

6

Comentários Finais

O presente trabalho analisa numericamente a deposição de parafina em escoamento multifásico em dutos para diversos padrões de fluxo. Diferentes padrões de escoamento e inclinações da tubulação foram analisados, como padrão estratificado, de bolhas e intermitente. Para prever o escoamento multifásico ao longo das tubulações, utilizou-se o modelo de deslizamento. Considerou-se que o mecanismo de deposição dominante é o mecanismo de difusão molecular, baseado na lei de Fick. O fluxo de massa difusivo de parafina é avaliado indiretamente a partir do fluxo de calor trocado entre a mistura e o ambiente externo. Incorporou-se na modelagem matemática, coeficientes empíricos para levar em consideração a existência de outros possíveis mecanismos, e para prever a redução da deposição devido ao cisalhamento em função do número de Reynolds.

Os resultados das simulações numéricas foram comparados com dados medidos em experiências controladas de laboratório e com as previsões obtidas com o simulador comercial OLGA 5.3 (Scandpower). Excelente concordância foi obtida com os resultados do simulador comercial OLGA, uma vez que ambos os simuladores são baseados nos mesmos modelos, diferindo somente nas correlações empíricas utilizadas para avaliar as propriedades dos fluidos e coeficiente de transferência de calor. As previsões obtidas numericamente para a espessura de depósito concordaram razoavelmente com os dados experimentais para os padrões de fluxo estudados. Investigou-se a influência da presença da água e dos ângulos de inclinação da tubulação com a horizontal nas taxas de deposição e verificou-se que o modelo apresentou bons resultados, compatível com os descrito na literatura recente.

Apesar da boa concordância com dados experimentais, observou-se a necessidade da introdução das constantes empíricas para corrigir o modelo de difusão. Notou-se ainda que o modelo de difusão utilizado superestimou a espessura do depósito próximo à entrada da tubulação.

Uma vez validada a metodologia com dados de laboratório, investigou-se o escoamento em um poço produtor. Devido a ocorrência de deposição de parafina no poço produtor selecionado, existe a necessidade da operação de passagem de *pig* para desobstruir a seção transversal da tubulação. Para investigar a capacidade da metodologia em prever o escoamento, selecionou-se um período de operação do poço entre passagens de *pigs*. A partir de dados de campo de pressão medidos em diferentes estações ao longo da tubulação, buscou-se inferir sobre a presença do depósito de parafina, uma vez que dados referentes ao depósito da parafina não se encontram disponíveis. O objetivo da análise foi identificar o impacto da deposição na pressão no fundo do poço produtor devido a diminuição do diâmetro interno do duto.

Para este caso foi utilizada a metodologia testada anteriormente na previsão da deposição, com as constantes empíricas ajustadas para o caso laboratorial. A comparação dos resultados da presente simulação com dados de campo não pode ser realizada com rigor, pois as condições do escoamento foram definidas de forma aproximada. O simulador OLGA também foi empregado para testar o caso real e os resultados obtidos foram satisfatórios. No entanto, a distribuição do depósito ao longo da tubulação prevista pelo OLGA apresentou ondulações que não parecem realistas, que podem estar relacionadas com a correlação utilizada para avaliar o coeficiente de transferência interno. As estimativas referentes ao emprego do modelo de difusão para um caso real se mostraram satisfatórias, com coerência com os dados de campo.

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que para uma primeira aproximação a combinação do modelo de deslizamento com o modelo de difusão pode ser utilizado para prever o fenômeno de deposição de parafina em situações reais.

A análise realizada nos permite concluir que o modelo de difusão pode ser utilizado para estimar o processo de deposição de parafina, porém é fundamental ajustar coeficientes empíricos para determinação do fluxo de massa. No presente modelo, o fluxo de massa de parafina é calculado de forma indireta a partir do fluxo de calor, conseqüentemente, as correlações empíricas utilizadas para avaliar o coeficiente de transferência de calor interno são críticas. A boa concordância obtida entre os resultados numéricos e de

laboratório indicaram que as correlações utilizadas são satisfatórias na maior parte do domínio. Por outro lado, a maior espessura de depósito prevista na região de entrada indica que o fluxo de calor nesta região foi superestimado.

Como contribuição geral deste trabalho pode-se ressaltar a validação da metodologia numérica baseada no modelo de deslizamento e de difusão para prever a deposição de parafina. Apesar da existência do código comercial OLGA que também alcança este objetivo, o código é fechado e não perfeitamente documentado. Dessa forma, o presente trabalho disponibiliza um aplicativo computacional para a simulação que poderá ser utilizado em diversos problemas e projetos envolvendo escoamento multifásico na exploração, produção e exportação de petróleo em dutos. Adicionalmente, melhorias no código desenvolvido, eliminando as limitações constatadas poderão ser eliminadas.

6.1 Recomendações

O presente trabalho levantou diversos aspectos que podem ser recomendados para trabalhos futuros:

- O fluxo de massa difusivo foi determinado de forma indireta a partir do fluxo de calor. Esta aproximação envolve o conhecimento da curva de solubilidade. Adicionalmente, a influência da turbulência não é adequadamente tratada. Recomenda-se determinar o fluxo de massa da parafina dissolvida, considerando-se um fluxo de massa convectivo e empregando-se um coeficiente de transferência de massa que represente o fluxo de massa turbulento, sendo função do número de Reynolds e número de Schmidt.
- As simulações numéricas utilizaram a difusão molecular como o único mecanismo de deposição. Na literatura são propostos outros modelos que devem ser acrescentados a modelagem matemática para avaliar e investigar a sua contribuição no processo de deposição.
- Outros padrões de escoamento além dos analisados podem ser averiguados.
- A influência na taxa de deposição das correlações empíricas para o cálculo do coeficiente de película interno a tubulação pode ser mais explorado.

- Recomenda-se investigar outras correlações para a porosidade e condutividade da parafina depositada na parede e analisar suas influências na espessura de deposição.
- Outro item importante está relacionado na determinação das propriedades dos fluidos pelo modelo *black oil*. A influência das correlações para cálculo da viscosidade dinâmica e da massa específica dos fluidos pode ser investigada. Pode-se implementar subrotinas para leitura de tabela gerada por simuladores termodinâmicos comerciais para as propriedades dos fluidos com o objetivo de avaliar a diferença entre a estimativa de deposição pelo modelo *black oil* e ou pelo modelo termodinâmico.
- Implementar diferentes tipos de condições de contorno e investigar outras situações de escoamento com dados experimentais disponíveis, visando ampliar a aplicabilidade do modelo.
- Investigar a influência da solução de outros modelos para prever o escoamento multifásico, como por exemplo o Modelo de Dois Fluidos.