

SINCRONIZAÇÃO DE SINAIS VIA GPS PARA SISTEMAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS POR CORRELAÇÃO CRUZADA

D.H.S. Obata, danielobata@gmail.com¹

M.J. Brennan, mjbrennan0@btinternet.com¹

F.C.L. de Almeida, fabricio.lobato@yahoo.com.br²

P.C. Ayala, payala@dimmm.com.pe¹

F. Kroll de Lima, famil@gmail.com¹

A.T. Paschoalini, amarildo.tabone@unesp.br¹

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, Ilha Solteira, SP 15385-000, Brasil

² Departamento de Engenharia de Biosistemas, UNESP, Tupã, SP 17602-496, Brasil

Resumo: É estimado que a perda de água por vazamentos em sistemas de distribuição no cenário nacional se encontre em torno de 30% podendo chegar até em 70% em algumas regiões. Tal situação representa sérios prejuízos financeiros, ambientais, sociais e também em riscos estruturais ao pavimento e as construções. A Correlação de sinais, também chamada de correlação cruzada, é uma técnica vibro-acústica adotada na detecção e localização de vazamentos, utilizando sinais coletados na tubulação em pontos específicos, geralmente hidrantes. A interação fluido-estrutura (vazamento-tubo) acaba gerando uma vibração característica que é utilizada para localização e sua detecção (vazamento). Porém correlacionadores, que são equipamentos comerciais que calculam a correlação cruzada, são equipamentos de alto valor financeiro quando comparado a outras ferramentas de detecção e localização de vazamentos e necessitam de boa experiência do operador na interpretação de seus resultados para um uso eficaz. Dessa maneira, tem-se o objetivo de desenvolver um equipamento direcionado ao mercado nacional, com custo reduzido e de fácil operação. Neste projeto a transmissão dos sinais coletados nos arredores do vazamento, não será transmitida de forma analógica, mas através de sinais digitais o que pode representar ganhos de eficiência e auxilia na redução dos custos do projeto. Por outro lado, a digitalização do sinal apresenta um novo desafio na sincronização dos sinais coletados, uma vez em que são inseridos atrasos de tempo desconhecidos durante a coleta, transmissão e recebimento dos mesmos. Este trabalho vem demonstrar a viabilidade da sincronização dos sinais através da referência de tempo provida por módulos GPS, bem como, de um sistema de disparo que permitirá o posterior corte e sincronização dos sinais coletados.

Palavras-chave: sincronização de sinais, gps, correlacionador de sinais, correlação cruzada, detecção de vazamentos.

1. INTRODUÇÃO

A média nacional da perda de água potável antes mesma que esta possa chegar ao consumidor final é de cerca de 30% podendo chegar em até 70% em algumas cidades [1]. Os vazamentos representam impactos financeiros, sociais e representam riscos à integridade de pavimentos e construções [2]. Técnicas como o balanço de carga podem indicar grandes perdas ao longo do circuito de distribuição [3], onde utiliza-se a comparação do volume de água que é distribuído nas tubulações principais e o volume que circula em suas ramificações, bem como, o que é registrado nos pontos finais de consumo. Já as técnicas vibro-acústicas se mostram muito eficientes quando se trata da detecção e localização de vazamentos. Hastes de escuta e geofones podem ser utilizados nesta etapa. Na Fig. 1 é representado o

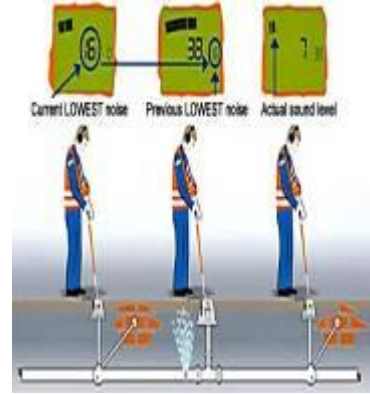
uso (a) da haste de escuta, (b) de um geofone eletrônico sem uma interface gráfica com o usuário e (c) um geofone com interface gráfica com o usuário mais elaborada.



