes são provenientes do duto, pertencente a PETROBRAS, no Rio Grande do Norte. O duto apresenta uma distância de 38 km e diâmetro 12" com medidores de pressão localizados nos pontos PT-1, a 4,5 km do início, outro no PT-2, a 9 km do final e por último no ponto PT-3 localizado a apenas 1 km do final. Todos estes pontos podem ser vistos graficamente na figura 1. Para este trabalho os dados adquiridos para análise são todos provenientes do medidor de pressão do ponto PT-1.

O principal objetivo do uso do DSP neste trabalho foi de amenizar a sobrecarga de informações enviadas para o supervisão do sistema de detecção de vazamentos instalado em campo. Para isso, o DSP apenas envia os dados quando presumir que os dados adquiridos são de vazamento. Estes dados enviados para o supervisão se encontram previamente filtrados de ruídos tipo "spikes" obtidos na leitura do sensor de pressão que contribuem para ocorrência de falsos alarmes no supervisão.

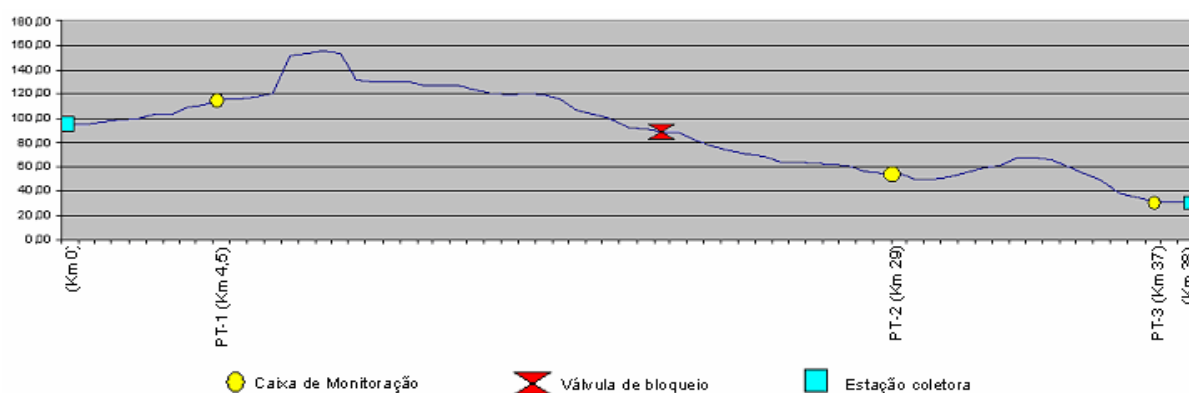


Figura 1. Perfil do duto

2. Digital Signal Processor (DSP)

Os processadores digitais de sinais são microprocessadores de alta performance que são dedicados para o processamento de sinais, tanto em tempo real como offline. A principal diferença em relação aos microcontroladores convencionais é a capacidade dos DSP's de executarem uma instrução de soma e multiplicação em apenas um ciclo de máquina, permitindo aplicações de filtros, FFT's (*Fast Fourier Transform*) e construção de algoritmos mais complexos em menor tempo de execução de acordo com Smith (1998). Seu alto poder de processamento se deve ao fato de sua arquitetura de hardware ser do tipo *pipeline*, ou seja, o DSP tem a capacidade de executar instruções paralelamente.

Os dutos em geral têm os seus medidores de pressão localizados em lugares não muito apropriados para manter uma máquina de grande porte (microcomputador). Por isso que o tamanho físico e a capacidade do DSP são adequados para realizar processamentos locais complexos e que exigem velocidade de resposta grande. Na figura 2 visualizamos uma placa de desenvolvimento com um DSP.



Figura 2. Placa de desenvolvimento com um DSP

Na tabela 1 descrevemos as principais características do DSP utilizado.

