

# MÉTODO DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO UTILIZANDO INJEÇÃO DE GLICERINA BRUTA E POLÍMEROS

Yago Veloso<sup>1</sup> | Arley Cruz<sup>2</sup>  
Leonardo Machado<sup>3</sup> | Ana Paula S.C. de Santana<sup>4</sup>

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777  
ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

Os métodos de recuperação avançada ou métodos de recuperação terciária de petróleo são definidos assim quando são injetados em reservatórios fluidos que não estão presentes no mesmo e são utilizados quando se quer ter um acréscimo no fator de recuperação de petróleo do reservatório. Os métodos de recuperação avançada do petróleo podem ser divididos em três categorias: métodos térmicos, métodos miscíveis, os métodos químicos e outros métodos não tão convencionais (métodos microbiológicos, ondas eletromagnéticas e etc.). Os métodos de recuperação avançada atualmente tem despertado o maior interesse em pesquisas científicas e no desenvolvimento de tecnologias na busca de cada vez mais aumentar a eficiência desses métodos, a injeção de glicerina surge então como uma alternativa tecnológica na recuperação de petróleo, alternativa bastante utilizada e conhecida de recuperação terciária é a injeção de polímeros. Esse artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica em artigos e materiais científicos disponíveis na internet e realiza uma análise sobre a eficiência de cada método, relatando quais as vantagens e desvantagens do uso de cada um desses métodos.

## PALAVRAS-CHAVES

Métodos de recuperação avançada, reservatórios de petróleo, glicerina, alternativa tecnológica, polímeros.

## ABSTRACT

The methods of enhanced recovery methods or tertiary oil recovery are defined so when fluids are injected into reservoirs that are not present in the same and are used when one wants to have an increase in oil recovery factor of the reservoir. The methods for enhanced recovery of oil can be divided into three categories: thermal methods, miscible methods, chemical methods and others not so standard methods (microbiological methods, electromagnetic waves, etc.). The methods for enhanced recovery currently has aroused great interest in scientific research and development of technologies in search of increasingly the efficiency of these methods, the injection of glycerin then emerges as an alternative technology in oil recovery, a widely-used and well-known alternative tertiary recovery is the injection of polymers. This article aims to literature review in scientific papers and materials available on the Internet and conducts an analysis on the efficiency of each method, describing the advantages and disadvantages of using each of these methods.

## KEYWORDS

Methods of Enhanced Recovery. Oil Reservoirs. Glycerin. Alternative Technology. Polymers.

## 1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios, cujos mecanismos de produção primária possuem baixo fator de recuperação e que por consequência retêm grandes quantidades de hidrocarbonetos após a exaustão da sua energia natural, são fortes candidatos ao emprego de uma série de processos que visam à obtenção de uma recuperação adicional. Esses processos são chamados de métodos de recuperação, que, de uma maneira geral, alteram o fator de recuperação que favoreceram a retenção exagerada de óleo.

O ciclo de vida de um reservatório de petróleo é dividido basicamente em três estágios. No primeiro estágio apenas a energia provida do reservatório é utilizada para a recuperação dos hidrocarbonetos, no segundo estágio técnicas especiais são utilizadas na recuperação para manter a energia do reservatório que agora está em declínio. Nessa fase se caracteriza a utilização de fluidos nativos do próprio reservatório para injeção, na maioria das vezes água.

No terceiro estágio da vida do reservatório existe a injeção de fluidos deslocantes que contêm substâncias que se naturalmente não estiveram em contato com o reservatório antes e que serão capazes de modificar as condições de formação mecânica de deslocamento dos fluidos contidos nele, aumentando ainda mais o fator de recuperação.

De um modo geral, esses métodos de recuperações são aplicados a campos maduros e a cada estágio da vida desse reservatório se faz a necessidade de um acréscimo de energia.