(a)



(b)



(c)

Figura 1: a) Uso de haste de escuta (HWM, 2015). b) uso de geophone eletrônico (Sewerin,2015). c) Uso de geophone eletrônico com interface elaborada (Sewerin,2015).

Uma das técnicas vibro-acústicas mais utilizadas para detecção e localização de vazamentos é a correlação cruzada, sendo muito eficientes em tubos metálicos [4]. Correlacionadores de sinais são equipamentos caros e complexos, onde o sucesso em seu uso está relacionado com a experiência do operador [5]. O uso de um Correlacionador de Sinais bem como sua interface gráfica são apresentados na Fig. 2.



Figura 2: Exemplo de uso de um Correlacionador de Sinais e sua complexa existentes e sua interface gráfica. (Sewerin2015)

Afim de tornar o uso este tipo de equipamento acessível ao cenário nacional, existe a intenção de se desenvolver um equipamento de baixo custo, com suporte nacional e com interface simplificada se adequando a vários níveis de capacitação do operador.

A técnica de detecção por correlação cruzada consiste em realizar a medição do sinal vibro-acústico em dois pontos próximos ao vazamento e através de processamento de sinais estimar o atraso de tempo entre os mesmos. Conhecendo-se a velocidade de propagação do ruído de vazamento ao longo da tubulação é possível então determinar a distância entre o vazamento e os locais de medição [6]. Na Fig. 3 é demonstrado um esquema deste processo.

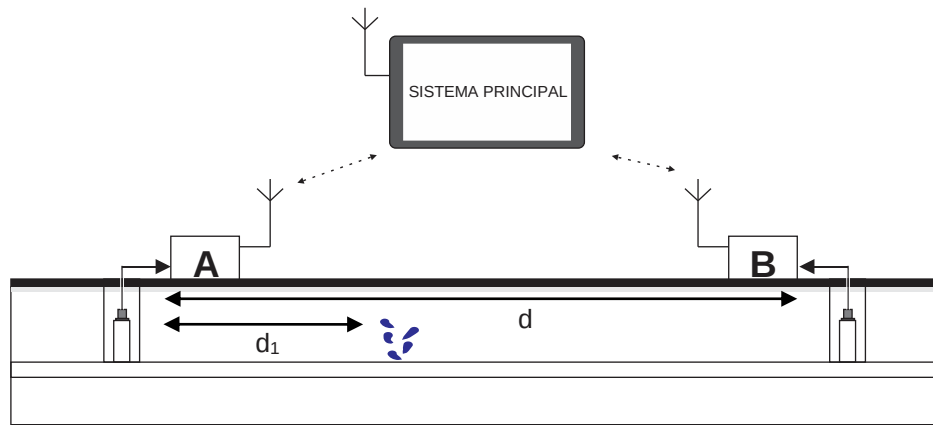


Figura 3: Detecção de Vazamentos por Correlação de Sinais.

A determinação do local do vazamento segue a Eq. (1), que contém a velocidade de propagação da onda (c), a distância (d) entre os pontos monitorados, o atraso de tempo na chegada vibro-acústica do vazamento aos sensores (T_0) e a distância entre o vazamento e o local de amostragem do sinal (d_1).

$$d_1 = \frac{d - cT_0}{2} \quad (1)$$

Podendo os pontos de medição estarem afastados por até algumas dezenas de metros, podendo no ambiente urbano a passagem de cabos causar algum transtorno ao trânsito normal de veículos e de pedestres, a transmissão por cabos é indesejada, podendo até mesmo ser impraticável na impossibilidade de transposição de algum obstáculo. Portanto, é desejável que a transmissão dos sinais dos sensores utilizados no correlacionador seja realizada sem fio (*wireless*).

