

Transmissão Acústica de Dados em Colunas de Produção de Petróleo para Sensor Permanente de Fundo

Julio C. Adamowski, Flavio Buiocchi, Marcelo G. Simões,
Celso M. Furukawa, Cássio Kuchpil*

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PMC)
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 CEP 05508-900 São Paulo - SP
e-mail: jcadamow@usp.br

* CENPES- PETROBRAS
Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ

Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia Mecânica, Naval e Oceânica

Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia Mecânica, Naval e Oceânica

1. INTRODUÇÃO

A otimização da operação de um poço de petróleo requer a monitoração periódica das condições de temperatura e pressão no fundo do poço. Os sensores utilizados nesse tipo de monitoração são basicamente de dois tipos.

O primeiro é do tipo autônomo (*data logger*), e utilizado no início da produção para amostrar e armazenar as leituras de pressão até um ponto de estabilização. Como o tempo de estabilização varia de um poço para outro e o *data logger* não permite conhecer em tempo real as condições do fundo do poço, o tempo de aquisição é superdimensionado para o pior caso. Com isto, o *data logger* permanece em operação por mais tempo que o necessário, atrasando o início da operação plena do poço.

O segundo tipo de sensor substitui o *data logger* após a retirada deste por toda a vida útil do poço, e é chamado *Sensor Permanente de Fundo* (SPF). Este se mantém conectado à superfície por meio de cabos elétricos, permitindo a monitoração periódica das condições do poço. A temperatura e pressão são medidas diariamente e controladas por meio de injeção de água para que o poço opere em condições ótimas.

A motivação deste trabalho é a eliminação do cabo elétrico de conexão do SPF com a superfície que permitiria uma economia significativa na instalação destes sistemas. Além disso, este mesmo sistema possibilitaria a monitoração em tempo real no início de produção, substituindo com vantagens o *data logger*.

No entanto, ondas de rádio não são apropriadas para a transmissão em colunas de petróleo, uma vez que teriam que ser transmitidas a partir de centenas de metros abaixo da terra, junto aos sensores de fundo de poço, e teriam que se propagar através da água que preenche o anular. Nestas condições, a atenuação eletromagnética é muito acentuada, inviabilizando a transmissão.

Uma alternativa para a transmissão sem fio seria através da utilização de sinais acústicos. Modens acústicos para transmissão de dados pela água têm sido desenvolvidos com sucesso para utilização em submarinos e plataformas oceânicas [Coates91]. Existem estudos para aplicação de transmissão acústica em colunas de perfuração de poços de petróleo [Drumheller 89, 95], para a telemetria de dados provenientes de sensores de inclinação instalados próximo à extremidade da broca. Para a transmissão de dados no sistema SPF, as ondas acústicas se propagarão pela parede da coluna de produção, durante a operação plena do poço.

Dois pontos fundamentais para a implementação deste sistema são o transdutor piezelétrico, que tem a função de gerar e receber os sinais acústicos, e o estudo da propagação de ondas acústicas na coluna de produção.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

2.1. Transdutor acústico

O transdutor utilizado é do tipo sanduíche [Gallego89], contendo cerâmicas piezelétricas empilhadas, duas massas de metálicas, uma em cada extremidade, com um furo central para a passagem do parafuso de pré-tensão, conforme desenho esquemático da figura 1. As cerâmicas estão ligadas em paralelo, dispostas de modo que as polarizações fiquem alternadas.

A conexão do transdutor à coluna de produção é feita por meio de um acoplamento cônico que abraça o tubo da coluna, conforme mostra a figura 2. Esse arranjo de acoplamento foi utilizado em verificações de laboratório, pois no poço, o acoplamento é apenas um oitavo do cone e está soldado à coluna.