Tabela 1. Especificação do DSP. *Fonte: Blackfin Embedded Processor ADSP-533 Analog Devices*

Especificação	
Velocidade de Processamento	600MHz
MMACS (<i>Million Multiply Accumulate Cycles per Second</i>)	1200
Arquitetura	RISC com 10 níveis de <i>Pipeline</i>
Aritmética	Ponto-Fixo
Tamanho das Instruções	16/32 bits
SPORT (Comunicação Serial)	Sim
UARTs, Timers	Sim
Linguagem de Programação	C/C++ ou Assembler
Memória SRAM	148kB
Memória Flash	4MB
Biblioteca para processamento de sinais	Sim

Uma característica importante de citar neste DSP é a sua biblioteca de funções tradicionais para o processamento de sinais. Esta biblioteca vai desde a manipulação de filtros FIR, FFT(Fast Fourier Transform) até métodos estatísticos.

Neste trabalho utilizamos o DSP principalmente para realizar o filtro da mediana e um desvio padrão por janelamento no sinal original.

3. Filtragem por Mediana

Quando os padrões de ruídos apresentam componentes fortes do tipo “spike” o uso de filtros por mediana para a supressão ou redução é um método particularmente efetivo, segundo Gonzales e Woods (1992).

O filtro por mediana é considerado um filtro não-linear. O princípio de funcionamento consiste a partir de um conjunto de valores onde se deseja aplicar o filtro por mediana, fazer ordenação e em seguida, a partir do valor da mediana deste vetor ordenado, substitui-se o restante pelo mesmo valor. Caso o número de elementos deste conjunto for par, o valor da mediana será a soma dos dois valores centrais dividido por dois.

A tabela 2 mostra um exemplo de execução do filtro por mediana em um vetor 1-D. Notar que após a aplicação do filtro, o valor 12 deste vetor, que pode ser considerado uma componente do tipo “spike”, é eliminada.

Tabela 2. Exemplo de filtro por mediana

Sequência	Vetor	Ação
1.	[12 - 5 - 3 - 4 - 3 - 5]	Vetor com dados
2.	[3 - 3 - 4 - 5 - 5 - 12]	Ordena vetor
3.	[4.5 - 4.5 - 4.5 - 4.5 - 4.5]	Os dados do vetor são substituídos pelos valores centrais: $(4+5)/2$

4. Desvio Padrão

O desvio padrão é dado como a raiz quadrada da variância. Por sua vez, a variância é definida como o grau de dispersão do valor médio da variável aleatória, indicando quão longe em geral os seus valores se encontram da média. Se $\bar{X}$ é o valor esperado (média) da variável aleatória X_i , então a variância de um conjunto de N amostras aleatórias é dada pela Equação 3:

$$\text{var}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

Logo, a variância é a média do quadrado da distância de cada ponto até a média. E como foi dito anteriormente, o desvio padrão é definido pela Equação 4 que é a raiz quadrada da Equação 3:

$$s = \sqrt{\text{var}(X)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

Será através da medida da dispersão dos dados processados junto com medidas de derivada do sinal de pressão que será decidido se existe ou não uma possibilidade de vazamento. Reforçando que a grande vantagem do desvio padrão é a sua simplicidade de cálculo que pode ser facilmente inserida na programação do DSP.

5. Metodologia

Os medidores de pressão têm uma velocidade de resposta de 50ms, o que equivale a ter 20 amostras por segundo. Na simulação laboratorial, os dados de pressão coletados no ponto PT-1 do duto U-E são enviados para o DSP através do computador. Estes dados de pressão são processados por janela deslizante de 10 amostras com superposição da metade da janela.

Na figura 4 mostramos um intervalo de dados adquiridos em um período de 24h juntamente com simulações de vazamentos. Os círculos em vermelho na figura 4 indicam o período onde foram realizadas as simulações de vazamento. O diâmetro de abertura das válvulas para a simulação foi, nesta ordem, 1", ¾", ½", 1", ½", ½" e ¼".

