

5 Aplicações

5.1. Introdução

Com o objetivo de comprovar a eficiência computacional do algoritmo proposto, este capítulo apresenta exemplos de aplicações na otimização do posicionamento (disposição) das linhas em sistemas de ancoragem reais, utilizados pela Petrobras em operações de exploração de petróleo. Os problemas consistem de unidades flutuantes submetidas a diferentes combinações de condições ambientais para as quais se deseja encontrar as disposições das linhas de ancoragem de forma a minimizar os deslocamentos sofridos pelas unidades flutuantes.

5.2. Exemplo 1 – Plataforma semi-submersível

Este exemplo corresponde a uma unidade flutuante (plataforma semi-submersível) ancorada por 8 linhas, conforme ilustrado na Figura 5.1; cada linha é composta por 3 diferentes tipos de materiais cujas propriedades são apresentadas na Tabela 5.1 (nesta tabela, ϕ representa o diâmetro das linhas, EA é a rigidez axial e W_a representa o peso submerso por unidade de comprimento). As restrições laterais, para cada linha, são mostradas na Tabela 5.2.

Dados Gerais:

Tamanho da população: 30

Número máximo de iterações: 10000

Probabilidade de mutação P_m : 0.05

Lâmina d'água: 917 m

Tabela 5.1 – Propriedades dos materiais do Exemplo 1.

Material (unidade-âncora)	Φ (in)	Comprimento (m)	EA (kN)	Wa (kN/m)	Tensão de Ruptura (kN)
1 – Amarra (Corrente)	3	250	549136	1.07866	4884
2 – Cabo (Poliéster)	3.5	1200	254956	0.27555	5520
3 – Amarra (Corrente)	3	990	549136	1.07866	4884

Tabela 5.2 – Restrições laterais das variáveis de projeto (Exemplo 1).

Linha	Restrição inferior (em graus)	Restrição superior (em graus)
1	0	45
2	45	90
3	90	135
4	135	180
5	180	225
6	225	270
7	270	315
8	315	360

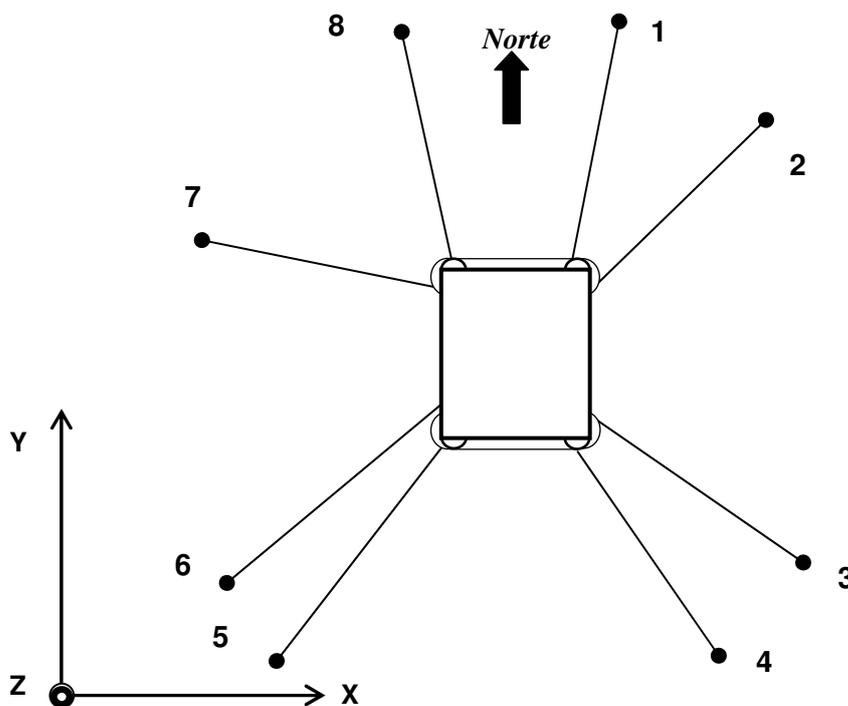


Figura 5.1 – Vista de topo da unidade flutuante (Exemplo 1).

