



SPE 84864

EOR: passado, presente e o que os próximos 25 anos podem trazer

George J. Stosur, SPE, Consultor de Petróleo, Washington, DC

Copyright 2003, Society of Petroleum Engineers Inc.

Este artigo foi preparado para apresentação na Conferência Internacional de Recuperação de Petróleo Melhorada da SPE na Ásia-Pacífico realizada em Kuala Lumpur, Malásia, de 20 a 21 de outubro de 2003.

Este artigo foi selecionado para apresentação por um Comitê do Programa da SPE após revisão das informações contidas em um resumo submetido pelo (s) autor (es). O conteúdo do artigo, conforme apresentado, não foi revisado pela Society of Petroleum Engineers e está sujeito a correção pelo (s) autor (es). O material, conforme apresentado, não reflete necessariamente qualquer posição da Society of Petroleum Engineers, seus diretores ou membros. Os artigos apresentados nas reuniões da SPE estão sujeitos à revisão da publicação pelos Comitês Editoriais da Society of Petroleum Engineers. É proibida a reprodução, distribuição ou armazenamento eletrônico de qualquer parte deste documento para fins comerciais sem o consentimento por escrito da Society of Petroleum Engineers. A permissão para reprodução impressa é restrita a um resumo de no máximo 300 palavras; as ilustrações não podem ser copiadas. O resumo deve conter o reconhecimento visível de onde e por quem o artigo foi apresentado. Write Librarian, SPE, PO Box 833836, Richardson, TX 75083-3836 USA, fax 01-972-952-9435.

Resumo

O documento apresenta uma análise das atividades e tendências de EOR em todo o mundo para o futuro de médio prazo. O foco do artigo está nos níveis de produção de EOR e no número correspondente de projetos dentro de cada grupo de tecnologia EOR principal: térmico, inundação de gás, químico e outros métodos.

A maioria das atividades de EOR estão na América do Norte, onde o declínio da produção de petróleo convencional está agora bem estabelecido e EOR é uma das poucas opções restantes para a produção de petróleo adicional. Nos Estados Unidos, o clima econômico desfavorável do final da década de 1980 fez com que o número de novos projetos de EOR diminuísse rapidamente, seguido pelo nivelamento correspondente da produção de petróleo e até mesmo por um modesto declínio da produção de EOR em 2002.

A recuperação térmica continua a fornecer o maior, embora seja uma fração em declínio da produção de EOR. A longo prazo, os métodos de recuperação térmica podem desempenhar um papel cada vez mais importante na recuperação dos enormes recursos de petróleo pesado e areias betuminosas. A inundação de gás continua ganhando impulso e se mostra promissora para ganhos adicionais. Projetos de inundação química sofreram com a queda de juros e taxa de produção insignificante. O desvio de fluidos via controle de modificação da permeabilidade oferece um potencial considerável a curto prazo.

É provável que o petróleo produzido pela EOR nos Estados Unidos já tenha atingido seu nível máximo e que aumentará acima das taxas de produção atuais apenas a preços de petróleo estáveis e substancialmente mais altos. O pico de produção mundial da EOR provavelmente ocorrerá 30-35 anos após o início do declínio da produção global de petróleo, ou em meados de 2060.

Definições

Há muita confusão em torno do uso do termo EOR e, especialmente, do termo IOR. Ref. 1 descreve o esforço para chegar a um acordo sobre as definições para esclarecer as comunicações, formando um comitê industrial sob os auspícios da SPE. Este artigo adere à definição proposta, Fig.1.

A recuperação aprimorada de óleo (EOR) refere-se a processos de reservatório que recuperam óleo não produzido por processos secundários. A recuperação primária usa a energia natural do reservatório para produzir óleo ou gás. A recuperação secundária usa injetantes para repressurizar o reservatório e deslocar o óleo para os produtores. Os processos aprimorados de recuperação de óleo visam o que resta. Eles se concentram no sistema rocha / óleo / injetante e na interação das forças capilares e viscosas.

EOR em perspectiva

Como a EOR evoluiu e qual tem sido sua participação na produção de petróleo? A este respeito, é útil observar a distribuição atual da produção de petróleo por primário, secundário e terciário (EOR), nos Estados Unidos, que permaneceu sem alteração por pelo menos 15 anos, Fig.2. Apenas 37 por cento do petróleo produzido nos Estados Unidos vem de métodos primários. Os métodos secundários de inundação de água e manutenção da pressão do gás contribuem com a maior parte, 51%. Cerca de 12 por cento é produzido por métodos terciários, também conhecidos como EOR.