Pode-se definir como campo maduro todo campo que se encontra em avançado estágio de exploração, com índices de produção declinante que já ultrapassaram seu pico de produção, necessitando da aplicação de diversas técnicas de recuperação avançada de petróleo. Esse é um conceito técnico operacional, associado apenas ao declínio do perfil de produção pela idade (tempo de exploração) (SOUZA, 2002).

Os fluidos injetados, que também recebem o nome de fluidos deslocantes, devem empurrar o óleo, chamado de fluido deslocado, para fora dos poros da rocha e ao mesmo tempo ir ocupando o espaço deixado à medida que este vai sendo expulso. Mesmo na porção do reservatório invadida pelo fluido deslocante (água, por exemplo), nem todo o óleo lá contido é deslocado. O óleo retido nos poros da zona invadida pela água, denominado óleo residual, é consequência do efeito da capilaridade (THOMAS, 2004).

A denominação de recuperação primária está relacionada aos reservatórios que utilizam da energia natural disponível para produzir o petróleo para a superfície (tais como gás em solução, capa de gás, influxo de água etc.). Em muitos casos, busca-se maximizar o tempo de produção por surgência, já que estes são capazes de produção a menores custos, quando comparados com os poços que utilizam da elevação artificial (BORGES, 2009).

A produção de fluidos por surgência pode ser explicada devido a dois fatores principais. Um deles, a descompressão, que gera a expansão dos fluidos no reservatório junto com a contração do volume poroso. O outro fator é o deslocamento de um fluido por outro fluido. O conjunto de fatores que causam esses efeitos denomina-se mecanismos de produção (ROSA, 2006).

Com a necessidade do aumento da produção de óleo e devido à rápida queda de pressão do reservatório, surgiu a necessidade de utilizar métodos capazes de suplementar esta energia primária por meio de métodos artificiais, conhecidos como métodos de recuperação secundária.

A injeção de fluidos no reservatório é baseada em mecanismos puramente mecânicos, e tem como objetivo fornecer pressões necessárias para deslocar o óleo para fora da rocha reservatório e ocupar o espaço deixado pelo fluido produzido (BORGES, 2009).

Os métodos mais comuns e mais baratos são a injeção de água (forçando o óleo a fluir para os poços de produção) e a re-injeção de gás de produção (MOTHÉ, 2006).

Os métodos de recuperação terciários são os mais indicados para a recuperação dos campos maduros, pois buscam recuperar reservatórios que apresentam óleos com alta viscosidade e elevadas tensões interfaciais. Neste cenário, a aplicação dos métodos convencionais de recuperação secundária não é suficiente (BORGES, 2009).

Nas últimas décadas, os métodos de recuperação secundária passaram a ser classificados como métodos convencionais de recuperação, enquanto que os métodos terciários passaram a ser denominados como métodos especiais de recuperação ou métodos de recuperação avançada (ROSA, 2006).

Os campos que são selecionados para produzirem por meio de métodos especiais de recuperação são estudados arduamente por uma série de técnicos que gerenciam a produção do reservatório. Basicamente para o reconhecimento de campos que podem produzir com este tipo de recuperação é necessário: familiaridade completa com cada campo de óleo em uma determinada área; compreensão dos métodos especiais de recuperação (ROSA, 2006).

A injeção de glicerina bruta ou de polímeros se encaixa como métodos de recuperação terciária por se tratarem de substâncias diferente das substâncias presentes no reservatório de petróleo. A utilização do método de recuperação por injeção de glicerina bruta e polimérica tem ganhado bastante espaço em pesquisas científicas a fim de avaliar a eficiência desse método.

## **2 PRODUÇÃO DE GLICERINA**

A glicerina é um composto utilizado em várias indústrias como a cosmética (na confecção de batons e maquiagens) e a de fármacos (na composição de cápsulas, supositórios e anestésicos). Porém para a utilização da glicerina nas mais variadas indústrias, o óleo vegetal de onde ela teve origem passa por uma série de tratamentos até que seja gerado o biodiesel e a glicerina que posteriormente pode ser purificada para produção de glicerol (MENDES; VALDÉS, 2012).