1.1. Definição do problema a ser abordado

Ao utilizar sensores sem fio pode-se realizar a transmissão de sinais de forma analógica ou digital. Embora seja desejado o menor tamanho físico dos sensores visando a portabilidade e acesso à pontos de maior dificuldade, os sensores com transmissão analógica ainda necessitam de um projeto robusto que consiga garantir a entrega do sinal superando todas as interferências que o ambiente possa apresentar, impactando assim no custo final do projeto. Por outro lado, os sinais digitais ao transformarem a informação em representação binária através de apenas dois níveis de estado bem definidos, os bits 0 e 1, se tornam menos susceptíveis à ruídos e demais interferências. Outra vantagem do sinal digital é que mesmo que pacotes de informação que não tenham conseguido chegar ao seu destino, podem ser transmitidos novamente, garantindo a integridade completa da informação. O sinal digital também pode ser facilmente captado e retransmitido novamente por estações repetidoras nos casos onde se apresentem bloqueios físicos entre transmissor e receptor (falta de visada direta), bem como, quando a potência de transmissão não seja suficiente para atender a distância entre transmissor e receptor final.

Como visto anteriormente, a determinação do tempo de atraso entre os sinais é um dos parâmetros utilizado para a estimativa da posição de vazamentos por correlação cruzada, desta maneira os sinais vibro-acústicos analisados devem estar rigorosamente sincronizados quando processados, ou seja, o atrasado causado pela falta de sincronia entre diferentes canais de aquisição deve ser desprezível para o problema de detecção de vazamentos.

A transmissão digital de sinais sempre envolve atrasos de tempo, em muito dos casos desconhecidos. Os atrasos em sistemas digitais de comunicação são ocasionados devido ao tempo de preenchimento dos pacotes de informação na memória do sistema (*buffers*), devido a partilha de tempo do sistema operacional no processamento das inúmeras tarefas concorrentes em execução no dispositivo, bem como, também podem ser ocasionados quando há a necessidade de retransmissão da informação nos casos onde há erros de comunicação.

Os sistemas digitais, se tratando de hardware, têm seus componentes eletrônicos e suas operações controladas através de sinais oscilatórios de tempo que operam em frequências específicas. Estes sinais são chamados de relógio ou *clock* do sistema. A referência de data e hora depende não só do ajuste por software, que é sujeito aos problemas de atraso anteriormente discutidos, mas também da estabilidade física da frequência do *clock*. O *clock* é produzido através de circuitos osciladores que contém cristais e outros componentes eletrônicos. Entretanto, estes componentes estão sujeitos a sofrer pequenas variações no seu funcionamento, principalmente por conta da variação de temperatura durante seu funcionamento, que pode afetar características físicas dos componentes como frequência natural de oscilação, resistência, capacitância, etc.

Como alternativa na sincronização de sistemas remotos, pode-se utilizar o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS), este além das conhecidas informações de localização, também provê um sinal de

tempo que é sincronizado com os relógios atômicos presentes nos satélites membros do sistema. Até mesmo os módulos mais simples contam com um erro de tempo em torno de alguns nano segundos [8].

Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um método de sincronia de tempo através do sistema de GPS para a transmissão digital de sinais capturados utilizando dispositivos remotos aplicados em sistema de detecção de vazamentos por correlação cruzada de sinais.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os módulos de GPS em geral possuem uma saída de tensão denominada PPS (*pulse per second*), esta é saída que fornece o sinal de referência de tempo. Através deste sinal que possui forma de pulso é possível sincronizar outros sistemas para que operem em sincronia com o tempo proveniente do sistema de satélites. No módulo utilizado ocorre um breve pulso de cerca de 100 ms sempre que há a passagem de segundo ao outro. Vale ressaltar que, é possível realizar a sincronização do *clock* interno de sistema digital com o a referência de tempo do GPS, porém esta tarefa é complexa e exige sistemas que já têm seu hardware desenvolvido para esta função.