A produção mundial de petróleo pela EOR é agora de 2,9 milhões de barris por dia, ou 3,7 por cento da produção total de petróleo mundial, Fig. 3.

Ao longo dos anos, a produção de petróleo dos EUA a partir de processos EOR cresceu continuamente e atingiu um patamar de 1992-2000, Fig. 4. O primeiro declínio significativo da produção de EOR ocorreu em 2002. A Fig. 4 também ilustra várias tendências importantes com relação à popularidade de várias tecnologias de EOR nos EUA:

- *Projetos térmicos,* majoritariamente *inundação de vapor,* continuam a contribuir com a maior fração da produção de EOR, mas as taxas de crescimento pararam em 1988. Na verdade, a produção EOR térmica diminuiu 16 por cento desde 1998. Petróleo pesado

a produção por inundação vapor na Califórnia é responsável pela maior parte do declínio.

- *Aplicações miscíveis e imiscíveis com gás* desfrutou de uma taxa rápida de aumento desde 1982, mas se estabilizou desde 1992, e até registrou um pequeno declínio em 2002.
- *Projetos Químicos* exibiu um período de popularidade de 1982 a 1992, mas nunca atingiu mais de 4% da taxa de produção anual total da EOR. Desde 1992, a taxa de produção de inundações químicas era insignificante e apenas uma fração muito pequena de um por cento da produção total de EOR.
- *EOR microbiana*, apesar de mais de 100 testes de campo conduzidos em todo o mundo, nunca alcançou força suficiente para permitir uma taxa de produção mensurável em paridade com outros métodos EOR.

Os métodos de recuperação térmica, embora sua taxa de crescimento possa ter atingido o pico nos Estados Unidos, continuarão a crescer em outras partes do mundo, onde são encontrados óleos pesados e areias betuminosas e onde as restrições ambientais podem não ser tão severas quanto as dos Estados Unidos. Como a produção mundial de petróleo convencional começa a declinar em 30 anos, a atenção estará voltada para as quantidades quase imensuráveis de óleo pesado e areias betuminosas, muitas das quais só podem ser produzidas por métodos térmicos.

Por enquanto, os métodos de injeção de gás continuam a ter vantagem sobre outras aplicações EOR, particularmente nos Estados Unidos e Canadá. As razões são óbvias, embora diferentes: há uma série de fontes de CO₂ de alta qualidade que ocorrem naturalmente nos Estados Unidos, enquanto o Canadá tem um excesso de gás natural que usa com sucesso para inundações de gás miscível.

Os métodos químicos nos Estados Unidos, apesar de duas décadas de grande atenção e publicidade, simplesmente nunca foram capazes de decolar. Mas, as inundações químicas na China foram bem-sucedidas. A maioria dos operadores evita inundações químicas, dizendo que é muito caro e imprevisível.

As conclusões acima não devem ser extrapoladas indiscriminadamente, uma vez que muito depende das situações individuais dos reservatórios, disponibilidade de injetantes, condições locais específicas, preços do petróleo, incentivos governamentais e muitos outros fatores além do controle dos operadores.

Ainda mais revelador é o declínio constante do número de projetos EOR ativos, Fig. 5. O número de projetos EOR ativos caiu continuamente de 512 em 1986 para 147 em 2002, uma queda de 71%. Isso pode indicar que recursos e tecnologia estão sendo aplicados pela expansão de projetos promissores em andamento, em vez de pelo início de novos projetos. Além disso, os melhores projetos EOR

demonstrou um fluxo de caixa positivo, enquanto novos projetos não seriam lucrativos aos preços esperados do petróleo. Por alguma razão, as empresas não estão agora investindo em novos projetos de EOR na taxa em que estavam em 1986 - o ano em que os preços do petróleo bruto caíram para US \$ 12 por barril. O resultado da situação levou a um aumento da produção de EOR proveniente de um número menor de projetos. Este é um processo de "seleção natural" pelo qual os processos mais eficazes e eficientes continuam a produzir e florescer, enquanto os menos eficientes e eficazes são reduzidos ou retidos para o desenvolvimento de tecnologia adicional.

