

DETERMINAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO DE UMA REFINARIA COM FACILIDADES DE TAMANHOS DESIGUAIS USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Rafael Chinem Takayassu

Coppe/UFRJ

Centro de Tecnologia Bloco F - Sala 103 Cidade Universitária – RJ

rafael@takayassu.com

Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

Coppe/UFRJ

Centro de Tecnologia Bloco F - Sala 103 Cidade Universitária – RJ

virgilio@ufrj.br

RESUMO

Um problema recorrente na implantação de um empreendimento industrial é a localização de suas unidades produtivas de modo a otimizar o resultado financeiro. Na indústria do petróleo, em especial na construção de refinarias, esta realidade não é diferente. Dada a intensidade de investimentos e magnitude de custos deste setor, melhorias - mesmo que pequenas - se traduzem em grandes montantes de capital poupados. Este trabalho se propõe a estudar o problema de arranjo de unidades industriais de uma refinaria usando Algoritmos Genéticos de modo a reduzir a extensão de dutos com o uso de algoritmos genéticos para o caso de áreas desiguais atendendo às restrições da companhia.

PALAVRAS-CHAVE: Arranjo Físico, Algoritmos Genéticos, Refinaria, PO na área de Petróleo & Gás, Metaheurísticas

ABSTRACT

A usual problem in industrial project implementation is locating its process units in a such way to optimize economic results. In oil industry, especially refinery construction sector, this reality does not differ. Given the capital investment intensity and cost magnitude of this industry, improvements - even the little ones - can provide large amounts of capital investment savings. This work proposes the study of the plot-plan design problem in a refinery driving piping extension reduction by using Genetic Algorithms for unequal area facility case following the company's restrictions.

KEYWORDS: Layout, Genetic Algorithms, Refinery, OR applied in Oil & Gas, Metaheuristics

1. Introdução

Dada a magnitude de investimentos em uma refinaria, os ganhos, mesmo que pequenos percentualmente, se traduzem em grandes montantes de capital. Um problema recorrente na implantação de empreendimentos é a localização de suas unidades produtivas dentro do site. Um arranjo equivocado causa longos fluxos, elevados estoques em processo e lead times mais longos. Uma vez que unidades produtivas já estejam posicionadas, sua mudança é muito cara, difícil ou inconveniente. Na construção de uma refinaria, este problema se acentua dada a dimensão de seus investimentos.

Na prática, arranjos físicos acabam sendo definidos através do uso do bom-senso e experiência. Há uma lacuna de melhoria que pode ser preenchida através do emprego de técnicas de Engenharia de Produção. O Algoritmo Genético, técnica de otimização inspirada na evolução e seleção natural dos seres vivos, se coloca como uma ferramenta robusta para a geração de alternativas adequadas para este tipo de problema.

2. Descrição do Problema

A refinaria objeto deste estudo possui 145 unidades, destas 45 são unidades de processo, o restante é composto por uma variedade de facilidades que dão suporte ao processo, tão diversas quanto: tanques, provimento de energia elétrica, vapor, nitrogênio, água, prédios administrativos, estradas, entre outros. Para este estudo será considerada uma versão simplificada da refinaria, onde 38 unidades deverão ser localizadas no espaço do site selecionado.

No geral, os arranjos físicos de refinaria são elaborados a experiência dos funcionários obedecendo à lógica de processo do refino. Algumas precauções, traduzidas em normas da indústria ou de cada companhia, são tomadas norteadas por diretrizes de segurança, meio-ambiente e saúde. Estas normas auxiliam na decisão de arranjo físico, tais como a localização de unidades industriais distantes dos limites de terreno da refinaria, afastamento de unidades passíveis de vazamento de gases inflamáveis de chamas intermitentes, intercalação de unidades que apresentam alto risco de explosão por outras que não apresentam o mesmo grau de risco.

O refino proporciona campo fértil para o estudo aprofundado de arranjo físico, dada sua complexidade, seu emprego intensivo de capital e seus diversos objetivos. É interessante observar que apesar disto, na prática, não se observa o uso de metodologias matemáticas de suporte a decisão de layout.

