

Sistema digital de pesquisa de vazamentos de água: desenvolvimento de plataforma, gravações e análises de sinais

Digital system for water leakage research: platform development, signal recording and analysis

- **Data de entrada:**
12/02/2015
- **Data de aprovação:**
12/06/2015

Allan Saddi Arnesen* | Linilson Rodrigues Padovese | Marcelo Kenji Miki | Marcelo Aparecido dos Santos Carvalho DOI 10.432/dae.2015.003

Resumo

A pesquisa de vazamentos não visíveis por métodos acústicos em sistemas de abastecimento de água é dependente do treinamento, da experiência e da capacidade auditiva dos técnicos. Contudo, os sinais acústicos emitidos pelos vazamentos e transmitidos à superfície dos pavimentos possuem características espectrais que podem ser utilizadas para identificação de vazamentos de água. O desenvolvimento de um sistema baseado no reconhecimento de padrões dos sinais acústicos, que opere de forma independente ou colaborativa ao técnico, pode aumentar a eficiência do diagnóstico, além de reduzir custos com mão de obra e manutenção. Este trabalho apresenta uma Plataforma Digital de Pesquisa de Vazamentos (PDPV) desenvolvida para gravar sinais acústicos de vazamentos, visando à criação de um banco de dados de sinais com informações úteis à identificação de vazamentos de água. A potencialidade dessa plataforma é apresentada na forma de estudos de situações com que os técnicos de pesquisa de vazamento se deparam constantemente.

Abstract

The non-visible leakage research by acoustic methods in water supply systems is dependent on the training, experience and hearing ability of technicians. However, the acoustic signals transmitted by the leak and the surface of pavements have spectral characteristics that can be used to identify water leaks. The development of a system based on recognition of acoustic signals patterns that operate independently or collaboratively to the

Allan Saddi Arnesen

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Linilson Rodrigues Padovese

Engenheiro Mecânico pela Universidade de São Paulo (USP), mestre em Mecânica pelo Institut National Polytechnique de Grenoble - França, mestre em Engenharia Mecânica pela USP, e Doutor em Mecânica pela Université Joseph Fourier - França. Professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP.

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro Civil e Mestre pela USP. Gerente do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Marcelo Aparecido dos Santos Carvalho

Tecnólogo pelo ITEP. Técnico em Sistemas de Saneamento da Divisão de Controle de Perdas Norte - Unidade de Negócios Norte (MNEP) da Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Endereço para correspondência:

Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura - piso superior - Pinheiros - São Paulo - SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: aarnesen@sabesp.com.br.

technician, can increase the efficiency of diagnosis and reduce costs with labor and maintenance. This paper presents a Digital Platform for Leaks Research (DPLR) developed to record acoustic signals leaks, seeking to create a signal database with information relevant for identifying water leaks. The potential of this platform is presented in the form of situations studies that the leak research technicians constantly face.

INTRODUÇÃO

A busca pela minimização das perdas reais de água contempla quatro componentes principais de gestão: gerenciamento da infraestrutura, gerenciamento de pressões, controle ativo de vazamentos e agilidade e qualidade dos reparos.

A atividade de pesquisa de vazamentos não visíveis em sistemas de abastecimento de água possui caráter ativo, em contraposição ao caráter passivo, que se limita a reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. A pesquisa de vazamentos não visíveis se fundamenta em princípios acústicos, por meio de instrumentos, utilizados em ordem crescente de complexidade operacional, como hastes de escuta, geofones eletrônicos, correlacionadores e registradores de ruídos.

Toda essa atividade de pesquisa de vazamentos está embasada num sistema de treinamento e certificação de profissionais, de forma a regulamentar, valorizar e padronizar seu exercício. No Brasil, era inicialmente guiada pelo procedimento PR-051 – Estanqueidade – Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas, da Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI). Atualmente, há uma norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece os requisitos mínimos para execução das pesquisas de vazamentos de água, a NBR 15183 – Ensaios não destrutivos – estanqueidade para saneamento básico – procedimento para tubulações pressurizadas (ABNT, 2010).

Nas empresas operadoras de sistemas de saneamento básico, essa atividade é exercida por equipes próprias e, principalmente, por empresas

terceirizadas que se especializaram na prestação desse tipo de serviço. Normalmente, o serviço de consertos e reparos de vazamentos apontados pela pesquisa é realizado por um prestador de serviço distinto, cuja especialidade é voltada a obras. Devido a esse caráter de terceirização, imediatamente decorrem dificuldades de fiscalização do serviço, bem como critérios de remuneração justos que englobem tanto os elementos quantitativos quanto a qualidade referente à assertividade da detecção do vazamento. Atualmente, o apontamento de um possível ponto de vazamento de água fica sujeito única e exclusivamente à avaliação desse tipo de profissional, que, a partir dos conhecimentos obtidos em diferentes condições de campo, identifica ou não esse tipo de situação.

