

1 Introdução

O desenvolvimento acelerado da indústria aumentou consideravelmente a demanda por energia no último século. O petróleo continua sendo o principal combustível da indústria e, portanto, de grande importância na economia mundial. A busca por petróleo em zonas offshore foi viabilizada, mas exigiu para isso grandes avanços tecnológicos em várias áreas da ciência. Hoje, quase metade das bacias sedimentares de boa prospecção estão situadas no mar, em zonas afastadas das costas. As maiores bacias offshore são as do Golfo do México, do mar do norte, do mar da China e da costa do Brasil. A produção de petróleo nestas zonas, de grande profundidade, envolve o uso de equipamentos especializados e operações complexas. A Figura 1.1 mostra uma instalação submarina de produção offshore. A profundidade desses poços pode ultrapassar os 3000 metros de lamina de água; a tais condições os valores de temperatura e pressão são tipicamente 5°C e 4(10⁴) psi. Dentre os desafios na produção de petróleo offshore, a deposição de parafina em linhas de produção e transporte é um dos mais críticos.

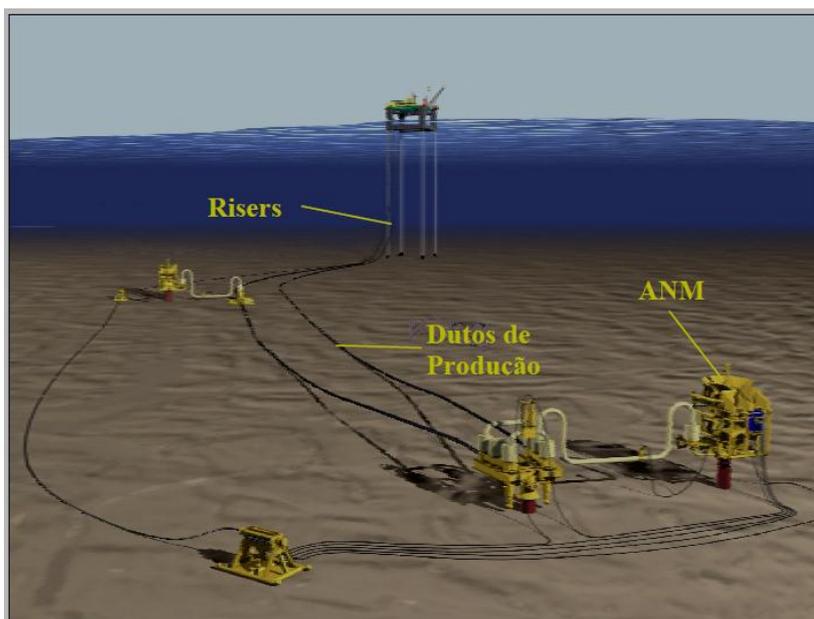


Figura 1.1- Disposição típica de linhas submarinas de transporte de óleo

O óleo extraído é uma mistura de hidrocarbonetos de diferentes pesos moleculares. Essa mistura é transportada em dutos até as estações de tratamento, onde ocorre separação das fases: água, gás e o cru (petróleo bruto). O cru segue para a refinaria ou para estações de armazenamento. Nesses transportes são usados dutos verticais (risers) e horizontais. A vazão do fluido nesses dutos é função das características técnicas do duto, da potência e número de estações de bombeamento ao longo da tubulação, além das propriedades físicas do fluido. Usualmente, o cru é classificado pelos componentes presentes em maior número na mistura e por sua viscosidade, medida em API (viscosidade pela gravidade). Um óleo leve possui fator API maior que 31.5, um óleo médio tem API entre 31.5 e 22.3, já um óleo pesado tem API entre 22.5 e 10 e um superpesado tem API menor que 10. Os petróleos parafínicos representam em média 20% da produção mundial de petróleo. Eles são uma mistura de óleo leve ou médio e parafina – alcanos de cadeia linear ou ramificada. O estado físico deste composto depende fortemente da temperatura em que ele se encontra. Por isso, os brutos parafínicos são constantemente responsáveis pelo depósito e entupimento de em operação, que sofrem altos gradientes de temperatura.