Quando existe a possibilidade de aquisição de sinais simultâneos, é possível capturar o sinal PPS e utilizá-lo como referência na sincronização futura dos sinais dos sensores. Porém, como ônus dessa técnica há a necessidade de no mínimo dois canais de aquisição, um canal para aquisição do sinal a ser monitorado e outro canal para a referência PPS. Tal técnica se assemelha ao uso de uma claquete, geralmente utilizada para sincronizar o sinal de áudio e vídeo em produções cinematográficas. Por outro lado, pode-se utilizar o sinal PPS como gatilho (*trigger*) para que o sistema dispare o início de alguma tarefa que promova uma referência no próprio sinal do sensor, esta referência pode então ser utilizada na posterior sincronia dos sinais. Este artifício, possibilita a utilização de diversos tipos de hardware que podem transmitir sinais, mas que possuem apenas um canal de aquisição.

Para a análise, experimento e desenvolvimento do protótipo dos módulos que realizam a aquisição e transmissão dos sinais de vibração do sistema de detecção de vazamentos são utilizados: sensor de vibração do tipo acelerômetro ICP® 333B com o devido circuito de condicionamento desenvolvido pelos autores, módulo GPS Ublox NEO-6, circuito de chaveamento de sinal composto por portas lógicas 7008 e 4051 e placa de computação em miniatura com arquitetura ARM® modelo Orange Pi Zero [9], todos representados no esquemático da Fig. 5 abaixo.

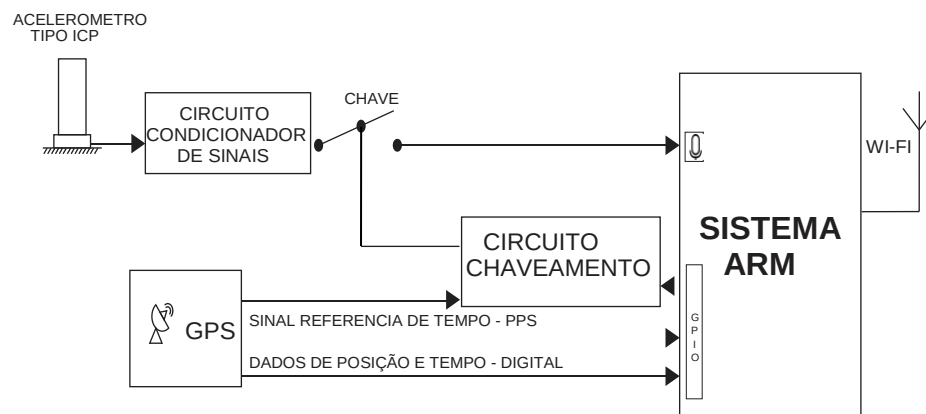


Figura 5: Esquemático do Sistema de Aquisição e Transmissão de Sinais.

A placa de computação Orange Pi Zero possui uma interface de pinos digitais de uso geral (*General Purpose Input/Output - GPIO*) que permite a conexão digital tanto ao módulo GPS como ao circuito de chaveamento para sincronização. A placa também apresenta um conversor analógico digital originalmente destinado para a captação de sinais de áudio, mas que por meio da utilização do circuito condicionador possibilita realizar a aquisição dos dados dos sensores de vibração. Além disso apresenta também uma interface *WiFi* que permite o recebimento de comandos e o envio do sinal coletado.

Espera-se que a unidade central do correlacionador envie o horário de início e fim da coleta de dados. Os sistemas remotos conduzidos por meio das informações de data e hora coletadas digitalmente através do módulo GPS, dão início a aquisição dos sinais 1 segundo antes do horário determinado ao início da coleta e o circuito de chaveamento é acionado, porém se mantém aguardando o sinal de disparo. Não há ainda neste momento sincronia entre os módulos e a aquisição de sinais se inicia com a incerteza de alguns milissegundos, porém também não há a passagem de sinal entre os sensores e circuitos de aquisição pois os circuitos de chaveamentos encontram-se no aguardo do sinal de disparo. Durante a passagem de segundo no horário exato indicado para o início da aquisição, o circuito de chaveamento recebe o sinal de *trigger* PPS proveniente do GPS e dispara, permitindo a passagem de sinal entre os sensores e as placas de aquisição. Desta maneira, os sinais coletados em seus instantes iniciais não contêm amplitude relevante, após o disparo do sistema de chaveamento com todo sistema conectado os sinais adquirem amplitude normal proveniente dos sensores. Ao fim do tempo definido para a coleta, cessa-se a captura dos sinais em ambos os sistemas. A Fig.6 mostra o esboço dos sinais de controle da operação de sincronização desenvolvida. A amplitude do sinal seguirá o comportamento do seguimento denominado: “chave”.

