

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Detecção de Parafina por Instrumentação Ultrassônica

AUTORES:

Guilherme N. D. Nabeyama, Cesar Yutaka Ofuchi, Flávio Neves Junior, Lúcia Valeria Ramos de Arruda, Rigoberto E. Melgarejo Morales

INSTITUIÇÃO:

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 8º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba-PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8ºPDPETRO.

DETECÇÃO DE PARAFINA POR INSTRUMENTAÇÃO ULTRASSÔNICA

Abstract

Obstructions in the oil pipelines' inner walls of transport and production due to hydrocarbon deposition is a serious problem. It can damage pipes and equipments, reduce the flow, generate operational risks and thus generate millionaires losses to the industry. In this work, ultrasonic instrumentation was used to detect paraffin deposits on steel surfaces, focusing in the estimation of the thickness of these accumulations. The tests were conducted in a test rig where specimens with different thicknesses of steel and paraffin deposits were measured seeking an ideal setting. The experimental results showed that due to the difference between the acoustic properties of the steel and paraffin the use of ultrasound becomes a very complex task. Measuring accurately is dependent on the medium that will interface with the wax, which must have certain characteristics for the acoustic impedance coupling with the deposit, allowing a greater reflection of the ultrasound signal. The technique used to detect the deposits proved to be quite satisfactory, providing a response value with uncertainty of less than 0.2mm.

Introdução

Grande parte da produção de petróleo no Brasil vem da extração em áreas marítimas, muito distante da costa. Para isso são utilizadas longas cadeias de tubulações, na qual um grave problema é o acúmulo de material sólido nas paredes dos tubos (Santos, 2009).

O petróleo cru é uma mistura homogênea de hidrocarbonetos, como parafinas, aromáticos, naftenos e resinas. Dentro do reservatório de petróleo o produto está a uma temperatura na faixa de 70°C a 150°C e pressão de até 15kPa, ou seja, nessas condições todos os compostos estão diluídos na mistura e se comportam como um fluido Newtoniano com baixa viscosidade (Singh et al, 2000).

A partir do momento em que o óleo sai do reservatório, pelo oleoduto que esta no fundo do mar a aproximadamente 4°C, a sua temperatura começa a cair devido à troca de calor com o ambiente externo (Huang, 2011). Assim a parafina fica menos solúvel no meio e começa a sedimentar sobre a parede fria da tubulação.

Para a remoção desses depósitos a técnica mais utilizada é a chamada *Pigging*, que consiste em lançar no interior das tubulações um projétil com o mesmo diâmetro da tubulação, para remover os depósitos que ali existirem. Porém não sabendo qual o estado dos depósitos, pode ser que o depósito seja pequeno suficiente para caracterizar uma ação em vão, gerando gastos desnecessários ou em um pior caso, a sedimentação ser grande o suficiente para que o projétil não consiga remove-lo e assim ficar preso (Hoffman et al, 2011).

Sendo assim é interessante realizar uma medição e monitorar os depósitos no interior dos oleodutos para realização de uma ação de correção mais eficiente.

Varias técnicas foram desenvolvidas para realizar esse monitoramento, dentre elas as mais relevantes são: Impulso de Pressão (Gudmundsson et al, 2002), Radiografia (Edalati et al, 2006), Impulso de Calor (Hoffman et al, 2011), Ultrassom (Rommetveit, 2011).

Cada uma dessas técnicas tem suas vantagens e desvantagens. O impulso de pressão é uma técnica muito invasiva e também é necessário parar a produção para realizar o procedimento, já a radiografia é um teste muito caro, o impulso de calor é uma que irá gastar muita energia, pois é necessário aquecer uma parte da tubulação.

A escolha de se utilizar ultrassom para detecção dos depósitos é devido a suas características de realizar testes não destrutivos e não invasivos que são muito desejáveis na indústria, além de ser uma tecnologia com custo de operação baixo e montagem simplificada.

Este trabalho tem como objetivo utilizar uma técnica de análise de dados provenientes dos ensaios realizados com instrumentação ultrassônica em uma bancada de testes, visando a detecção dos depósitos de parafina sobre diversas condições e se possível caracterizar a espessura dessa sedimentação.

