

Métodos de Recuperação Suplementar

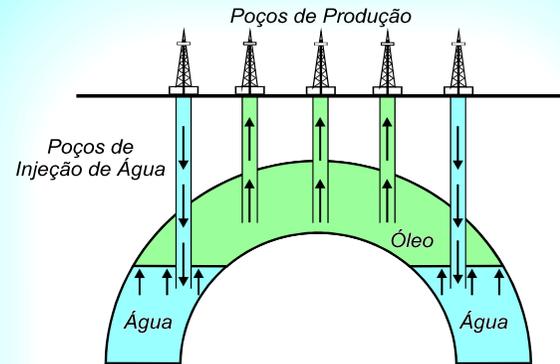
- **Convencional**
 - Injeção de Água
 - Injeção de Gás

- **Especial**
 - **Térmicos**
 - Injeção de Vapor
 - Combustão In Situ
 - Eletromagnetismo

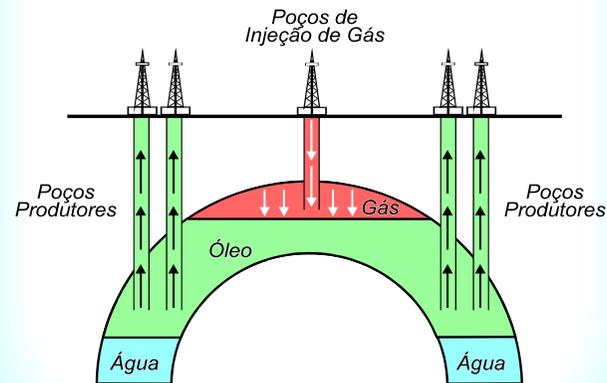
Métodos de Recuperação Suplementar

- **Especial**
 - **Miscíveis**
 - Injeção de CO₂
 - Injeção de Gás Natural
 - Injeção de Nitrogênio
 - **Químicos**
 - Injeção de Polímeros
 - Injeção de Tensoativos
 - Injeção de Solução Alcalina
 - **Outros**
 - Microbiológicos

Recuperação Secundária de Petróleo



a) ESQUEMA BÁSICO DE INJEÇÃO DE ÁGUA



b) ESQUEMA BÁSICO DE INJEÇÃO DE GÁS

RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA

IOR: Definições Iniciais

- **Recuperação Primária (Primary Recovery)**

Recuperação de óleo por mecanismos naturais: gás em solução, influxo de água, capa de gás, segregação gravitacional

- **Recuperação Secundária (Secondary Recovery)**

Injeção de um fluido, água ou gás, cuja função primária é manter a pressão do reservatório e deslocar o óleo em direção aos poços produtores

- **Recuperação Terciária (Tertiary Recovery)**

Diversos processos ou injeção de fluidos outros que não água e gás com o objetivo de recuperar óleo adicional

IOR: Definições Iniciais

- **EOR (Enhanced Oil Recovery) ~ Métodos Especiais de Recuperação ~ Recuperação Terciária**

São termos usados indistintamente. EOR foi o termo usado pelo SPE nas décadas de 60 a 80, compreendendo tratamentos feitos em escala de reservatório

- **IOR (Improved Oil Recovery) ~ Recuperação Avançada de Petróleo**

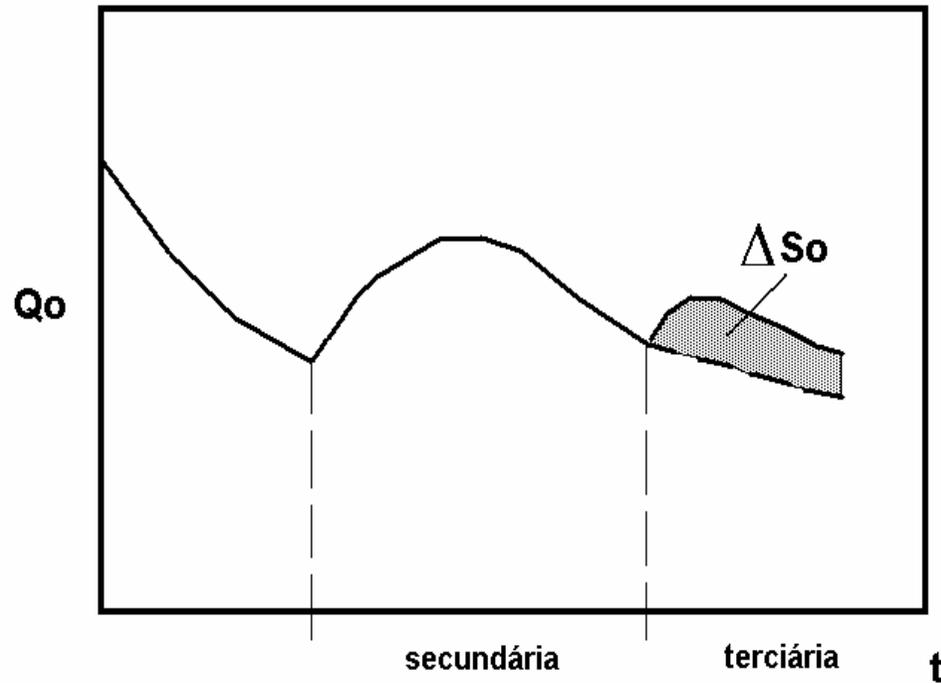
Este termo passou a ser usado na década de 90 pelo SPE, para “revitalizar” a atividade, desgastada devido ao baixo preço do petróleo que a inviabilizava e a alguns fracassos técnicos, causados muitas vezes por “early breakthrough”.