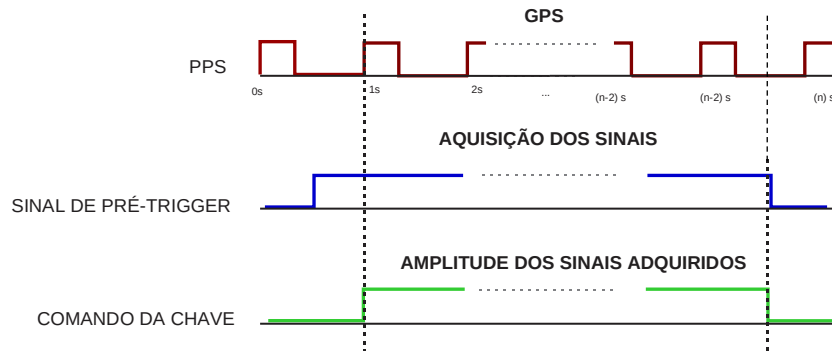


Figura 6: Gráfico temporal dos sinais de controle.

Ao final da transmissão, a unidade central do correlacionador utilizará a mudança de amplitude presente no início do sinal como sinal de claque que permitirá o corte, e realizará a exclusão da área de baixa amplitude e a consequente sincronização dos dois sinais coletados. Vale ressaltar aqui que esta técnica (sincronização por GPS) possibilita que dispositivos de hardware que possuem capacidade de transmissão, mas que realizam a aquisição de apenas um canal, possam ser utilizados no sistema. Assim, não só hardwares desenvolvidos para este propósito específico podem ser utilizados, mas também vários sistemas que capturam áudio e que compartilham essas características, como por exemplo smartphones, tablets, notebooks e até fones *bluetooth* possam ser utilizados, auxiliando em situações diversas e também no desenvolvimento de outros produtos.

Para a confecção do protótipo foram utilizados os módulos de GPS Ublox Neo-6. Um ensaio utilizando estes módulos distantes 30 metros entre si e conectados a um osciloscópio foi realizado. Para o ensaio foram observados 3 períodos de 30 minutos cada um com um intervalo de 24 horas. O esquema de tal experimento é apresentado na Fig. 7 e os resultados do teste são apresentados na próxima seção.

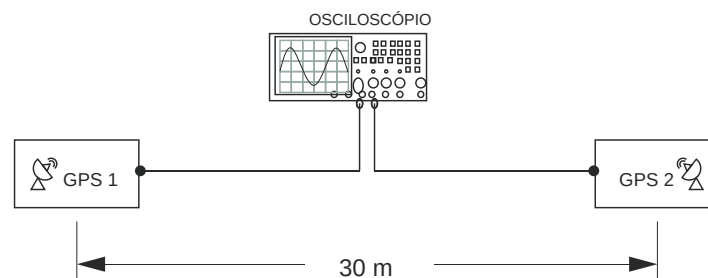


Figura 7: Teste de incerteza de tempo entre módulos GPS

Para o circuito de chaveamento foram utilizados circuitos lógicos CMOS e TTL da série 70xx e 40xx, desta vez foram realizadas três observações com intervalos de 60 segundos durante o período da manhã e outras três à tarde aproveitando a mudança natural de temperatura do ambiente fator que pode influenciar no funcionamento dos dispositivos. O esquema do circuito de testes é apresentado na Fig.8 abaixo, onde o Canal 1 do osciloscópio monitorava o comando de Trigger do circuito e o Canal 2 amplitude do sinal, podendo ser observados os atrasos entre os mesmos.