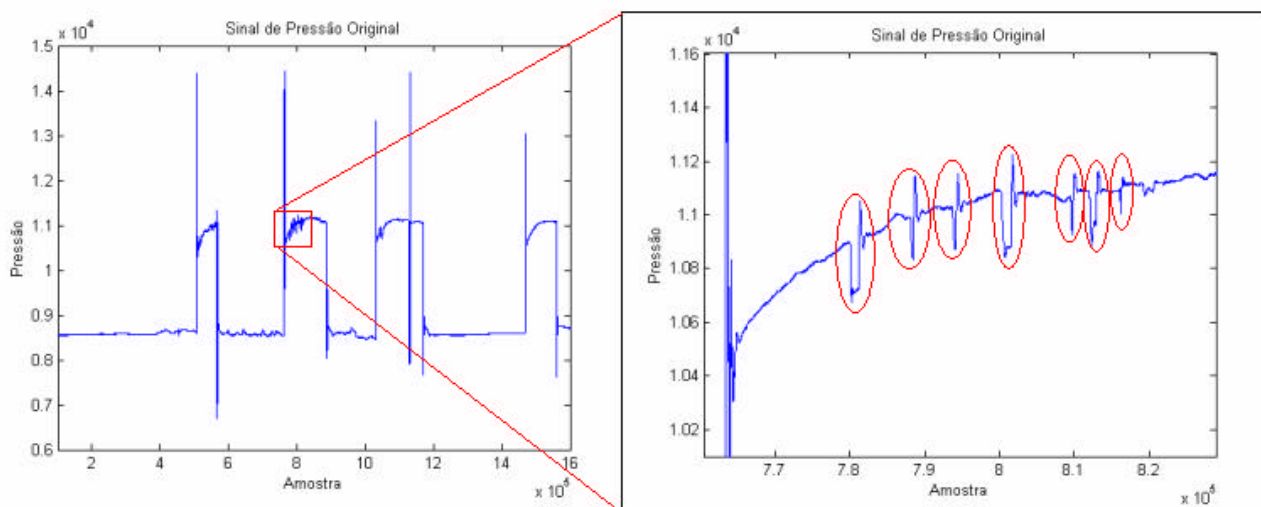


Figura 4. Sinal de pressão no ponto PT-1 com ampliação na resolução dos dados onde ocorreram as simulações de vazamento

O processamento do filtro por mediana é aplicado na janela de dados a medida que ela desliza e a cada 25 deslizamentos aplica-se o desvio padrão para este conjunto de dados. Isto implica a uma pré-deteção de vazamento a cada, aproximadamente, 8 segundos. Fazendo-se uma análise prévia sobre a resposta do desvio padrão diante dos vazamentos, definiu-se uma faixa de valores tal que se o resultado do desvio padrão se localizar dentro desta faixa, o DSP alerta como vazamento. Observando novamente a figura 4, notamos que a queda de pressão é muitas vezes uma assinatura de vazamento, então com intuito de amenizar o número de alarmes falsos de vazamento devido à dispersão do sinal com ascendência, adicionou-se no processamento de sinais um cálculo numérico de derivada. A derivada tem por objetivo decidir se o sinal de pressão está aumentando ou diminuindo com o tempo. Esta decisão a partir da derivada é feita no mesmo conjunto de valores utilizados no desvio-padrão. Logo, se a maioria das derivadas nestes dados forem positivas o resultado do desvio padrão mesmo indicando vazamento é desconsiderado.

Devido a limitação da memória do DSP, os dados são armazenados em um buffer do tipo FIFO (*First In First Out*). Quando ocorre o possível vazamento, os dados deste buffer são enviados serialmente do DSP para o CLP (Controlador Lógico Programável), que por sua vez envia via rádio os dados para o supervisor. O supervisor, com maior capacidade de processamento, pode através de técnicas mais sofisticadas determinar com mais exatidão se ocorreu ou não um vazamento indicado previamente pelo DSP. A figura 5 mostra, basicamente, através de um fluxograma a metodologia descrita anteriormente.