As seguintes hipóteses foram assumidas na definição do problema:

- O processo de refino não poderá ser alterado.
- Não será considerado o emprego de hubs entre unidades: em refino, as correntes comuns são agregadas formando grandes tubovias. Estas, por vezes, perpassam quase toda a extensão do site, chegando a ocupar dezenas de metros de largura e centenas de comprimento. Neste estudo não se considera o emprego destas tubovias, bem como o espaço que elas ocupam no arranjo.
- Por questão de sigilo, será omitida a descrição detalhada de processo de refino.
- Não será informado o preço detalhado de cada duto. Para tal, será empregado um fator de deflexão, o que não prejudicará a qualidade do trabalho uma vez que a definição de arranjos será afetada somente pela diferença comparativa entre elas.
- Não será levado em conta o custo fixo de instalação. Em engenharia de solos, o custo de localização de uma instalação é proporcional ao número de estacas empregadas na sua fundação. Não raro, a natureza do solo só é conhecida de fato no momento do estaqueamento. Portanto, o custo fixo de localização das unidades no site não será tratado devido à complexidade de mensuração dos dados e a pouca precisão de dados no estágio no qual a pesquisa foi realizada.
- Não será avaliado o custo de compra de equipamentos, construção e montagem.

- Devido à maturação dos projetos básicos e detalhados que estão ocorrendo, alguns dados podem não ser mesmos empregados em suas versões definitivas. Serão utilizados os dados mais recentes que o autor tiver acesso
- O trabalho irá tratar somente de arranjos bidimensionais.
- O trabalho não tem a pretensão de atender todas as normas da indústria, apenas àquelas referentes ao macro-posicionamento de unidades
- Será selecionada uma seção do site para estudo quantitativo, o restante será tratado de forma qualitativa.
- Devido à própria natureza do algoritmo genético, não há o compromisso de encontrar a solução ótima.

3. Modelagem Matemática do Problema

3.1. Determinação do Custo

O custo de tubulação é composto basicamente de dois componentes: o número de válvulas utilizadas em sua extensão e o custo da tubulação propriamente dita, que pode ser calculado pela quantidade de material utilizado vezes o preço do material. O número de válvulas em cada uma das interligações depende do detalhamento do projeto e não está usualmente disponível no momento da concepção inicial do arranjo das unidades, esta componente foi portanto omitida neste estudo. O material empregado em todas as tubulações é o aço-carbono. Portanto, o custo de dutos é função somente da quantidade de material empregado na sua construção, a qual é medida pela metragem cúbica de dutos, dada pela multiplicação da extensão do tubo pela área da seção circular entre o raio interno e externo.

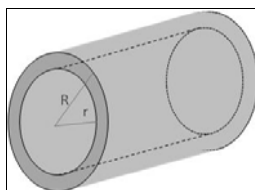


Figura 1. Seção de área circular do duto

O custo entre as unidades A e B é dada pela multiplicação da extensão entre estas unidades pela seção circular do duto que as conecta.

$$C_{AB}(L_{AB}) = L_{AB} \times A_{S_{AB}}$$

3.2. A Função Objetivo

A qualidade de uma solução depende não somente do custo das interligações, mas também da forma das unidades. A função objetivo do problema precisa então ser capaz de representar de forma simplificada a necessidade de redução dos custos de interligações, bem como do custo de construção das unidades. Devido ao seu processo construtivo mais simplificado, unidades com formatos regulares possuem custos de construção menores. A partir dos trabalhos de Wang *et al* (2005), foi inserida uma parcela que reflete uma norma interna da companhia que aconselha a construção de unidades industriais ocupando áreas quadradas ou retangulares, num tamanho médio de *grid* de 100m x 100m. Esta parcela matemática é conhecida como *Shape Factor Ratio*, ou SFR, que pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\frac{P_i}{4\sqrt{A_i}}$$