A unidade flutuante foi submetida a um conjunto de condições ambientais combinadas de acordo com um critério de colinearidade, i.e., com ventos, correntes e ondas atuando simultaneamente na mesma direção, em cada caso. Neste exemplo, oito combinações foram consideradas. Para cada combinação, uma força externa resultante de 2000 kN foi aplicada à unidade flutuante, conforme ilustrado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Forças externas atuando sobre a unidade flutuante (Exemplo 1).

Caso	Azimute	Direção
1	0	N
2	45	NE
3	90	E
4	135	SE
5	180	S
6	225	SW
7	270	W
8	315	NW

Tempo de execução: 20356.78 seg.

Após 10000 iterações, um valor mínimo da função objetivo de 62210 m² foi obtido na iteração 9077, assim como ilustrado na Figura 5.2. A Tabela 5.4 apresenta os azimutes finais de cada linha de ancoragem, e a disposição final das linhas é ilustrada na Figura 5.3.

Tabela 5.4 – Azimutes finais da unidade flutuante (Exemplo 1).

Linha	Azimute - α_i (em graus)
1	22.34
2	67.68
3	112.34
4	157.68
5	202.77
6	247.38
7	292.62
8	337.23

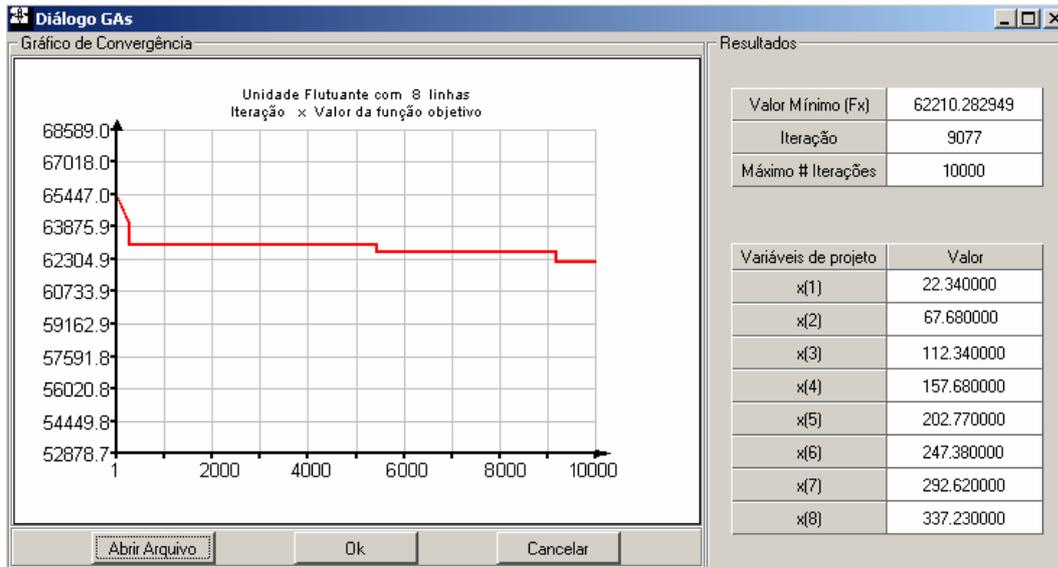


Figura 5.2 – Gráfico de convergência do processo de otimização (Exemplo 1).