Compreende: EOR + injeção de água + injeção de gás + caracterização de reservatórios + tratamentos em escala de poço (“wellbore vicinity”)

Métodos de IOR

- **Métodos especiais tradicionais:**
 - **Térmicos:** Injeção de Vapor e Combustão In Situ
 - **Químicos:** Injeção de polímeros, tensoativos, fluidos alcalinos
 - **Solventes:** Injeção de CO₂ (miscível ou imiscível), nitrogênio, “flue gas”, hidrocarbonetos
 - **WAG (Water alternating gas):** frentes sucessivas de água e gas ou água e CO₂
- **Métodos não-convencionais ou avançados:**
 - **Aquecimento eletromagnético**
 - **Vibração mecânica**
 - **Microbiológicos**
- **Tratamentos em escala de poços**
 - **Correção de perfis de injetividade/produtividade de poços através da injeção de géis, polímeros e produtos microbiológicos**

O que se ganha com o IOR?



Métodos de Recuperação Suplementar

Eficiência de Deslocamento (E_D)

É a fração do óleo móvel na zona varrida que foi deslocado.

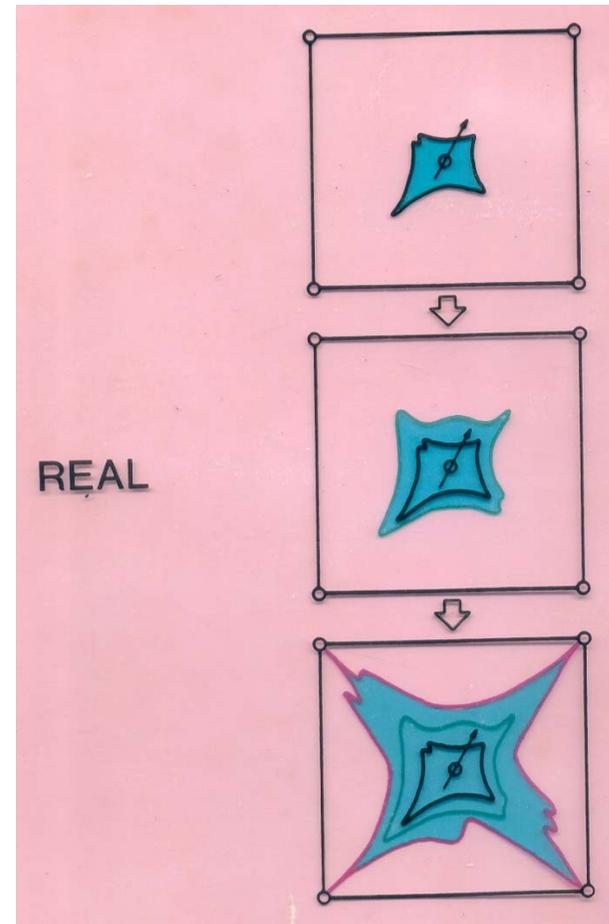
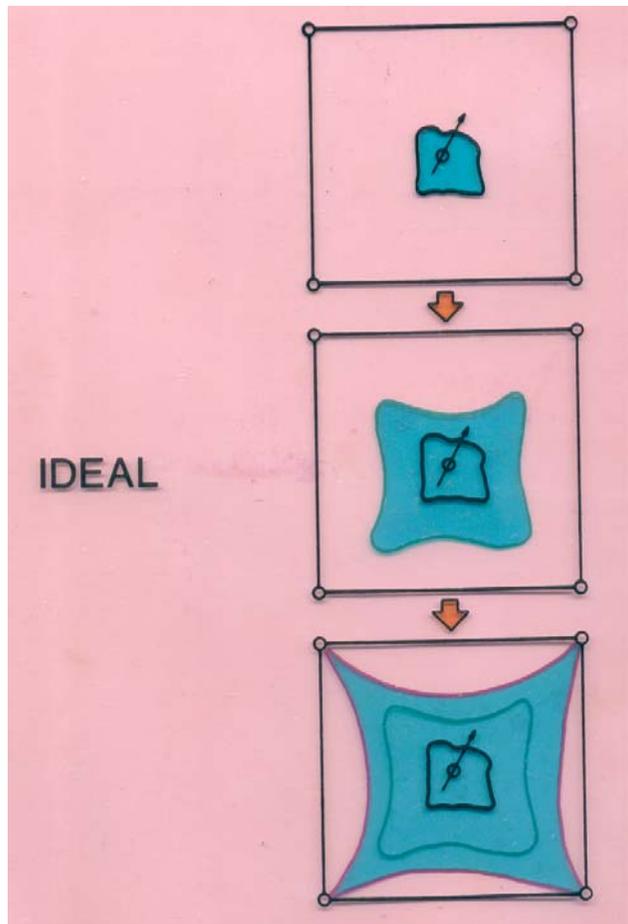
É função dos volumes injetados, da viscosidade dos fluidos e da permeabilidade relativa.

E_D varia entre zero no início da injeção e um, valor que seria obtido após um número muito grande (infinito) de volumes porosos injetados.

$$E_D(V_{pi}) = \frac{S_{oi} - S_{of}}{S_{oi} - S_{or_p}}$$

Métodos de Recuperação Suplementar

- Eficiência Areal de Varrido



Métodos de Recuperação Suplementar

Eficiência de Varrido Areal (E_s)

