

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Utilização de Nitrogênio como Fluido Alternativo após a Injeção Contínua de Vapor em Reservatórios de Óleo de Viscosidade 300 cP

AUTORES:

Dayana L. Silva, Marcos A. F. Rodrigues, Wilson Mata e Tarcílio V. D. Junior

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO COMO FLUIDO ALTERNATIVO APÓS A INJEÇÃO CONTÍNUA DE VAPOR EM RESERVATÓRIOS DE ÓLEO DE VISCOSIDADE 300 cP

Abstract

Currently, due whole world is focalized to petroleum, many researches with this theme have been advanced to make difficult reservoir production viable. Because of geological and operational challenges presented to recovery oil, more and more efficient methods which are economically successful have been searched. In this background, steam flood is in evidence mainly when it is combined with other procedures to purpose low costs and high recovery factors. This work utilized nitrogen as an alternative fluid after steam flood to adjust the best combination of alternation between these fluids in terms of time and rate injection. To describe the economic profile, many analysis of liquid cumulative production in terms of time were performed. Fixing completion interval and viscosity, some simulations in physics model defined from one-eighth nine-spot inverted for the reason that its design is similar pattern fields of Brazilian Northern. To use the maximum resources offered by commercial simulator *Steam, Thermal and Advanced Processes Reservoir Simulator – STARS* of *Computer Modelling Group – CMG*, that was usage during studies, only one fraction of model was selected.

Keywords: steam flood, nitrogen injection, simulation.

Introdução

A corrida pelo óleo tem mudado o foco das pesquisas em recuperação de petróleo. Nos anos 70, época em que a injeção de água era o principal processo estudado e implantado, o Brasil ingressou no cenário dos processos de melhoramento de recuperação de petróleo. No início do século XXI o perfil da recuperação nos campos brasileiros começa a percorrer um novo rumo direcionando seu foco para os métodos térmicos. Por muitos anos apostava-se em um único método de recuperação que seria utilizado ao longo de toda a vida do campo, no entanto, viu-se que mudar os planos de injeção poderia trazer resultados, positivos e significantes. A busca por técnicas cada vez mais eficazes no auxílio da recuperação do petróleo tem sido o grande desafio da indústria petrolífera. O desenvolvimento de novas técnicas de produção e/ou recuperação é o grande foco das pesquisas recentes, mobilizando a comunidade científica para a necessidade de métodos mais eficientes e economicamente viáveis. Considerando tais técnicas, os métodos térmicos merecem destaque, sobretudo, a injeção de vapor que pode ser também combinada com outras técnicas de injeção para se obter resultados mais satisfatórios e economicamente mais viáveis. Para isto, estudos apontam que a injeção de vapor pode e, em alguns casos, deve ser incrementada com outros métodos que podem ser executados tanto de forma simultânea quanto de modo alternado sendo implementado antes ou após o vapor como uma nova alternativa de injeção.

O objetivo deste trabalho é identificar a melhor estratégia de injeção alternada entre vapor e nitrogênio dentro das exigências dos campos reais.

Metodologia

A modelagem do presente trabalho baseou-se em um padrão nine-spot invertido, comumente usado nos processos de injeção de vapor, e cuja configuração é estruturada com um poço injetor no centro do modelo, um poço produtor em cada um dos quatro pontos extremos (córneres) e um poço produtor no meio de cada fronteira do padrão (laterais). A Figura 1 demonstra essa configuração:

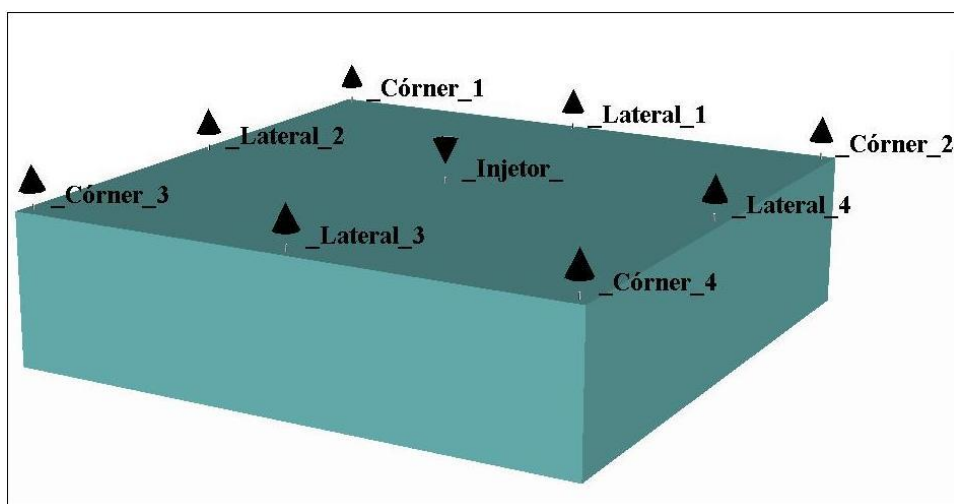


Figura 1 - Modelo nine-spot invertido tridimensional

A fim de facilitar o manuseio das simulações, optou-se pela redução da malha, para se ter um maior refinamento devido à limitação de blocos imposta pelo simulador. Assim, o modelo base foi construído a partir de 1/8 do padrão nine-spot invertido, no qual foram dimensionados 9375 blocos ($25 \times 25 \times 15$), distribuídos em um reservatório homogêneo ($100 \times 100 \times 26$), conforme ilustra a Figura 2:

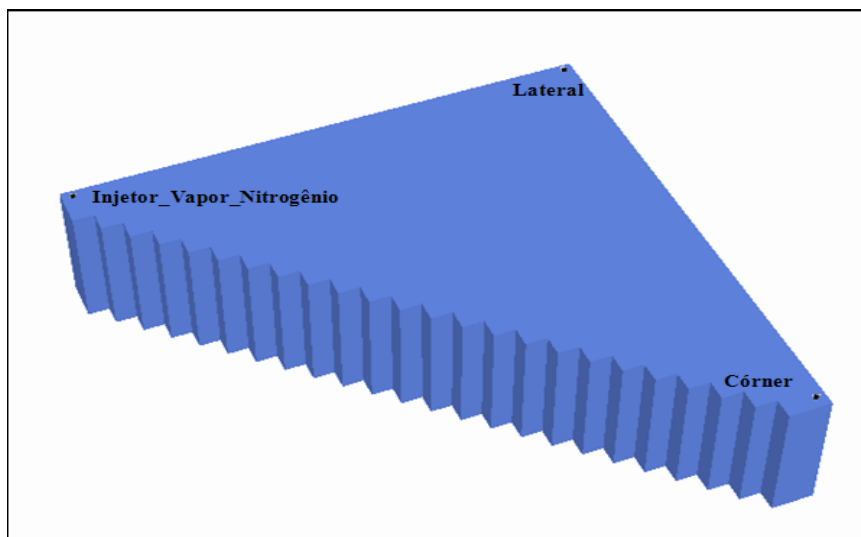


Figura 2 - Modelo 1/8 nine-spot invertido tridimensional

A estrutura geométrica do modelo compõe um triângulo equilátero, no qual os injetores e o poço córner estão na base a uma distância de 141.42 m e ambos distam 100 m do poço lateral.

Como fluido alternativo ao vapor, o nitrogênio foi escolhido, devido a vários fatores: Encontrado tanto na forma orgânica quanto inorgânica, o nitrogênio é abundante na natureza, podendo ser extraído da terra, do ar ou da água. Como gás de injeção, tem várias aplicações, tais como: manutenção da pressão, deslocamentos miscível/imiscível, promover o aumento da produção de óleo, dentre outras. Do ponto de vista econômico, considerando o gás o gás natural por base, o N_2 pode atingir um quarto ($1/4$) ou até mesmo metade do preço pago por aquele gás, dependendo da quantidade e da localização.

