



COPPE/UFRJ

DETERMINAÇÃO DE ARRANJO FÍSICO DE UMA REFINARIA USANDO
ALGORITMOS GENÉTICOS PARA O CASO COM FACILIDADES DE
TAMANHOS DESIGUAIS

Rafael Chinem Takayassu

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia de
Produção, COPPE, da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Rio de Janeiro

Setembro de 2010

DETERMINAÇÃO DE ARRANJO FÍSICO DE UMA REFINARIA USANDO
ALGORITMOS GENÉTICOS PARA O CASO COM FACILIDADES DE
TAMANHOS DESIGUAIS

Rafael Chinem Takayassu

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof(a). Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Prof. Gilson Brito Alves Lima, D.Sc.

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2010

TAKAYASSU, RAFAEL CHINEM

Determinação de Arranjo Físico de uma Refinaria usando Algoritmos Genéticos para o caso com Facilidades de Tamanhos Desiguais – [Rio de Janeiro], 2010.

XII, 108 p; 29,7 cm.(COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Produção, 2010)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Arranjo Físico
2. Algoritmos Genéticos
3. Áreas Desiguais.

I. COPPE/UFRJ

II. Título (série)

Agradecimentos

Aos meus pais, que me ensinaram que os bens materiais vêm e vão, mas o conhecimento não pode ser extirpado

Aos meus ex-chefes, Luiz Eduardo e Aldo, que sempre incentivaram que concluísse o mestrado.

Aos amigos do curso, com quem compartilhei momentos de aprendizado e descontração.

Ao professor Virgílio, pela orientação e paciência.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DETERMINAÇÃO DE ARRANJO FÍSICO DE UMA REFINARIA USANDO
ALGORITMOS GENÉTICOS PARA O CASO DE FACILIDADES DE TAMANHOS
DESIGUAIS

Rafael Chinem Takayassu

Setembro/2010

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

Um problema recorrente na implantação de um empreendimento industrial é a localização de suas unidades produtivas de modo a otimizar o custo de localização. Na indústria do petróleo, em especial na construção de refinarias, esta realidade não é diferente. Devido à ausência de métodos quantitativos na empresa estudada, o trabalho oferece uma metodologia para estabelecer o leiaute de unidades de processo buscando a minimização de custos de interligação e irregularidades de edificações. As características refinaria são: um alto número de facilidades e grande variabilidade de tamanho de área. Dada a delimitação do escopo da pesquisa, as alternativas, geradas através de Algoritmos Genéticos, apresentam desempenho superior ao arranjo inicial.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

REFINERY LAYOUT DETERMINATION USING GENETIC ALGORITHM FOR
UNEQUAL AREA FACILITY PROBLEM

Rafael Chinem Takayassu

September/2010

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

An usual problem in industrial project implementation is locating its process units in a such way to optimize location costs. In oil industry, especially refinery construction sector this reality is not an exception. Due absence of quantitative methods in this case of study, this work suggests a methodology to establish process units' layout leading to minimizing piping extension and buildings shape irregularity. The oil refinery's characteristics are high number of facilities and high size area variability. Given research scope delimitation, the alternatives, generated by Genetic Algorithms, provide superior performances than the original layout.

Sumário

<u>1.1 - Motivação.....</u>	<u>11</u>
<u>1.2 - Objetivo do Trabalho.....</u>	<u>11</u>
<u>1.3 - Estrutura do Trabalho.....</u>	<u>11</u>
<u>2.1 - Refino.....</u>	<u>12</u>
<u> 2.1.1 - Introdução.....</u>	<u>12</u>
<u> 2.1.2 - Processo de Refino.....</u>	<u>13</u>