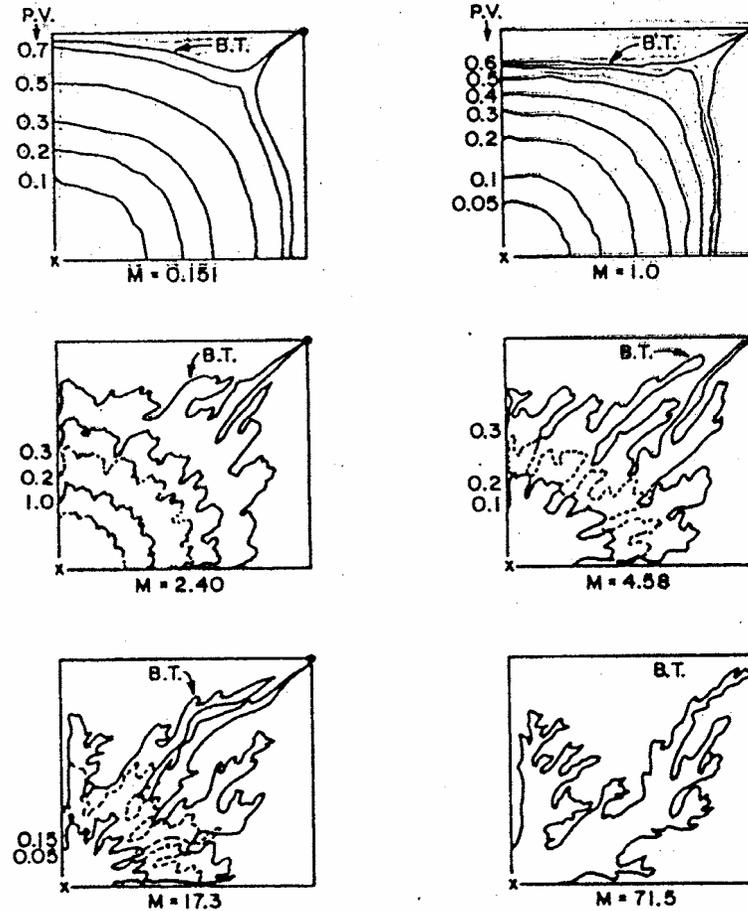
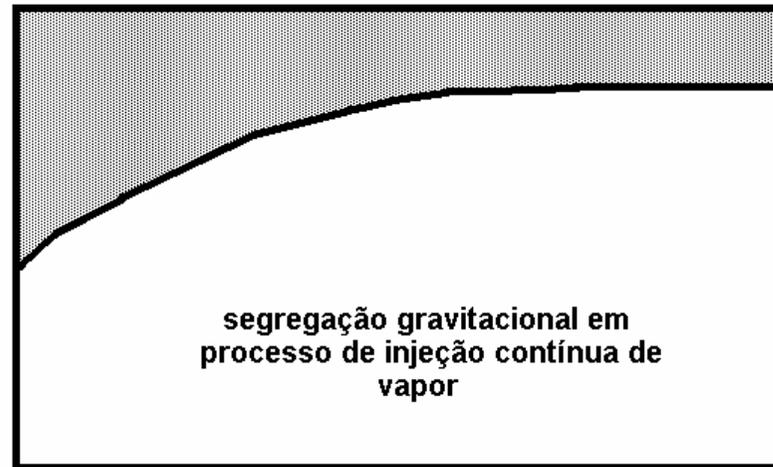
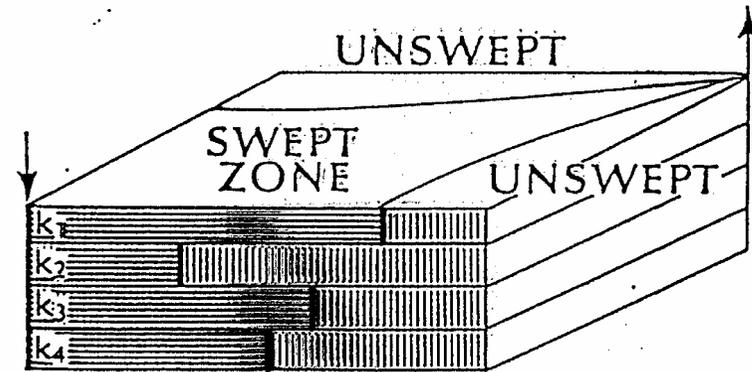
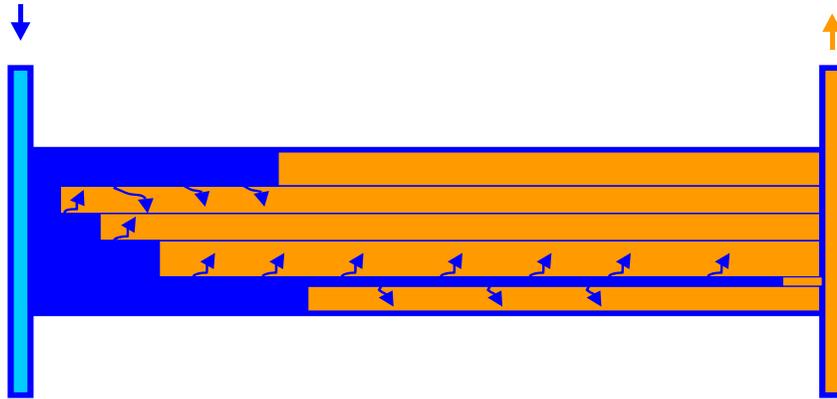


Figure 1.9 Areal sweep efficiency for different mobility ratios and injected pore volumes until breakthrough (Habermann 1960).

Métodos de Recuperação Suplementar



Eficiência de Varrido Vertical (E_v)

Métodos Miscíveis de Recuperação

- **Injeção de Gás Carbônico (CO₂),**

- **Nitrogênio (N₂),**

- **Gás Úmido (LGN)**

- **Mecanismo:** O fluido injetado é miscível com o óleo, que encontra-se em estado residual, retido por forças capilares. A saturação do novo fluido (óleo + fluido injetado) é maior e o fluido pode escoar.