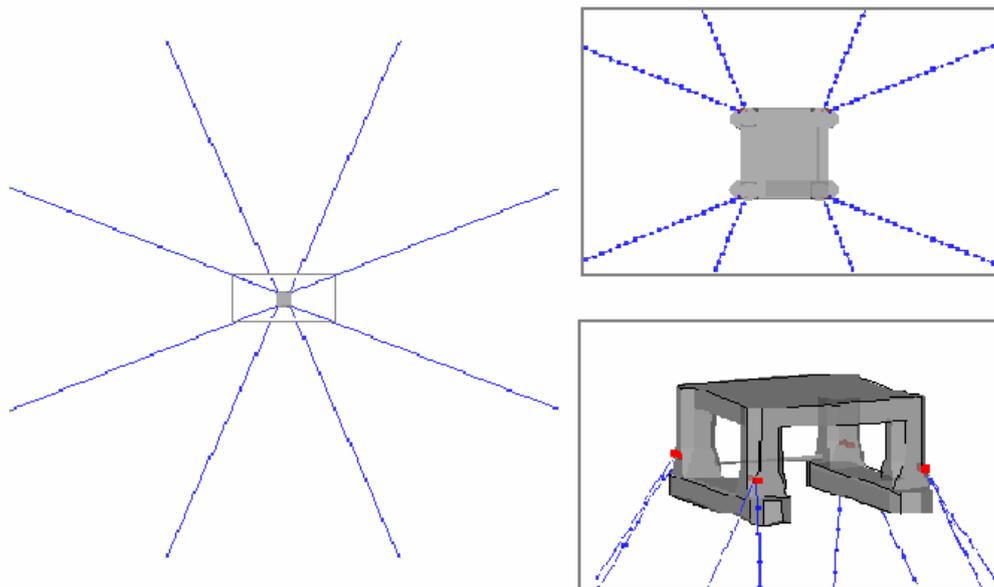


Figura 5.3 – Disposição final das linhas de ancoragem (Exemplo 1).

5.3. Exemplo 2 – FPSO

Este exemplo corresponde a uma unidade flutuante do tipo FPSO [33] ancorada por 18 linhas, conforme ilustrado na Figura 5.4. Cada linha é composta por 3 diferentes tipos de materiais cujas propriedades são apresentadas na Tabela 5.5. As 18 linhas foram divididas em 6 grupos, de acordo com suas restrições laterais, conforme mostrado na Tabela 5.6.

Dados Gerais:

Tamanho da população: 30

Número máximo de iterações: 10000

Probabilidade de mutação Pm: 0.01

Lâmina d'água: 1260 m

Tabela 5.5 – Propriedades dos materiais do Exemplo 2.

Material (unidade-âncora)	Φ (mm)	Comprimento (m)	EA (kN)	Wa (kN/m)	Tensão de Ruptura (kN)
1 – Amarra (Corrente)	120	250	854427	2.4580	13573
2 – Cabo (Poliéster)	225	1500	222113	0.0859	13734
3 – Amarra (Corrente)	120	500	854427	2.4580	13573

Tabela 5.6 – Restrições laterais das variáveis de projeto (Exemplo 2).

Grupo	Linhas	Restrição inferior (em graus)	Restrição superior (em graus)
1	1, 2, 3	0	45
2	4, 5	45	90
3	6, 7	90	135
4	8, 9, 10	135	180
5	11, 12, 13, 14	202.5	247.5
6	15, 16, 17, 18	292.5	337.5

