

“A metodologia proposta se dispõe a realizar uma adaptação da técnica de AG visando à redução do número de simulações necessárias para maximizar o valor presente líquido (VPL) de uma estratégia de produção.”



## Otimização Evolucionária de Estratégias de Produção

[Pedro de Brito Noqueira](#)

### Introdução

Os algoritmos genéticos (AG) são técnicas de otimização evolucionária e possuem ampla aplicação na resolução de problemas de otimização em diversas áreas do conhecimento. São inspirados na biologia evolucionária e possuem como característica fundamental simular mecanismos inerentes ao processo evolutivo como seleção, cruzamento, herança e mutação, e aplicá-los a subconjuntos do domínio de problemas matemáticos, visando a sua otimização. Representam heurísticas de otimização que têm como característica fundamental a busca por valor extremo global. Nos AG o problema em questão é codificado de forma que todas as soluções possíveis sejam representadas em forma de cromossomo. Populações de indivíduos definidos por esta representação cromossômica são submetidas, através de gerações, a um processo evolutivo semelhante ao dos seres vivos.

Neste trabalho, é apresentada uma aplicação deste tipo de algoritmo em processo de otimização de desempenho de projetos de exploração de campos de petróleo. Uma das etapas mais importantes do processo de otimização de uma estratégia de produção é a definição da quantidade e dos posicionamentos dos poços. O caráter não linear do problema confere à sua superfície de resposta uma grande complexidade. Existe um elevado potencial de geração de valores extremos locais. Portanto, é adequado abordar o problema através de uma técnica robusta de busca, tal como os AG. Neste caso, o espaço-solução é mais bem explorado, conferindo maior confiabilidade aos resultados.

Contudo, as técnicas de otimizações robustas, tendem a possuir um elevado custo computacional. Por isso, a metodologia proposta se dispõe a realizar uma adaptação da técnica de AG visando à redução do número de simulações necessárias para maximizar o valor presente líquido (VPL) de uma estratégia de produção. A ideia principal consiste em controlar o tamanho do espaço-solução com uma concepção conveniente da estrutura dos cromossomos e a execução de estágios específicos de otimização. Aliado a isto, são criados mecanismos de aceleração do processo evolutivo, fundamentados na engenharia do problema, sem que se perca o caráter disperso da busca. A metodologia proposta é aplicada a um modelo heterogêneo e, através dos resultados, é possível concluir que a metodologia possui um bom desempenho, tanto em termos de confiabilidade da resposta quanto no número de simulações necessárias para a otimização.

### Metodologia

A primeira medida, no sentido de aumentar a eficiência da otimização por AG, é a realização da otimização em etapas. A presente metodologia propõe a alternância de etapas de otimização de quantidade e de posicionamento de poços, provocando um desmembramento do problema original. Este desmembramento possibilita restringir o espaço-solução de cada etapa fazendo com que a solução seja obtida mais rapidamente. Esta redução do espaço-solução permite que se trabalhe com pequenas populações poucas gerações, sem que se perca a sua representatividade e possibilitando um aumento de eficiência em termos globais.

Outro ponto de grande importância para a realização do processo de otimização de forma eficiente é a representação cromossômica das soluções do problema. A representação cromossômica é a estruturação do problema de forma a permitir que este seja otimizado por um processo evolutivo. Com uma representação cromossômica adequada, é possível realizar uma busca próxima à configuração inicial, reduzindo a possibilidade de gerar

indivíduos que possuam baixa probabilidade de superar o melhor indivíduo, conferindo maior velocidade ao processo. Entretanto, como uma representação deste tipo pode restringir demais a região de busca da solução, é adotado um procedimento que permite que a estrutura do cromossomo sofra pequenas alterações durante uma etapa de otimização. A metodologia permite ainda que alterações mais significativas sejam feitas de uma etapa para outra, diversificando ainda mais a busca.

Uma terceira adaptação permite que se realize o processo de otimização dos posicionamentos dos poços de forma ainda mais eficiente. Na técnica clássica dos AG, um filho é gerado a partir do material genético dos pais sem que haja uma tendência predefinida de herança destes genes. Portanto, o filho tem igual probabilidade de herdar um determinado gene do pai ou da mãe. O processo imita, em termos gerais, o cruzamento dos seres vivos, onde os filhos são uma mistura praticamente aleatória do material genético dos pais. A metodologia presente propõe que os genes tenham uma medida de desempenho específica para que os filhos gerados herdem os melhores genes dos seus pais. Mas como toda adaptação, isto pode trazer resultados indesejados como, por exemplo, empregar uma tendência viciosa ao processo de otimização. Portanto, somente parte da população é submetida a este tipo de cruzamento.