No âmbito do acordo entre a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), foi proposto na 1ª Chamada de Propostas o Projeto de Pesquisa nº 10/50773-8, “Sistema Especialista para Detecção e Diagnóstico de Vazamentos em Redes Urbanas de Distribuição de Água”, justamente com o objetivo de aumentar a assertividade da detecção de vazamentos. A ideia original desse projeto consistia no desenvolvimento de três produtos: 1) um sistema de gravação digital dos sinais de vazamento atualmente escutados pelos técnicos pela utilização do geofone; 2) um banco de dados estruturado para armazenar e gerenciar esses sinais; e 3) um sistema especialista para detecção de vazamentos baseado em métodos de processamento de sinais acústicos, reconhecimento de padrões estatísticos e sistemas de inferência. No entanto, logo no início do projeto de pesquisa, constatou-se a fal-

ta de um banco de sinais acústicos de vazamento de água. Assim, o foco foi direcionado principalmente ao desenvolvimento de uma plataforma que fosse capaz de realizar as gravações de vazamento e agregar informações úteis à companhia de saneamento, pois naquele momento não havia equipamento disponível no mercado com esse intuito. Por esse motivo, o trabalho conjunto entre a universidade e a companhia de saneamento foi fundamental para o desenvolvimento de uma plataforma que atendesse a esses requisitos.

Uma vez desenvolvido um protótipo da plataforma, foram iniciadas gravações de sons de vazamento por uma equipe de pesquisa de vazamentos da companhia e as primeiras análises das características espectrais dos sinais começaram a ser realizadas. Este artigo apresenta a plataforma desenvolvida para a gravação de sinais de vazamento e sua aplicação em campo, por meio de estudos de caso dos trabalhos da equipe de pesquisa de vazamentos.

OBJETIVO

Introduzir e avaliar o conhecimento referente ao reconhecimento de padrões de sinais acústicos decorrentes de vazamento em sistema de abastecimento de água, por meio de processamento e análise digital.

METODOLOGIA

Além de cumprir a função principal de gravar sons de vazamento para a criação de um banco de dados de sinais, a Plataforma Digital de Pesquisa de Vazamentos (PDPV) foi desenvolvida de forma a atender a outras demandas da companhia de saneamento.

Como outras funcionalidades operacionais interessantes de incorporar à PDPV, discutidas e identificadas com a área operacional, pode-se citar o registro das informações referentes a cada ponto de gravação de sinais de vazamento, como data, hora e, principalmente, as coordenadas geográficas. Esse tipo de informação pode ser perfeitamente agregado à PDPV a partir do momento

em que se parte para uma digitalização de sinais acústicos, sinalizando uma oportunidade de agregar essas outras funcionalidades.

Ao incorporar outras funcionalidades à PDPV, além da função de audição com filtros de sons, abre-se um campo de aplicações operacionais, entre as quais, podemos citar:

- fiscalização e quantificação dos serviços de pesquisa de vazamentos (verificação em escritório, *a posteriori*, dos sons gravados e confirmação ou não de ocorrência de vazamento) e de reparo (verificação após o reparo se o som do vazamento foi realmente eliminado);
- verificação do grau de assertividade de cada pesquisador de vazamento e, conseqüentemente, possibilidade de um treinamento específico.

Outro requisito da companhia era referente ao preço que o equipamento terá quando chegar ao mercado. A meta era desenvolver uma plataforma simples, que não superasse o preço dos principais geofones utilizados pelas equipes de pesquisa de vazamentos. A PDPV desenvolvida para atender às necessidades expostas é basicamente constituída por um sistema de condicionamento de sinal e uma unidade computacional portátil, além do sensor do tipo geofone e do fone de ouvido (Figura 1).



Figura 1 – PDPV constituída por sistema de condicionamento de sinal (A) e unidade computacional portátil (B), além de sensor do tipo geofone (C) e fone de ouvido (D).

O projeto não investiu no desenvolvimento de um sensor do tipo geofone, sendo empregado um modelo disponível no mercado (marca Fuji Tecom, modelo HG10), que é amplamente utilizado por diversas equipes de pesquisa de vazamentos. Esse sensor possui uma sensibilidade de 0,7 V/g a 400 Hz e uma amplificação de 59 dB (± 3 dB).

O sistema de condicionamento de sinal contém um filtro de quarta ordem passa-banda de 100 Hz a 2,5 kHz e um amplificador de até 60 dB. O *hardware* da PDPV é composto por uma caixa metálica que contém esse sistema de condicionamento e por baterias. A caixa metálica é compacta e portátil, características importantes para o trabalho de campo, além de possuir um dispositivo de lâmpadas de LED para verificação do nível de baterias do equipamento (Figura 2).



Figura 2 – Sistema de condicionamento de sinal com dispositivo de lâmpadas de LED para verificação do nível de bateria da unidade.

A unidade computacional portátil recebe os sinais do sistema de condicionamento, digitaliza-os e, por meio de um aplicativo, realiza o armazenamento dos sons gravados. Adotou-se como unidade computacional portátil um *smartphone* de mercado, pois este já possui diversas funcionalidades importantes e desejáveis para a pesquisa de vazamentos (como GPS, por exemplo).