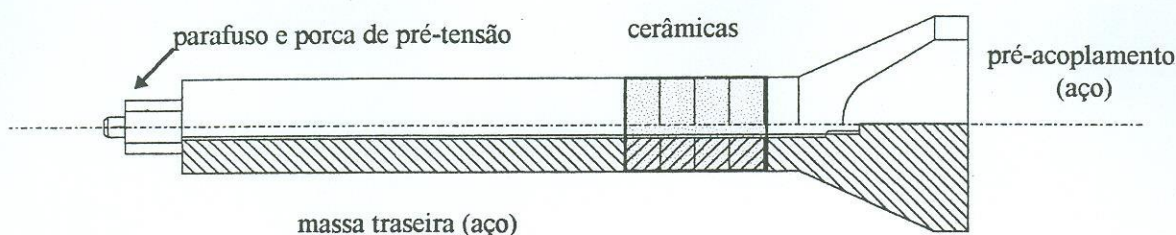


Figura 1: Transdutor tipo sanduíche

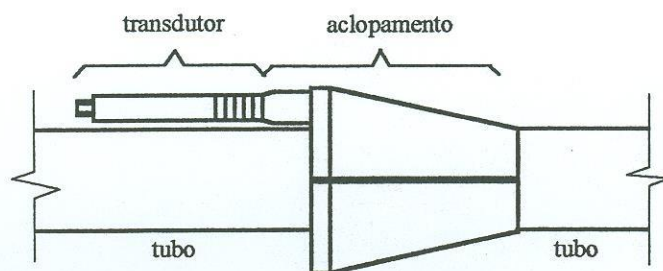


Figura 2: acoplamento do transdutor à coluna de produção.

O transdutor deve ter dimensões compatíveis com o espaço do anular (espaço entre o revestimento do poço e a coluna de produção) e deve ter uma geometria adequada para seu encapsulamento. A potência do transdutor está relacionada ao comprimento da coluna de produção, e da atenuação acústica na mesma. Como ponto de partida, foi prevista uma potência da ordem de 200 Watts. A frequência de operação do transdutor é completamente dependente das bandas passantes da linha de transmissão. Pelo fato da linha de transmissão ser constituída por um conjunto de tubos com comprimentos em torno de 9,5 m, ligados um ao outro por uma luva com rosca, ocorrem variações de impedância que provocam a formação de um conjunto de filtros passa faixa. Nesse projeto foi escolhida a quarta banda passante que apresenta uma largura de aproximadamente 200 Hz e frequência central em torno de 950 Hz.

O transdutor deve suportar a pré-tensão de montagem, da ordem de 25 MPa, e as tensões geradas durante a sua excitação. A vida útil prevista do transdutor é de 10.000 pulsos. Além disso, as propriedades piezelétricas não devem variar significativamente durante os cinco anos de operação à temperatura de 100 °C.

2.2. Unidade de aquisição de dados, comunicação e potência

O sistema é composto por uma unidade de aquisição e uma unidade SPF (Sensor Permanente de Fundo).

A unidade SPF (esquematisada na figura 3) é acoplada mecanicamente à coluna no fundo do poço, e é composta basicamente por um transdutor acústico, capaz de receber e transmitir sinais, e sensores de pressão e temperatura de alta estabilidade. A eletrônica correspondente é encapsulada no interior de um vaso de pressão constituído por um tubo com diâmetro interno de 1". Os componentes eletrônicos devem suportar uma temperatura de operação que pode chegar a 100 °C, e o esquema de montagem e soldagem devem ser adequados para suportar choques durante a instalação e principalmente vibrações durante o período de operação. A unidade SPF possui também um sistema de "wake-up". A eletrônica do SPF deve consumir pouca energia quando "adormecido", devendo iniciar o processo de aquisição e transmissão de dados após receber sinais de interrogação da superfície.

A unidade de aquisição possui um transdutor acústico montado na coluna de produção na cabeça do poço, que é conectado a um microcomputador através de uma placa de excitação e aquisição de sinais.