No entanto, existe o fato de que a diferença entre a impedância acústica entre do aço e da parafina é elevada, isso faz com que a detecção do depósito seja uma tarefa muito difícil, pois a reflexão do sinal nessa interface é grande, isso faz com que pouco sinal seja transmitido pela parafina e dificultando a identificação das interfaces subsequentes.

Por isso a técnica convencional de amplitude torna-se difícil localizar com precisão os ecos das interfaces, pois como é ilustrado na figura 1, a amplitude do sinal da interface parafina/meio 2 é muito pequena.

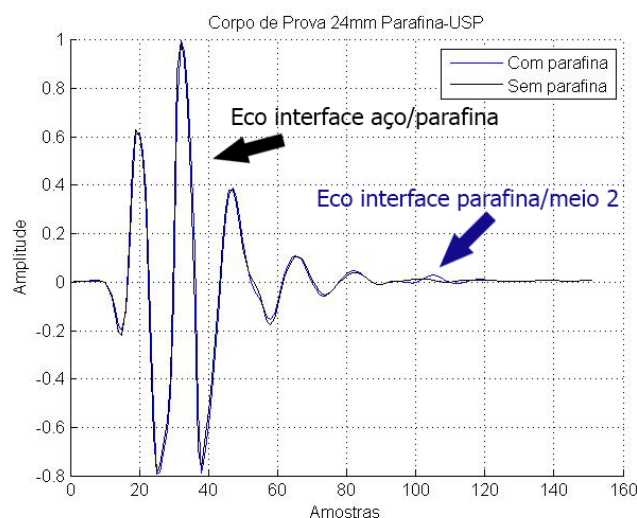


Figura 1 - Eco do sinal de referência sem parafina sobre o eco do sinal com parafina

Desse modo uma técnica que obteve bastante sucesso neste cenário, é o método da inversão proposto por Rommetveit et al, 2011, em seu trabalho foi modelado matematicamente todas as informações do transdutor até o depósito de parafina sobre o aço. Assim sendo possível determinar a localização dos ecos da parafina.

Porém este trabalho limitou-se a testes visando à utilização do ultrassom em gasoduto, ou seja, foram realizados experimentos apenas com interface aço/parafina/ar. Neste trabalho será investigada a utilização deste método para utilização em oleodutos submersos.

Metodologia

O primeiro passo foi desenvolver uma bancada para realização de testes na qual permitiria a repetitividade dos ensaios. Com esse aparato foi avaliado o comportamento do ultrassom em diversas configurações, que serão descritas posteriormente.

A bancada consiste em três partes fundamentais: A primeira é um tanque de água para realização dos ensaios ultrassônicos utilizando o método de imersão. Em Segundo lugar são os corpos de prova utilizados, confeccionados em aço SAE 1020 com espessuras de 7mm e 24mm sobre o qual foi depositado a parafina. E por fim os transdutores e equipamentos necessários para o funcionamento e para a realização da aquisição dos dados.

Devido às características acústicas da água e da parafina, torna-se necessário utilizar um casamento de impedância acústica para garantir que haja reflexão de sinal, uma vez que a interface parafina/água apenas 1% do sinal é refletida.

Para simular uma tubulação e realizar o casamento de impedância acústica é colada aos corpos de prova uma caixa de acrílico na qual será utilizado para criar um segundo meio, fazendo uma interface diferente com a parafina.

O primeiro teste utilizou-se ar para garantir que todo o sinal fosse refletido para o transdutor, em seguida dois diferentes óleos foram também testados, óleo USP e Singer®, ambos derivados do petróleo.