Foi desenvolvido um aplicativo para o *smartphone* mencionado, que tem a função de gerenciar a aquisição, a audição, a gravação e o armazenamento dos sinais. Esse aplicativo possui uma série de telas e funcionalidades que permitem ouvir o sinal em tempo real, gravá-lo e escutar os sons gravados. É possível escutar os sons gravados aplicando filtros passa-alta e passa-baixo, para uma audição em bandas específicas. Ainda, possui duas formas de gravação: modo “Gravação sequencial”, em que, uma vez ativado, o *smartphone* entra em *stand-by* e aguarda que certo nível de sinal seja atingido para iniciar a gravação, sendo gravados sinais sequencialmente até que o usuário saia do modo; e o modo “Adicionar novo”, em que é gravado um sinal de forma isolada, a comando do usuário. Os sinais gravados possuem informações de localização geográfica (coordenadas geográficas – sistema *Lat-Long*), data e hora registradas no nome dos arquivos (formato *.wav*).

O aplicativo permite que o técnico preencha informações relativas à ordem de serviço que está sendo realizada, tais como: número, nome do técnico, data de emissão, endereço, material, diâmetro e pressão na rede de abastecimento de água.

ESTUDOS DE CASO

Para a avaliação da ferramenta desenvolvida para gravação dos sinais, foram estudados dois casos típicos com os quais os técnicos de pesquisa de vazamentos de água se deparam diariamente: sons diferentes do mesmo vazamento em função do tipo de pavimento e variação das características do som do vazamento em função da sua distância.

ESTUDOS DE CASO

Os sinais foram gravados em dois vazamentos ocorridos no mês de outubro de 2014, na Zona Norte do município de São Paulo, os quais foram identificados previamente por meio do trabalho

da unidade de negócio da companhia responsável pelos serviços de água e esgoto no local. Em ambos os estudos de caso, foram fixados os seguintes critérios: o tempo de gravação de cada som de dez segundos e os sons registrados em uma faixa espectral ampla (de 100 Hz a 2,5 kHz).

Após a transferência dos sons gravados para um computador, os espectros sonoros dos sinais gravados foram analisados, *off-line*, utilizando o *software* gratuito Audacity, versão 2.0.5. O espectro sonoro é um gráfico de intensidade sonora (eixo Y), que pode ser representada em escala logarítmica em decibéis (dB), em função da frequência (em Hertz, Hz – eixo X).



Figura 3 – Fotografia do cavalete em que estava o vazamento do primeiro estudo de caso, em que se podem observar dois pavimentos distintos (A – cimento, com pintura amarela, e B – cerâmica, onde está o sensor).

Estudo de caso 1: diferentes pavimentos

O primeiro estudo de caso consiste em um vazamento de pé de cavalete em que era perceptível a diferença do som captado pelo geofone entre dois pisos distintos (cimento e cerâmica), embora muito próximos (Figura 3). Foram gravados sons de vazamento nos dois pontos indicados na Figura 3.

Estudo de caso 2: proximidade do vazamento

O segundo estudo de caso também consiste em uma situação realizada rotineiramente pelos técnicos de pesquisa de vazamentos para identificação do local de vazamento. Trata-se da situação em que o técnico deve indicar o ponto em que deve ser aberto o pavimento da rua para reparo, em função do ruído escutado ao longo de caminhamentos (isto é, caminhar sobre a rede escutando o som) sobre trechos suspeitos de redes ou ramais de água.



Figura 4 – Fotografia do local onde foram realizados os caminhamentos com a PDPV e onde foi marcado com tinta para reparo do vazamento.

Para realização deste estudo de caso, escolheu-se um vazamento em ramal num local em que havia sido identificado vazamento anterior pelo técnico de pesquisa e marcado com tinta para reparo (Figura 4). Foram realizados dois caminhamentos, sendo um sobre a rede de ferro fundido (primeiro caminhamento) e outro sobre o ramal de água de polietileno de alta densidade (PEAD) (segundo caminhamento). Os sentidos estão apresentados na Figura 4.

Ao longo do primeiro caminhamento (sobre a rede), foram gravados nove pontos, sendo quatro antes, um sobre o ponto marcado e quatro depois. A distância entre os pontos de gravação foi de aproximadamente um metro. Já no segundo caminhamento, foram registrados cinco sons de vazamento, sendo dois sobre a calçada (de cimento) e três sobre a rua (asfalto), espaçados aproximadamente meio metro entre si.

RESULTADOS

O levantamento de sinais de vazamento em campo com a PDPV coletou, até a publicação deste artigo, 119 sons de 25 pontos suspeitos de vazamento indicados pelas equipes de pesquisa de vazamentos (próprias e terceirizadas). Desses pontos de vazamento, 24 foram confirmados como vazamentos pelo técnico que acompanhou a gravação dos sinais, sendo dez em ramal, um em rede e 13 em pé de cavalete.

Foi extraído o espectro sonoro médio dos sinais em que ocorriam os vazamentos levantados e verificou-se que, independentemente das características do vazamento, as frequências cuja intensidade sonora atingia valores máximos (isto é, picos de intensidade sonora) ocorriam entre 350 e 800 Hz (Figura 5), sendo em 517 Hz verificada a frequência de máxima intensidade sonora.