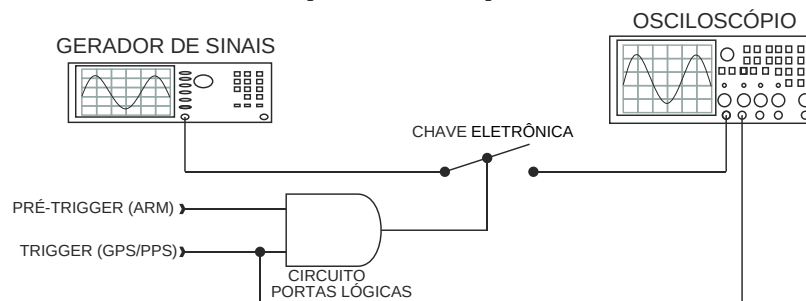


Figura 8: Teste do atraso de tempo do circuito chaveado.

Para o ensaio do protótipo como um todo, os sensores de vibração de cada sistema de aquisição/transmissão foram fixados a base de um *shaker* (transdutor eletromecânico de vibração) que ligado a um gerador de sinais forneceu uma fonte de vibração de caráter aleatório. Um teste de aquisição foi realizado em cada sensor isoladamente e em seguida o sistema completo foi testado. O esquema deste ensaio é representado na Fig. 9.

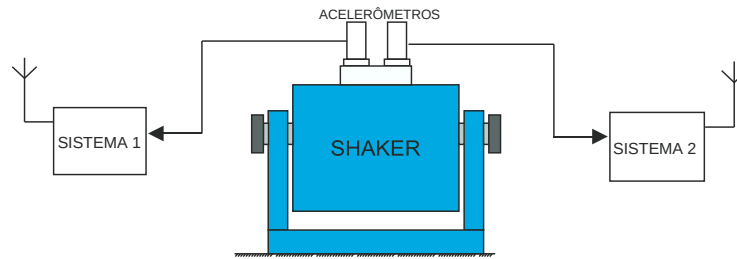


Figura 9: Teste do sistema completo

A aquisição foi feita utilizando-se 16 kHz como taxa de amostragem e após a aquisição simultânea de ambos os sistemas, o corte e sincronização foi realizado pela unidade central, bem como a correlação cruzada dos mesmos foi aplicada. Foram realizadas 10 observações e entre cada medição os sistemas foram totalmente desligados e ligados novamente afim de simular as piores condições de sincronização possíveis. Nesta situação, por se tratar da mesma fonte de vibração o atraso encontrado entre os dois sinais deve idealmente ser nulo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos ensaios para se determinar a incerteza de tempo entre os módulos GPS são apresentados na Tab. 1 junto aos resultados de atraso de tempo no circuito de chaveamento. Ao fim da análise foi possível constatar que a divergência entre os módulos sinais é de no máximo 250 ns, valor máximo também apresentando na mudança de estados do circuito de chaveamento.

Tabela 1 – Tempos de atraso do circuito.

	<i>Atraso Mínimo</i>	<i>Atraso Máximo</i>
GPS	10 ns	250 ns
Circuito Lógico	150 ns	250 ns

Estas incertezas de tempo dos módulos GPS e os valores atraso de tempo na mudança dos componentes lógicos representam uma determinada incerteza na detecção de vazamento representando apenas alguns micrometros em sua posição, podendo se considerar assim desprezíveis para esta aplicação.

O resultado da aquisição de um dos sistemas aquisição/transmissão e o posterior corte do sinal coletado é exemplificado na Fig. 10.