Com base em estudos realizados na área de injeção de vapor, o intervalo de completação escolhido, limitou-se à região localizada na base da zona de óleo (6^a - 10^a camada) tanto para o poço

injetor quanto para os produtores, devido à maior varredura do vapor no reservatório, reduzindo a segregação gravitacional dos fluidos (Rodrigues, 2008).

Os processos de injeção de vapor e injeção combinada com vapor e nitrogênio foram simulados para um projeto real de duração de 20 anos. Durante esse intervalo de tempo optou-se por injetar vapor ao longo de todo intervalo de tempo, bem como, parando sua injeção a cada ano e seqüenciando-a com nitrogênio.

Nos modelos nos quais o nitrogênio (N₂) é utilizado como componente gasoso, sua viscosidade é descrita de acordo com a correlação:

$$\mu = a_{\text{visc}} * \exp(b_{\text{visc}}/T) \quad (1)$$

Onde, de acordo com o manual STARS 2007.11 : $a_{\text{visc}} = 0.0110386$ cP e $b_{\text{visc}} = 207.92$ (K, °C) são constantes usadas na formulação da relação entre temperatura e viscosidade para os componentes na fase líquida. Para os modelos simulados utilizou-se como hidrocarboneto o icosano (C₂₀H₄₂) que representa o óleo devido suas semelhanças com a parafina contida no petróleo. Tal componente foi utilizado na viscosidade de 300 cP.

Fazendo uso da correlação da viscosidade para o nitrogênio e com base na literatura as curvas características da viscosidade adotadas para este trabalho estão ilustradas nas Figuras 3 e 4:

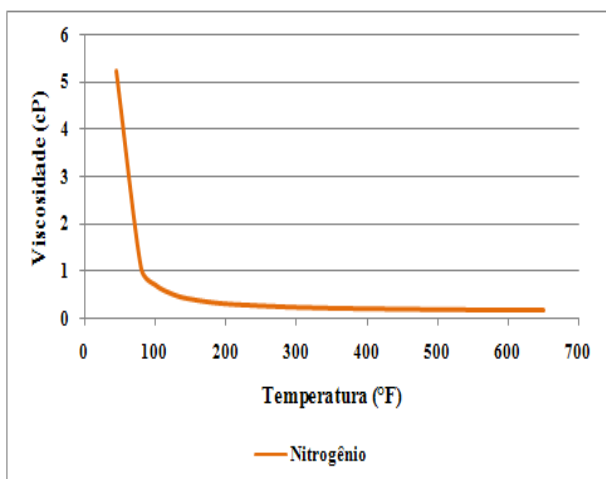


Figura 3 - Viscosidade X Temperatura para o N₂

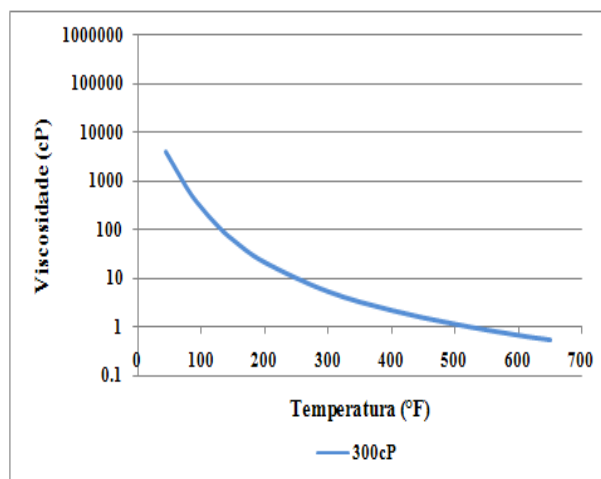


Figura 4 - Viscosidade X Temperatura para o óleo

No início dos testes, fixando todos os parâmetros foram fixados, variando-se apenas a vazão de injeção de ambos os fluidos. Tais testes variaram de 12,5 ton/dia a 25ton/dia de vapor, chegando-se a três perfis. Para a escolha da melhor vazão, considerou-se a injeção de vapor ao longo de todo o projeto. Em virtude da chegada do banco de óleo aos poços produtores, escolheu-se a vazão de 200 m³/dia para o vapor, e usando critérios de custo energético, 4000 m³/dia para o nitrogênio.

