

6 Conclusões e Recomendações

6.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um experimento em laboratório para avaliar a eficiência de superfícies revestidas com relação à prevenção da deposição de parafina. As parafinas se depositam no interior dos dutos de produção e coleta de petróleo em função da redução de temperatura do fluido com conseqüente formação de cristais de parafina que tendem a migrar e aderir na superfície destes dutos. O uso de revestimentos internos surge como alternativa para evitar, ou minimizar, a formação deste tipo de depósito. As características destes revestimentos que estão associadas a este processo são: a baixa condutividade térmica, que reduz a troca de calor promovendo isolamento térmico; a baixa rugosidade que implica em aumento da vazão aumentando a velocidade de escoamento; e a baixa aderência em função das baixas energias de superfície.

Após detalhada revisão bibliográfica pôde-se observar que as informações disponíveis na literatura não são completas e às vezes até mesmo são contraditórias. Mesmo assim, pesquisas atuais buscam entender melhor a atuação dos revestimentos comerciais bem como desenvolver superfícies híbridas de baixa energia.

O experimento desenvolvido se baseou em uma seção de teste, dotada de acesso óptico para visualização que possibilitava teste com placas metálicas com diferentes revestimentos superficiais. Através desta seção escoava uma solução de parafina aquecida em loop fechado e a placa metálica de interesse era resfriada através da face externa por um trocador de calor. A instrumentação acoplada a estas placas continha termopares para medida de temperatura da superfície e sensores de fluxo de calor. Os dados fornecidos pelo sensor de fluxo de calor tinham como objetivo controlar o experimento e estabelecer uma alternativa como

medida indireta da espessura de depósito. As informações de temperatura e fluxo de calor eram medidas constantemente, bem como imagens eram capturadas por uma câmera.

Neste trabalho foram analisadas superfícies revestidas com Teflon, Nylon 11 e carbono amorfo (DLC), assim como aço polido e aço com acabamento comum de usinagem que serviram de base de comparação para as outras superfícies. Os testes foram conduzidos em diferentes vazões, permitindo obter resultados em regime de escoamento laminar e turbulento. As temperaturas de resfriamento foram ajustadas de modo a garantir que todas as placas fossem testadas nas mesmas condições térmicas, eliminando assim a influência das características isolantes das camadas de cada revestimento. As superfícies e os fluidos utilizados foram caracterizados adequadamente. Com relação às superfícies, foram medidas as rugosidades, energias críticas e de superfície.

Com base nos resultados experimentais, é possível dizer que o experimento montado no laboratório é útil para determinar a espessura de depósito de parafina sob diferentes características de escoamento. Os resultados mostraram que, como esperado, nas mesmas condições térmicas, quanto maior a vazão de escoamento, menor será a espessura de depósito.

A rugosidade tem forte influência sobre a espessura de depósito. O menor valor de rugosidade produziu diminuição significativa da deposição, porém não foi possível inferir qual tipo de relação há entre estes parâmetros, pois apenas duas rugosidades foram avaliadas para um mesmo tipo de superfície.

Quanto à energia crítica e a energia de superfície, os resultados obtidos parecem corroborar as conclusões dos artigos publicados na literatura sobre o assunto: a espessura de depósito tende a aumentar com o aumento da energia de superfície. Entretanto, para se ter uma análise mais abrangente, seria necessário testar uma gama maior de revestimentos. Pelo mesmo motivo, não foi possível estabelecer uma relação funcional entre energia de superfície e espessura de depósito.

Observou-se ainda que a magnitude da redução de espessura de depósito causada pela presença do revestimento varia de acordo com a vazão, sendo mais pronunciada em fluxo laminar do que em fluxo turbulento nos revestimentos plásticos, para as condições utilizadas no experimento. Para o revestimento de carbono amorfo a variação de espessura de depósito foi percebida com mais

intensidade no escoamento turbulento. Isto pode estar associado com a tensão de cisalhamento imposta nas condições do experimento.

Foi mostrado que a condutividade térmica do depósito varia em função do número de Reynolds, o que reflete a variação da porosidade do depósito com as tensões cisalhantes impostas pelo escoamento.

Apesar dos experimentos realizados terem mostrado que o sinal obtido do sensor de fluxo de calor acompanha o crescimento do depósito, a utilização deste sinal como forma de medição da espessura do depósito requer ainda estudos adicionais, uma vez que, conforme mencionado acima, a condutividade do depósito necessária para a determinação de sua espessura é uma função do número de Reynolds. Deve-se ressaltar, no entanto, que em casos onde a diferença entre a condutividade térmica da parafina e do óleo for pequena, esta técnica de medição pode vir a tornar-se viável.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Por se tratar de tema ainda pouco explorado, é de se esperar que o presente trabalho produza muitas recomendações para trabalhos futuros.

De antemão é necessário repetir os testes realizados de forma a permitir uma verificação da repetibilidade dos resultados obtidos, bem como validar a metodologia aplicada.

A princípio, a temperatura ambiente foi controlada, mas no espaço grande do laboratório. O controle da temperatura num ambiente confinado no qual o experimento esteja contido, parece ser uma boa solução para obter um sistema menos suscetível às variações do ambiente e produzir resultados mais reprodutíveis.

A condutividade térmica utilizada para caracterizar as superfícies e os fluidos foi obtida através da literatura. Para revestimentos padronizados os dados de literatura são confiáveis. Entretanto para revestimentos de uso comum a forma de aplicação, o substrato e os aditivos podem fazer a condutividade térmica do mesmo variar. Para os fluidos este impacto ainda é maior, pois se tratam de derivados de petróleo (parafina, querosene, óleo mineral) cuja composição pode variar apreciavelmente. A determinação experimental da condutividade é

recomendada como uma forma de obter medidas mais confiáveis para estes fluidos e materiais.

Com relação à caracterização da superfície, a medida de energia crítica e de superfície para metais sofre influência de vários fatores. Os resultados obtidos para aço foram baixos e podem estar associados ao processo de usinagem, exposição, armazenamento das placas ou procedimento de limpeza. Uma investigação destes parâmetros pode esclarecer os motivos dos valores encontrados e permitir que se utilize uma superfície com as características mais próximas das tubulações encontradas no campo.

Da mesma forma a metodologia aplicada para medir a rugosidade foi muito simples. Uma investigação mais completa, como microscopia de força atômica, poderia permitir uma imagem em três dimensões da superfície, contribuindo para entender melhor o papel da rugosidade no mecanismo de deposição de parafina.

Conforme destacado na discussão dos resultados, a tensão de cisalhamento e sua relação com a rugosidade parecem desempenhar papel importante no processo de deposição. Desenvolver uma metodologia para medir perfil de velocidade e tensão de cisalhamento junto à parede para a seção de teste permitiria quantificar estas grandezas e contribuir no entendimento do fenômeno.

Deve ser mencionado que, por limitações de tempo, todo o estudo sobre deposição apresentado no presente trabalho foi realizado com uma única taxa de resfriamento. É sabido da literatura que a taxa de resfriamento influencia no comportamento da deposição. Assim, recomenda-se que o presente estudo seja complementado por ensaios conduzidos para outros valores da taxa de resfriamento.

Por fim, após o aperfeiçoamento do controle da seção de teste, e da melhoria na qualidade das informações de caracterização dos fluidos e superfícies, este experimento tem potencial de aplicabilidade com inúmeras condições de escoamento. Além disto, é de total relevância realizar este estudo experimental com um número maior de revestimentos e com variação de rugosidade para a mesma superfície de forma a confirmar a relação entre as propriedades da superfície e a espessura de depósito.