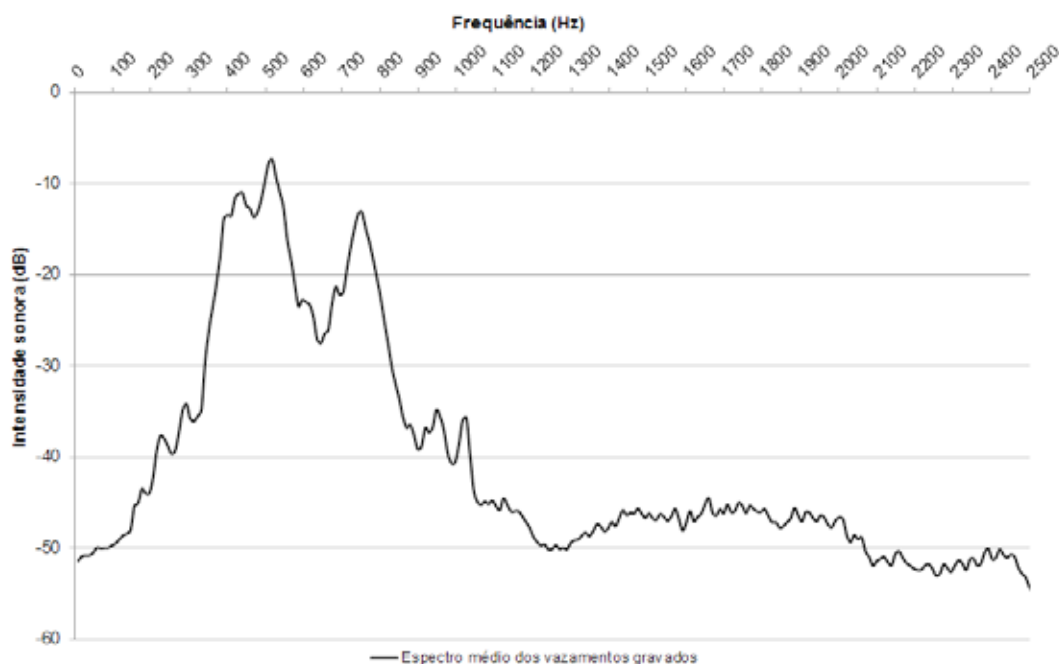


Figura 5 – Espectro sonoro médio dos 23 vazamentos gravados nos levantamentos de campo.

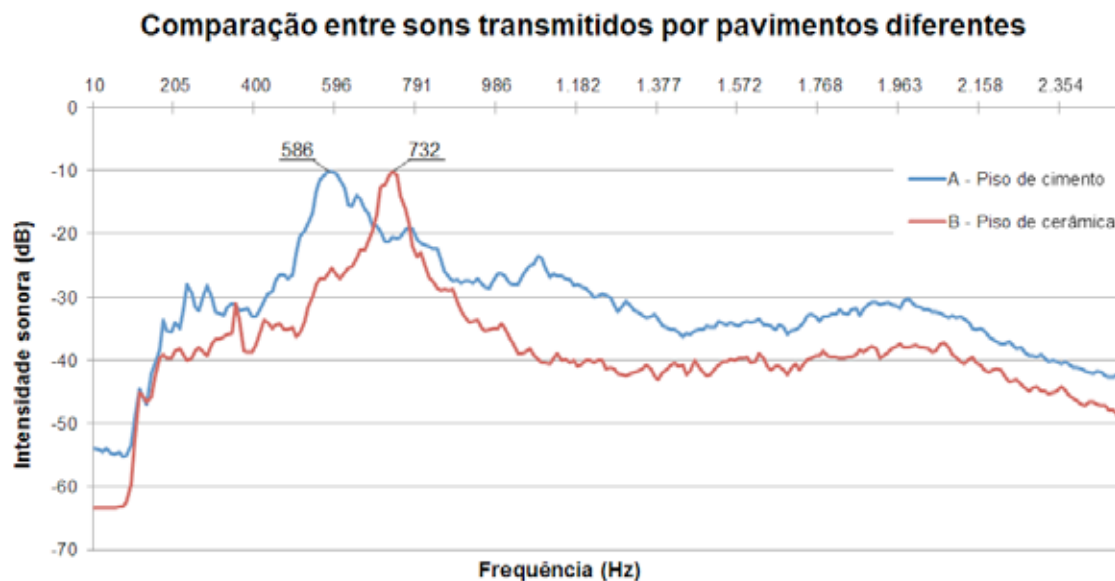


Figura 6 – Espectros sonoros (frequência versus intensidade sonora) dos dois sinais gravados para os diferentes tipos de pavimento (A – piso de cimento; B – piso de cerâmica).

Estudo de caso 1: diferentes pavimentos

Embora a intensidade sonora dos dois tipos de pavimento analisados (cimento e cerâmica) tenha sido muito similar (em torno de -10 dB), observou-se uma diferença significativa entre as bandas espectrais em que ocorreram os picos referentes ao vazamento (Figura 6). Enquanto a frequência com maior intensidade sonora para o piso de cimento foi de 586 Hz, a frequência de pico para o piso de cerâmica foi em torno de 150 Hz maior (732 Hz). Essa diferença está relacionada com as diferentes bandas de filtragem que os diversos tipos do meio de propagação exercem sobre o sinal original, emitido pelo vazamento.

A maioria dos sons de vazamento gravados nos trabalhos de campo com a PDPV apresenta picos de intensidade sonora na faixa de frequência entre 400 e 700 Hz. O fato de os picos de intensi-

dade sonora registrados para os diferentes pavimentos terem ocorrido em frequências diferentes deve-se às suas características de transmissão do som emitido pelo vazamento. Enquanto o piso de cimento filtra os sons a partir de 600 Hz, o piso cerâmico filtra as faixas de frequências menores do que 600 Hz, gerando um pico apenas por volta de 700 Hz (Figura 6).