### Implementação

Uma ferramenta computacional foi desenvolvida para realizar a otimização, seguindo as diretrizes definidas na metodologia. Foram implementadas três rotinas independentes de otimização e uma para o gerenciamento do processo. As rotinas DEO e PLUVIA realizam a otimização do posicionamento e da quantidade de poços, respectivamente, através de AG. A terceira rotina de otimização QUANTUM representa uma alternativa para a otimização da quantidade de poços, já que é inadequado utilizar AG quando se espera excluir uma quantidade pequena de poços. A rotina OPTIMUS realiza o gerenciamento do processo de otimização, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 1.

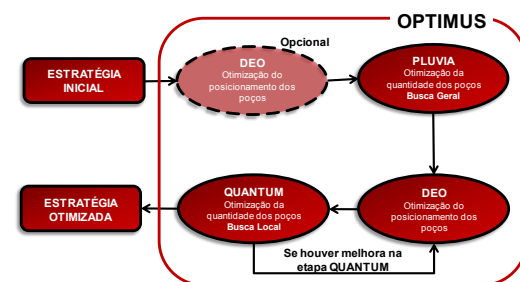


Figura 1: Fluxograma rotina OPTIMUS

### Aplicação e Resultados

A metodologia proposta é aplicada na otimização da estratégia de produção para um campo sintético heterogêneo de óleo leve, com aproximadamente  $360 \times 10^6$  bbl de VOIP e permeabilidade média de 350 mD. O objetivo é estudar o potencial desempenho de uma estratégia de produção desenvolvida exclusivamente por poços verticais. A malha utilizada para representar o reservatório é de  $35 \times 35 \times 3$  células com 2358 células ativas. Cada célula possui 150 x 150m com espessura seguindo a geologia.

Como estratégia inicial, é lançado um modelo *five-spot* com espaçamento médio de 600m entre os poços, conforme mostrado

### Pós-Graduação:

Ciências e Engenharia de Petróleo: interessados em Mestrado e Doutorado na área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo [cliquem aqui](#).

### Interesses Especiais:

[UNISIM](#)

[Publicações UNISIM](#)

[Portal de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios](#)

[UNIPAR](#)

[STEP](#)

[Edições Anteriores](#)

### Links:

[Unicamp](#)

[Cepetro](#)

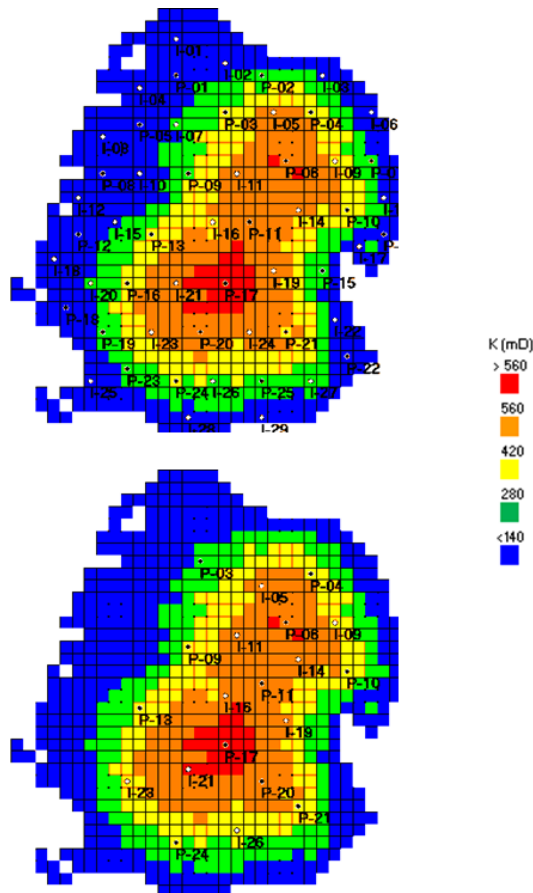
[Dep. Eng. Petróleo](#)

[Fac. Eng. Mecânica](#)

[Ciências e Eng. de Petróleo](#)

“Foi possível realizar a otimização de estratégias de produção através de AG com populações de poucos indivíduos e de trabalhar com um número pequeno de gerações.”

na Figura 2A. Desta forma, o plano inicial de drenagem do campo conta com 54 poços, sendo 25 produtores e 29 injetores. Durante todo o processo, o poço P-17 foi considerado fixo (poço perfurado).