2.2.1 - Introdução.....	14
2.2.2 - Tipos de Arranjos Físicos.....	15
2.2.3 - Formulação Matemática.....	18
2.2.4 - Critério de performance para Arranjos Físicos.....	19
2.2.5 - Artigos Selecionados de Problemas de Arranjo Físico.....	20
2.3 - Algoritmos Genéticos.....	20
2.3.1 - Introdução.....	20
2.3.2 - Codificação.....	21
2.3.3 - Componentes do Algoritmo Genéticos.....	22
3.1 - Exemplo do estudo.....	28
3.2 - Metodologia de Solução.....	28
3.3 - Projeto Detalhado de Arranjo Físico.....	29
3.4 - Seleção da Área a ser estudada.....	29
3.5 - Modelagem do Problema.....	31
3.5.1 - Introdução.....	31
3.5.2 - Delimitação do Escopo da Pesquisa.....	31
3.5.3 - Modelagem do PQA Modificado.....	32
3.5.4 - Modelagem Usando Curvas de Preenchimento Espacial.....	32
3.6 - Codificação.....	35
3.7 - Escolha do software.....	36
3.8 - Proposição de SFC.....	36
3.9 - Escolha de SFC.....	37
3.10 - Definição de Parâmetros.....	39
3.11 - Testes de longa duração.....	41
4.1 - Conclusão.....	43
4.2 - Proposta para Trabalhos Futuros.....	44
Anexo II - Formulação Matemática do estudo de Xu.....	51
Anexo III - Função Custo.....	53
Anexo IV - Evolver.....	54
Anexo V - Tabela de Tukey.....	57
Anexo VI - Resultados dos testes de escolha de SFC.....	57
Anexo VII - Resultados das alternativas propostas.....	68

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

AG	Algoritmos Genéticos
AGV	<i>Automated guided vehicles</i> (Veículos Guiados Automaticamente)
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CD	Centro de Distribuição
DEA	Dietilamina
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
FLP	<i>Facility Layout Proble</i> (Problema de Arranjo Físico de Facilidades)
FO	Função Objetivo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
QAV	Querosene de Aviação
MEA	Monoetanolamina
NP	Não-polinomial
PQA	Problema Quadrático da Alocação
ROCE	<i>Return on Capital Employed</i> (Retorno sobre o Capital Investido)
REVAMP	Revitalização e ampliação.
SFC	<i>Space Filling Curves</i> (Curvas de Preenchimento Espacial)
SFR Formato)	<i>Shape Factor Ratio</i> (Razão de Fator de

Capítulo 1: Introdução

1.1 - Motivação

Dada a magnitude de investimentos em uma refinaria, os ganhos, mesmo que pequenos percentualmente, se traduzem em grandes montantes de capital. Segundo Plano de Negócios da Petrobras (2009-2013), os investimentos em refino somam US\$ 34,9 bilhões. A adoção de políticas de disciplina de capital é premente, sobretudo no momento de escassez de disponibilidade de recursos financeiros advindos da crise financeira dos anos de 2008-2009, período de elaboração deste trabalho.

Um problema recorrente na implantação de empreendimentos é a localização de suas unidades produtivas. Um arranjo equivocado causa problemas, pois provoca longos fluxos entre as facilidades, elevados estoques em processo e tempos de resposta 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 literatura, o problema de arranjo físico é um classificado como NP-Difícil. (GAREY & JOHNSON, 1979 apud DRIRA, 2007) . No exemplo retirado para o estudo deste trabalho, os arranjos físicos são definidos através do uso do bom-senso e experiência. Neste caso, há uma lacuna de melhoria que pode ser preenchida através do emprego de técnicas de Engenharia de Produção.

1.2 - Objetivo do Trabalho

Devido à ausência de métodos de definição de leiautes quantitativos e adequados para a realidade da empresa tomada como exemplo, o presente trabalho oferece uma metodologia para desenvolvimento de arranjo de unidades de processo de refino que minimize os custos com interligação e irregularidade de edificações de uma refinaria cujas características são: um alto número de facilidades e grande variabilidade de tamanho de área.

Este trabalho elabora uma metodologia que faz uso de (1) Algoritmos Genéticos, meta-heurística inspirada nos conceitos de genética e evolução, (2) curvas de preenchimento espacial, linhas sob as quais as unidades são localizadas ; e (3) unidades fantasmas, facilidades de valor de interligação zero, inseridas para facilitar a regularidade das unidades.

1.3 - Estrutura do Trabalho

O presente capítulo tem caráter introdutório, apresentando as motivações, objetivo do trabalho e apresentação do escopo. Os quatro capítulos seguintes desenvolvem o que foi descrito no capítulo inicial.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: introdução dos conceitos de refino, arranjo físico, artigos selecionados de problema de arranjo físico; e algoritmos genéticos.