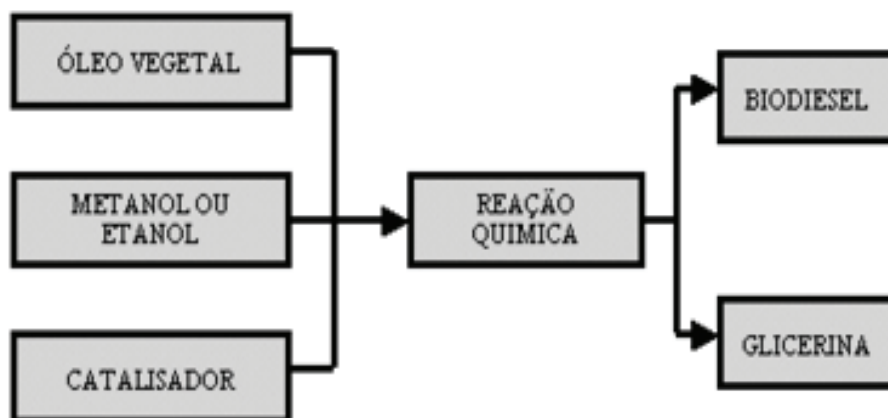
A glicerina trata-se de um coproduto do processamento do biodiesel. Segundo Oliveira, 2012, o processo de produção do biodiesel consiste basicamente em: a) Obtenção da matéria prima; b) Transesterificação da matéria prima; c) Separação das fases; d) Recuperação; e) Desidratação do álcool; f) Purificação do biodiesel e da glicerina.

Na fase de obtenção da matéria prima em questão, o processo é realizado por meio da extração do óleo vegetal existente no produto. Adiante o óleo é separado do solvente e em seguida o óleo é utilizado na transesterificação. Nesta etapa ocorre uma reação química entre o óleo e um álcool simples (metanol ou etanol). Para acelerar esta reação são utilizados catalisadores, que podem ser ácidos ou bases. Geralmente são utilizados o hidróxido de sódio (NaOH) ou o

hidróxido de potássio KOH). A mistura passa por um processo de separação e o álcool produzido, que fica tanto na glicerina como no éster, é recuperado por meio da evaporação. Com isso a glicerina bruta é gerada. Uma parcela de álcool ainda tende a ficar nos produtos. Então, por meio da desidratação, o álcool restante é retirado por meio da destilação (LARSEN, 2009).

Por meio de destilação a vácuo, a glicerina produzida é purificada tendo com isso a produção do glicerol (1,2,3 – propanotriol). O fluxograma da Figura 1 mostra como ocorre todo o processo citado anteriormente.

Figura 1 – Processo de produção de glicerina, (co-produto da produção de biodiesel)



Fonte: Jonas de Souza. Dendê – Potencial para produção de energia renovável. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo9.htm>>.

A glicerina bruta possui menos de 90% de glicerol em sua composição e o resto é preenchido por impurezas (como água, lipídios, cinzas e metanol). É um composto orgânico, líquido à temperatura ambiente, inodoro e viscoso. Possui ponto de fusão 17,8°C e ponto de ebulição de 290°C. A sua produção corresponde a 10% do volume total do biodiesel (CASTAÑEDA, 2011).