Por um lado, a tendência aponta para menos projetos de EOR fornecendo uma quantidade crescente de petróleo por projeto em um período de preços do petróleo imprevisíveis e em rápida mudança, atestando a força básica das tecnologias de EOR. Por outro lado, a tendência não é nada animadora para o futuro da EOR nos Estados Unidos. Embora a queda de 2002 na produção de EOR possa ter sido espúria, o período de dez anos sem crescimento na produção de EOR, terminando com um declínio significativo, é preocupante para os defensores das tecnologias de EOR.

Várias tecnologias que se acreditava causariam grande impacto nas aplicações EOR não se materializaram. Tecnologias como poços horizontais, sísmica 4-D e tomografia crosswell encontraram uso limitado. No caso da tomografia crosswell, o custo ainda é relativamente alto em comparação com os levantamentos sísmicos 3-D que fornecem informações em uma extensão maior da área.

Os métodos tradicionais de EOR foram recentemente desafiados pelo rápido progresso na exploração, incluindo a revolução sísmica 3-D acelerada pelo poder do computador. Essas conquistas chamaram mais atenção para a descoberta e o desenvolvimento de pequenos reservatórios de petróleo em detrimento dos processos EOR em campos de petróleo em maturação. Melhorias semelhantes em tecnologias computacionais e maior velocidade de aquisição e processamento de dados estão criando novas oportunidades para uma melhor gestão de reservatórios que é essencial para aplicações EOR bem-sucedidas.

O papel da tecnologia

A década de 1990 marcou melhorias tecnológicas extraordinárias na exploração, perfuração e produção. O presidente do American Petroleum Institute declarou que "um progresso alucinante reduziu o custo de descoberta e produção de petróleo em 60 por cento em termos reais nos últimos 10 anos".

De acordo com os relatórios estatísticos da Energy Information Administration, os custos de descoberta e desenvolvimento em todo o mundo caíram de US \$ 21 por barril no início dos anos 1980 para cerca de US \$ 6 por barril no final dos anos 1990. Os avanços na exploração fizeram com que as descobertas de petróleo por conclusão de poço exploratório aumentassem seis vezes desde o início dos anos 1980 até o final dos anos 1990. Na área a montante, relacionando

para melhor recuperação de óleo, a proporção de óleo-vapor sensível ao custo diminuiu por um fator de dois desde o início dos anos 1980. Em geral, entretanto, parece que o progresso geral nas tecnologias de EOR durante a década de 1990 não acompanhou os desenvolvimentos de alta tecnologia aplicáveis aos métodos convencionais de recuperação.

O 30º aniversário da Offshore Technology Conference foi marcado com uma exibição de tecnologia que teria parecido ficção científica uma década antes. Exemplos de tecnologias inovadoras incluem:

- Conversão da tecnologia de laser de defesa Star War para perfuração. Dois experimentos de laboratório resultou em taxa equivalente de penetração de 166 e 450 pés / h (2).
- A Baker Hughes, Inc., revelou o conceito de "Downhole Factory", um sistema de gerenciamento de produção que combina fibra ótica, robótica, inteligência artificial e outras tecnologias para converter gás natural em energia elétrica dentro do poço. Ela já formou alianças e registrou o título Downhole Factory para a nova tecnologia que espera montar em 10 anos (3).
- A separação no fundo do poço da água produzida com óleo, um processo caro na superfície porque a água deve ser reinjetada, ou descartada de outra forma, já está passando por testes de campo (4).
- Tomografia sísmica de poço cruzado e as ferramentas de geofone em miniatura (0,5 polegada) associadas, que permitem a caracterização de reservatório aprimorada na escala entre poços (5).

Lá Há todos os motivos para acreditar que os avanços tecnológicos continuarão inabaláveis. Mesmo que eventualmente estejamos ficando sem petróleo convencional barato, existem enormes recursos de *pouco convencional* hidrocarbonetos que excedem em muito os recursos convencionais. O conhecimento e a experiência da EOR serão essenciais no desenvolvimento comercial desses recursos.

O que podem trazer os próximos 25 anos?

Uma questão ainda mais desafiadora foi colocada para os painelistas da Conferência Internacional da SPE sobre IOR em Kuala Lumpur, Malásia, em 2001: Will *"50% da produção mundial de petróleo vem do IOR / EOR até 2020"*? Não surpreendentemente, não houve acordo, nem respostas definitivas.

Responder a essa pergunta, mesmo em um sentido qualitativo, não é menos difícil do que prever o poder da computação de desktop de hoje há 20 anos. O resultado, é claro, dependerá de variáveis como a taxa de desenvolvimento de tecnologia, a atividade econômica mundial, cenários de mudanças climáticas, crescimento populacional, política, petróleo

preço e sua oferta, e muitos outros que são difíceis por de prever.