A modulação do sinal transmitido e o processamento do sinal recebido (demodulação) devem ser especificados visando a minimização da energia por bit transmitido e também a minimização da taxa de erro. Nos testes preliminares realizados pelo CENPES-PETROBRÁS, não foram detectadas distorções significativas no sinal, o que sugere a viabilização da utilização de transmissão de dados por FSK ou até mesmo PSK. Não existe preocupação em relação à taxa de transmissão, pois a aquisição é feita somente uma vez por dia ou eventualmente de minuto em minuto.

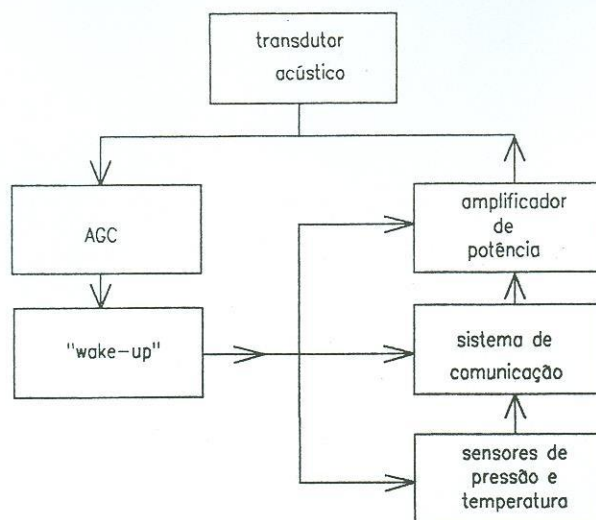


Figura 3: diagrama de blocos do sensor permanente de fundo

3. MODELAGEM DO TRANSDUTOR ACÚSTICO E SEU ACOPLAMENTO

O projeto do transdutor foi realizado através de análises pelo Método de Elementos Finitos, levando-se em conta as características dos materiais piezoelétricos especificados e o acoplamento do transdutor com a coluna de produção. Durante a montagem, a impedância elétrica do transdutor não deve se alterar significativamente, de maneira que o circuito de casamento de impedância do sistema de potência não precise ser ajustado. Deve-se buscar a máxima eficiência na geração de ondas longitudinais na coluna de produção, uma boa eficiência no transdutor e uma geometria adequada de acoplamento entre o transdutor e a coluna de maneira a minimizar perdas.

O transdutor foi modelado numericamente por meio do software ANSYS (versão universitária 5.1). Foi utilizado um modelo axi-simétrico para o transdutor, em duas condições de carregamento. O primeiro caso considera o transdutor acústico isolado, para a obtenção das frequências de ressonância e anti-ressonância através de uma análise modal [Naillon83], e da curva de admitância através de uma análise harmônica. O segundo considera o transdutor com uma camada de fluido na sua face frontal, simulando um material infinito com uma impedância acústica conhecida [Silva93]. Obteve-se com esse estudo a curva de admitância.

A modelagem da estrutura foi feita isoladamente, considerando-se somente o tubo da coluna e o acoplamento do transdutor com o tubo. O acoplamento foi considerado cônico para possibilitar a utilização de um modelo axissimétrico. Novamente, foram utilizadas camadas de fluido, desta vez somente na condição de transmissão máxima, tomando-se o cuidado de conferir se as tensões de cisalhamento no aço perto das camadas de fluido são pequenas. Por este modelo, pode-se calcular a fração da potência emitida que se propaga para frente (em contraposição a fração que se propaga para trás), o que determina a potência útil que pode ser utilizada na transmissão de dados.

4. VERIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS

Foram realizadas duas verificações experimentais num poço de petróleo na Sonda Escola de Taquipe, na Bahia, para medida de atenuação acústica na coluna de produção. Na primeira verificação experimental foi utilizado o protótipo de um sistema acústico operando na frequência de 4,5 kHz. A atenuação foi muito elevada, porém não foi possível quantificá-la devido à limitações de potência no transmissor. A partir desse fato, foi feito um estudo de propagação na linha de transmissão que mostrou não ser adequada a utilização da frequência de 4,5 kHz, pois a coluna se comporta como um conjunto de filtros com bandas passantes diminuindo com o aumento da frequência e bandas não passantes aumentando. Próximo de 4,5 kHz existe uma banda passante muito estreita, com menos de 50 Hz, e bandas não passantes de 200 a 300 Hz. Verifica-se também que variações no comprimento dos tubos da coluna deslocam essa banda passante.

No segundo teste, o sistema acústico foi reprojetoado para operar em 980 Hz, centro da quarta banda passante com largura de aproximadamente 200 Hz. O protótipo foi utilizado para medida da atenuação acústica na coluna de produção. Foram realizadas medidas a aproximadamente cada 100 m, até a profundidade de aproximadamente 500 m. A partir dos resultados foi calculada a atenuação acústica e obteve-se o valor de 20 dB/km.

5. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema de transmissão acústica foi iniciado com a especificação da frequência de operação em torno de 4,5 kHz, sendo este o motivo dos resultados de simulações apresentados. Os resultados obtidos permitem concluir que o acoplamento do transdutor ao tubo deve ter uma variação suave da seção transversal. Verificou-se que o comprimento do cone de acoplamento tem um valor ótimo para a transmissão para frente, que está relacionado com a frequência de excitação. Para a frequência de 4,5 kHz, esse comprimento é da ordem de 400 mm.

O modelo axi-simétrico exigiu um esforço computacional pequeno e forneceu resultados significativos para prosseguir com o modelo tridimensional completo. O modelo completo, tridimensional foi dividido em duas partes. Uma correspondendo ao transdutor e outra à coluna de produção e o acoplamento. Para se obter a resposta do transdutor acoplado à coluna, calculou-se a impedância acústica, da coluna de produção mais acoplamento acústico, na face de acoplamento do transdutor para 20 valores de frequências, na faixa prevista de operação do transdutor. A seguir, utilizou-se um outro modelo considerando-se apenas o transdutor e aplicaram-se os valores de impedâncias acústicas calculadas no modelo tridimensional.

As verificações experimentais do modelo do transdutor acústico acoplado à coluna de produção mostraram que os modelos apresentam resultados compatíveis no que diz respeito às frequências de ressonância, ant-ressonância e à impedância elétrica do transdutor.

A elevada atenuação observada nos experimentos de propagação na frequência de 4,5 kHz, obrigou uma revisão do projeto, incluindo o estudo da propagação de ondas na coluna. O transdutor foi reprojetoado, utilizando-se os modelos desenvolvidos, para operação na frequência de 980 Hz.. Os resultados experimentais do novo sistema estão de acordo com os valores calculados.


Referências bibliográficas

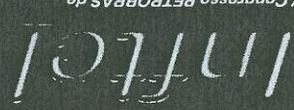
- [Coates91] Coates, R.F.W., "The design of transducers and arrays for underwater data transmission", *J. Oceanic Engineering*, v.16, n.1, p.123-135, 1991.
- [Drumheller89] Drumheller, D. S., "Acoustical Properties of Drill Strings", *J. Acoust. Soc. Am.*, v.85, n.3, p.1048-1064, 1989.
- [Drumheller 95] Drumheller R, D. S., "The Propagation of Sound Waves in Drill Strings", *J. Acoust. Soc. Am.*, v.97, n.4, p.2116-2125, 1995.
- [Gallego89] Gallego-Juárez, J.A., "Piezoelectric Ceramics and Ultrasonic Transducers", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, vol.22, p.804-816, 1989.
- [Naillon83] Naillon, M., Coursant, R.H. and Besnier, F., "Analysis of Piezoelectric Structures by a Finite Element Method", *Acta Electronica*, 25, 4, pp.341-362, 1983.
- [Silva93] Silva, E.C.N., *Modelagem Vibracional de Transdutores de Ultra-Som Piezoelétricos pelo Método de Elementos Finitos*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, 1993.

