

LISELENE DE ABREU BORGES

**EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS PARA  
DETECÇÃO ACÚSTICA DE VAZAMENTO DE ÁGUA.**

SÃO PAULO  
FEVEREIRO/2011

LISELENE DE ABREU BORGES

**EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS PARA  
DETECÇÃO ACÚSTICA DE VAZAMENTO DE ÁGUA.**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Sistemas Eletrô-  
nicos.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Arjona Ramírez

SÃO PAULO  
FEVEREIRO/2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 31 de maio de 2011.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

## FICHA CATALOGRÁFICA

Borges, Liselene de Abreu

Extração de parâmetros característicos para detecção acústica de vazamento de água / L.A Borges. – ed. rev. – São Paulo, 2011.

60 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1. Processamento Digital de Sinais 2. Vazamentos de Água  
3. Predição Linear Perceptual 4. Máquina de Vetores de Suporte  
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II.t.

# Agradecimentos

Aos meus pais, Liamar e Jair e as minhas irmãs, Sílvia e Lisiane.

Ao meu orientador prof. Dr. Miguel e aos meus colegas de trabalho do projeto DVAP.

Aos meus amigos Bruna, Guilherme, Letícia, Claudete e José Eduardo.

Ao Instituto Nokia de Tecnologia e ao Venturus Centro de Inovação Tecnológica que incentivaram através de seus programas de bolsa de estudos.

E a todas aquelas pessoas que me auxiliaram, de forma direta ou indireta, no desenvolvimento desta tese.

Dedico à minha amiga  
Silvana Dacol (in memoriam).

# Resumo

Este trabalho apresenta a pesquisa sobre a extração de parâmetros característicos de sinais acústicos para fins de detecção automática de vazamento de água em tubulações enterradas. Os sinais acústicos foram adquiridos com o auxílio de um geofone eletrônico e também catalogados por técnicos especialistas em detecção acústica. De todos os sinais foram extraídos os modelos de predição linear perceptual de várias ordens, determinando-se como melhor a ordem 2. A partir de um conjunto de modelos de referência de sinais de vazamento, a distância média de Itakura dos outros modelos em relação a estas referências foram calculadas. Em conjunto com estas distâncias, quatro características espectrais são também extraídas do sinal a fim de compor o vetor de parâmetros característicos do sinal. Parte destes vetores de parâmetros característicos são utilizados para treinar o classificador de máquina de vetores de suporte. O restante dos dados são, então, submetidos a este classificador que obteve a taxa de acerto de classificação em torno de 93%. Experimentos anteriores, utilizando modelos de predição linear, de ordem 10, obtiveram uma taxa de acerto em torno de 82%. Isso demonstra que estes novos parâmetros característicos propostos alcançam os objetivos deste trabalho, que são algoritmos com melhor taxa de acerto na detecção de vazamentos.

**Palavras-chave:** Vazamento de água, Processamento de sinais, Predição linear, Máquina de vetores de suporte.

# Abstract

This work presents a research about feature extraction of acoustic signals for detection of water leak in buried pipes. Acoustic signals were acquired by means of an electronic geophone and also labeled by technicians specialized in acoustic water leak detection. For every signals, its linear predictive model was estimated for a range of prediction orders, concluding for the best order 2. Out of this group of models, some leaky ones are used as reference for calculating the Itakura mean distance with respect to the other models. Completing this measure, four spectral features are extracted to compose the signal feature vector. Some of these vectors were used to train a support vector machine to be used as a classifier. The remaining ones were used to evaluate the classification. The resulting accuracy rate achieved is around 93%. Earlier experiments, which use linear prediction of order 10 had an accuracy rate around 82%. This shows that this novel proposal of feature vector achieves the main goal of this research, which is the increase in the leak detection accuracy rate.

**Keywords:** Water Leak, Signal processing, Linear prediction, Support vector machine.

# Sumário

<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos e Contribuições . . . . .	1
1.3 Organização do Trabalho . . . . .	2
<b>2 Detecção acústica de vazamento de água</b>	<b>3</b>
2.1 Os tipos de vazamento . . . . .	3
2.2 O procedimento de detecção do vazamento . . . . .	4
2.3 O sinal sonoro de vazamento . . . . .	7
<b>3 Sistema de detecção dos padrões acústicos de vazamento</b>	<b>13</b>
3.1 Resumo histórico . . . . .	13
3.2 Reconhecimento de padrão acústico de vazamento . . . . .	14
3.2.1 Máquina de vetores de suporte . . . . .	17
3.3 Métodos de avaliação dos parâmetros característicos . . . . .	19
3.3.1 Avaliação individual dos parâmetros . . . . .	20
3.3.2 Avaliação dos parâmetros em conjunto . . . . .	21



<b>4</b>	<b>Extração de parâmetros característicos</b>	<b>23</b>
4.1	Introdução . . . . .	23
4.2	Parâmetros característicos individuais . . . . .	24
4.2.1	Energia de Curto Prazo . . . . .	24
4.2.2	Taxa de cruzamento por zero . . . . .	25
4.2.3	Centróide espectral . . . . .	25
4.2.4	Largura do espectro . . . . .	25
4.2.5	Fluxo espectral . . . . .	27
4.2.6	Ponto de <i>Roll-off</i> . . . . .	27
4.2.7	Taxa de espalhamento . . . . .	27
4.3	Parâmetros característicos estatísticos . . . . .	28
4.3.1	Modelo de predição linear . . . . .	28
4.3.2	Modelo de predição linear perceptual . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Desenvolvimento da pesquisa</b>	<b>35</b>
5.1	Construção da Base de Dados . . . . .	35
5.1.1	Definição das Bases para Treinamento e Teste . . . . .	36
5.2	Desenvolvimento prático . . . . .	36
5.3	Avaliação dos parâmetros individualmente . . . . .	39
5.4	Avaliação em grupo . . . . .	47
5.4.1	Classificação de acordo com a ordem do modelo de predição linear . . . . .	48
5.4.2	Classificação para grupos de diversas combinações de parâmetros . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Conclusões e Propostas de Trabalhos</b>	<b>56</b>
6.1	Conclusões . . . . .	56
6.2	Propostas de Trabalhos Futuros . . . . .	57
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>58</b>

# Lista de Abreviaturas

ABENDI	Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção
AR	Modelo Auto-regressivo
dB	decibel
DEP	Densidade Espectral de Potência
DFT	do inglês <i>Discrete Fourier Transform</i>
LP	do inglês <i>Linear Prediction</i>
PCM	do inglês <i>Pulse Code Modulation</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
SPL	do inglês <i>Sound Pressure Level</i>
SVM	do inglês <i>Support Vector Machine</i>
TA	Taxa de Acerto Total
TANV	Taxa de Acerto de Não Vazamento
TAV	Taxa de Acerto de Vazamento

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