Capítulo 3 – Metodologia de Solução: introdução do exemplo no qual a metodologia de solução se baseia: uma refinaria localizada, descrevendo seu propósito, características básicas, número de unidades de processo, área ocupada, etc. Nesta seção, é desenvolvida a metodologia qualitativa de arranjo físico. A partir dos objetivos, é traçada a metodologia para localização de facilidades para realidade do exemplo. Tomando o leiaute inicial como *benchmarking*, isto é, parâmetro de comparação, são feitas comparações com as alternativas propostas pela metodologia.

Capítulo 4 – Conclusão e Trabalhos Futuros: a partir dos resultados quantitativos, é exposta a conclusão sobre aderência da metodologia à realidade da pesquisa. Nesta seção, também são expostas sugestões para trabalho futuros.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, são revistos quatro assuntos que darão embasamento para o trabalho: refino de petróleo, arranjos físicos, algoritmos genéticos e resolução de problemas de arranjo físico através de ferramentas quantitativas. São apresentados os conceitos de refino, tipos de processos mais usuais e influência do processo de refino no posicionamento das unidades dentro do *site*.

Em seguida, são apresentados os conceitos de Arranjo Físico, sua importância na indústria e *elaborada* uma classificação em relação a: sistema de manufatura, número de dimensões, formas, natureza do tamanho, evolução do layout, objetivos, restrições e métodos de resolução.

O próximo tópico a ser revisto é o uso de algoritmos genéticos, sua origem, funcionamento e aplicabilidade na resolução de problemas. Por fim, são estudados trabalhos de aplicação de métodos matemáticos exatos e heurísticos – incluindo algoritmos genéticos – na resolução de problemas de arranjo com número de facilidades da mesma ordem da pretendida neste trabalho.

2.1 - Refino

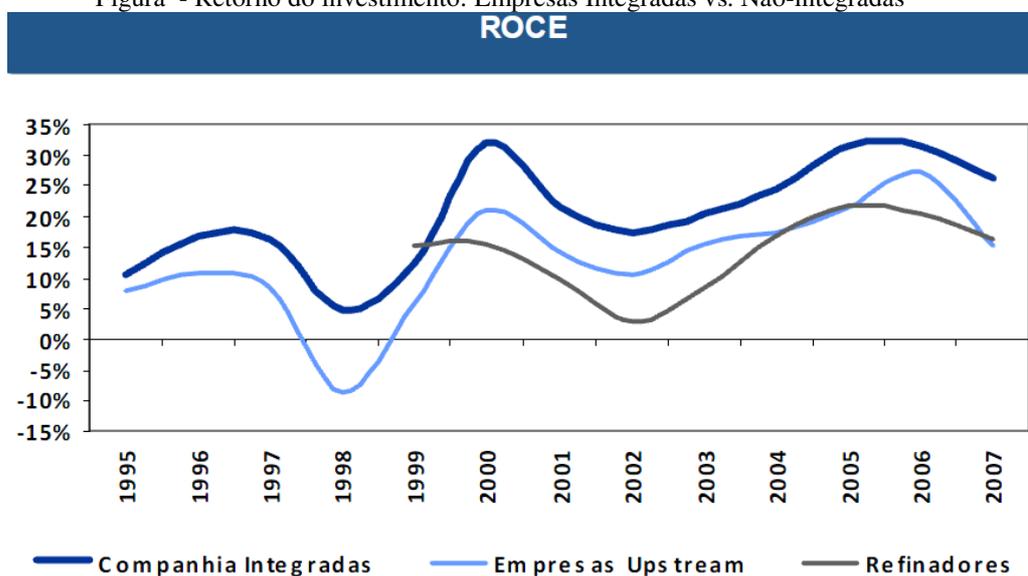
2.1.1 - Introdução

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos formados há centenas de milhões de anos pela decomposição de materiais orgânicos soterrados por sedimentos. O homem usa petróleo desde as primeiras civilizações. Há relatos de uso como argamassa, remédio, adesivo e iluminação.

Quando retirado do poço, o petróleo tem pouco valor. “Apenas após seu tratamento e separação em diversos subprodutos, como se consegue nas refinarias, o petróleo se converte em riqueza efetiva, vetor de energias finais, capazes de aplicação em uma gama de sistemas energéticos e matérias-primas para um sem número de aplicações.” (SZLO, 2008). A indústria petrolífera costuma ser dividida em: *upstream* (exploração e produção) e o *downstream* (refino, transporte, distribuição e petroquímica básica).