1997

4º Congresso Petrobras de Informática e Telecomunicações
 Campus da USP - Escola Politécnica - Prédio da Eng. Civil
 Av. Professor Luciano Gualberto - Travessa 2, nº 271 - São Paulo

LEGENDA

- ☐ AUT - Automação Industrial
- ☐ BD - Banco de Dados
- ☐ DEC - Tecnologia da Decisão
- ☐ DES - Desenv. de Arquiteturas, Sistemas e Modelos
- ☐ EDU - Tecnologia da Informação na Educação
- ☐ GER - Gerência e Administração de Recursos
- ☐ GRP - Groupware e Correio Eletrônico
- ☐ GSR - Gerência e Segurança de Redes
- ☐ IMA - Processamento de Imagens e Multimídia
- ☐ NET - Intranet/Internet
- ☐ PHS - Plataformas de Hardware e Software
- ☐ QUA - Qualidade e Produtiv. na Tecn. da Informação
- ☐ TEL - Tecnologia e Serv. de Rede de Telecomunicações
- ☐ Palestras Internacionais
-  Tradução Simultânea



IV Congresso PETROBRAS de
 Informática e Telecomunicações

TEMÁRIO

01 a 05 de Dezembro
 Campus da USP
 Escola Politécnica
 São Paulo

USP **PETROBRAS**



IV Congresso PETROBRAS de
 Informática e Telecomunicações

1997



Realização: Petrobras/Serinf
 Coordenação: Serinf/Dirinf-SP, Serinf/Disus
 Parceria: Universidade de São Paulo
 Apoio: Petrobras (Geasp, Serinf/Dirtel, Serinf/Setcar)
 BR Distribuidora
 Escola Politécnica da USP
 Centro de Estruturas Navais e Oceânicas da USP

Inscrições: Enviar Nome, Órgão e Telefone para o E-mail:
 inftel@dirinf-sp.petrobras.com.br - Inscrições Gratuitas