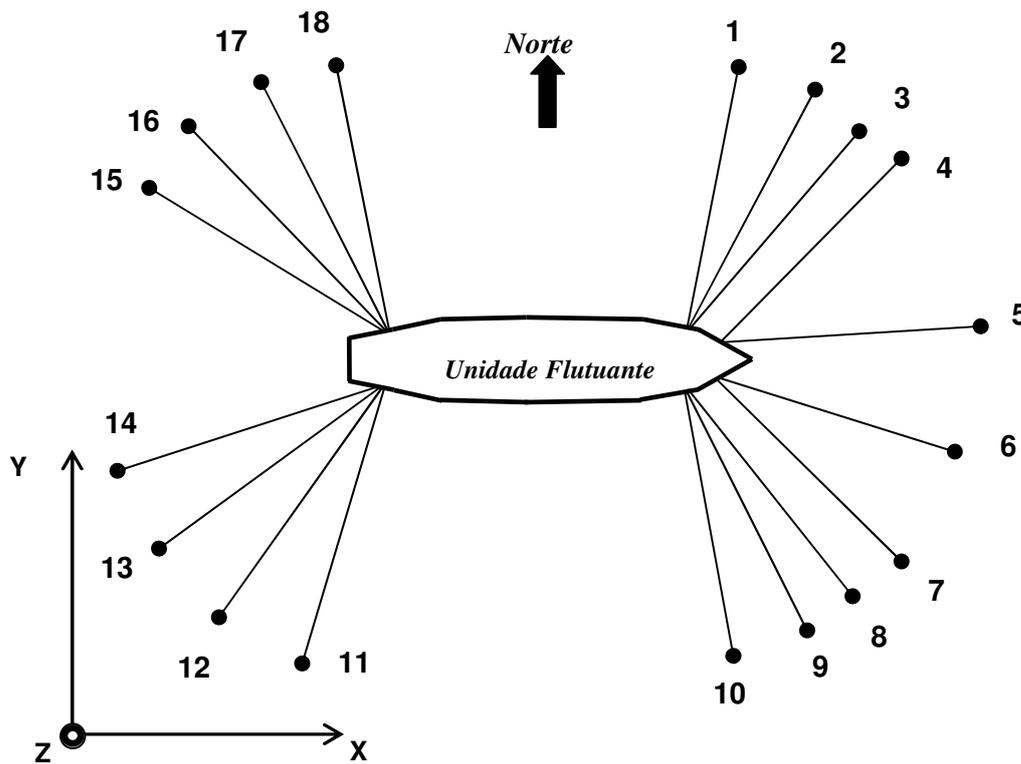


Figura 5.4 – Vista de topo da unidade flutuante (Exemplo 2).

Assim como exemplo anterior, a unidade flutuante foi submetida a um conjunto de condições ambientais combinadas de acordo com um critério de colinearidade, i.e., com ventos, correntes e ondas atuando simultaneamente na mesma direção, para cada caso. Neste exemplo também foram consideradas oito combinações. Para cada combinação, uma força externa resultante de 5000 kN foi aplicada à unidade flutuante, como ilustrado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Forças externas atuando sobre a unidade flutuante (Exemplo 2).

Caso	Azimute	Direção
1	0	N
2	45	NE
3	90	E
4	135	SE
5	180	S
6	225	SW
7	270	W
8	315	NW

Tempo de execução: 7221.93 seg.

Após 10000 iterações, um valor mínimo da função objetivo de 9120 m² foi obtido na iteração 3192, conforme ilustrado na Figura 5.5. A Tabela 5.8 apresenta os azimutes finais de cada linha de ancoragem, e a disposição final das linhas é ilustrada na Figura 5.6.

Tabela 5.8 – Azimutes finais da unidade flutuante (Exemplo 2).

Linha	Azimute - α_i (em graus)	Linha	Azimute - α_i (em graus)
1	21.5	10	158.5
2	24.5	11	225.5
3	27.5	12	228.5
4	63.0	13	231.5
5	66.0	14	234.5
6	114.0	15	305.5
7	117.0	16	308.5
8	152.5	17	311.5
9	155.5	18	314.5