No entanto, muitos economistas e geocientistas tentaram olhar para o futuro do fornecimento de petróleo até meados de 21st século, mas nenhum dos estudos examinou especificamente a contribuição da EOR para o suprimento geral de petróleo nos Estados Unidos ou no mundo.

Vamos começar com algumas suposições. Em primeiro lugar, suponha que a definição de EOR seja conforme proposta na Ref. 1, e mostrado na página 1 deste documento. A definição proposta de IOR a partir da mesma referência é: *Óleo melhorado recuperação (IOR) refere-se a qualquer prática para aumentar a recuperação de petróleo além da produção primária. Isso pode incluir processos EOR, bem como todos os processos de recuperação secundários, como inundação de água e manutenção da pressão do gás.*

A Tabela 1 mostra a porcentagem de petróleo produzido por recuperação primária, recuperação secundária e recuperação aprimorada de petróleo, para os Estados Unidos e o mundo, para o período de 1970 a 2050.

O significado do ano de 1970 é que a produção de petróleo dos Estados Unidos atingiu seu pico naquele ano e começou a declinar a partir dessa época. O significado do ano de 2037 é que a produção mundial de petróleo atingirá seu pico e começará a declinar (6). As seguintes conclusões são tiradas:

- Em países com um longo histórico de produção de petróleo e um declínio bem estabelecido na produção de petróleo, como nos Estados Unidos, a EOR aparentemente atingiu um patamar e pode não crescer muito mais.
- A EOR sempre se manteve em um nível muito abaixo da produção de petróleo por métodos secundários, que também atingiu o teto e permaneceu estável há cerca de 15 anos.
- Não é provável que o EOR exceda a produção de petróleo de operações secundárias porque a inundação de água e a manutenção da pressão do gás (secundária) sempre serão mais baratos do que o EOR formulários.
- No futuro previsível, as principais empresas de petróleo continuarão a se concentrar na exploração de grandes reservatórios, enquanto ponderam sobre fontes alternativas de energia e energias renováveis. Para eles, é simplesmente uma questão de sobrevivência. A EOR é ótima, mas tem um limite para seu crescimento, mesmo com preços de petróleo muito melhores.
- Como nos Estados Unidos, onde a EOR se estabilizou cerca de quatro décadas após o início do declínio da produção total de petróleo, a EOR mundial atingirá seu pico cerca de 30 anos após o início do declínio de sua produção, agora pensado para ocorrer em

2037 (6). A fração EOR da produção total de petróleo mundial seria semelhante à do Estados Unidos.

- Dentro de 25 anos, econômico e ambientalmente aceitável ^{maneiras} do óleo produção do enorme petróleo pesado do mundo e areias asfálticas, bem como de outras não. Espera-se que as fontes de energia de hidrocarbonetos convencionais, podem ser possíveis. Mesmo antes líquidos e gasosos forneçam muita energia ao setor de disso, muitos setores da economia nuclear, exceto a transporte. Também é concebível que seja restringido, demanda por petróleo (em particular), podem estar não tanto por sua oferta, mas por automóveis ou pela avançando no desenvolvimento de alta eficiência preocupação com o meio ambiente.

A extrema sensibilidade da atividade de EOR ao preço do petróleo foi reconhecida e apontada pelo estudo do National Petroleum Council (NPC) em 1984, (7). O estudo estimou os níveis de produção de EOR em três cenários de preços durante o ano de 2010, Fig. 6. Já em 1984, a NPC previu que haveria pouco crescimento na produção de EOR a \$ 20 / bbl (cenário de "Caso Implementado"), e que a produção de EOR atingiria o pico em meados de 1990. Considerando que os preços médios do petróleo durante aquele período estavam mais próximos de \$ 20 do que de \$ 30 / bbl, essa projeção provou ser razoavelmente precisa, Fig. 6. No entanto, o caso declarado foi o mais conservador dos muitos outros cenários e não presumiu nenhum avanço tecnológico desde 1984. O "Caso de Tecnologia Avançada" sugeriu um nível de produção de EOR a uma taxa quase duas vezes o nível do "Caso Implementado", o que provou ser irreal. No geral, o estudo foi excessivamente otimista.