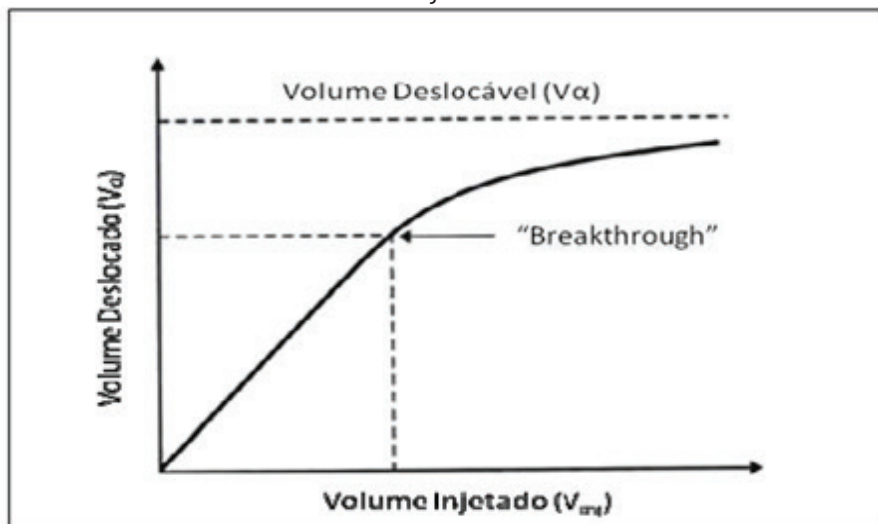
O crescente incentivo para a produção de biodiesel no Brasil tem aumentado, também, a produção de glicerina oriunda da sua produção. Essa glicerina em excesso tem inundado o mercado nacional, fazendo com que novas rotas de reutilização desse subproduto sejam criadas a fim de valorizá-los. Uma dessas rotas seria a utilização da glicerina bruta como fluido injetável em reservatórios de petróleo se caracterizando assim como um método de recuperação avançada.

### 3 RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO UTILIZANDO GLICERINA BRUTA

O ponto de transição da curva do comportamento linear para o não-linear nos métodos secundários é conhecido como breakthrough (Gráfico 1), se carac-

terizando como o momento onde a primeira quantia de água injetada no reservatório começa então a ser produzida, também, com o óleo. Ou seja, o volume de água injetado no reservatório não é mais igual ao volume de óleo produzido, ficando então uma parcela de óleo retida agora no reservatório. A partir desse momento os métodos de recuperação secundários já não são mais suficientes para deslocar a parcela de petróleo que continua dentro do reservatório. A depender então da viabilidade econômica entram em ação os métodos de recuperação terciários ou avançados.

Gráfico 1 – Gráfico do volume injetado x Volume deslocado



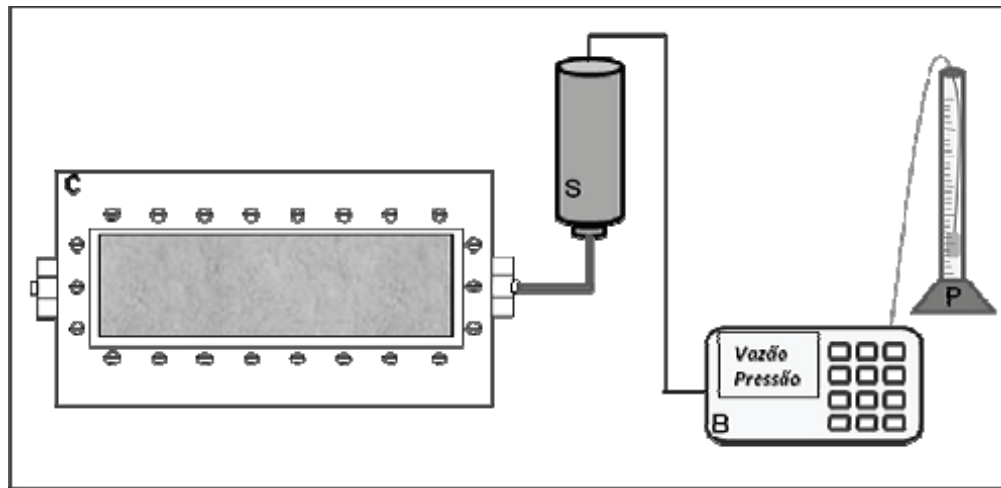
Fonte: Sampaio, 2004.