Figuras 2a e 2b: Estratégias inicial (superior) e final (inferior)

O processo de otimização foi iniciado pela rotina PLUVIA, onde foi possível a redução do número de poços de 54 para 26 e o VPL passou de US\$ -195,56 MM para US\$ 378,57 MM. Em seguida, foi utilizada a rotina DEO para otimizar o arranjo destes 26 poços e o VPL aumentou para US\$ 471,71 MM. Após o reposicionamento dos poços, é importante verificar se há a possibilidade de excluir um ou mais poços. A rotina QUANTUM excluiu mais 6 poços aumentando o VPL para US\$ 566,21 MM. O reposicionamento dos poços remanescentes, através de uma nova etapa de otimização da rotina DEO, permitiu que o VPL fosse aumentado para US\$ 587,59 MM. Após esta etapa não foi possível aumentar o VPL. A Tabela 1 resume o processo de otimização e a Figura 3 mostra a evolução do processo com o número de simulações. A estratégia otimizada é mostrada na Figura 2B.

Tabela 1: Processo de Otimização

Etapa	Rotina	VPL (MM US\$)	Poços			Núm. de Simulações		Tempo de Sim.
			Total	Prod	Inj.	Etapa	Acum.	
Inicial		-195,56	54	25	29			
1	PLUVIA	378,57	26	13	13	177	177	
2	DEO	471,71	26	13	13	215	392	
3	QUANTUM	566,21	20	11	9	155	547	
4	DEO	587,59	20	11	9	198	745	
5	QUANTUM	587,59	20	11	9	20	765	2,2 h

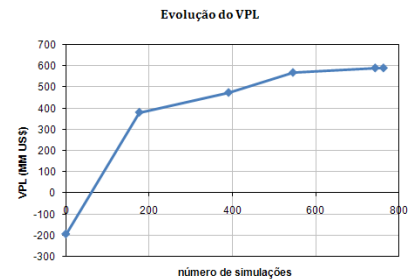


Figura 3: Evolução da VPL

**Comentários Finais**

Os AG representam uma técnica adequada para a otimização em espaços-soluções complexos como é o caso da otimização de estratégias de produção. Entretanto, geralmente estão associados a um elevado custo computacional. A metodologia desenvolvida permitiu trazer o número simulações necessárias na otimização de estratégias de produção através de AG para patamares razoáveis, viabilizando o emprego desta técnica na resolução deste tipo de problema. Foi possível realizar a otimização de estratégias de produção através de AG com populações de poucos indivíduos, e de trabalhar com um número pequeno de gerações. O número de simulações necessárias para otimizar o caso em questão foi significativamente inferior a casos semelhantes encontrados na literatura. A redução ocorreu sem que houvesse prejuízo para a diversificação do método, garantindo a busca por todo espaço-solução. Esta redução do número de simulações necessárias para a otimização foi devido a três fatores: (1) realização do processo em etapas onde a solução parcial, para cada etapa, é obtida rapidamente, reduzindo o número total de simulações. (2) representação cromossômica adequada que permitiu a redução do espaço-solução em cada etapa do processo de otimização, tornando a busca mais rápida; (3) construção de operadores genéticos baseados na medida de desempenho dos genes (poços), conferindo maior eficiência ao processo.

**Agradecimentos**

O autor agradece à Petrobras e a UNICAMP a oportunidade da realização deste trabalho.

**Informações sobre o autor:**

Pedro de Brito Nogueira é engenheiro civil, mestrando em Ciências e Engenharia de Petróleo, pela UNICAMP e trabalha na Petrobras (UN-Rio) desde setembro de 2002.

**Oportunidades no UNISIM:**

Se você tem interesse em trabalhar ou desenvolver pesquisas no UNISIM, entre em contato conosco:

Interesse imediato em:

- > Pesquisador na área de simulação, gerenciamento e caracterização de reservatórios;
- > Pesquisador na área de redes neurais e inteligência artificial.

Para mais detalhes, [clique aqui](#).



Grupo de Pesquisa em Simulação e Gerenciamento de Reservatórios

**UNISIM**

Depto. Eng. Petróleo  
Fac. Eng. Mecânica  
Univ. Estadual de Campinas  
Campinas-SP

Tel: 55-19-3521-3359  
Fax: 55-19-3289-4999  
Email: [unisim@dep.fem.unicamp.br](mailto:unisim@dep.fem.unicamp.br)



O Grupo UNISIM deseja a todos um Feliz Natal e em 2009 repleto de felicidades e realizações.

**Para maiores informações, visite**  
<http://www.dep.fem.unicamp.br/unisim>

O UNISIM é um grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, com apoio do Centro de Estudos de Petróleo (CEPETRO) que tem como objetivo desenvolver trabalhos e projetos na área de simulação e gerenciamento de reservatórios.