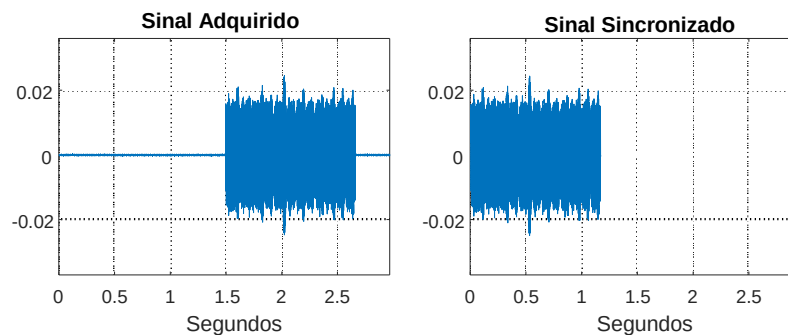


Figura 10: Sinal adquirido antes e após o corte de sincronização.

O resultado do coeficiente de Correlação Cruzada em módulo e o atraso encontrado entre os dois sinais de uma determinada rodada do experimento pode ser observado na Fig. 11 abaixo:

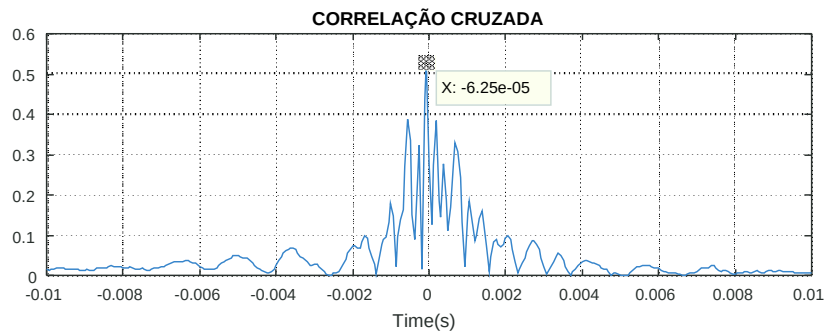


Figura 11: Correlação Cruzada de um par de Sinais coletados.

Mais detalhes sobre os tempos de atraso encontrados neste ensaio podem ser observados na Tab. 2.

Tabela 2 – Atraso na coleta da mesma fonte de sinal por dois sistemas.

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Tempo de Atraso	0 μ s	62,5 μ s

Tais divergências são provavelmente provocadas durante a conversão do sinal analógico para digital, embora os sinais analógicos estejam sincronizados, não existe garantia de que os *clocks* dos dois sistemas digitais que controlam a conversão dos sinais estão. Logo encontra-se uma incerteza na posição da amostra em que o evento real vai assumir em sua representação digital. Portanto, tal incerteza entre os sistemas é do tempo referente a uma amostra, seja para frente ou para trás. Trabalhando a frequência de amostragem de 16 kHz, cada amostra assume o tempo de 62,5 μ s que representa a incerteza de tempo decorrente da amostragem digital, a incerteza do GPS e o atraso do circuito de chaveamento podem ser desconsiderados.