O CO₂, mesmo quando injetado acima da pressão mínima de miscibilidade (CO₂ miscível) causa um inchamento de até 20% no óleo e reduz sua viscosidade

- **Indicação:** Reservatórios de óleo leve

- **Obstáculos à utilização:** custos; disponibilidade de fluidos para injetar

Métodos Térmicos de Recuperação

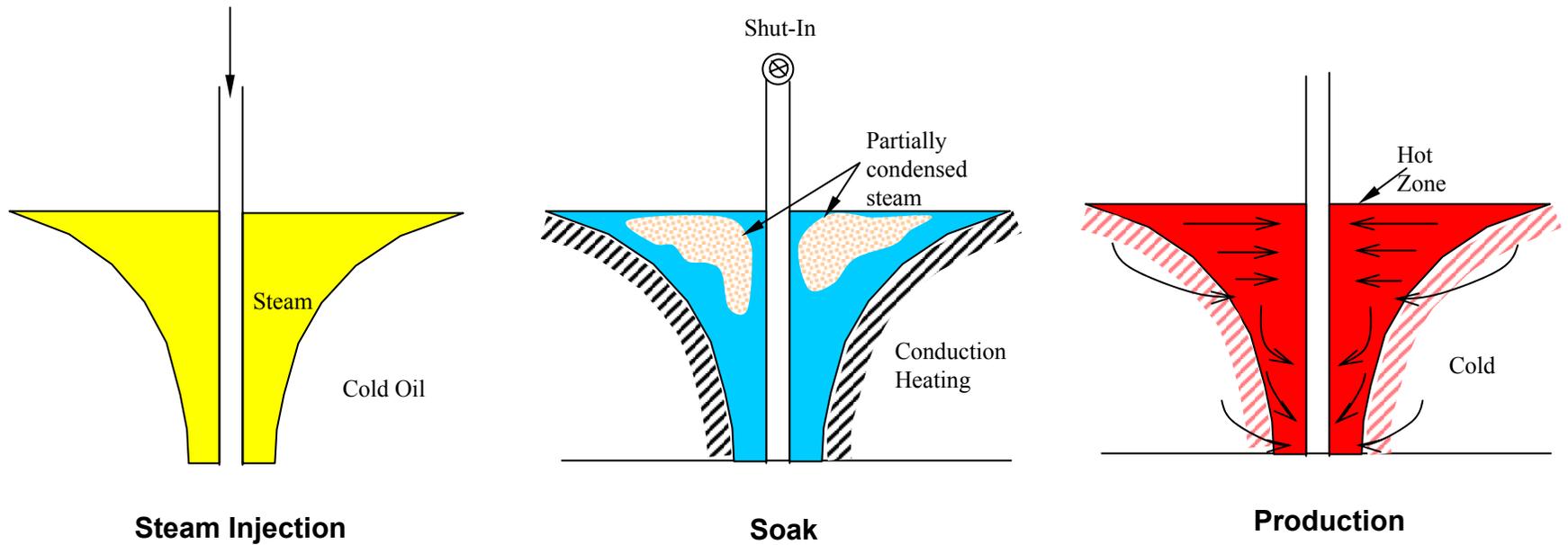
Injeção de Vapor Cíclico ou Contínuo

- **Indicação:** Reservatórios de óleo viscoso; reservatórios rasos
- **Mecanismo:** redução da viscosidade por fornecimento de calor ao reservatório
- **Obstáculos à utilização:** segregação gravitacional em injeção contínua; perda de calor em ambientes offshore ou em reservatórios profundos; logística em ambientes offshore

Combustão *in situ*

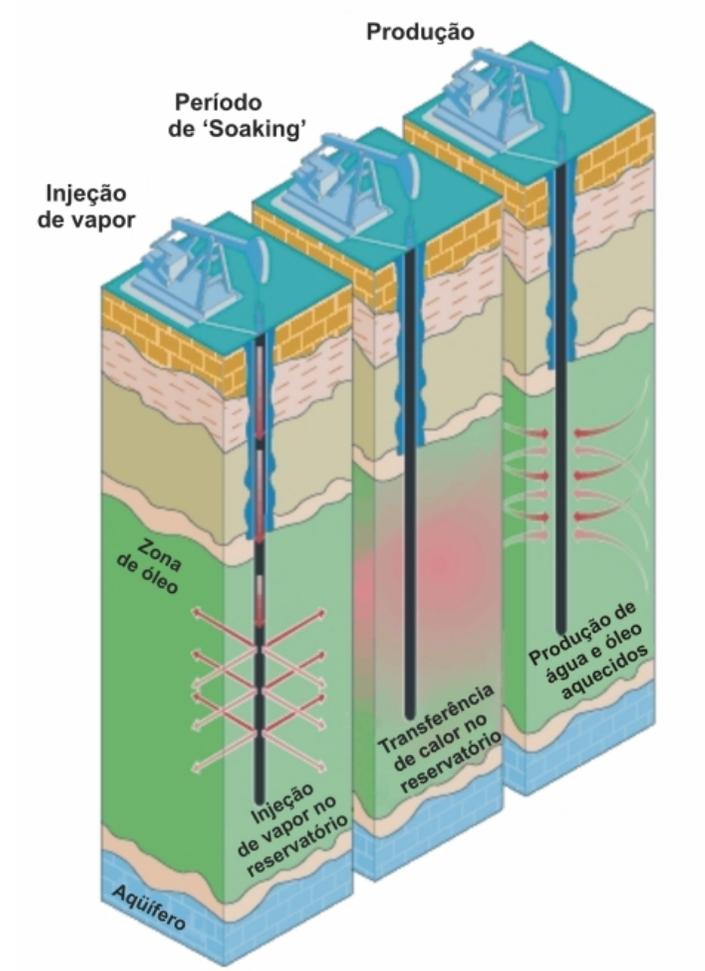
- **Indicação:** Reservatórios de óleo viscoso
- **Mecanismo:** redução da viscosidade; gases de combustão e fração leve do óleo vaporizada vão à frente deslocando o óleo
- **Obstáculos à utilização:** controle da combustão; segurança