A injeção de glicerina é tratada em alguns trabalhos já existentes na literatura como um método de recuperação terciário (EOR-Enhanced Oil Recovery). A utilização desses métodos é necessária quando já não é mais suficientes para recuperar o petróleo a utilização dos métodos secundários (água e gás). Esses métodos são divididos em dois grandes grupos: recuperação térmica e recuperação não térmica.

Esses métodos são utilizados quando o óleo residual apresenta as seguintes condições: baixa eficiência de varrido, altas forças capilares e elevada viscosidade. Alguns desses métodos são utilizados constantemente como a injeção de surfactante e a injeção de água quente. Outros ainda são menos usuais como os métodos microbiológicos (SANTANA, 2009).

O trabalho realizado por Borges (2009) mostra excelentes resultados da utilização da glicerina bruta como fluido EOR. O desenvolvimento de um sistema experimental para testar a eficiência da injeção da glicerina bruta como método de recuperação avançada com outros métodos de injeção. O aparato experimental montado foi uma célula micro reservatória que constava, também, com um sistema de aquecimento para manutenção da temperatura e um sistema de injeção de fluidos.

Figura 2 – Aparato experimental composto por: C) Célula micro reservatória, S) Sistema de injeção de fluidos no reservatório, B) Bomba de injeção e P) reservatório do fluido a ser injetado



Fonte: Quintela, 2007.

Os testes de bancadas realizados mostraram ótimos resultados, tendo aumentado a recuperação significativamente do volume de óleo, produzido em reservatórios areníticos, onde o fator de recuperação com a utilização da recuperação secundária era de cerca de 20% com o uso de água e surfactantes. Com a utilização da injeção da glicerina bruta o fator de recuperação nesse caso avançou para 80% e em outro teste agora com a utilização de areia e argila na célula obtiveram uma recuperação de 60% do volume de óleo (BORGES, 2009).

Vale ressaltar que o autor utilizou nos testes petróleos parafínicos ou asfálticos, petróleo que oferecem dificuldades de serem produzidos. Além disso, testes mostraram que apenas um simples aquecimento da emulsão produzida (Glicerina-óleo) em um vaso separador entre 60°C e 80°C separa 94% vv (MATOS; QUINTELLA, 2007)

Outra grande vantagem do uso da glicerina seria a sua baixa toxicidade, não causando danos ambientais ao solo e em condições de reservatório. Já foi observado que a glicerina como fluido de recuperação:

- Não gera ácido sulfídrico, pois não existe enxofre em quantidades significativas;
- A glicerina já é utilizada rotineiramente pela microbiota e conhecem-se bem os bioprodutos gerados;
- A glicerina tem sido utilizada em solos arenosos para aumentar o tempo de permanência da água junto às raízes de plantas, não tendo apresentado aumento de toxidez;
- Os resíduos de sais de glicerina têm potencial efeito como fertilizantes.

## 4 RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO UTILIZANDO POLÍMEROS

Durante a recuperação secundária de petróleo acontece uma redução de permeabilidade na maioria dos reservatórios e a injeção de fluidos tende a escoar pelas zonas preferenciais, deixando quantidades substanciais de petróleo nos meio porosos, causando a formação de fingers (Figura 3) nos reservatórios que iram gerar a produção do fluido injetado implicando em uma baixa recuperação de petróleo e eventualmente, um processo não econômico.

Figura 3 – Formação de fingers em reservatórios durante a injeção de água



Fonte: MARIANO, 2008, p. 17.

O principal objetivo desse método é aumentar a viscosidade e reduzir a permeabilidade da fase aquosa, com esses dois fatores o resultado é a melhoria na relação de mobilidade entre a fase aquosa e a fase oleosa. Com isso, há uma uniformização da frente de avanço, que melhora a eficiência de varrido areal e vertical (BAI, 2008).