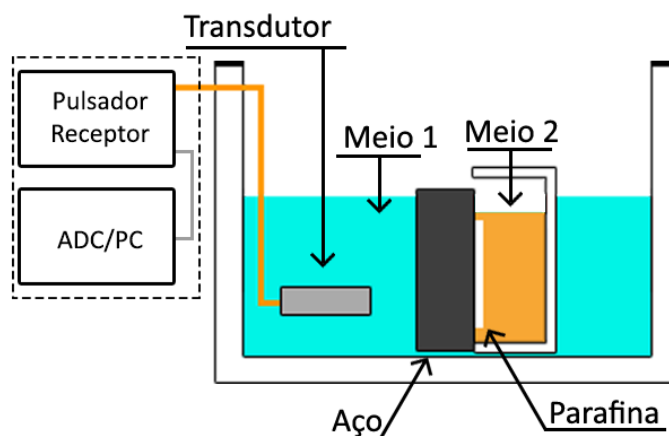


Figura 2 - Bancada Experimental para Realização dos Ensaio Ultrassônicos

Os corpos de provas foram preparados de forma a simular uma deposição em cenário real. Primeiramente fixou-se uma peça de aço com formato cilíndrico sobre as superfícies onde seria depositada a parafina. Em seguida são colocadas, dentro de um recipiente com água, as peças e inicia-se o processo de aquecimento. Esse método conhecido como banho-maria, garante que o metal será aquecido de forma uniforme e que a temperatura não irá passar de 100°C, uma vez que o líquido utilizado é água.

Após toda a parafina tornar-se líquida a peça é removida do banho, assim começa a resfriar e a parafina volta a seu estado sólido fixando-se na peça metálica, por fim é removido o tubo cilíndrico e tem-se o corpo de prova.

Para excitação dos transdutores foi utilizado um pulsador-receptor, modelo 5077PR fabricado pela Panametrics® e para aquisição dos sinais um NI PXIe-1078 com um módulo conversor

analógico digital NI5752 com resolução de 12 bits e com taxa de amostragem de 60MSa/s, juntamente com um algoritmo desenvolvido em LabView®, todos fabricados pela National Instruments®.

Os transdutores empregados nos testes são de elemento simples, operam com 4MHz de frequência central e tem o material de elemento ativo com 5mm de diâmetro, são fabricados pela Met-Flow® e o modelo é TX-4-5-8. Todos os testes realizados foram na configuração de pulso-eco em imersão.

Foram realizadas 10 medições na qual se armazenou 1000 ondas com uma frequência de repetição de pulso (PRF) de 1kHz e tensão de entrada de 300V para cada uma das configurações:

Tabela 1 - Configuração de Testes

Configuração	Espessura Aço (mm)	Espessura Parafina (mm)	Meio 2
1	7	0,9	Ar
2			Óleo USP
3			Óleo Singer®
4	24	1,7	Ar
5			Óleo USP
6			Óleo Singer®

A informação acústica mais importante para esse trabalho é a velocidade do som no meio, para determina-la foram realizados testes independentes para a parafina e os óleos utilizados, consequentemente a impedância acústica é calculada juntamente com as informações de reflexão e transmissão do sinal ultrassônico pelas interfaces.

Tabela 2 - Características Acústicas

	Velocidade do Som (cm/μs)	Densidade (g/cm ³)	Impedância Acústica (Rayl/cm ²)	Reflexão Parafina/meio(%)
Parafina	0,2286	0,835	0,191	-
Óleo USP	0,1407	0,850	0,119	5,2%
Óleo Singer®	0,1392	0,873	0,121	4,9%
Água	0,1480	1	0,148	1,6%
Ar	0,0344	1,275 10 ⁻³	0,044 10 ⁻³	>99%

Dois pré-processamentos são realizados: primeiro é o calculo da média das múltiplas aquisições para reduzir o ruído (Wilmshurt, 1990), o segundo é o de remoção de off-set do sinal.

A técnica da inversão utilizada consiste basicamente em que: o sinal no qual contem a informação do depósito é composto pelo eco da referência mais o eco da parafina, assim para encontrar o eco da parafina basta isola-lo, ou seja, subtrair o sinal de referência (Rommetveit, 2011).

Para realizar este procedimento utilizam-se as informações das ondas provenientes da aquisição dos testes, onde é calculada através da transformada de Hilbert a envoltória do sinal, em seguida a amplitude é normalizada pelo máximo na área de interesse, onde existe um eco da interface aço/parafina e parafina/meio 2, depois isso tudo é transformado para decibel e por fim é feito a subtração do sinal com depósito de parafina do sinal de referência. Na figura 3 é ilustrado esse procedimento.