CYCLIC STEAM STIMULATION



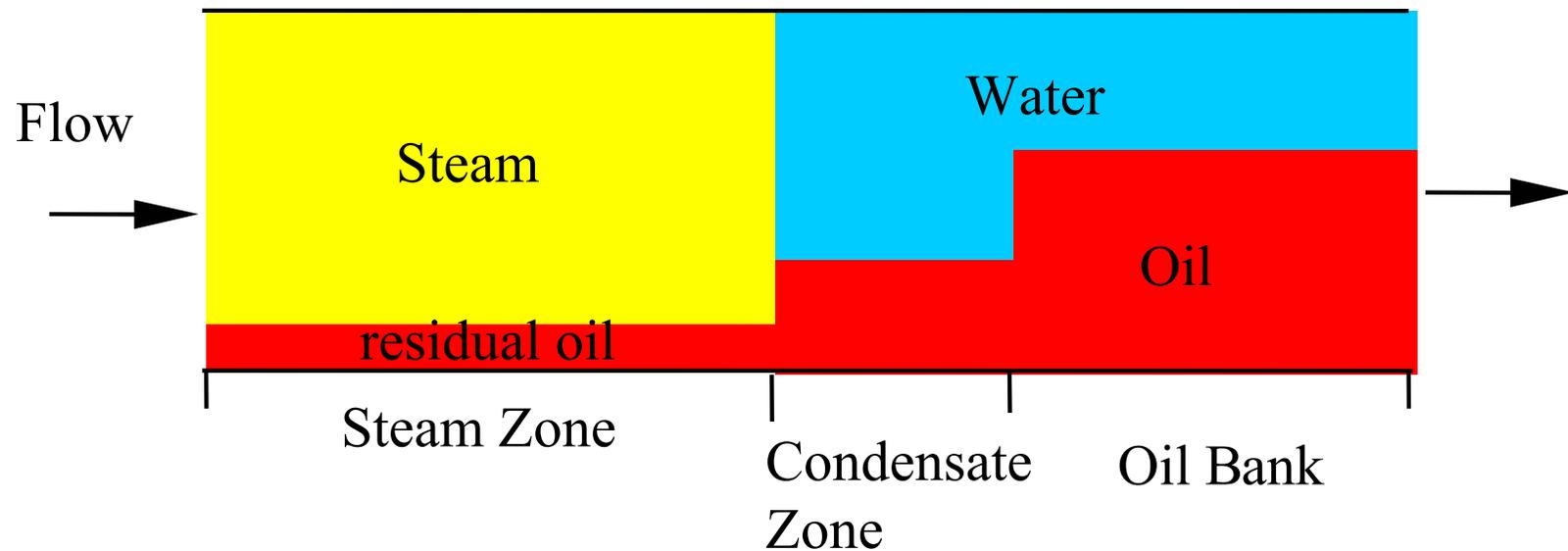
Low oil recovery, high oil-steam ratio

CYCLIC STEAM STIMULATION



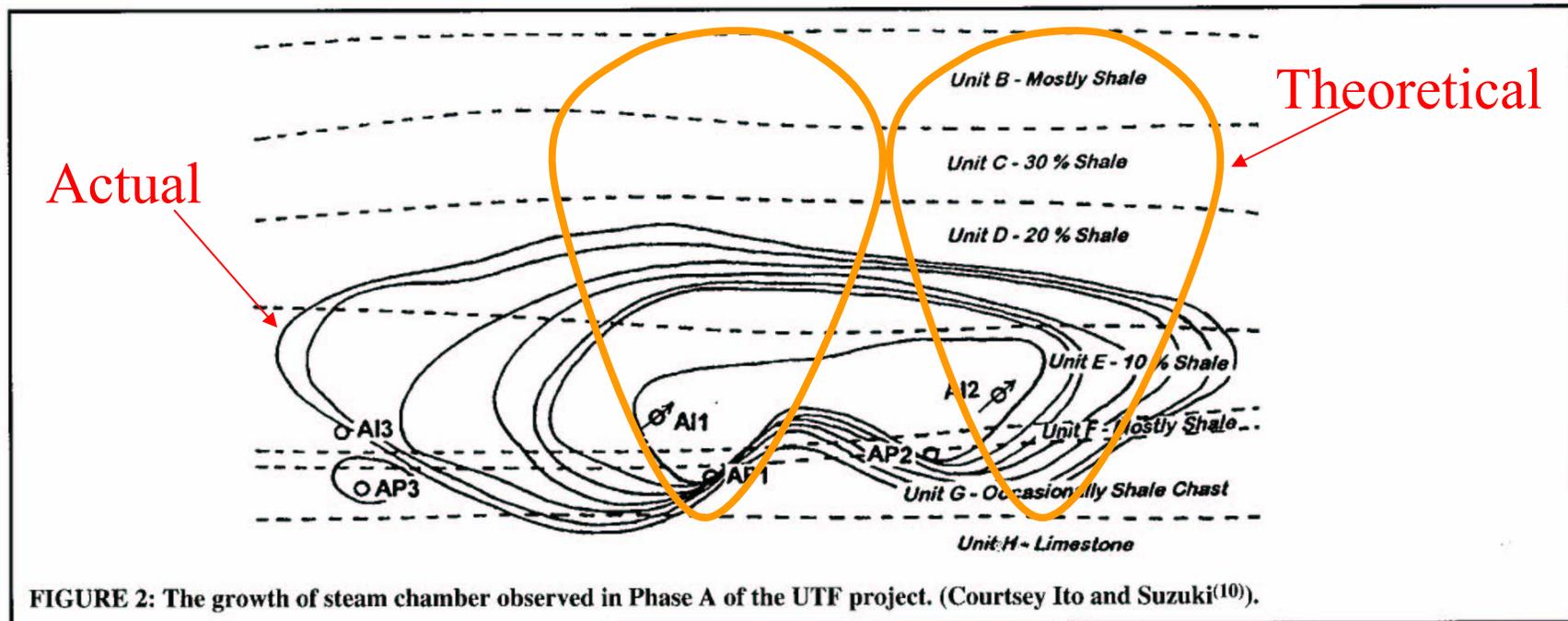
STEAMFLOODING

1000's of field tests; successful for heavy or light oils; small well spacings, long steam injection periods, can be expensive, but profitable.