Resultados e Discussão

A análise dos resultados preliminares foi dividida em duas etapas. A princípio, traçou-se um comparativo, em termos da Np entre os processos apenas com a injeção de vapor e todos os modelos, com nitrogênio após este fluido e sem fluido de injeção após o vapor ter sido interrompido. Essa primeira etapa teve por objetivo excluir aqueles modelos em que não foi vantajosa a injeção de nitrogênio em relação aos resultados obtidos sem a injeção de nenhum fluido após o vapor. Para a

viscosidade de 300 cP, interrompendo-se a injeção de vapor e seqüenciando-a com a injeção de nitrogênio, os resultados, parando-se o vapor até o quarto ano de projeto, em intervalos de um ano, mostraram que o nitrogênio favoreceu a produção em relação aos modelos em que nenhum fluido foi injetado após essa interrupção. No entanto, a partir do quinto ano, não há mais vantagem em se ter o nitrogênio como segundo fluido, tendo em vista que seu desempenho se assemelha ao da ausência de injeção de fluido. As Figuras 5 a 10 ilustram os comportamentos acima descritos:

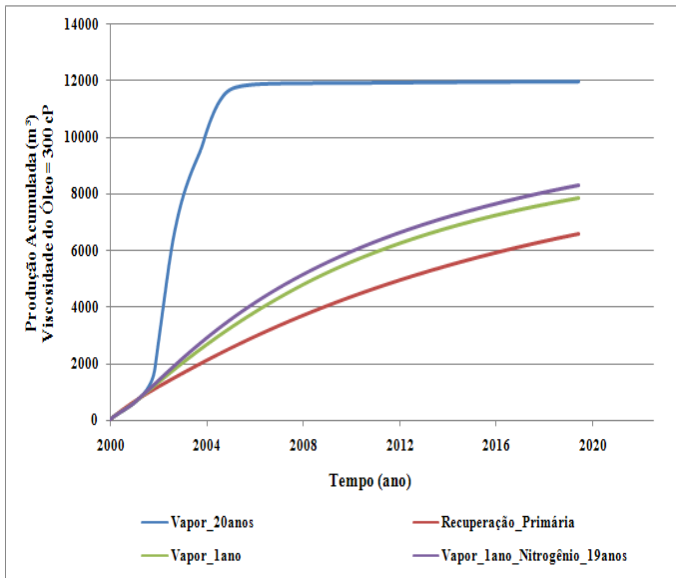


Figura 5 - Np X Tempo parando o vapor no 1º ano

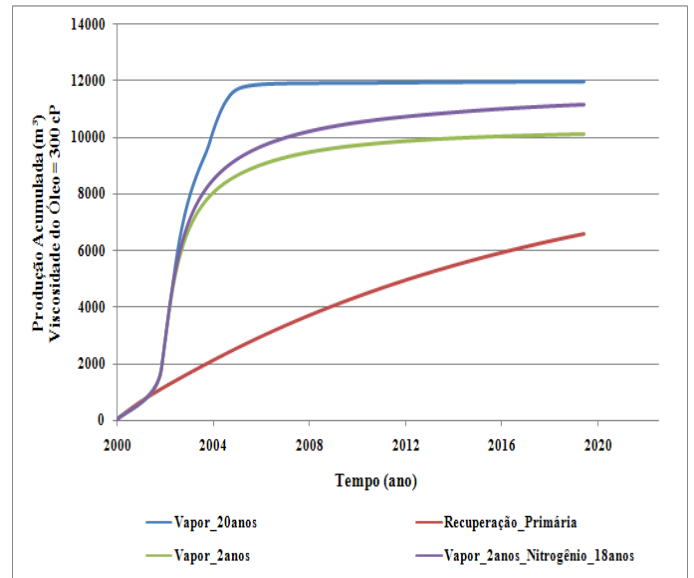


Figura 6 - Np X Tempo parando o vapor no 2º ano

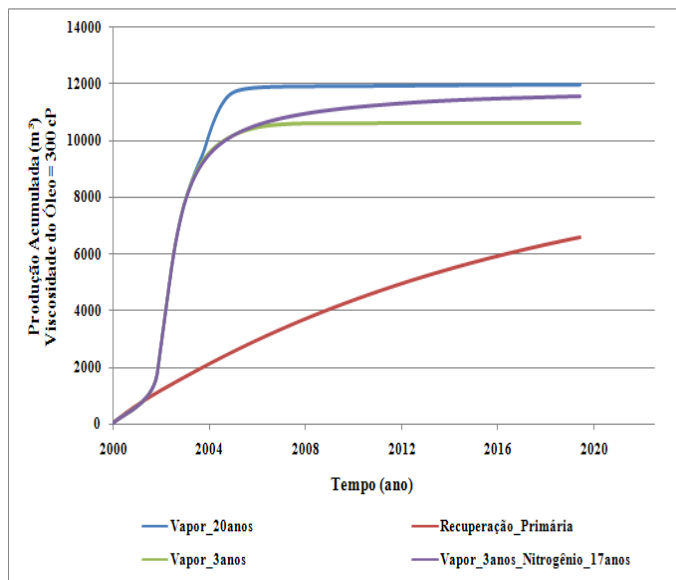


Figura 7 - Np X Tempo parando o vapor no 3º ano

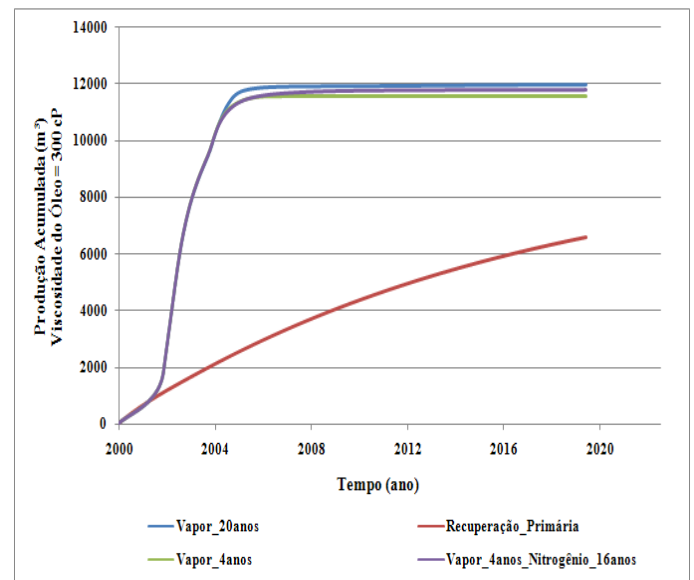


Figura 8 - Np X Tempo parando o vapor no 4º ano

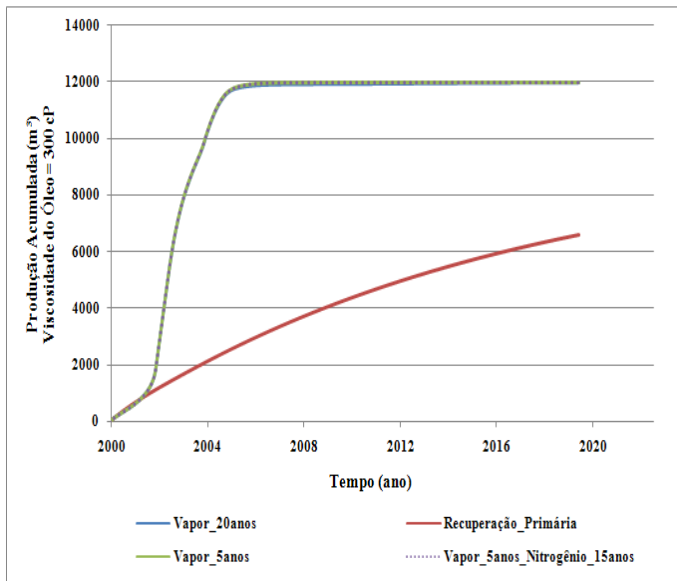


Figura 9 - Np X Tempo parando o vapor no 5º ano

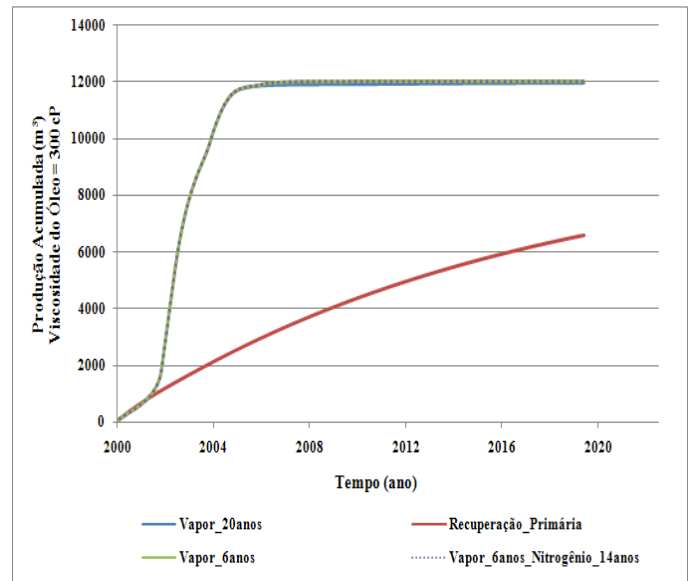


Figura 10 - Np X Tempo parando o vapor no 6º ano

É válido ressaltar, o alto ganho na produção de óleo provocado pela injeção de nitrogênio ainda no segundo ano de projeto, quando se compara à injeção de vapor ao longo do 20 anos. Isso mostra eficiência da combinação dos métodos de injeção de vapor e nitrogênio.

Na segunda etapa, com o objetivo de encontrar modelos economicamente viáveis, os resultados foram submetidos a uma análise segundo a produção acumulada líquida ($Np_{\text{líquido}}$) em função do tempo. Essa análise teve o intuito de mostrar o comportamento da injeção de acordo com a ROV, determinada por 0,10, muito utilizada na indústria petrolífera. Ou seja, uma vez adotada 200 ton/dia como vazão de injeção de vapor, 20 m³/dia é o limite econômico para tornar um projeto viável. Essa variável, em termos de valor líquido, traça o perfil econômico do processo de injeção sem os custos dos fluidos injetados, uma vez que, nela da produção acumulada de óleo se subtrai os gastos volumétricos de vapor e nitrogênio. Isso configura um cenário, de modo que, seu ponto máximo indica que se chegou ao limite viável de produção. Para projetos que fazem uso apenas do vapor como fluido de injeção, a partir desse limite ocorre uma queda apontando que a injeção não é mais significativa. Por outro lado, quando se combinam vapor e nitrogênio, conforme ilustra a Figura 11, a tendência é que tal queda não ocorra e sim, que quando o ponto máximo é alcançado, o comportamento permaneça próximo de uma constante.

