

## 6 Conclusões e Sugestões

### 6.1 Conclusões

No presente trabalho avaliou-se numericamente a deposição de parafina em escoamentos, utilizando dois dos possíveis mecanismos responsáveis pela formação do depósito. O principal objetivo deste trabalho consistiu em determinar a importância relativa dos mecanismos de difusão molecular e difusão browniana, comparando os resultados das previsões com dados experimentais obtidos em um canal. Para alcançar este objetivo determinou-se numericamente os campos de velocidade, pressão, temperatura, concentração de parafina dissolvida na solução e parafina fora da solução a fim de determinar a espessura do depósito ao longo do canal a medida que o tempo avança.

Primeiramente foi testado o mecanismo de deposição por difusão molecular, onde a taxa de deposição é obtida a partir do gradiente de concentração na interface do depósito. Obteve-se uma boa concordância entre os dados experimentais e numéricos para o regime permanente. No entanto, no regime transiente, a concordância entre as soluções não foi boa. A forma da interface do depósito não foi adequadamente prevista. Estes resultados indicam a existência de outro mecanismo de deposição além do mecanismo de difusão molecular, um possível mecanismo poderia ser o de difusão browniana e remoção por cisalhamento. O mecanismo de difusão molecular é considerado com muita frequência como o único mecanismo responsável pela deposição de parafinas nos diversos trabalhos científicos consultados. Observou-se que a espessura prevista do depósito era inferior a medida experimentalmente, especialmente em regiões onde a mistura encontrava-se sub-resfriada, quando o mecanismo de deposição por difusão browniana poderia ser relevante. Para o número de Reynolds de 856 a deposição prevista é maior a deposição medida, o que indicaria que poderia estar agindo o mecanismo de remoção por cisalhamento.

Na etapa seguinte do presente trabalho, investigou-se a influência no perfil

de depósito da combinação dos mecanismos de difusão molecular e difusão browniana. Determinou-se a quantidade de depósito de parafina em função do gradiente de concentração da mistura e o gradiente de concentração da parafina líquida fora da solução junto à interface do depósito. Praticamente o mesmo perfil do depósito foi obtido com os mecanismos combinados e somente com difusão molecular. Observou-se ainda um aumento do nível de depósito com um aumento do coeficiente de difusão browniano. Verificou-se também, como esperado, que a presença do mecanismo de difusão browniana aumenta a espessura do depósito nas regiões sub-resfriadas, porém o aumento é muito pequeno. Concluiu-se que o modelo de difusão browniana utilizado juntamente com o modelo de difusão molecular não foram suficientes para prever de forma precisa a espessura do depósito.

Na etapa final do trabalho, investigou-se a influência do regime de escoamento na taxa de deposição, associada ao mecanismo de deposição por difusão molecular. Um modelo de turbulência para baixo número Reynolds foi utilizado. O campo de velocidade e das grandezas turbulentas obtidos apresentaram coerência física, i.e., altos níveis de energia cinética e sua taxa de dissipação nas regiões de maior cisalhamento próximo às paredes e perfil de velocidade mais uniforme na seção transversal. Observou-se uma menor espessura de depósito do que para o caso laminar, devido à maior quantidade de movimento do fluido, sendo a espessura do mesmo mais uniforme ao longo do canal. Neste caso, devido a inexistência de dados experimentais, a análise dos resultados se limita à observação de que o comportamento previsto se mostrou coerente com a física do problema..

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que como primeira aproximação o mecanismo de difusão molecular é razoável para prever a espessura do depósito após atingir o regime permanente, sendo que para baixos números de Reynolds a espessura é sub-avaliada no final do canal e super-estimada quando o número de Reynolds cresce. A concordância obtida após atingir o regime permanente pode ser explicada pelo fato de que não ocorre deposição uma vez que a interface atinge a temperatura da TIAC, e esta espessura está diretamente relacionada com a condução de calor através da espessura da parafina sólida. Infelizmente, grandes discrepâncias são observadas durante o regime transiente. Para prever com precisão o regime transiente, outros

mecanismos de deposição precisam ser considerados, como o mecanismo que leve em conta o movimento browniano das partículas, ou ainda o mecanismo de dispersão por cisalhamento.

## **6.2. Sugestões**

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se duas linhas de ação. A primeira associada aos aspectos numéricos da presente formulação e uma segunda associada ao foco principal do presente trabalho, i.e., previsão da deposição da parafina.

No primeiro caso, recomenda-se o desenvolvimento de algoritmos mais robustos de solução do sistema algébrico de equações. Uma outra frente de pesquisa do ponto de vista numérico, poderia ser o desenvolvimento de uma metodologia de gerar a malha que se adapta a interface da deposição, minimizando a não ortogonalidade da mesma.

Com relação a previsão da deposição da parafina, outros mecanismos de deposição devem ser investigados para melhorar a previsão, especialmente durante o regime transiente. Dentre estes recomenda-se considerar outros modelos de deposição devido a efeitos brownianos, nos quais a taxa de depósito é proporcional a velocidade browniana. Efeitos termoforéticos, que levam em conta o fluxo de massa devido ao gradiente de temperatura, também podem ser investigados. Outro mecanismo que influencia o depósito que poderia ser considerado é o mecanismo de remoção por cisalhamento.

Outro efeito a ser investigado, consiste na influência da viscosidade da mistura. Não só a mesma cresce com a diminuição da temperatura, como a presença das partículas sólidas, podem induzir a um comportamento não Newtoniano da mistura.