Este estudo de caso demonstrou que a diferença entre a faixa de frequência de pico de intensidade sonora pode ser significativa entre os tipos de pavimento. A característica dos materiais e as condições de transmissão do som através deles também são aspectos que o técnico leva em consideração na busca por um vazamento.

Embora os picos de intensidade sonora para os dois pavimentos tenham apresentado valores muito próximos, o piso de cimento (linha azul – A –

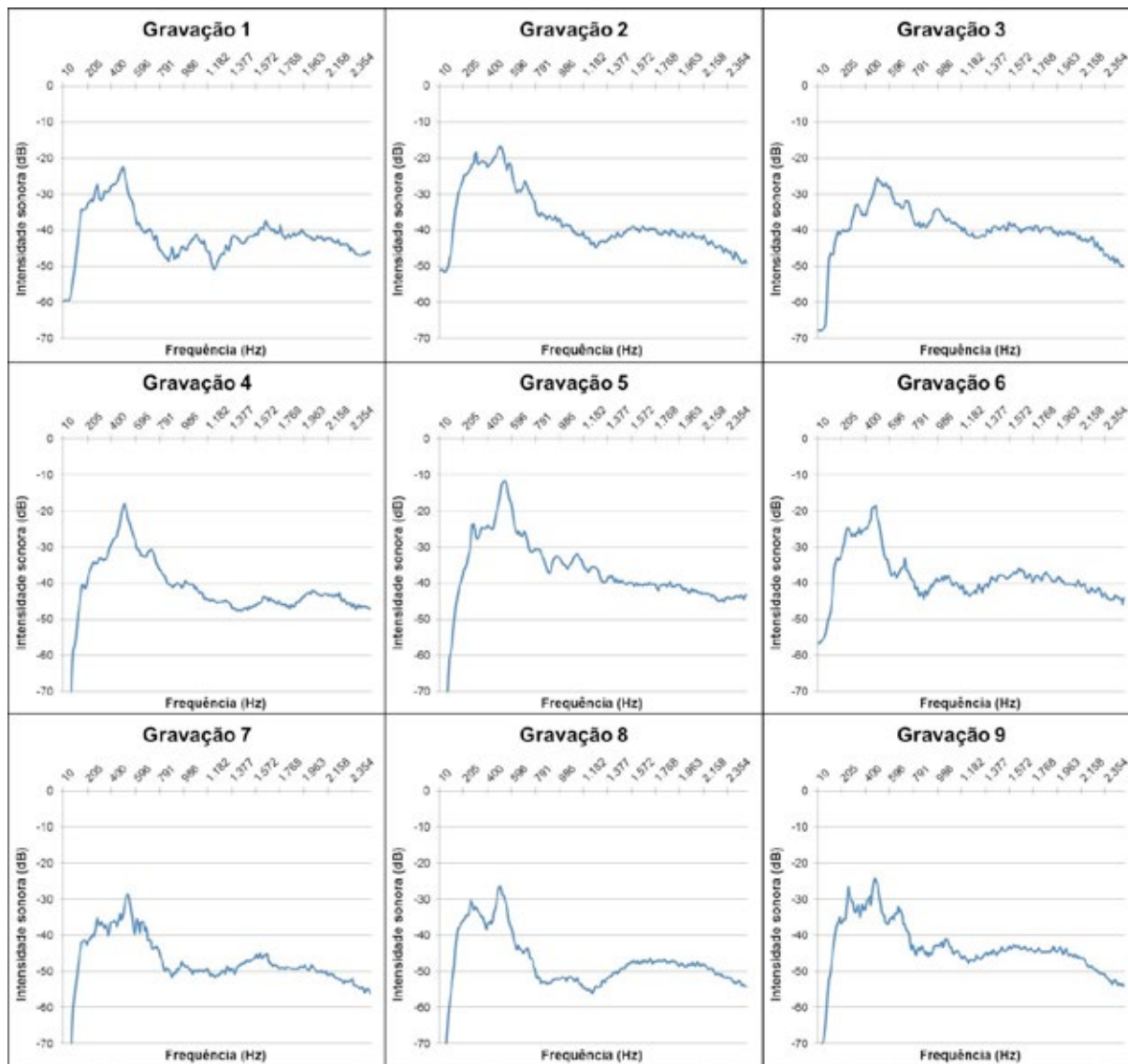


Figura 7 – Espectros sonoros (frequência versus pressão sonora) dos nove sinais gravados ao longo do primeiro caminhamento, sendo o vazamento marcado no ponto da gravação 5.

da Figura 6) apresentou valores maiores de intensidade sonora nas demais faixas espectrais. Esse aspecto demonstra que esse ponto apresenta maior proximidade do local do vazamento, o que de fato pôde ser verificado nas evidências visuais de vazamento em pé de cavalete (ver Figura 3).