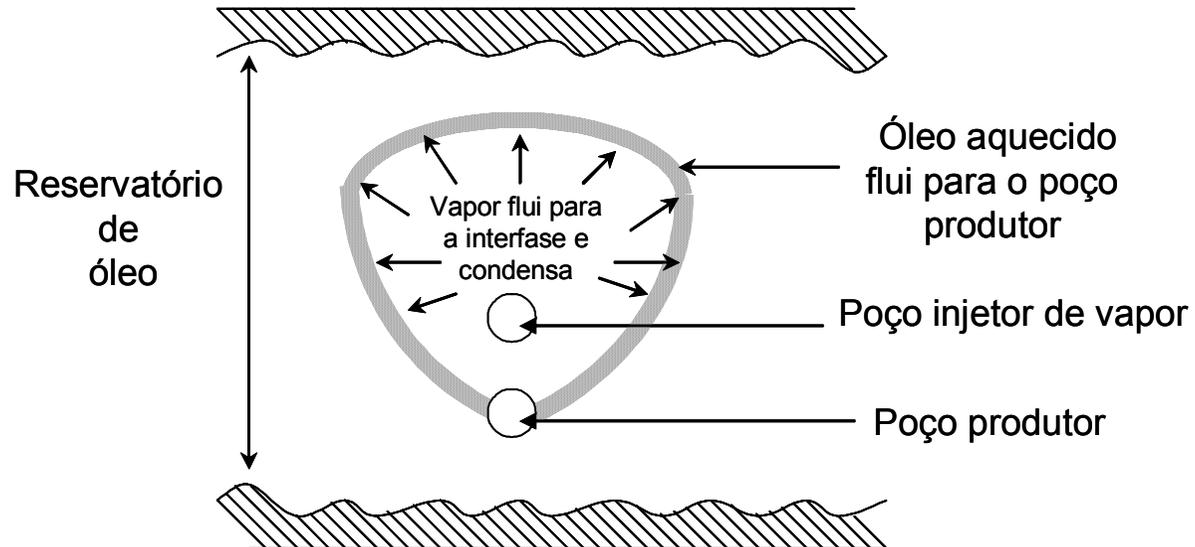


High oil recovery, low oil-steam ratio

SAGD: STEAM ASSISTED GRAVITY DRAINAGE

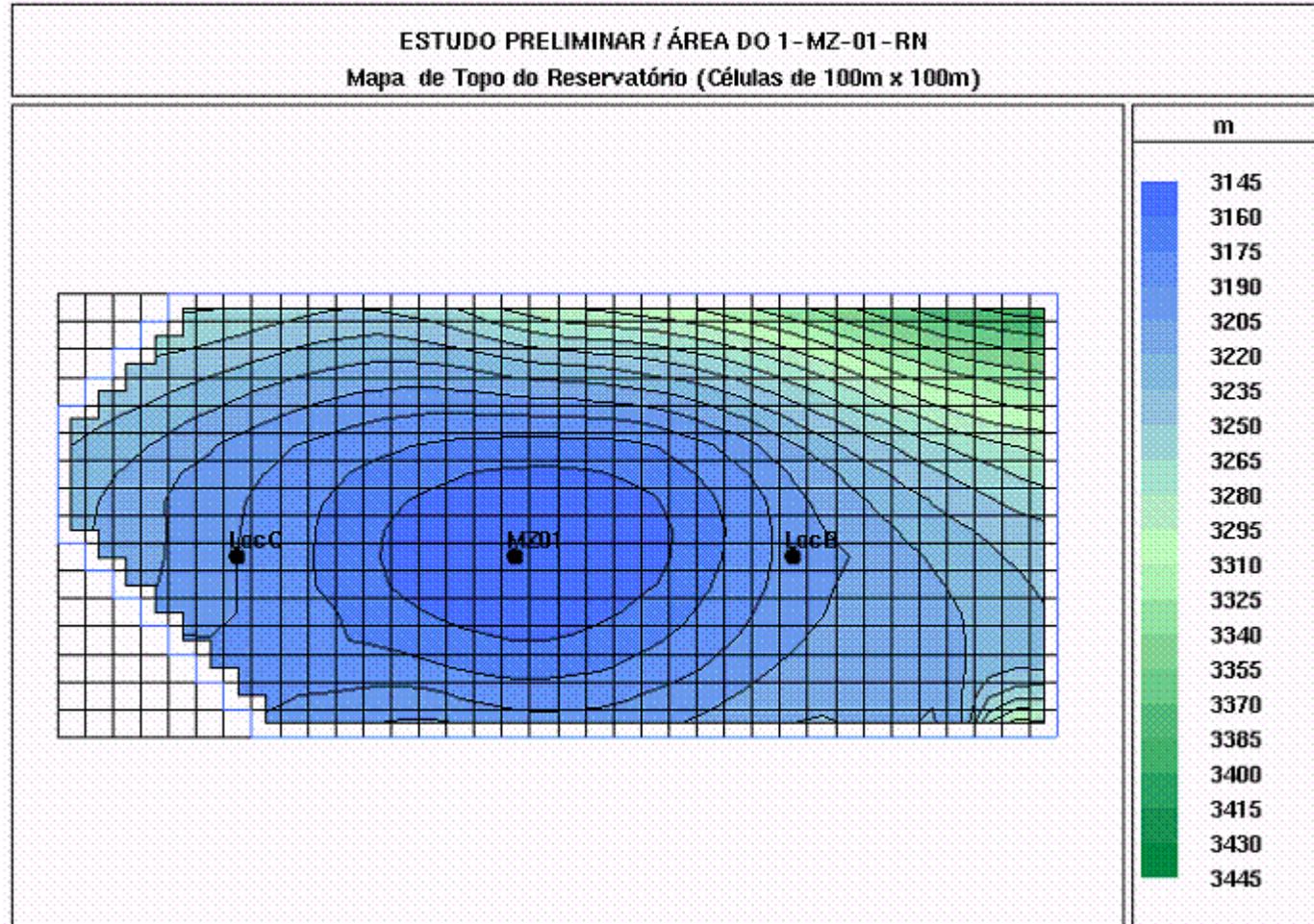


SAGD: STEAM ASSISTED GRAVITY DRAINAGE



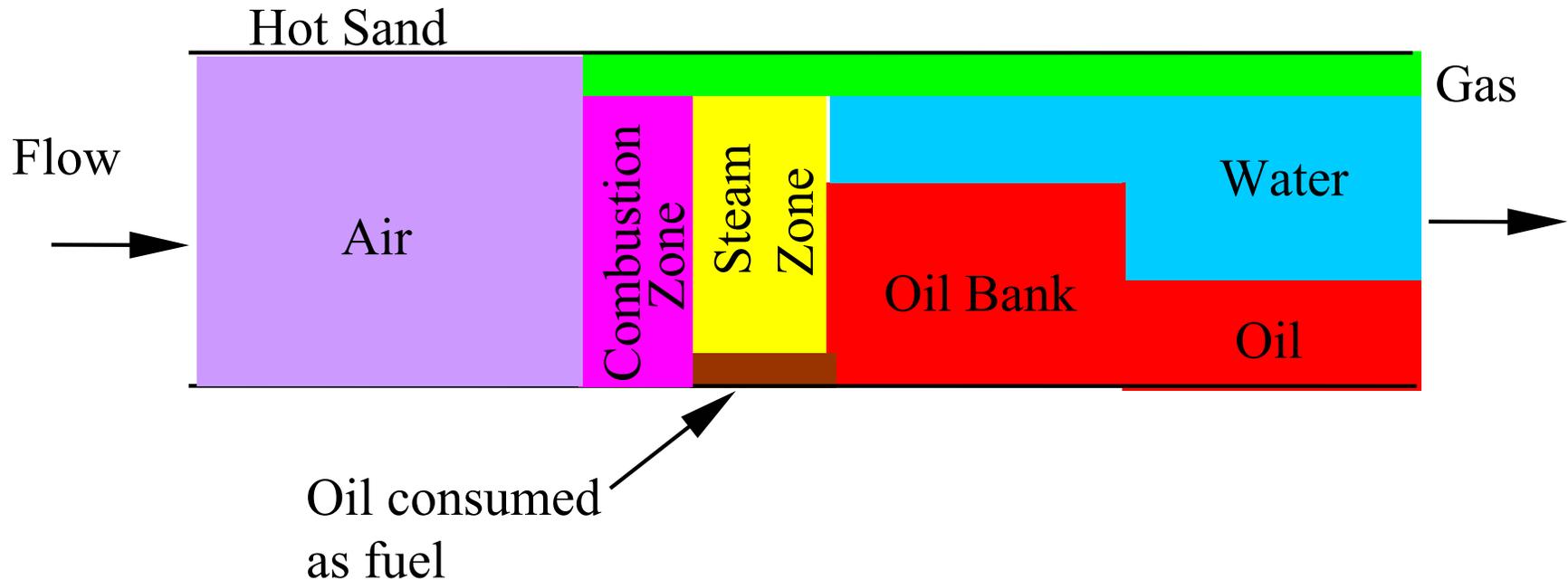
Modelagem de Reservatórios

*SIMULAÇÃO
NUMÉRICA*



IN SITU COMBUSTION

>200 field tests; rarely economic; complex, difficult to control; dominated by gas flow; many mechanical problems; may have a special place.



Métodos Químicos de Recuperação

Polímero

- **Mecanismo:** correção da mobilidade
- **Obstáculos à utilização:** custo; sensibilidade do polímero a água salgada da formação e à temperatura; água de mistura salgada e problemas de logística em ambientes offshore

Tensoativos, Cáusticos

- **Mecanismo:** diminuição da tensão interfacial água-óleo com conseqüente diminuição das forças de retenção capilar; eventualmente, inversão da molhabilidade de reservatórios “oil-wet”
- **Obstáculos à utilização:** custos

Como implantar um projeto de IOR?

- **Fase 1: Screening**
 - Que método é o mais adequado para um dado reservatório?
- **Fase 2: Simulação Física**
 - Testes de laboratório são conduzidos para verificar se, em escala de laboratório, o método funciona, e para determinar parâmetros físicos do sistema rocha/fluidos injetados ou do comportamento da rocha frente ao processo utilizado
- **Fase 3: Simulação Matemática**
 - Simulação matemática em escala do piloto de campo. A caracterização do reservatório tem um papel crucial
- **Fase 4: Estudo de Viabilidade Econômica**
 - O “prêmio” (ΔS_o) compensa o investimento e as despesas de custeio?
- **Fase 5: Piloto de Campo**
- **Fase 6: Expansão para Escala de Campo**
 - Havendo sucesso técnico (ΔS_o) e econômico (\$\$\$) repetem-se os passos 3 e 4 e passa-se para a escala de campo