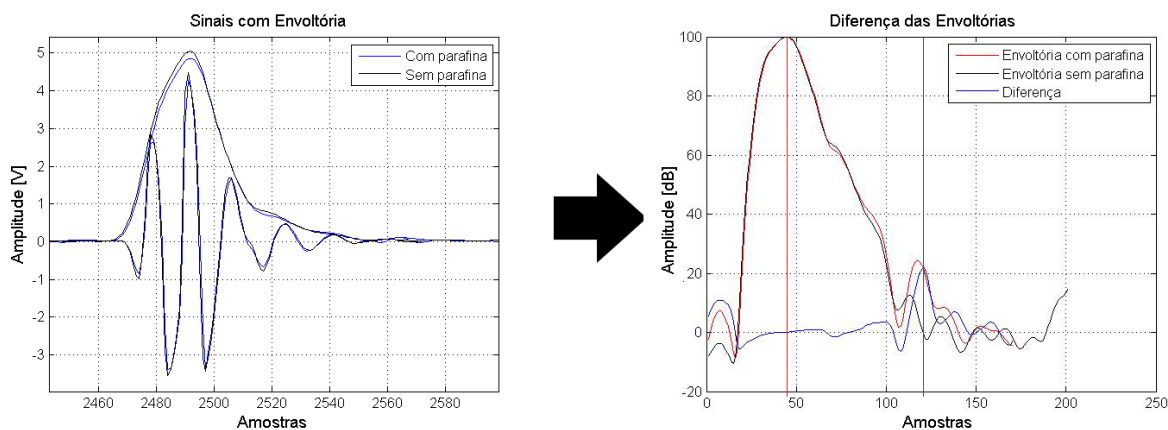


Figura 3 – a) Sinal de Referência e Sinal sem parafina com suas respectivas envoltórias; b) Envoltórias dos dois sinais em dB acompanhado pelo resultado da subtração.

Com o método é possível localizar as interfaces aço/parafina e parafina/meio 2. O primeiro eco, dado pelo ponto de maior amplitude da envoltória é referente à interface aço/parafina, a interface parafina/meio2 é dado pelo ponto de maior amplitude após a referência, ou seja, o ponto com maior diferença entre as duas envoltórias. As linhas vermelhas indicam esses pontos, onde a da esquerda representa a interface aço/parafina e a da direita parafina/meio 2. Com esse intervalo, a velocidade no meio e a taxa de aquisição é então calculado o valor da espessura da parafina.

Resultados e Discussão

Na figura 4 são ilustrados os sinais de resposta, já pré-processado, para as seis configurações dos testes. São traçados dois gráficos sobrepostos, em preto, representa o sinal de referência, sem parafina, no qual apenas a interface aço/parafina é visível, já o sinal em azul, descreve o eco referente à interface aço/parafina e parafina/meio 2.