Estudo de caso 2: proximidade do vazamento

Os espectros sonoros de todos os sons gravados ao longo do primeiro caminhamento indicaram a presença de um vazamento (pico de intensidade sonora na faixa de frequência de 500 Hz), conforme pode ser verificado na Figura 7. Contudo, a intensidade sonora desses picos variou consideravelmente entre os sinais gravados, sendo

que o maior valor para essa faixa de frequência ocorreu para a gravação 5 (aproximadamente -11 dB em 537 Hz), local da marcação de vazamento. Em pontos mais distantes do vazamento, é notável uma menor diferença entre o valor de pico de intensidade sonora e os valores nas demais faixas de frequência que caracterizam o ruído de fundo do local. Essa característica é clara, por exemplo, nas gravações 3 e 9.

Outra forma de visualização dos dados dos caminhamentos é a 3D, sendo a intensidade sonora representada pela escala de cores, em que é possível verificar os picos de intensidade na faixa de frequência entre 400 e 600 Hz (Figuras 8 e 9).

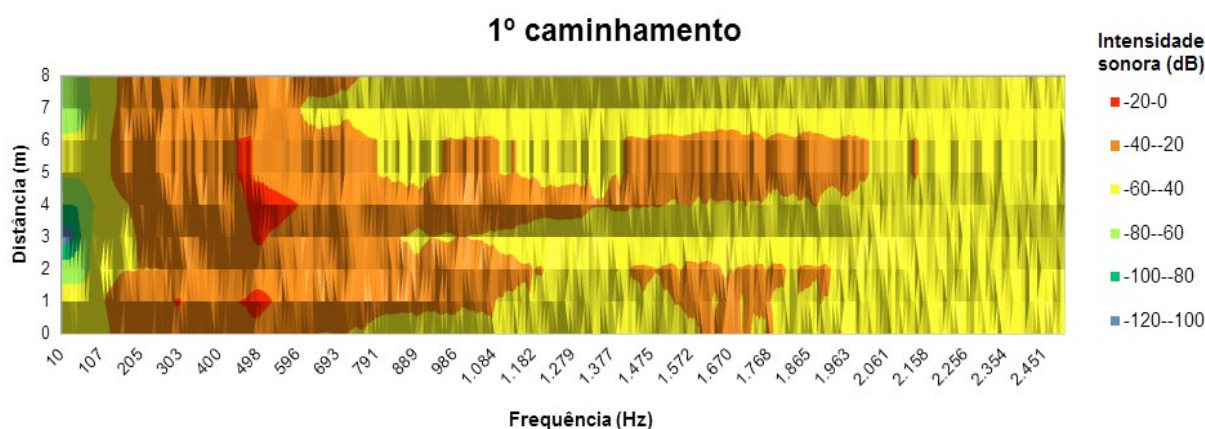


Figura 8 – Gráfico 3D da variação de pressão sonora (em dB) para as faixas de frequência (em Hz) ao longo da distância percorrida no primeiro caminhamento.

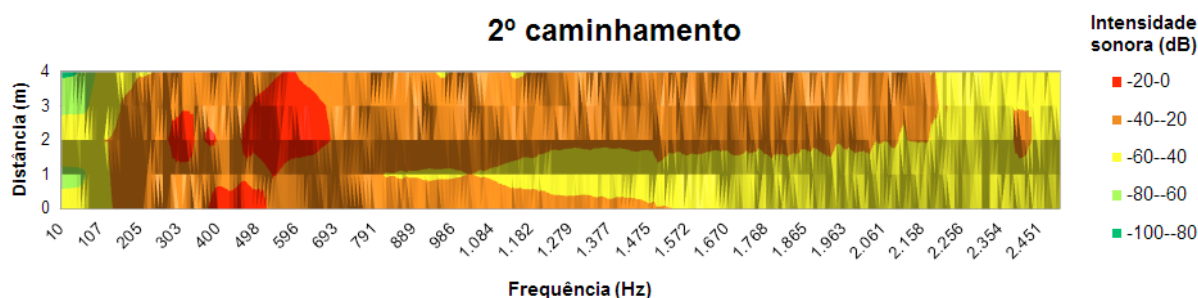


Figura 9 – Gráfico 3D da variação de intensidade sonora (em dB) para as faixas de frequência (em Hz) ao longo da distância percorrida no segundo caminhamento.