O SFR assumirá valor mínimo igual a 1 quando a unidade *i* possuir um formato de quadrado e valores maiores com o aumento da irregularidade. O raciocínio pode ser estendido às outras unidades, expresso pela média geométrica das parcelas de todas as unidades. A média geométrica é não-compensatória, o que assegura que há um compromisso mútuo na busca de uma configuração mais regular para o conjunto de unidades, em detrimento de resultados individuais.

$$Min \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N c_{ij} d_{ij} \prod_{i=1}^N \left(\frac{P_i}{4\sqrt{A_i}} \right)^{1/N}$$

- c_{ij} = custo linear de dutos da unidade *i* para unidade *j* [\$/m]
- d_{ij} = distância Manhattan entre os centróides das unidades *i* e *j* [m]
- P_i = perímetro da unidade *i* [m]
- A_i = área da unidade *i* [m²]

Esta parcela matemática, advinda da norma, tem valor mínimo igual a 1 quando todas as unidades ocuparem *grids* quadrangulares. Seu valor cresce com o aumento da irregularidade das formas.

Os dutos que ligam as unidades não passam sobre os *grids* e sim, ao largo destes. Desta forma, a geometria Manhattan é mais adequada para representar o problema do que a habitual geometria euclidiana. A distância Manhattan pode ser definida para dois pontos, num espaço euclidiano com sistema cartesiano de coordenadas fixo, como a soma dos comprimentos das projeções da linha que une os pontos sobre os eixos das coordenadas. Num plano que contém os pontos P1 e P2, respectivamente com as coordenadas (x₁,y₁) e (x₂,y₂), a distância Manhattan é definida por:

$$|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

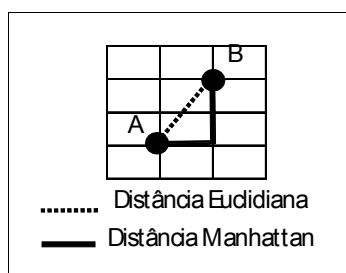


Figura 2. Distância euclidiana e distância Manhattan

3.3. Codificação da Solução e Solução Inicial

Foi escolhida uma seção do site que abriga parte do processo de refino para ser tratado quantitativamente. São ao todo, 38 unidades de processo. A solução inicial foi codificada a partir do tamanho de grid estabelecido pela norma e pela planta de arranjo da refinaria. Os espaços vazios são ocupados pelas tubovias, que por não estarem contempladas neste estudo, não serão descritas no layout inicial.

6	6	22	22	22	22		25	25	9	9	9	23	23	23	11
3	3	17	17	17	17		8	8	8	10	7	7	7	7	7
5	5	38	38	12	12		8	8	8	35	7	7	7	7	7
4	4	16	16	16											
1	1	16	16	16			19	24	24	20	37	37	37	37	37
1	1		14	14			19	26	26	0	21	21	21	21	21
2	2		13	15	28		0	29	29	18	18	18	18	18	18
2	2		13	15	28										
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	33	33
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	33	33
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	34	34
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	34	34
27	27	27	27	27				30	30	30	30	30	30	30	30
							30	30	30	30	30	30	30	30	30
							30	30	30	30	30	30	30	30	30
							30	30	30	30	30	30	30	30	30

Figura 3. Codificação do Layout Inicial

4. Levantamento de Soluções Alternativas

Na busca por soluções alternativas, alguns métodos heurísticos tem sido propostos na literatura. Dentre eles se destacam os Algoritmos Genéticos, que têm sido bem-sucedidos na determinação de arranjos para esta escala. Trabalhos como de Tavakkoli (1998) abordam situações onde uma facilidade ocupa um único *grid*, enquanto Kochhar *et al*(1998) aborda o caso de uma facilidade ocupando mais de um *grid*. Esta última linha é mais aderente à realidade deste estudo de caso, uma vez que o tamanho delas varia consideravelmente, ocorrendo variações de até 3900%. Uma desvantagem do modelo de áreas de tamanhos desiguais é a possibilidade de algoritmo gerar soluções que não garantam a continuidade das unidades industriais. O trabalho de Kochhar *et al*(1998) faz uso de Space Filling Curves (SFC), que são curvas que percorrem o espaço bidimensional. Este artifício garante a continuidade, uma vez que iniciada a localização sob a curva, a próxima unidade só será localizada quando a primeira estiver finalizada. O emprego de SFC muda a natureza do problema, passando a ser um problema de ordenação.