Esse método visa recuperar o óleo móvel remanescente que a injeção de água não deslocou, mas também pode ser aplicado desde o início do desenvolvimento de um reservatório.

A injeção de polímeros é identificada como um método de recuperação especial químico no qual o mesmo é adicionado à água para melhorar a recuperação do óleo contido no reservatório. O polímero que entra em contato com a água tem o objetivo de aumentar a viscosidade do fluido injetado, diminuindo sua mobilidade, aumentando com isso o deslocamento do óleo mais viscoso e também tampona alguns espaços da rocha, impedindo que a água passe por aquele caminho (CASTRO, 2009).



Para a utilização do polímero adequado é necessário testes em laboratório usando amostras de testemunhos do reservatório e os fluidos presentes nos testemunhos auxiliam na escolha do polímero. Os polímeros são sensíveis à degradação mecânica, química, térmica e microbiológica e para que o método seja eficiente, as soluções poliméricas a serem injetadas precisam permanecer estáveis por um longo período sob condições de reservatório.

Na indústria do petróleo a poliacrilamida parcialmente hidrolisada (HPAM) e a goma xantana são os polímeros mais utilizados. Os mesmos são responsáveis pelo aumento da viscosidade da água, e direcionando o fluido injetado para zonas de menor permeabilidade, diminuindo a formação de fingers (preferência dos fluidos em seguirem caminhos onde há maior permeabilidade) e com isso aumentar a varredura do óleo (FERREIRA, 2012).

Para a injeção de polímeros, como em qualquer método de recuperação, alguns critérios de seleção devem ser seguidos para determinação do melhor fluido a ser usado. Os critérios são regras para a aplicação de um processo de recuperação em função das condições do reservatório e mostram os valores das propriedades do óleo e do reservatório, como o grau API, a viscosidade, a profundidade e a temperatura. Na recuperação por injeção de polímeros, testes de interação ente a rocha e o fluido mostram qual o tipo de polímero deve ser injetado na formação (SORBIE, 1991). A injeção de polímeros em reservatórios de óleo é bem sucedida quando:

- Formações homogêneas ou com baixo grau de heterogeneidade;
- Razão de mobilidade entre 5 e 40;
- Permeabilidade absoluta na região menos permeável deve ser maior que 20 mD;
- Temperatura do reservatório deve estar com no máximo 95°C;
- A formação deve ter um teor de argila e de sal baixo;

## 5 CONCLUSÕES

Devido à grande produção de glicerina em processos industriais, sendo gerado como coproduto em alguns processos, isso pode baratear o custo da matéria prima a ser injetado no reservatório, porém existe a necessidade de que essa matéria-prima esteja disponível a uma distância dos poços, que seja viável economicamente transportá-la até esses poços. Grandes distâncias inviabilizariam a sua utilização como fluido de recuperação já que o transporte da mesma até os poços injetores ficaria muito caro, inviabilizando esse processo.

Uma grande vantagem de se utilizar a glicerina, também, seria a potencialização da agricultura familiar, já que a produção de glicerina por meio da transesterificação é obtida através da utilização de óleos oriundos de plantas oleaginosas. Esses recursos melhorariam o Índice de Desenvolvimento humano (IDH) das regiões produtoras da matéria-prima para produção do biodiesel e da glicerina.

A injeção de polímeros é um método já bastante utilizado e consolidado, sua maior vantagem é evitar a criação de fingers em reservatórios e tornar a solução aquosa a ser injetada mais viscosa, aumentando sua mobilidade a fim de que ela “empurre” o óleo contido nos poros da rocha reservatória para o poço.

## REFERÊNCIAS

BAI,Y., Li, J., Li, Q., **Transp. Porous Med**, 2008, p. 73, 21.

BORGES, Sarah M. Santana. **Recuperação avançada de petróleo (EOR) com a utilização da glicerina bruta (GB) co-produto da produção de Biodiesel**. 2009. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Bahia-UFBA, Salvador, BA, 2009.