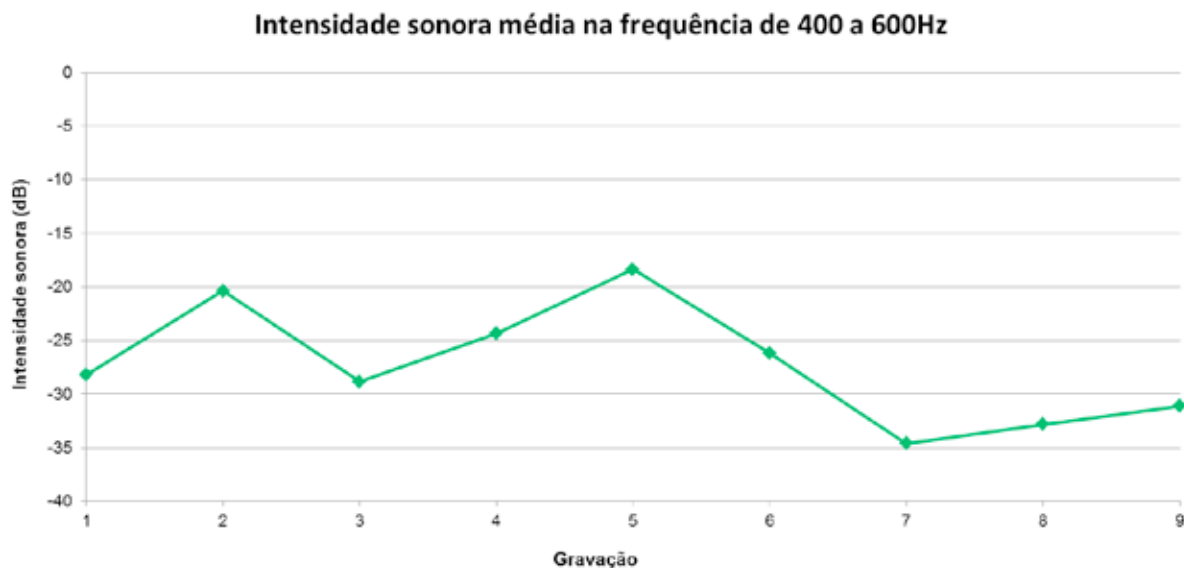


Figura 10 – Médias de intensidade sonora calculadas na faixa de 400 a 600 Hz para os nove pontos de gravação do primeiro caminhamento.

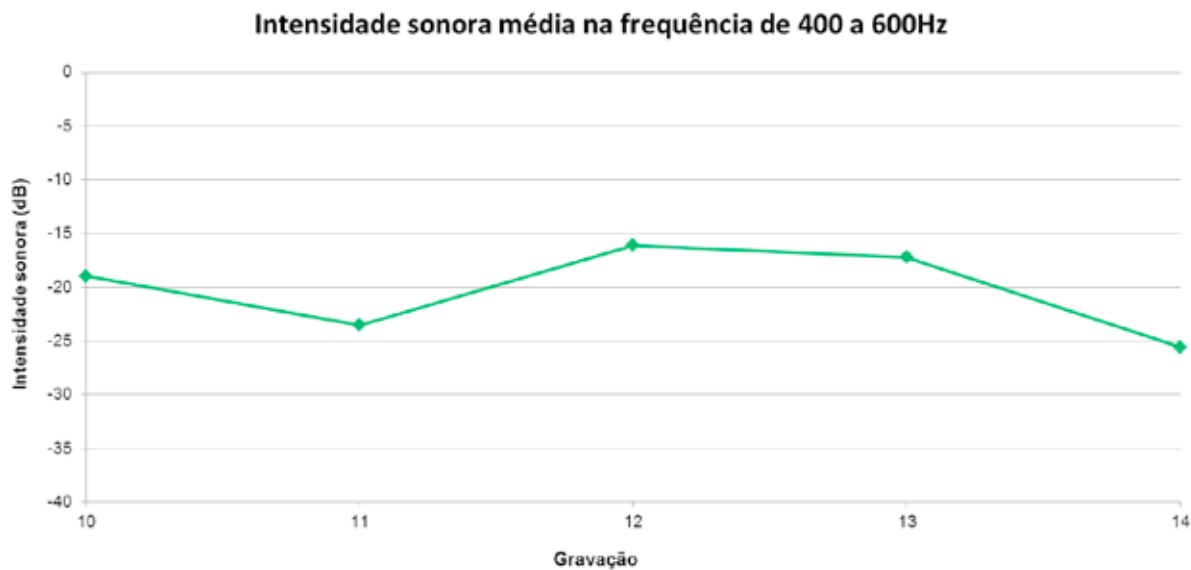


Figura 11 – Médias de intensidade sonora calculadas na faixa de 400 a 600 Hz para os nove pontos de gravação do segundo caminhamento.

Para verificar a diferença de intensidade sonora entre os sons gravados ao longo do caminhamento, foram calculadas as médias na faixa espectral de interesse (400 a 600 Hz) e elas foram plotadas nos gráficos dos dois caminhamentos (Figuras 10 e 11). Nesses gráficos, além de verificar que a intensidade sonora foi maior no ponto de gravação 5, em que foi marcado o vazamento, foi possível observar que o vazamento ocorria no ramal, pois os pontos 12 e 13 tiveram maior intensidade do que o ponto 14 (localizado sobre a rede). Posteriormente, esse fato foi confirmado pela informação registrada de reparo em ramal.

Um fato que chamou atenção no primeiro caminhamento foi a alta intensidade sonora da gravação 2, situada a aproximadamente três metros do vazamento. Isso pode ter ocorrido devido a alguma característica do subsolo, que favoreceu a propagação do som do vazamento a esse ponto. Esse tipo de situação ocorre constantemente durante a pesquisa de vazamentos e pode diminuir a assertividade de identificação dos vazamentos. Por esse motivo, a experiência do técnico é fundamental para evitar a demarcação de pontos errados de vazamento.

Análise crítica da PDPV e possibilidades futuras

A plataforma desenvolvida está sendo utilizada para gravação de sons de vazamento de diferentes proporções e características pelas equipes de pesquisa de vazamentos da companhia. Ao longo deste trabalho, já foi possível identificar algumas facilidades e complicadores de sua utilização, em paralelo aos equipamentos tradicionalmente empregados pelas equipes.