Com base na história documentada de desenvolvimento e aplicação de EOR nos Estados Unidos, a EOR não cumpriu sua promessa inicial. Se a porcentagem da EOR como uma fração do total de petróleo produzido continuar a aumentar, isso se deve em grande parte ao declínio da produção total de petróleo nos EUA

A Tabela 1 mostra a recuperação de óleo real e projetada no EUA e o mundo, por tipo de recuperação, para o período de 1970 a 2050. Atualmente, a EOR contribui com 12% do petróleo para o fluxo total de petróleo nos EUA. Essa fração pode aumentar um pouco, apenas porque a produção total de petróleo continuará a diminuir. É improvável que a contribuição da EOR exceda 18% da produção total de petróleo nos Estados Unidos ou em qualquer outro lugar do mundo. Níveis de preços do petróleo substancialmente mais altos e estáveis são essenciais para ultrapassar esse limite. E isso não está nas cartas tão cedo.

Conclusões

É provável que o petróleo produzido pela EOR nos Estados Unidos já tenha atingido seu nível máximo e que aumentará acima das taxas de produção atuais apenas a preços de petróleo estáveis e substancialmente mais altos.

O pico de produção mundial da EOR provavelmente ocorrerá 30-35 anos após o início do declínio da produção global de petróleo, ou em meados de 2060.

Referências

1. Stosur, G., "The Alphabet Soup of IOR, EOR and AOR: Effective Communication Requer uma Definição de Termos". SPE # 84908, outubro 2003
2. "Tecnologia a laser Star Wars para perfuração e completação de poços de gás". JPT, fevereiro de 1999.
3. "A Indústria do Petróleo mostra seu futuro na Conferência de Tecnologia Offshore". O&G, 29 de abril de 1998.
4. "Avaliação de Viabilidade da Tecnologia do Separador de Água / Óleo de Fundo de Poço". Relatório US DOE No. W-31-109-Eng-38, janeiro de 1999.
5. "Parceria de Tecnologia de Gás Natural e Petróleo". Site de parceria www.sandia.gov/ngotp.
6. "Fornecimento mundial de petróleo a longo prazo; Uma Análise do Caminho de Produção da Base de Recursos. www.eia.doe.gov.
6. "Enhanced Oil Recovery" Um relatório do National Petroleum Council, junho de 1984.

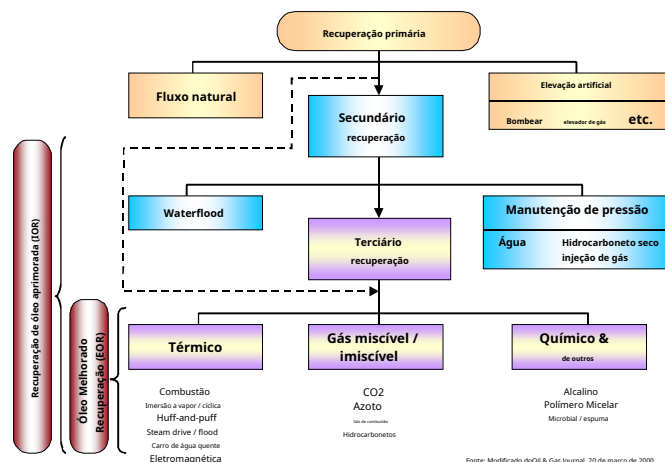


Fig 1. Estágios sequenciais de recuperação de óleo com conteúdo proposto para recuperação de óleo "Aprimorada" e "Melhorada" (modificado após Oil and Gas Journal)

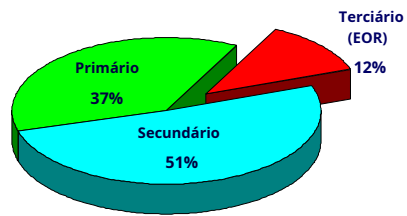


Figura 2. Ciclos sequenciais de produção de óleo e sua participação correspondente na porcentagem de contribuição