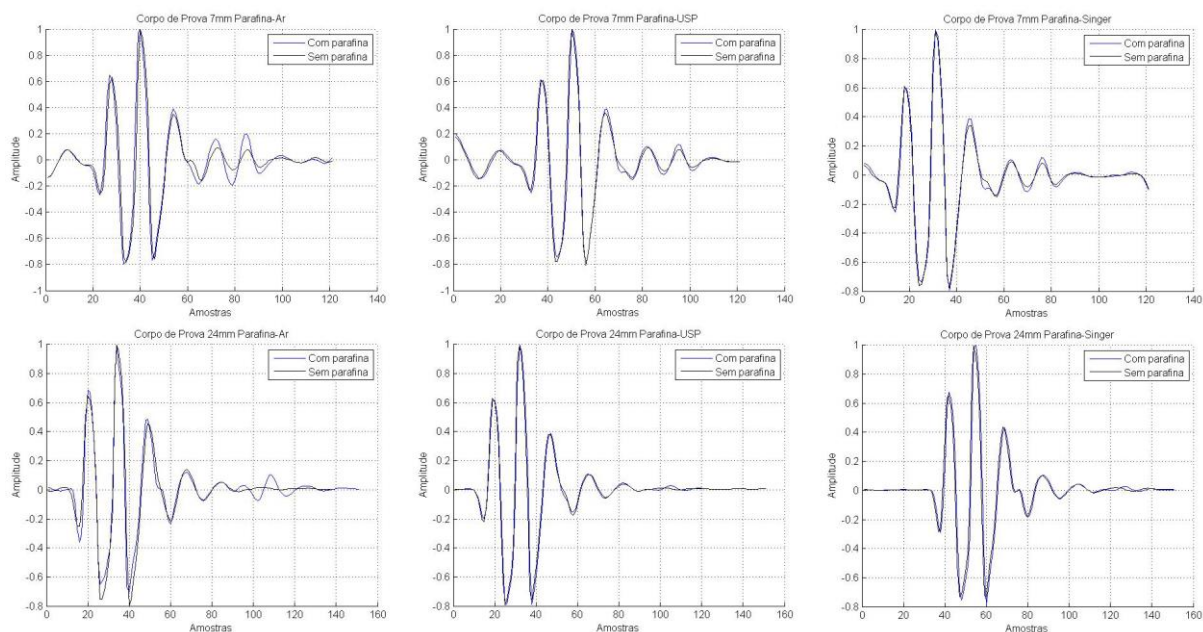


Figura 4 - Ecos da Interface Parafina/Meio 2

Na figura 5 são ilustrados um dos resultados da aplicação do método de inversão juntamente com as localizações do aço e da parafina, indicado pelas linhas vermelhas, das seis configurações medidas.

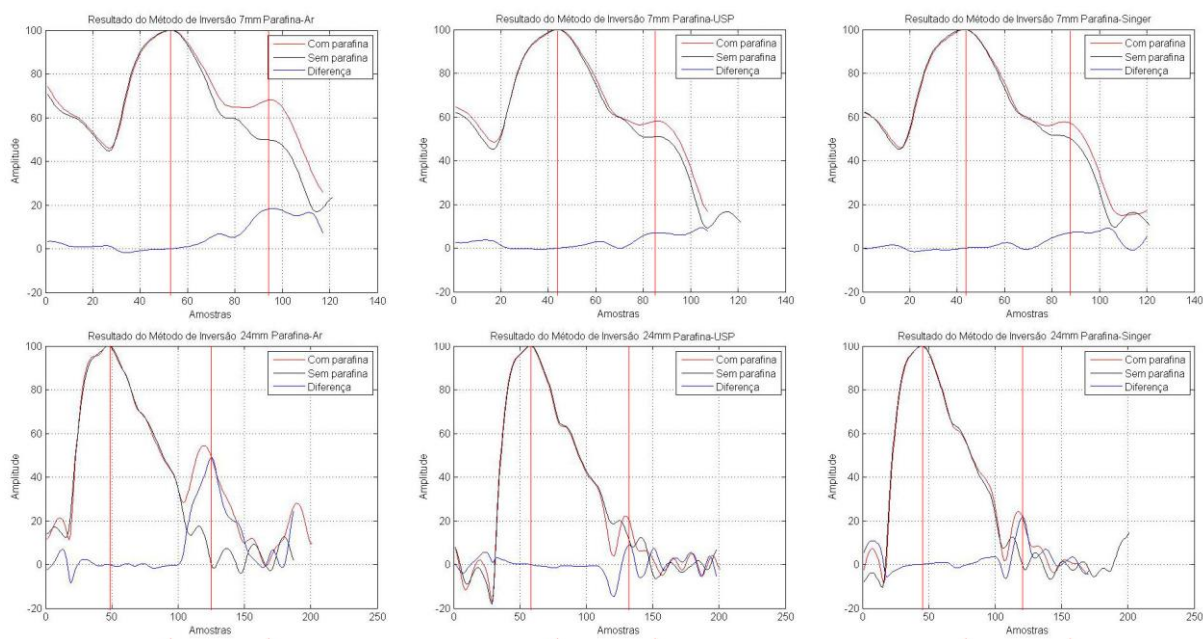


Figura 5 - Resultado após aplicação do método de inversão

A Tabela 3 mostra a estimacão da espessura da parafina juntamente com a incerteza associada à medição, que foram calculadas com base nos dez testes realizados para cada uma das seis configurações, foi utilizada confiabilidade de 95%.