Observou-se nos vazamentos acompanhados que grande parte ocorre em pé de cavalete e ramal, confirmando o padrão levantado pela Sabesp (Sistema de Registro de Falhas). A Sabesp possui, desde 2005, uma solução desenvolvida para minimizar problemas de vazamento nas adaptações

até o hidrômetro, além de outros benefícios (como evitar fraudes), chamada Unidade de Medição de Água (UMA). A adoção da UMA em um número cada vez maior de residências irá reduzir consideravelmente a quantidade de vazamentos em pé de cavalete nas cidades do estado de São Paulo.

O objetivo principal da PDPV, de gravar sinais com qualidade suficiente para que estes sejam posteriormente analisados, está sendo atendido com êxito. Embora a função de filtros passa-baixo e passa-alto ainda esteja limitada aos sons gravados, os sinais estão sendo gravados com elevada qualidade segundo os técnicos de pesquisa de vazamentos. Entretanto, é importante destacar que a qualidade do som gravado está diretamente relacionada ao sensor do tipo geofone utilizado, o qual não foi desenvolvido no âmbito deste projeto.

A criação de um banco de sinais de vazamento de qualidade permite a extração de parâmetros físicos e matemáticos característicos dos sinais de vazamento. Esse campo da ciência vem sendo cada vez mais explorado para que futuros equipamentos de detecção de vazamentos auxiliem ainda mais o técnico na sua identificação, aumentando a assertividade geral desse serviço (BORGES, 2011; MARQUES et al., 2009).

A operação da PDPV é similar à de um equipamento de geofone padrão, porém o processo de gravação de ruídos requer a coleta e inserção de informações complementares (como características cadastrais da infraestrutura de água, por exemplo), fundamentais para possibilitar análises posteriores dos sinais registrados. Esse aspecto implica um maior tempo necessário para o técnico localizar e gravar o vazamento, como também possível perda de produtividade. Essa tarefa pode ser atenuada à medida que essas informações sejam repassadas para a PDPV por conexão com uma central de informações.

A possibilidade de coleta de coordenadas geográficas pelo GPS da unidade computacional portátil permite tornar o trabalho de campo mais rápido, não sendo necessária em muitos casos a inserção das informações de endereço do local pesquisado. Futuramente, a interligação do sistema da unidade computacional portátil com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) da companhia poderá dinamizar ainda mais a pesquisa de vazamentos com a PDPV. Essa integração também é promissora no que se refere à fiscalização dos serviços de pesquisa e reparo de vazamentos realizados por equipes próprias e terceirizadas. As informações registradas na PDPV possibilitariam, por exemplo, ao gestor ter a noção exata da quilometragem percorrida por uma equipe de pesquisa de vazamentos, estimar o índice de assertividade de seus técnicos e verificar pontos de vazamento indicados pela equipe de pesquisa, mas não consertados pela equipe de reparo.

CONCLUSÕES

Este projeto de pesquisa propôs a criação de um sistema especialista de detecção de vazamentos que opere de maneira independente ou colaborativa com o técnico e aumente a eficiência do diagnóstico, diminuindo falsos positivos e falsos negativos. A disseminação da utilização desse sistema possibilitará, conseqüentemente, a redução do custo de mão de obra de inspeção e manutenção, além dos custos com perdas reais.

Os testes realizados com a plataforma desenvolvida demonstraram a potencialidade da ferramenta em identificar os vazamentos, em função do tipo de pavimento e da proximidade do vazamento.

Além da elevada qualidade de captação dos sinais, vinculada à qualidade do sensor utilizado, a coleta e registro de dados digitais complementares (localização, data, hora e cadastro de infraestrutura do sistema de abastecimento de água) ampliam a gama de aplicações da PDPV. A digitalização do sinal, associada a informações complementares, permite ao

técnico o compartilhamento dos sons de vazamento encontrados, oferece ao gestor a possibilidade de fiscalizar os serviços de pesquisa e reparo de vazamentos, bem como possibilita às instituições de treinamento utilizar esses sinais na capacitação de técnicos de pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado dentro do acordo entre Fapesp e Sabesp, por meio do Projeto nº 10/50773-8, “Sistema Especialista para Detecção e Diagnóstico de Vazamentos em Redes Urbanas de Distribuição de Água”.

No desenvolvimento do trabalho, houve uma intensa interação entre os pesquisadores do projeto e a equipe operacional da Sabesp, da qual destacamos e agradecemos aos seguintes colaboradores: André Regys Silva Romão, Cícero Mirabo Rocha, Jairo Tardelli Filho, Jean Mineiro Ribeiro, José Ricardo Bueno Galvão e Valdemir Viana Freitas.

Este projeto gerou um depósito de patente no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com Número de Pedido BR 10 2014 019693 5, em 8 de agosto de 2014.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 15.183 - Ensaio Não Destrutivos – Estanqueidade para saneamento básico – Procedimento para tubulações pressurizadas. 3 ed. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO – ABENDI. PR-051 – Estanqueidade – Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas. 2 rev. 2004.
- BORGES, L. A. “Extração de parâmetros característicos para detecção acústica de vazamento de água”. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos. 60p. 2011.
- MARQUES, C.; FERREIRA, M.J.; ROCHA, J.G. Leak detection in water-distribution plastic pipes by spectral analysis of acoustic leak noise. In Proceedings of 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Porto, Portugal, 3–5 November 2009; pp. 2092-2097.