4.1. Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos nasceram a partir da inspiração nos princípios da seleção natural de Darwin e nos estudos dos cromossomos. A contribuição de Darwin está no fato de que indivíduos são diferentes e aqueles mais aptos ao seu meio, são mais bem sucedidos e tem mais chance de repassar suas características aos seus descendentes. O estudo da genética inspirou os criadores dos Algoritmos Genéticos a codificar suas soluções como um cromossomo e tal como este, sujeita aos mesmos operadores genéticos de mutação e *crossing-over*. As bases dos Algoritmos Genéticos foram lançadas por nos anos 70 com a transposição de conceitos da biologia para a programação. A tabela a seguir mostra este comparativo.

Tabela 1. Associação entre os termos de Biologia e AG

Termo	Biologia	Algoritmos Genéticos
Cromossomo ou indivíduo	Conjunto de genes de um organismo	String que representa uma solução para o problema
Gene	Unidade de hereditariedade transmitida pelo cromossomo e que controla as características do organismo	Parâmetro codificado no cromossomo, ou seja, um elemento da string
Genótipo	Composição genética contida no cromossomo	Informação contida no cromossomo
Fenótipo	Manifestação física de um gene no organismo	Estrutura construída a partir do genótipo
Alelo	Uma das formas alternativas de um gene	Valores que o gene pode assumir

Fonte: Argoud e Gonçalves (2007) adaptado de Lacerda *et al* (1999)

4.2. Codificação

Com o emprego de SFC, o número de soluções possíveis é o número de permutações. Para permitir arranjos não previstos no ordenamento, foram adicionadas 7 unidades fantasmas – sem custo – para facilitar este propósito. As 7 unidades fantasmas e as 38 industriais totalizam 45, o que representa um universo de $1,2 \cdot 10^{56}$ (45!) possíveis alternativas. Como o número de *grids* ocupado por cada unidade é constante, esta característica não será codificada no cromossomo.

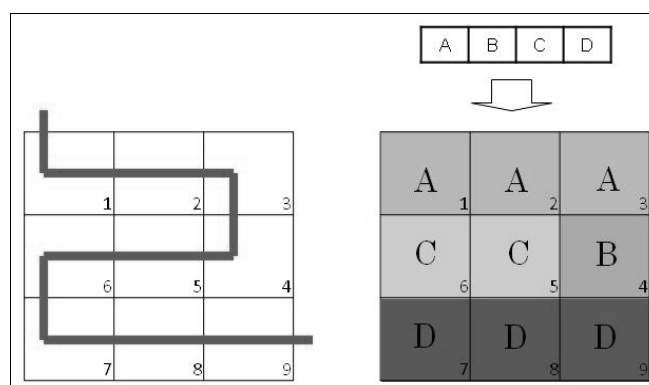


Figura 4. Codificação de unidades com SFC

O emprego de SFC limita as soluções àquelas que podem ser representadas por um ordenamento de unidades, desta forma, é possível que o arranjo inicial não possa ser descrito como uma solução viável da SFC.

4.3. Proposição de SFC

Um efeito inerente da abordagem por SFC é o forte influência que a escolha da SFC tem nos resultados finais. Foram propostas três alternativas, criadas de forma que suas curvas pudessem representar, em parte, a forma quadrangular das unidades de processo.