Modelagem de Reservatórios

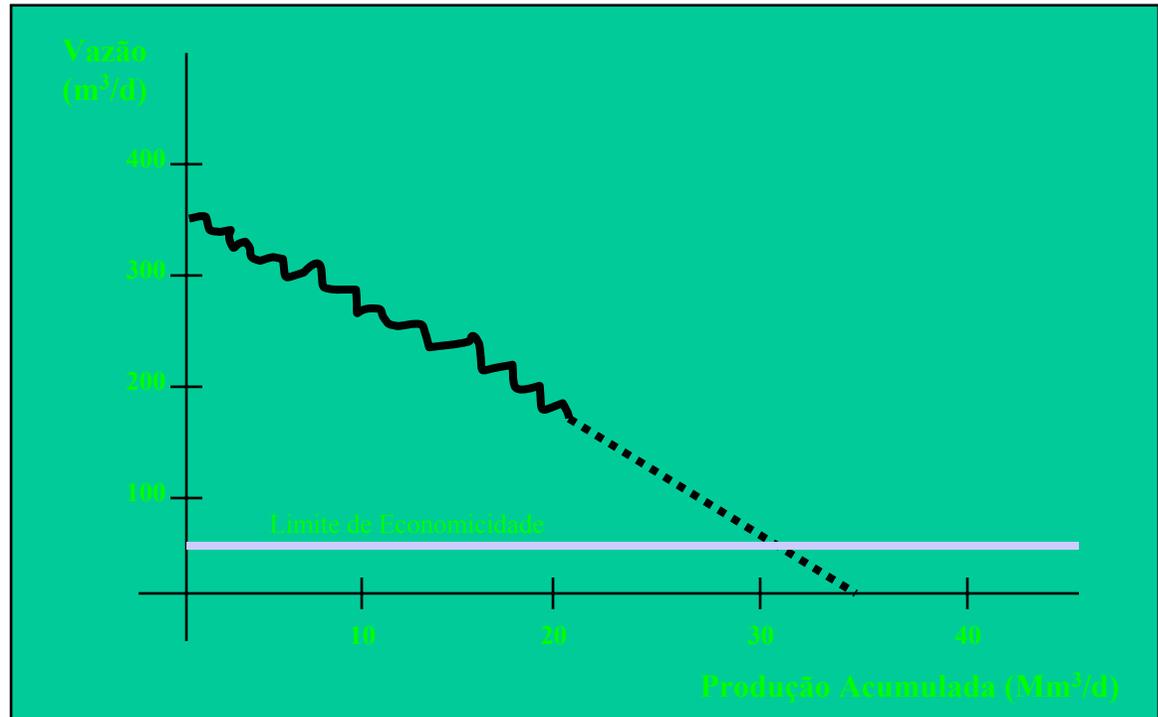
BALANÇO DE MATERIAIS

Características:

- **É utilizado para o Reservatório como um todo;**
- **Necessita de históricos confiáveis de pressão e produção;**
- **Necessita de dados de PVT confiáveis**

Modelagem de Reservatórios

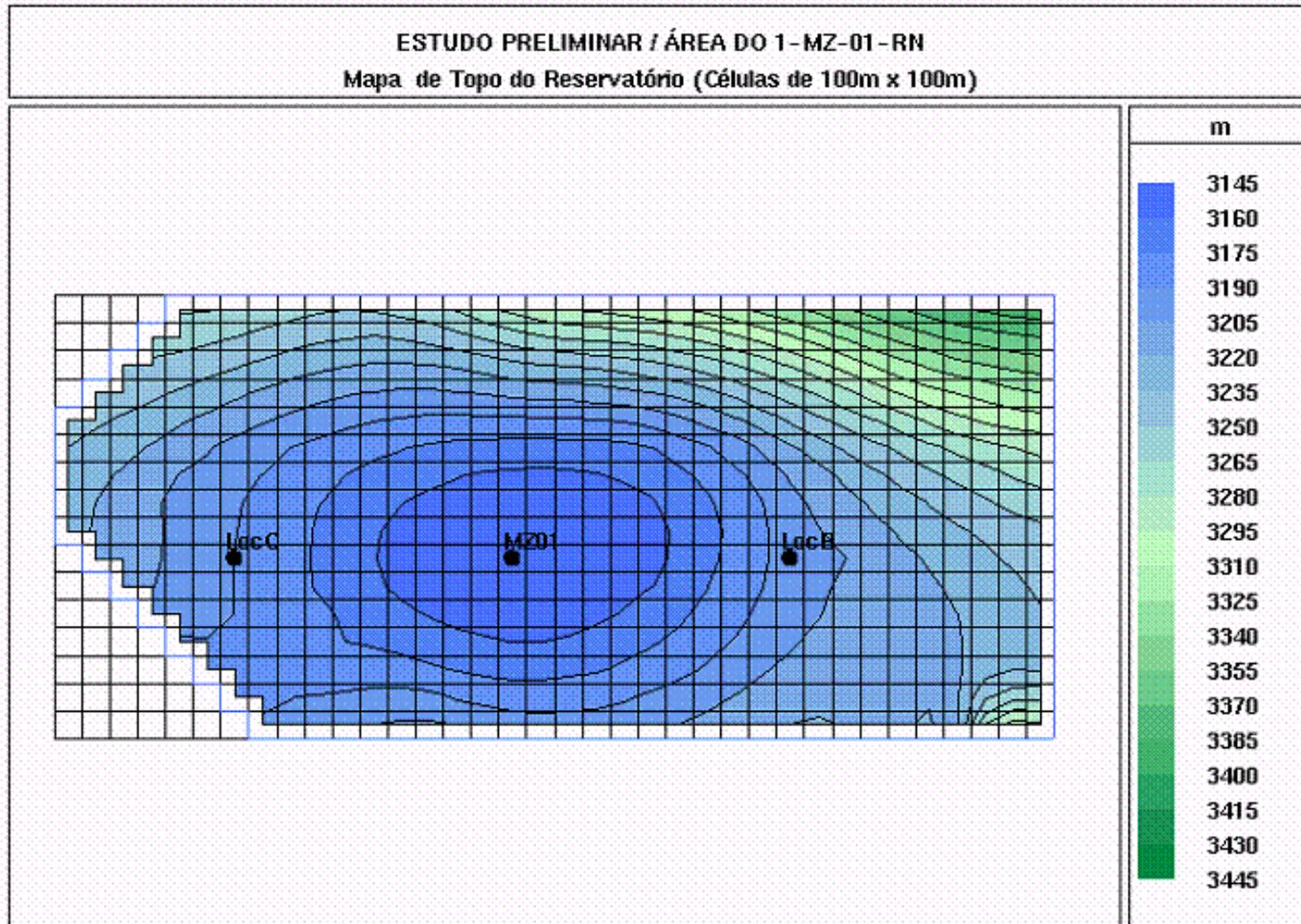
DECLÍNIO de PRODUÇÃO



- *Extrapolação da performance do reservatório*
- *Gráfico de vazão de produção vs produção acumulada*
- *Necessita de um histórico de produção confiável*

Modelagem de Reservatórios

SIMULAÇÃO NUMÉRICA



Modelagem de Reservatórios

SIMULAÇÃO NUMÉRICA

ESTUDO PARAMETRICO DO SAGD
Oil Saturation 2000-01-01