4. CONCLUSÕES

É possível concluir que a técnica de sincronização por GPS de sistemas de transmissão de dados remotos é válida para o uso do detector de vazamentos por correlação cruzada de sinais que está sendo desenvolvido para o cenário brasileiro. A incerteza decorrente das fontes de tempo de referência via GPS e do circuito lógico se encontram na ordem de nano segundos e não se apresentam significativas para esta tarefa. A principal fonte de erro é decorrente da falta de sincronia entre os *clocks* dos dois sistemas digitais que pode alocar o mesmo evento real em amostras deslocadas uma posição em cada sistema de aquisição. A técnica ao utilizar sistemas de aquisição de apenas 1 canal, pode ser utilizada para outras aplicações desde que a incerteza de tempo seja admissível para a situação em que seja aplicada. Desta maneira ela pode auxiliar na coleta de dados em diversos experimentos e também no desenvolvimento de novos produtos.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com o n° do Processo 2013/50412-3.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Secretaria Nacional De Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos Serviços de Água–2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.
- [2] Price, M. E Reed, D.W. “The influence of mains leakage and urban drainage on groundwater levels beneath conurbations in the UK”, Inst. Civ. Eng. Proceedings, Part 1, 86 (1989) 31-39.
- [3] Farley, M., “Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual”, World Health Organization, Geneva (2001);
- [4] FUCHS, H.V. E RIEHLE, R., “Ten years of experience with leak detection by acoustic signal analysis”, Applied Acoustics, 33 (1991) 1-19;
- [5] Loveday, M., Tooms, S., Brennan, M.J., Joseph, P.F. and Almeida, F.C.L., “Leak detection on plastic pipes”, UKWIR Technical report, 12/WM/08/47, ISBN: 1 84057 647 2 (2011);
- [6] Brennan, M.J., Joseph, P.F., Muggleton, J.M. E Gao, Y., “Some Recent Research Results on the use of Acoustic Methods to Detect Water Leaks in Buried Plastic water Pipes”, ISVR Technical Memorandum, (2005);
- [7] Almeida, F.C.L., “Improved Acoustic Methods for Leak Detection in Buried Plastic Water Distribution Pipes”, Tese de PhD, University of Southampton, England (2013);
- [8] UBLOX NEO-6, Disponível em: <https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf>. Acesso em junho de 2016.

- [9] Orange Pi, Disponível em: <<http://www.orange-pi.org/orangepi-zero/>> . Acesso em outubro de 2017;
- [10] Sewerin Disponível em: < <http://www.sewerin.co.uk/products/water-leak-location/secorr-08> >. Acesso em Abril de 2015;
- [11] Subsurfaceleak Disponível em: < http://www.subsurfaceleak.com/lc2500_prod_pg.html >. Acesso em Abril de 2015);
- [12] Truelocal Disponível em: <<http://www.truelocal.com.au/business/gutermann-leak-detection-pty-ltd/mascot/photos>>. Acesso em Abril, 2015);
- [13] Watermarksolutions Disponível em: < <http://www.watermarksolutions.ca/hwm/> >. Acesso em Abril, 2015);

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SYNCHRONIZATION OF SIGNALS VIA GPS FOR THE CROSS CORRELATION LEAK DETECTION SYSTEM

D.H.S. Obata, danielobata@gmail.com¹
M.J. Brennan, mjbrennan0@btinternet.com¹
F.C.L. de Almeida, fabricao.lobato@yahoo.com.br²
P.C. Ayala, payala@dimmm.com.pe¹
F. Kroll de Lima, famil@gmail.com¹
A.T. Paschoalini, amarildo.tabone@unesp.br¹

¹ Department of Mechanical Engineering, UNESP, Ilha Solteira, SP 15385-000, Brazil

² Department of Biosystems Engineering, UNESP, Tupã, SP 17602-496, Brazil

Abstract. The loss of water due to leaks in distribution systems is estimated at around 70% in some regions. This situation represents the financial, environmental, social investments and also at risk to the pavement and the constructions. Signal Correlation, also called cross-correlation, is a vibration-acoustic technology adopted in the detection and localization of leaks, using signals collected at specific points, usually hydrants. The fluid-structure (leakage-tube) interaction ends up generating a vibration characteristic that is used for localization and its detection (leakage). Correlators, which are commercial cross-trading equipment, are high-cost equipment when compared to others detection and localization tools, and those that are most demanding in relation to their application. In this way, the objective is to develop a product directed to the national market, with reduced cost and easy operation. This is a transmission of digital reporting that is distributed by dimension of the performance of the reduction of the costs of users. On the other hand, the scanning of the signal presents a new challenge in the synchronization of the signals, during the reception of time signals during the collection, transmission and reception of the same. This work demonstrates the feasibility of the synchronization of the signals through the indication of GPS, as well as of a triggering system that provides for the later cut and the synchronization of collected signals.

Keywords: signal synchronization, GPS, signal correlator, cross-correlation, leak detection