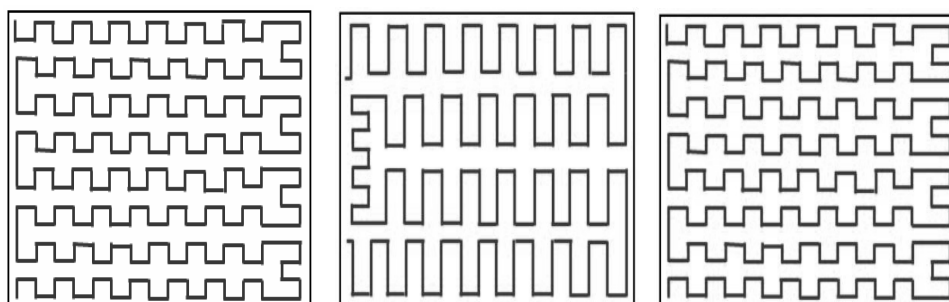


Figura 5. SFC 1, SFC2 e SFC5, respectivamente.

4.4. Escolha da SFC

É sabido que a escolha da SFC pode enviesar o resultado, mas esta suposição precisa ser testada. É preciso verificar se existem ou não diferenças significativas entre as SFC. Para tanto foram construídas duas hipóteses:

H_0 = a hipótese nula = **NÃO** existem diferenças significativas entre as SFC

H_1 = a hipótese alternativa = existem diferenças significativas entre as SFC

4.4.1. Teste de Hipótese:

A Análise de Variância Simples é um procedimento que testa variância entre os J indivíduos de um grupo e entre os I grupos. Para que haja efeito diferencial entre os grupos, a variação entre os grupos deve ser maior que a variação dentro do mesmo grupo.

As curvas foram testadas por 41 iterações com os parâmetros:

- População: 100
- Seleção: 0,5
- Taxa de Crossing-over: 0,20
- Taxa de Mutação: 0,02

Tabela 2. Teste das três SFC após 41 iterações

Nº iteração	SFC1	SFC2	SFC5
1	2.577,43	2.507,28	2.901,70
2	2.608,12	2.989,96	2.830,55
3	2.594,71	2.544,77	2.840,04
4	2.583,69	2.507,28	2.974,06
5	3.506,89	2.390,93	2.974,06
6	2.619,33	2.393,69	2.803,87
7	2.741,76	2.423,97	2.998,79
...
39	3.023,14	2.801,63	2.871,53
40	2.591,35	2.507,28	2.901,70
41	2.670,60	2.429,34	2.784,74
Melhor	2.489,44	2.174,50	2.712,63
Média	2.686,32	2.559,26	2.991,92

Tabela 3. Resumo Análise Variância 1

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
SFC1	41	110139,2906	2686,324162	47959,2888
SFC2	41	104929,8343	2559,264251	103397,0667
SFC5	41	122668,5909	2991,916851	70575,6163

Tabela 4. Resumo Análise Variância 2

Fonte da Variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-p	F-Crítico
Entre grupos	4055167,92	2	2027582,46	27,4081617	1,572E-10	3,071779405
Intra Grupos	8877278,87	120	73977,3239			
TOTAL	12932443,8	122				

Como o valor do valor-p é muito superior ao F crítico, pode-se afirmar que há diferenças significativas entre as SFC. A hipótese nula, portanto, foi rejeitada.

4.4.2. Teste de Tukey:

A análise de variância mostra que há uma diferença significativa entre os tratamentos (curvas), porém é insuficiente para mostrar entre quais. Para tanto, usa-se o teste de Tukey, que faz análise par a par a partir da comparação da diferença da média. Pode-se afirmar que duas SFC são diferentes se a diferença entre as médias for maior do que a diferença mínima significativa (d.m.s.)

$$d.m.s. = q \sqrt{\frac{QMR}{r}}$$

Onde:

- q(g,l,r) = é o valor tabelado
- QMR = quadrado médio dos resíduos (dentro do grupo)
- r = número de tratamentos
- gl = graus de liberdade

$$gl = (\text{iterações} \times \text{tratamentos}) - \text{tratamentos}$$

Para este caso, $gl = (41 \times 3) - 3 = 120$

Então, $q(120,3) = 3,63$

$$QMR = 73977,32393$$

$$d.m.s. = 3,63 \sqrt{\frac{73977,32393}{3}} = 154,19$$

$$|\mu_{SFC1} - \mu_{SFC2}| = 127,06 \leq 154,19 ; \text{ não há diferença entre SFC1 e SFC2}$$

$$|\mu_{SFC1} - \mu_{SFC5}| = 305,59 > 154,19 ; \text{ há diferença entre SFC1 e SFC5}$$

$$|\mu_{SFC2} - \mu_{SFC5}| = 432,65 > 154,19 ; \text{ há diferença entre SFC2 e SFC5}$$

Tabela 5. Comparação entre as SFC

	SFC1	SFC2	SFC5
SFC1		127,059	305,59*
SFC2			432,65*
SFC5			

Os asteriscos mostram que há diferença significativa entre SFC1-SFC5 e SFC2-SFC5. Porém, como não há diferença entre SFC1 e SFC2, a SFC2 foi escolhida por apresentar melhores resultados.

4.5. Definição de Parâmetros

Após a escolha da SFC 2, foi preciso definir os parâmetros genéticos desta curva. População e taxa crossing-over foram retiradas de Pitchon *et aliae* (2006), baseado em três autores: de Jong, Grefensette e Shaffer. Foram testadas taxas de mutação de 0.005, 0.01, 0.05 e 0,1.

Tabela 6. Parâmetros Genéticos

	de Jong	Grefensette	Shaffer
população	100	30	30
Tx.Crossing over	0,60	0,95	0,75

Após 10.000 iterações, os parâmetros de Grefensette apresentaram melhores resultados. A tabela abaixo mostra o resultado da décima milésima iteração.

Tabela 7. Resultado da 10.000ª iteração

Iteração	de Jong				Grefensette				Sheffer			
	Pop 100 ; crossover 0,6				Pop 30 ; crossover 0,95				Pop 30 ; crossover 0,75			
	0,005	0,04	0,05	0,1	0,005	0,01	0,05	0,1	0,005	0,01	0,05	0,1
1000	1631	1604	1480	1632	1375	1491	1464	1423	1416	1454	1425	1531

Os testes mostraram que para os parâmetros de Grefensette, a taxa de mutação de 0,005 é mais promissora.

4.6. Teste de Longa Duração

A partir dos resultados anteriores, o algoritmo genético foi executado em um teste de longa duração com as seguintes características:

- Tipo de Problema: Ordenamento
- Seleção: 0,5
- Método de Seleção: por ranking, steady state (default)
- População: 30

- Taxa de Crossing-over: 0,95 uniforme
- Taxa de Mutação: 0,005

Para a execução do Algoritmo Genético foi utilizado o software Palisade Evolver 5.5, que faz parte da suíte Palisade Decision Tools. O programa se integra ao MS-Excel para resolução de problemas de Algoritmos Genéticos. As formulas, gráficos e macros são feitas em MS-Excel, enquanto a resolução é realizada no Evolver. O programa foi executado em um Pentium IV, 2GHz, 4gb RAM. O algoritmo foi testado por 6 horas. O melhor resultado foi alcançado depois de 5h21m.

Figura 6. Layout Inicial

6	6	22	22	22	22			25	25	9	9	9	23	23	23	11
3	3	17	17	17	17			8	8	8	10	7	7	7	7	7
5	5	38	38	12	12			8	8	8	35	7	7	7	7	7
4	4	16	16	16												
1	1	16	16	16				19	24	24	20	37	37	37	37	37
1	1		14	14				19	26	26	0	21	21	21	21	21
2	2		13	15	28			0	29	29	18	18	18	18	18	18
2	2		13	15	28											
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	33	33	
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	33	33	
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	34	34	
27	27	27	27	27	28			31	31	31	32	32	32	34	34	
27	27	27	27	27				30	30	30	30	30	30	30	30	30
								30	30	30	30	30	30	30	30	30
								30	30	30	30	30	30	30	30	30
								30	30	30	30	30	30	30	30	30

O custo de dutos para o layout inicial é 3.001,85 unidades monetárias.