Tabela 3 - Valores Estimados

Configuração	Média das Medições (mm)	Incerteza (mm)	Incerteza Relativa	Erro Médio (mm)	Erro Médio Relativo
1	0,983	0,108	10,987%	0,083	9,222%
2	1,006	0,134	13,320%	0,106	11,778%
3	1,038	0,160	15,414%	0,138	15,333%
4	1,701	0,131	7,701%	0,001	0,059%
5	1,710	0,137	8,012%	0,010	0,588%
6	1,682	0,107	6,361%	0,018	1,059%

Conclusões

Neste trabalho foi investigada a utilização da técnica de inversão para detecção de parafina, com foco em estimar a espessura de um depósito. A bancada experimental desenvolvida facilitou bastante a utilização de diferentes interfaces com a parafina, confirmando que a impedância acústica do meio 2 influencia bastante no resultado. Como mostra a Tabela 3, para a configuração 1 e 4, na qual o ar é usado como meio 2, nessa interface praticamente todo o sinal é refletido, e é com esse arranjo que acontece o menor erro.

Para os óleos testados a reflexão do sinal é inferior a 6%, porém mesmo assim a técnica mostrou-se bastante eficiente, utilizando óleo USP o erro foi menor, 0,106mm e 0,010mm para as configurações 2 e 5 respectivamente, já para o óleo singer® o erro foi de 0,138mm e 0,018mm para as configurações 3 e 6.

Sendo assim a estimação da espessura do depósito foi mensurada com uma incerteza máxima de 15,414% o que garante uma exatidão superior a 0,2mm com confiabilidade de 95% e o erro médio máximo foi de 0,138mm.

Para trabalhos futuros pretendem-se realizar testes em uma planta experimental que simule a produção de petróleo, com uma tubulação que torne os depósitos e a interface interna o mais próximos do real, para avaliar a utilização desse procedimento em campo e também utilizar petróleo como meio 2.

Agradecimentos

Apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP – , da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – , do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT – e do Programa de Formação de Recursos Humanos da PETROBRAS - PRH10-UTFPR.

Referências Bibliográficas

DEMIRLI, R., SANIIE, J., Model-based estimation of ultrasonic echoes part i: analysis and algorithms, **IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control**, v. 48, n. 3, p. 787-802, 2001.

EDALATI, K., RASTKHAH, N., KERMANI, A., SEIEDI, M., MOVAFEGHI, A., The use of radiography for thickness measurement and corrosion monitoring in pipes, **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, v. 83, p. 736-741, 2006.

GUDMUNDSSON, J. S., DURGUT, T., Pressure pulse analysis of flow in tubing and casing of gas lift wells, **ASME/API Gas Lift Workshop**, 2002.

HOFFMANN, R., AMUNDSEN, L., SCHÜLLER, R., Online monitoring of wax deposition in sub-sea pipelines, **Measurement Science And Technology**, v. 22, 2011.

HUANG, Z., Application of the fundamentals of heat and mass transfer to the investigation of wax deposition in subsea pipelines, **Tese de Doutorado**, 2011, University of Michigan.

KUTS, Y. V., YEREMENKO, E. V., MONCHENKO, E. V., PROTASOV, A. G., Ultrasound method of multi-layer material thickness measurement, **American Institute of Physics**, v. 1096, p. 1115-1120, 2009.

ROMMETVEIT, T., Development of non-invasive ultrasound inspection techniques through steel, **Tese de Doutorado**, 2011, Norwegian University of Science and Technology.

SANTOS, J. S. T., Estudo experimental e numérico da parafinação em escoamento de hidrocarbonetos em dutos produtores. **Tese de Doutorado**, 2009, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SINGH, P., VENKATESAN, R., FOGLER, H. S., Formation and Aging of Incipient Thin Film Wax-Oil Gels. **AIChE Journal**, v. 46, n. 5, p. 1059-1074, American Institute of Chemical Engineers, 2000.

WILMSHURST, T. H., **Signal recovery from noise in electronic instrumentation**, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 1990.