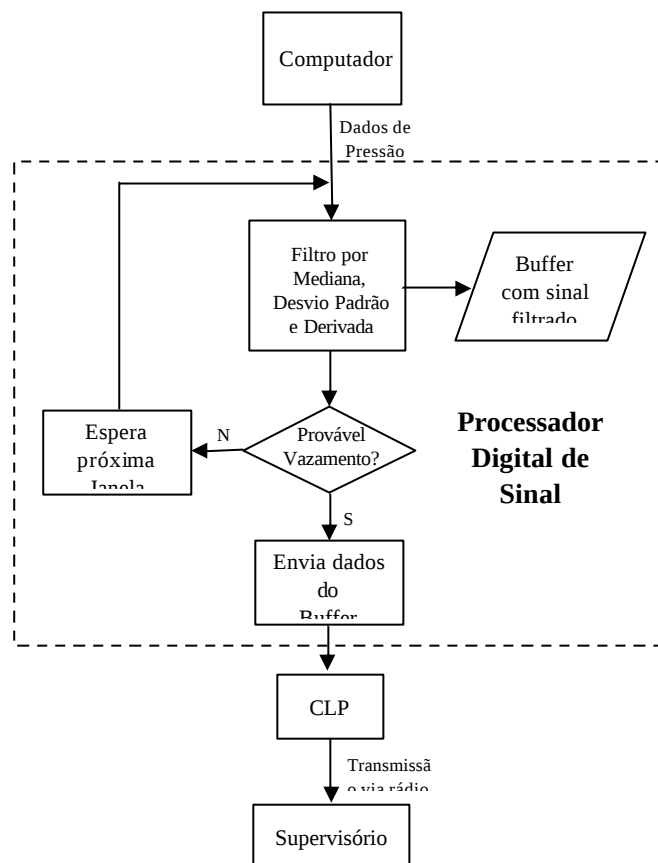


Figura 5. Fluxograma da metodologia

6. Resultados

Para fins de exposição dos resultados do filtro por mediana, é utilizada uma quantidade de amostras de pressão. Logo, na figura 6 podemos observar a retirada dos “spikes” após o filtro ser aplicado no sinal original.

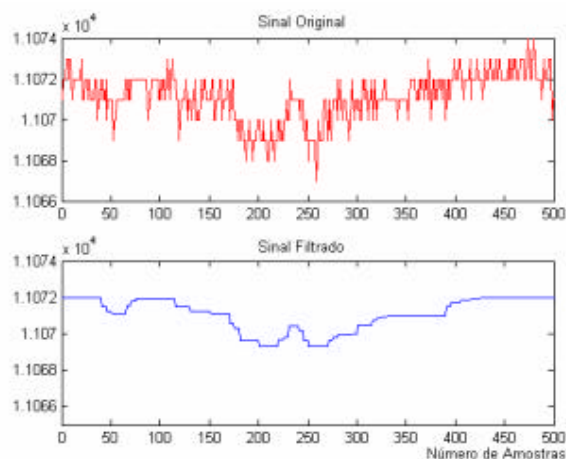


Figura 6. Amostra do sinal original após a aplicação do filtro por mediana

Esta filtragem tem como principal objetivo de diminuir a influência dos “spikes” no cálculo do desvio padrão.

A figura 7 mostra o sinal filtrado com as marcações dos possíveis vazamentos indicados pelo DSP. E na figura 8 temos o gráfico do desvio padrão. Em ambas as figuras destacamos os resultados em cima da simulação de vazamento.