Informações: (011)532-9568 - Regina ou (021)534-3863 - Eliane

BR PETROBRAS **USP**

04/12 5ª Feira	Auditório A	Auditório B	Auditório C	Auditório D
9:00/ 9:45	ATM - Implementação na Petrobras - situação atual <u>Petrobras/Serinf</u> : Sidney Boschioli TEL1	Automatizando a informação nas plataformas da Bacia de Campos <u>Petrobras/E&P-BC</u> : F. Salcedo, A. Platenik, V. Feitosa, A. Oliveira, F. Alfano AUT1	Correio Eletrônico da Petrobras: Gestão e Tecnologias <u>Petrobras/Serinf</u> : Ricardo Iachan e Jader Thomas GRP1 O novo "backbone" de mensagens: impacto na Companhia <u>Petrobras/Serinf</u> : Sérgio Fontes e Ana Maria Neville GRP2	Computação em Rede - a evolução do cliente-servidor <u>Petrobras/E&P</u> : Geraldo de Oliveira Santos DES1
9:45/ 10:30	Telecomunicações: os impactos do novo cenário nas corporações <u>Petrobras/Serinf</u> : Heden Cruz TEL2	Um sistema de automação para campos terrestres de produção de petróleo <u>Petrobras/E&P-BA</u> : Carlos Eduardo M. Branco e Franklin de Souza Lira AUT2	Reengenharia da Comunicação Eletrônica na Petrobras <u>Petrobras/Serinf</u> : Humberto Lemgruber e Mauricio Lamartini GRP3	Sistema de Informação do Abastecimento <u>Petrobras/Abast-Log</u> : Carlos Vendas Rodrigues DES2
10:30/ 10:45	Coffee Break			
10:45/ 11:30	Petrobras: Digitalization project for Campos basin <u>Tyco Submarine Systems - USA</u> : John Mariano -  TEL i	Transmissão acústica de dados para sensor permanente de fundo <u>USP/PMC e Petrobras/Cenpes</u> : J. Adamowski, F. Buiocchi, C. Kuchpil, M. Simões AUT3	Gerência eletrônica de informações - os novos rumos do WORDFLOW <u>Petrobras/Sejur</u> : Jaime Cesar Riscaroli, Marcelo da Costa Marques e Paulo Antonio Almeida GRP4	Sistema de Engenharia de Poço <u>Petrobras/E&P</u> : Gabriel Paulo G. Sottomaior, Lenart Nascimento Fo., Michel Fabianski Campos DES3
11:30/ 12:15	Em direção à era multimídia <u>NTT - Japão</u> : Hiroshi Aoki TEL i2	SICON - Uma solução cliente-servidor para controle avançado <u>Petrobras/Abast - Ref</u> : Lincoln Moro AUT4	Agilização dos processos de negócios via Intranet <u>Petrobras/Serinf</u> : Trajano Batista de Barros GRP5 A utilização do Lotus Notes na elaboração de uma aplicação Workflow - ISO 9002 <u>PUC-RIO</u> : Hugo Fuks e <u>Petrobras/Serinf</u> : Flávio Baruzzi GRP6	Sistemas Único de Material - desenvolvimento e implantação <u>Petrobras/Serinf</u> : Ivan Rocha DES4
12:15/ 14:00	Almoço			
14:00/ 14:45	What's wrong with unit close loop optimization? <u>Petro Control - USA</u> : Zak Friedman  AUT i1	Comunicação de dados em redes Wireless <u>Petrobras/Serinf</u> : Antônio J. G. Freire TEL4	Sistemas Olfativos <u>USP/LME/PEE</u> : Francisco J. Ramirez Fernadiz e outros PHS1	Arquitetura adotada para o sistema ADiP/SaD <u>Petrobras/E&P-BC</u> : Kazuo Miura e outros DES5
14:45/ 15:30	SIPP - Sistemas de programação da produção da REVAP <u>Petrobras/Abast - Ref</u> : Marcus Vinicius Magalhães e outros AUT5	A utilização de ATM em redes locais <u>USP/LSI</u> : Marcelo Zanoni Santos TEL5	SICH: um ambiente de apoio à metodologia DAPHNE <u>ITA</u> : Miguel Raymundo Santibanez PHS2	Ambiente de Desenvolvimento e intervenção em poços / Sistema de Apoio a Decisão (ADiP/SaD) <u>Petrobras/E&P-BC</u> : Kazuo Miura e outros DES6
15:30/ 15:45	Coffee Break			
15:45/ 16:30	Does advanced control work? Where is the money? <u>Petro Control - USA</u> : Zak Friedman  AUT i2	ATM na rede local do Edifício Sede da Petrobras <u>Petrobras/Serinf</u> : Luis Cláudio e Sérgio Costa TEL6	Um ambiente hipermidia adaptativo <u>ITA</u> : Delfa Zianabar PHS3	Um novo conceito em acompanhamento geológico na Petrobras da Bacia de Campos - Exata X <u>Petrobras/E&P-BC</u> : Edison Yoshino, F. Ponte, M. Parada Neto DES7
16:30/ 17:15	Design issues in process optimization <u>SIMSCL</u> : Randall Mcfarlane  AUT i3	Aplicações e Serviços sobre ATM na Rede <u>Petrobras/Serinf</u> : Andre Renato Gualter Bastos TEL3	Estudo de caso - Implantação da rede NT na E&P-BC para 2000 usuários, com backbone colapsado em Ethernet Switch <u>Petrobras/E&P-ES</u> : Alfred Bacon <u>Petrobras/E&P-BC</u> : Consuelo Silva e R. Tavares PHS4	Proposta para um sistema de vigilância marítima (Sivamar) no Brasil <u>USP-IEE</u> : Guido Luporini DES8