O aumento do custo energético com o bombeamento, a redução de produção na linha, o aumento dos riscos operacionais, a obstrução parcial ou total do duto, a perda de equipamentos e instalações, são algumas das consequências geradas pela deposição. A Figura 1.2 ilustra a obstrução de uma linha de transporte por depósito parafínico.

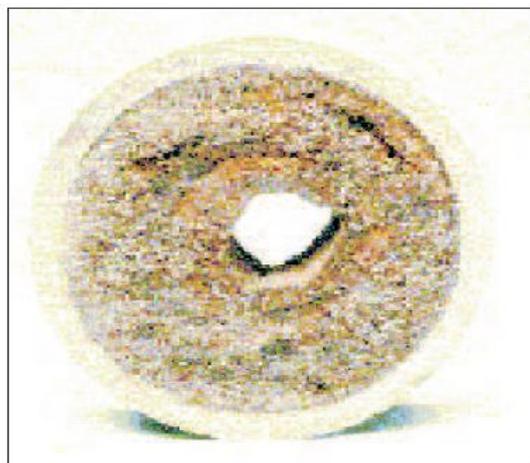


Figura 1.2 - Linha parcialmente bloqueada por deposição de parafina (Cortesia do CENPES/Petrobras)

Tipicamente, o petróleo parafínico se encontra no reservatório a 60°C, percorre a linha de produção em oceanos onde a temperatura da água é em média 5°C. O óleo sofre um forte gradiente de temperatura. Visto que a solubilidade da parafina no óleo é uma função decrescente da temperatura, à medida que o óleo escoar do centro do reservatório até a superfície, a solubilidade diminui com o resfriamento do fluido e a parafina sai de solução. A dissolução da parafina é caracterizada pela formação de cristais sólidos na matriz do óleo e quantificada por duas temperaturas de referência: a temperatura de início de cristalização, TIAC (WAT) ou ponto de névoa.

Existem métodos tradicionais para prevenção e remediação do problema de deposição de parafina, dentre eles, o isolamento térmico, os métodos magnéticos, a injeção de inibidores químicos e passagem de "PIGS". A passagem de "PIG" é um dos métodos de remediação do problema mais usados. Ele consiste em passar pela tubulação um aparelho instrumentado, de alta resistência, que possui pás rotativas para remover depósitos. Além de ser um processo demorado, e que obriga a pausa na produção, a passagem do PIG é cara. Os custos de utilização e manutenção são quanto mais elevados quanto maior for a profundidade da lamina d'água. A Figura 1.3 ilustra a operação de remoção de parafina por passagem de PIG.



Figura 1.3 - Operação de remoção de parafina na plataforma PXA – 3

O ritmo de passagem de PIG é variável, mas pode chegar a várias vezes por dia. A companhia Lasmco (UK), chegou a abandonar, em 1994, um campo de 100 milhões de dólares por causa desse fenômeno recorrente. O bruto extraído do oeste do Kazakhstan é transportado por 1400 km de dutos isolados até as refinarias de Samara na Rússia com estações de aquecimento a cada 100 km. Diminuir os custos desses transportes se tornou uma questão importante na indústria do petróleo.

Complexo, o entendimento do problema de deposição de parafina envolve diferentes disciplinas científicas: mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor, reologia, etc. O presente trabalho busca um melhor entendimento dos mecanismos de deposição de parafina em dutos sob escoamento turbulento. Para isso, foram usados dispositivos experimentais simples, operando com fluidos de propriedades conhecidas e submetidos a condições de contorno controladas. O trabalho visa comparar os resultados experimentais com os resultados de simulações numéricas obtidos por um modelo desenvolvido dentro do grupo de pesquisa do laboratório de mecânica dos fluidos da PUC-RJ, onde cada mecanismo responsável pela deposição é modelado individualmente. Espera-se através desta comparação numérico-experimental poder-se avaliar a importância relativa de cada mecanismo.

O trabalho foi dividido em cinco capítulos. No segundo capítulo, é apresentada uma extensa revisão bibliográfica sobre a compreensão fenomenológica do problema. As análises e conclusões desta revisão serão importantes para determinar o enfoque do trabalho experimental realizado. No terceiro capítulo, apresentam-se os detalhes da montagem experimental e procedimentos seguidos para a realização dos testes. No quarto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos. O quinto capítulo apresenta as conclusões e sugestões para estudos futuros.