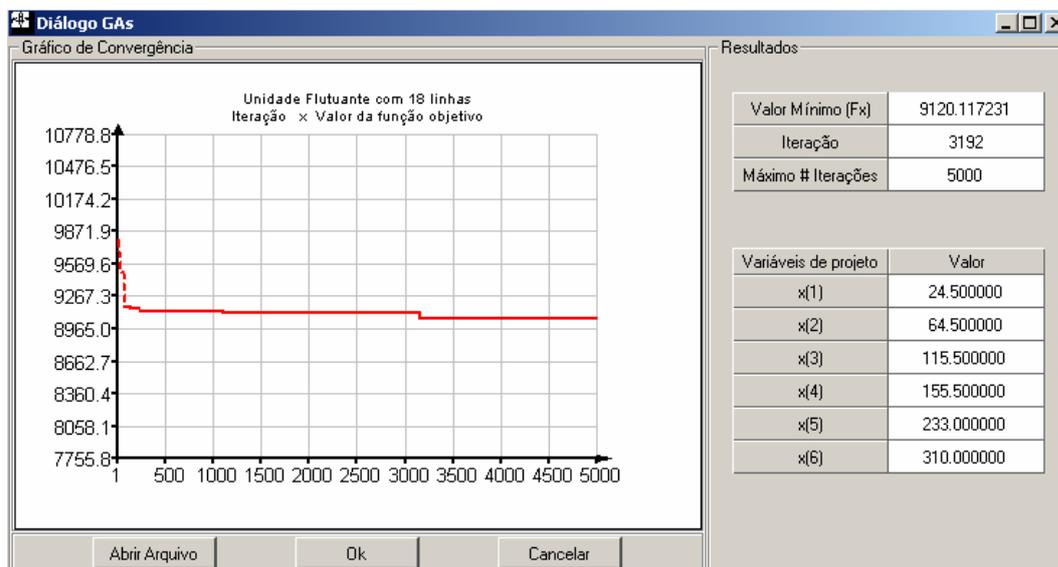


Figura 5.5 – Gráfico de convergência do processo de otimização (Exemplo 2).

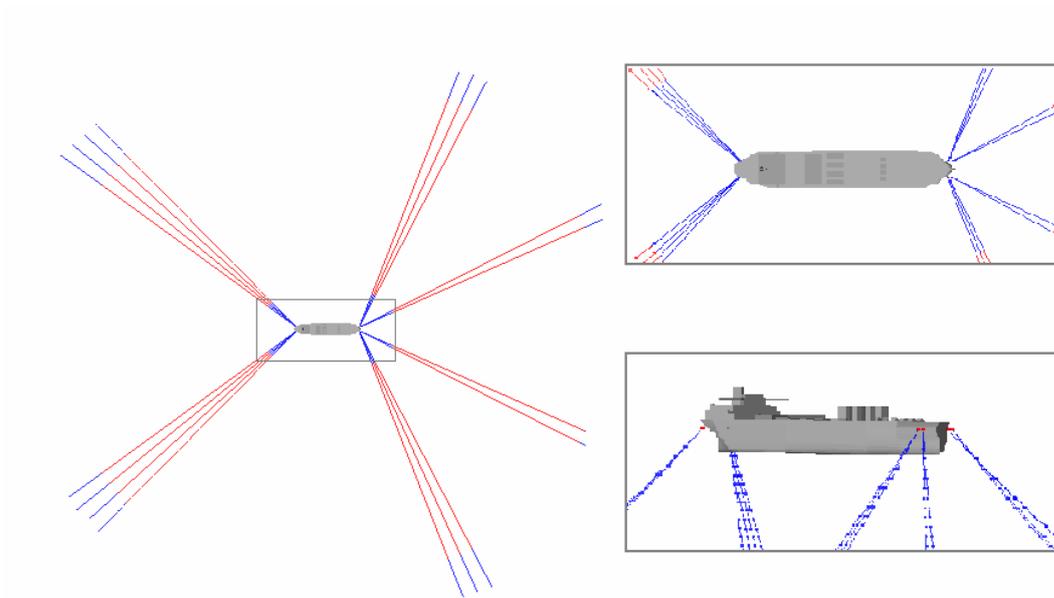


Figura 5.6 – Disposição final das linhas de (Exemplo 2).