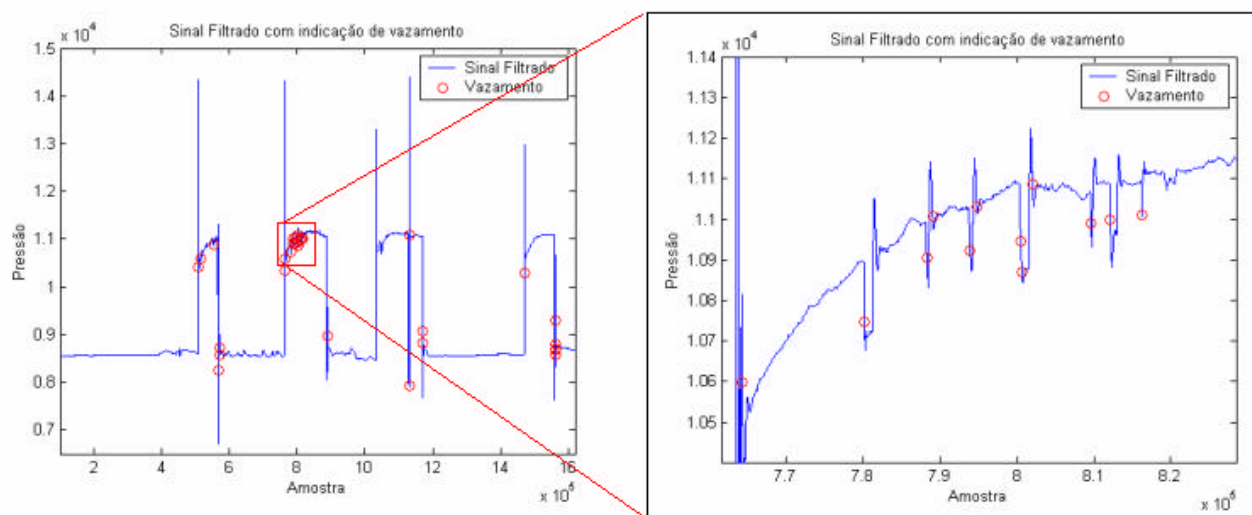


Figura 7. Sinal filtrado com indicação dos vazamentos pré-detectados pelo DSP

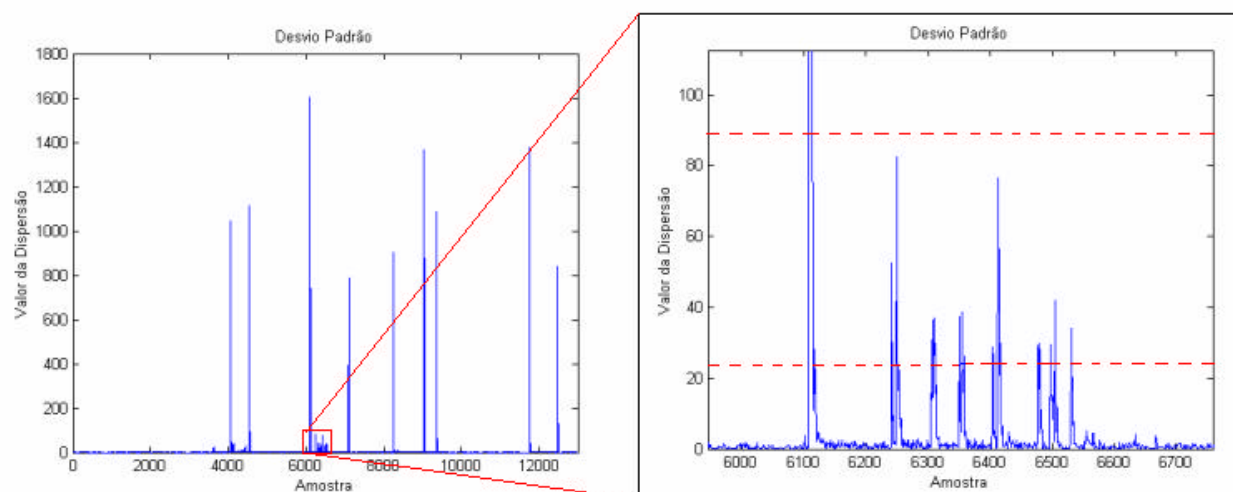


Figura 8. Desvio Padrão e com zoom nos locais de vazamento correspondente a figura 7