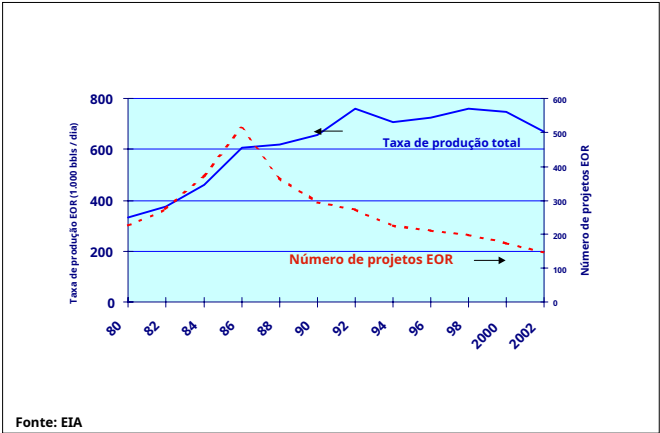


Fig.5. Correlação de projetos EOR ativos nos EUA e produção de EOR níveis

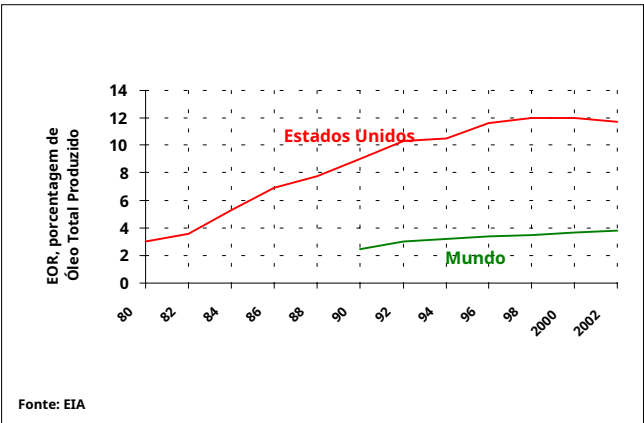


Fig.3. Crescimento histórico da EOR nos Estados Unidos e no mundo

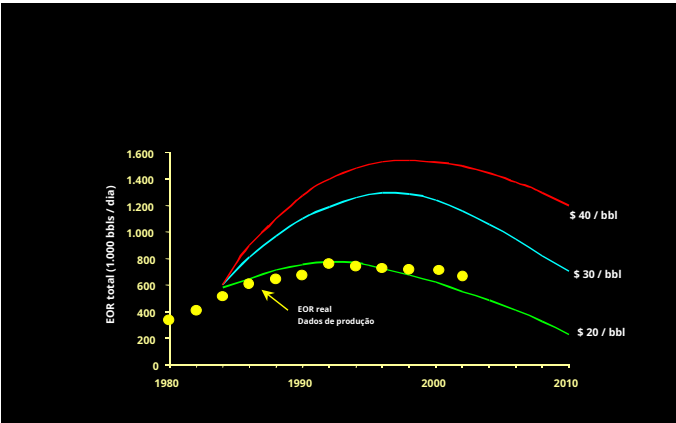


Fig. 6. Produção real da EOR nos EUA em comparação com o estudo do National Petroleum Council, para três cenários de preços do petróleo. (Preço nominal do petróleo bruto em dólares constantes de 1983, caso de tecnologia implementado, ROR mínimo de 10%). Estudo NPC sobre EOR.

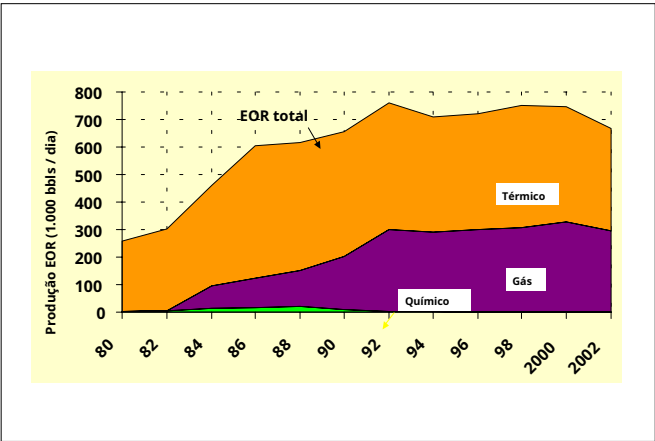


Fig. 4. EOR na Unidade ed Estados por processos principais

	Você fala		2000		2020		Pico Mundial, EIA		2050	
	1970		1970		1970		1970		1970	
	nós	MUNDO	nós	MUNDO	nós	MUNDO	nós	MUNDO	nós	MUNDO
Primário	53	n / D	37	56	32	48	27	43	20	35
Secundário	45	n / D	51	40	54	44	57	47	62	51
Terciário (EOR)	<2	n / D	12	<4	14	8	16	10	18	14

Tabela 1. Recuperação de óleo real e projetada por processos para o EUA e o mundo