CASTAÑEDA, R. D. S. **Glicerina bruta e ureia de liberação lenta na alimentação de bovinos de corte**. 2011. 46f. Tese (Doutorado em zootecnia). Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <[www.ppz.uem.br/producao/getdoc.php?id=316](http://www.ppz.uem.br/producao/getdoc.php?id=316)>. Acesso em: 26 maio 2014.

CASTRO, M. V. **Escoamento de polímeros em meios porosos**. 2009. 13f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC- RIO), Rio de Janeiro, 2009.

CHI, Z.; ZHAO, S. **Optimization of medium and cultivation conditions for pullulan production by a new pullulan-producing yeast strain**. *Enzyme and Microbial Technology*, 33:206-211, 2003.

FERREIRA, M. Z. **Injeção contínua e alternada de água e de polímeros para a recuperação de petróleo**. 2012. 105f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2012.

GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V.E.; CASAS, J.A.; GÓMEZ,E. Xanthan gum: Production, recovery, and properties. **Biotechnology Advances**, 18:549-579, 2000.

LARSEN, A. C. **Co-digestão anaeróbica de glicerina bruta e efluente de fecularia**. 2009. 55f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2009. Disponível em: <<http://www.dominio-publico.gov.br/download/texto/cp114920.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2014

MATOS, Paulo C. C.; QUINTELLA, C. M., **Melhoria da elevação e do escoamento de petróleos parafínicos pela adição da Glicerina Bruta, coproduto do biodiesel**. 2007. Manuscrito submetido para apreciação: 3ª Edição do Prêmio Petrobras de Tecnologia: Categoria 4, Tecnologia de logística e de Transporte de Petróleo, Gás e Derivados, 2007

MENDES, D.B.; VALDÉS S., J.C. **Glicerina**: uma abordagem sobre a produção e o tratamento. 2012. 67f. Dissertação (Mestrado em agroenergia). Universidade Federal do Tocantins- UFT, Tocantins, 2012. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0107121220302827.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2014

MOTHÉ, C. G., CORREIA, D. Z., FRANÇA, F.P., Riga, A. T., **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 2006.

OLIVEIRA, D. S. **Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de Moringa** Oleífera. 2012. 61f. Mestrado. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte- UERN, Rio Grande do Norte, 2012.

PADILHA, F.F. **Produção de biopolímeros sintetizados por microorganismos**. 2003, 210f. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas- SP, 2003.

PETTITT, D. J. Xanthan gum. In: M. GLICKSMAN (ed.), Food Hydrocolloids. **Boca Raton**, CRC Press, v.1, 1982, p.127-149.

SAMPAIO, A. Seminário Recursos Energéticos do Brasil: Petróleo, Gás, Urânio e Carvão, **Clube de Engenharia**, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2004.

ROSA, A. J., Carvalho, R. S., Xavier, J.A.D., **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

SEAG. **Cana-de-açúcar**, 2005. Disponível em: <[http://www.seag.es.gov.br/cana\\_caracterizacao.htm](http://www.seag.es.gov.br/cana_caracterizacao.htm)>. Acesso em: 27 maio 2014.

SORBIE, K. S. - Polymer-improved Oil Recovery, CRC Press, Inc.. USA and Canada. 1991.

SOUZA, L. P., **Estudo sobre tomada de decisão em projetos de rejuvenescimento de campos petrolíferos maduros**. 2002. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

---

**Data do recebimento:** 29 de Março de 2014

**Data da avaliação:** 17 de Agosto de 2014

**Data de aceite:** 8 de Agosto de 2014

---

- 
1. Graduando em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES –  
Email: yagomsv@globo.com
  2. Graduando em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES –  
Email: arley\_alles@hotmail.com
  3. Graduando em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES –  
Email: leogarcia\_brumas@hotmail.com
  4. Graduando em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES –  
Email: anapaulasc@yahoo.com.br