Na tabela 3, podemos observar os resultados das pré-deteções que obtivemos para este sinal de pressão, que representa um intervalo de 24h de dados. Também, na tabela 3 e na figura 7 observamos que muitas das indicações de vazamentos que corresponderam a alarmes falsos são provenientes dos transitórios do ligamento e desligamento das bombas. Isto se deve ao fato que o final dos transitórios das bombas apresentam uma característica semelhante à de vazamentos, ou seja, o cálculo do desvio padrão está entre as faixas de valores que alertam o sinal como uma possibilidade de vazamento. Se considerarmos que não existe vazamento durante os transitórios das bombas e descartamos os alarmes provenientes do DSP, obtemos um resultado satisfatório de exatidão da pré-deteção, como pode ser visto na tabela 4 onde mostramos como fica a relação de acertos dos vazamentos com os alarmes falsos com e sem o transitório da bomba.

Tabela 3. Resultado das pré-deteções

Total de Pré-Deteções	Total de Pré-Deteções nos vazamentos simulados	Total de Pré-Deteções nos transitórios das bombas
29	11	16

Tabela 4. Proporção de acerto e alarmes falsos de vazamento

Detectando com transitório da bomba	
Acerto de Vazamento	37,9%
Alarmes Falsos	62,1%
Detectando sem o transitório da bomba	
Acerto de Vazamento	93,1%
Alarmes Falsos	6,9%

7. Conclusões e Perspectiva para o futuro

A ligação e o desligamento de bombas ainda apresentam-se como os maiores fatores de alarmes falsos, isso quer dizer se considerarmos que não existe vazamento neste período de transitório da bomba, as chances de acerto do DSP como pré-deteção são bem maiores. Mesmo com a influência das bombas o sistema de pré-deteção se comportou

de maneira aceitável, visto que o número de amostras chega em torno de 1.750.000 amostras por dia. Com isto, o supervisor tem menos sobrecarga de informações.

Como complementação deste trabalho, estes sistemas embarcados baseados em DSP's podem ser utilizados em conjunto com sensores acústicos, visto que estes sensores apresentam maior dinâmica e velocidade de resposta. Isto poderá, através de técnicas mais sofisticadas, tornar possível a detecção local, sem a presença do processamento do supervisor, além de sua localização (Baptista e Moura 2002, Zhang et. al., 2005 e Alonso 2005).

8. Referências

- SMITH S. W., "The Scientist and Engineering Guide to Digital Signal Processing (www.dspguide.com)", 1998.
- GONZALES R., WOODS R., "Processamento de Imagens Digitais", Ed. Edgard Blücher, 1992.
- SIQUEIRA, R., MAITELLI A., SALAZAR O., DUARTE A., *Implementação de técnicas de detecção de vazamentos em dutos com regime de escoamento multifásico crítico*, Rio Pipeline Conference & Exposition, 2005.
- BAPTISTA R., MOURA C., "Leak Detection Systems for Multiphase Flow – Moving Forward", Internacional Pipeline Conference, 2002.
- ZHANG, S. Q., JIN, S. J., YANG, F. L., WANG, X. Q., BAI, Q. Y., "Crucial technologies of oil-transporting pipe leak detection and location based on wavelet and chaos", Measurement Science and Technology, 2005.
- ALONSO, J., "Tecnologia Acústica empregada na Detecção e Localização de Vazamento em dutos de líquidos, gases e multifásicos", Aselco, 2005.
- GAO, Y., BRENNAN, M. J., JOSEPH, P. F., MUGGLETON, J. M., HUNAIDI, O., "A model of the correlation function of leak noise in buried plastic pipes", Journal of Sound and Vibration, 2003.
- JEMIELNIAK, K., "Some aspects of acoustic emission signal pre-processing", Journal of Materials Processing Technology, 2001.