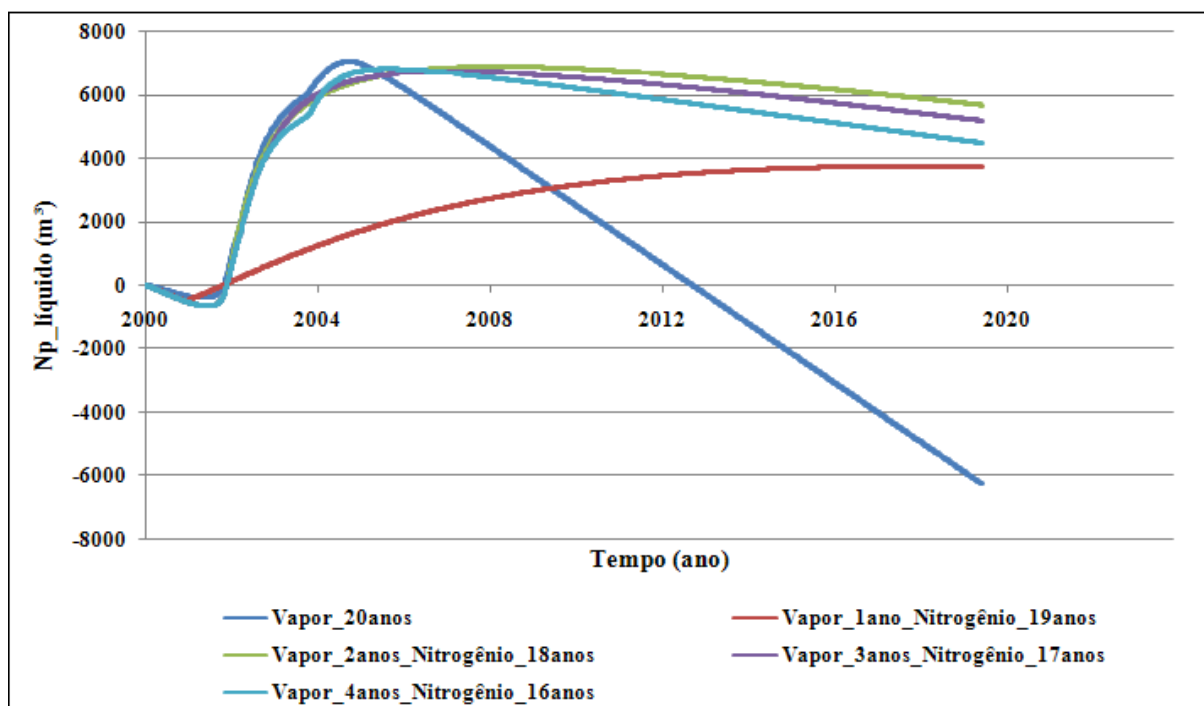


Figura 11 – Np líquido X Tempo

Utilizando um óleo de 300 cP e considerando que o limite econômico para o projeto apenas com vapor é alcançado aproximadamente no sexto ano. Observa-se, que o sistema, no qual, parou-se a injeção de vapor no segundo ano e prosseguiu o projeto com nitrogênio, apresentou-se melhor resultado.

Conclusões

De acordo com os resultados analisados e expostos neste trabalho, pode-se concluir:

- É possível a aplicação do nitrogênio como fluido alternativo após o vapor em um reservatório de óleo de 300 cP;
- A associação, vapor mais nitrogênio, mostrou-se melhor quando o vapor foi interrompido nos primeiros anos de projeto, antes da metade do processo (10 anos);
- Em termos de Np_{liq} a configuração mais viável foi aquela em que se parou a injeção de vapor no segundo ano de projeto e a partir desse ponto, injetou-se nitrogênio

Agradecimentos

A Petrobrás pelo suporte financeiro e ao PPGCEP pela estrutura física e de docência.

Referências Bibliográficas

ALCOCER, C. F.; MENZIE, D. E. - Enhanced Oil Recovery by Nitrogen Injection: The Effect of Increased Temperature and the Amount of Gas in Solution. *Society of Petroleum Engineers* – 12709, Abril, 1984.

GLASO et al. - Miscible displacement: Recovery tests with nitrogen. *Society of Petroleum Engineers* - 17378, Fevereiro, 1990.

RODRIGUES, M. A. F.; *Estudo paramétrico da segregação gravitacional na injeção contínua de vapor*. 2008. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Reservatório) – Centro de Tecnologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Reservatório, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Brasil.