Figura 7. Layout Inicial sem tubovias

6	6	22	22	22	22											
3	3	17	17	17	17											
5	5	38	38	12	12	25	25	9	9	9	23	23	23	11		
4	4	16	16	16	19	8	8	8	10	7	7	7	7	7		
1	1	16	16	16	19	8	8	8	35	7	7	7	7	7		
1	1		14	14		24	24	20	37	37	37	37	37			
2	2		13	15	28	26	26		21	21	21	21	21			
2	2		13	15	28	29	29	18	18	18	18	18	18			
27	27	27	27	27	28	31	31	31	32	32	32	33	33			
27	27	27	27	27	28	31	31	31	32	32	32	33	33			
27	27	27	27	27	28	31	31	31	32	32	32	34	34			
27	27	27	27	27	28	31	31	31	32	32	32	34	34			
27	27	27	27	27	30	30	30	30	30	30	30	30				
			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				

O custo de dutos para o layout inicial sem tubovias é 2.860,89 unidades monetárias.

Figura 8 - Proposta de Layout gerada pelo AG

															8	8	
															8	8	
															8	8	
															13	13	5
27	27	27	27	27	1	1	33	33	21	21	31	31	36	36	5		
27	27	27	27	37	1	1	33	33	21	21	31	31	31	16	16		
27	27	27	27	37	37	38	19	12	3	21	31	31	31	16	16		
27	27	27	27	37	37	38	39	12	3	31	31	31	31	16	16		
27	27	34	34	25	26	23	23	14	29	32	32	32	32	30	30		
27	27	34	34	25	26	23	43	14	29	9	32	32	32	30	30		
27	27	24	22	22	10	40	35	15	4	9	32	32	32	30	30		
27	27	24	22	22	45	44	42	15	4	9	32	32	30	30	30		
18	2	2	28	11	20	41	7	7	30	30	30	30	30	30	30		
18	2	2	28	6	17	7	7	7	30	30	30	30	30	30	30		
18	18	28	28	6	17	7	7	7	30	30	30	30	30	30	30		
18	18	28	28	17	17	7	7	30	30	30	30	30	30	30	30		

O custo de dutos para o layout proposto pelo AG 1.398,52 unidades monetárias. Em cinza, as unidades fantasmas.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia de definição de arranjo físico usando Algoritmos Genéticos. O problema foi modelado de modo a exprimir a necessidade de redução de interligações, dado que este é um custo extremamente elevado na construção de uma refinaria. Foi introduzida no modelo, a recomendação da norma da companhia para construção de unidades de forma quadrangular. O estudo mostrou uma redução de 53,41% do custo em relação ao layout inicial, e de 51,12% em relação ao layout inicial sem as tubovias.

6. Referências

- ARGOUD, A., GONÇALVES Filho E., et al. (2007). Procedimento para projeto de arranjo físico modular em manufatura através de algoritmo genético de agrupamento UFSCAR. São Carlos, SP.
- KOCHHAR, J.S., HERAGU, S.S, FOSTER, B. (1998). HOPE: a genetic algorithm for the unequal area facility layout problem. *Computers and Operations Research* 25(7-8): 583-594.
- PITCHON, T. S., SANTARÉM, C. A., BAIOCO, J. S., CASTIÑERA, P. P., SECKLER, C. S (2006). Estudo de Metodologias para Solução de Problemas de Programação de Recursos com Restrições em Exploração e Produção de Petróleo. XXVIII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural. Rio de Janeiro, RJ.
- TAVAKKOLI-MOGHDDAIN, R., SHAYAN, E. (1998), Facilities layout design by genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering* 35(3-4): 527-530.
- WANG, M.J., HU, M.H., KU, M.Y. (2005). A solution to the unequal area facilities layout problem by genetic algorithm. *Computers in Industry*, 56 207-220.