

1 *Introdução*

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).

Entre os métodos de recuperação avançada de petróleo (EOR), o método miscível com CO₂ tem ganhado destaque, em parte devido à possibilidade de sequestro, diminuindo assim o teor dos gases de efeito estufa na atmosfera. Embora o CO₂ 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 de petróleo pesado e betume 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 utilizadas 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 na Venezuela e na Califórnia, onde detém mais de 90% do óleo pesado e do betume (areias betuminosas) 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, suas diferentes tecnologias e formas de serem aplicados, bem como suas formulações matemáticas (...).