

1 *Introdução*

Durante a produção do petróleo existente nos reservatórios, é possível recuperar, na prática, apenas uma fração. A maior parte permanece dentro da jazida devido à complexidade dos reservatórios e aos mecanismos ainda pouco eficientes de recuperação do petróleo, aliados a fatores econômicos. Entretanto, é inegável que o Brasil pode ir além, investindo em novas tecnologias e na ampliação dos métodos de recuperação, visto que 1% a mais no fator de recuperação do Brasil gera potencialmente US\$ 18 bilhões em novos investimentos e US\$ 11 bilhões em royalties, resultando num aumento de 2,2 bilhões de barris de óleo equivalente (PETERSOHN, 2018).

Existem vários métodos de recuperação avançada de petróleo (EOR), como os métodos químicos, métodos térmicos, métodos miscíveis, entre outros. Entre os métodos EOR, o método miscível com CO_2 tem ganhado destaque, em parte devido à possibilidade de sequestro, diminuindo assim o teor dos gases de efeito estufa na atmosfera. Embora o CO_2 apresente uma versatilidade frente a uma ampla gama de reservatórios, sendo aplicável a óleos leves e médios leves ($> 30^\circ$ API) em reservatórios rasos e em baixas temperaturas, quando se trata de óleos pesados, os métodos térmicos são os ideais e os mais utilizados.

Atualmente, grande parte da produção mundial de petróleo provém de campos maduros. Além disso, a taxa de substituição das reservas produzidas por novas descobertas tem diminuído constantemente nas últimas décadas. Portanto, o aumento dos fatores de recuperação (FR) de campos maduros sob produção primária e secundária será crítica para atender à crescente demanda de energia nos próximos anos (VLADMIR; MANRIQUE, 2010).

As reservas totais de petróleo bruto conhecidas são de aproximadamente 9-11 trilhões de barris (bbls) no mundo, entre os quais mais de 2/3 são de petróleo pesado e betume. O desenvolvimento efetivo desses recursos terão uma influência importante no suprimento mundial de energia (DONGA et al., 2019). O que mostra a grande importância dos métodos térmicos para recuperação avançada.

Para recuperar o petróleo pesado de forma eficaz, reduzir sua viscosidade (μ_o) e melhorar sua mobilidade (k_o/μ_o) são as principais prioridades. Considerando a sensibilidade do petróleo à temperatura, os métodos térmicos vêm sendo utilizados desde meados do século XX, mais precisamente, em 1966 com um pequeno projeto piloto nas operações de Trintopec, no campo de Palo Seco em Trindade e Tobago. Esse projeto se mostrou eficiente com 55% da produção nas terras de Trintopec com o uso da injeção de vapor. Os resultados foram tão encorajadores que estimularam um crescimento sem precedentes neste mecanismo de recuperação (KHAN et al., 1992). Até agora, ainda é o principal método de exploração de petróleo pesado em todo o mundo (DONGA et al., 2019).

Tecnologias sofisticadas foram necessárias para desenvolver economicamente os complexos e variados campos de petróleo. Várias tecnologias existentes, como injeção de água quente, injeção de vapor, vaporização cíclica (CSS) e processos de combustão “in situ”, foram aplicadas com sucesso em alguns países, como por exemplo, na Venezuela e na Califórnia, onde detém mais de 90% do óleo pesado e do betume do mundo. Mais recentemente, os avanços feitos nas tecnologias de perfuração direcional e medição durante a perfuração (MWD) facilitaram o desenvolvimento de novas tecnologias, como drenagem por gravidade assistida por vapor (SAGD), expansão de SAGD de solvente (ES-SAGD) e extração de vapor de solvente (VAPEX) que melhoraram significativamente o contato com o reservatório do poço, as eficiências de varredura, as taxas de óleo produzido e reduziram os custos de produção (NARS, 2005).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho é apresentar o método térmico de EOR, o histórico de seu desenvolvimento, tecnologias e processos variados de recuperação térmica, bem como suas formulações matemáticas - equação “Steamflood” e equação de injeção de água quente.