A indústria do petróleo apresenta uma tendência de integração vertical, de modo a diluir os riscos e aumentar rentabilidade. Os ganhos ora obtidos por intermediários, passam a ser internalizados pela companhia, atividades lucrativas de um segmento podem subsidiar setores menos atrativos e uma empresa que atua em vários segmentos da cadeia, consegue um trânsito mais fluido e transparente de informações, reduzindo risco de desabastecimento. A figura 1, retirada o Plano de Negócios Petrobras 2009-2013 (PETROBRAS, 2009), mostra que empresas de petróleo integradas apresentam maior ROCE (Retorno do Capital Investido)

Figura - Retorno do investimento: Empresas Integradas vs. Não-integradas



Fonte: Plano de Negócios Petrobras 2009-2013 (PETROBRAS, 2009)

De acordo com SPINELLI & PERTUSIER (2005), “Devido à característica homogênea dos produtos, a atividade de refino é um exemplo de uma indústria de commodities, em que, para uma dada especificação do produto, toda a informação está contida nos preços. Caracteriza-se historicamente por um alto volume de processamento de petróleo e margens relativamente baixas em ambientes bastante competitivos regionalmente.”

Devido ao maior custo de transporte de derivados em relação ao de óleo cru, a localização de refinarias é deslocada em direção ao consumidor, portanto, a competição de refino é travada em âmbito regional. O Anexo I mostra a localização e capacidade de das refinarias brasileiras.

Segundo o Plano de Negócios da Petrobras para 2009-2013 (PETROBRAS, 2009), para adicionar valor ao óleo doméstico, a companhia se baseia em cinco macroações descritas na figura 2:

Figura - Estratégia da Petrobras para o Abastecimento

Fonte: Plano de Negócios Petrobras 2009-2013 (PETROBRAS, 2009)

2.1.2 - Processo de Refino

Refinarias são plantas industriais onde o petróleo é transformado em produtos derivados especificados através de processos de separação físico-química e tratamento de produto. O principal objetivo dos processos de refinação é a obtenção da maior quantidade possível de derivados de alto valor comercial, ao menor custo operacional possível, com máxima qualidade, minimizando-se ao máximo a geração dos produtos de pequenos valores de mercado (MARIANO, 2001). Os principais produtos obtidos a partir do petróleo são:

- Combustíveis: Gasolinas, Gás Natural e GLP, Óleo diesel, Óleo combustível, QAV, Bunker (combustíveis marítimos).
- Lubrificantes: Óleos lubrificantes minerais, Óleos lubrificantes graxos, Óleos lubrificantes sintéticos, Composição betuminosa.
- Insumos para a Petroquímica: Nafta, Gasóleo.
- Especiais: Solventes, Parafinas, Asfalto, Coque.

A configuração de uma refinaria depende basicamente da carga (características físico-químicas do hidrocarboneto) e dos produtos. Em geral, as refinarias possuem baixa flexibilidade. Suas configurações são alteradas em eventos denominados REVAMP's, que são a operacionalização da estratégia da companhia em adequar seu parque de refino às mudanças legais e mercadológicas. A tabela 1 resume os principais processos de refinação.

Tabela - Processos de Refinação

<p>Separação</p>	<p>Destilação Atmosférica Destilação a Vácuo Estabilização de Naftas Extração de Aromáticos Desasfaltação a propano Desaromatização a furfural Desparafinação a solvente Desoleificação a solvente Adsorção de N-parafinas</p>
<p>Conversão</p>	<p>Visco-redução Craqueamento término Coqueamento Retardado Craqueamento Catalítico Hidrocraqueamento (severo, moderado) Reformação Catalítica Isomerização Catalítica Alquilação Catalítica Polimerização Catalítica</p>
<p>Tratamento</p>	<p>Dessalgação Eletrostática Tratamento Cáustico Tratamento Merox Tratamento Bender Tratamento DEA/MEA Hidrotratamento</p>

Processos Auxiliares	Geração de Hidrogênio Recuperação de Enxofre Utilidades
----------------------	---------------------------------------------------------------

Fonte: SZKLO (2008)

Dentre os processos de refino, o único presente em todas as refinarias é a destilação atmosférica que é considerada a porta de entrada da refinaria. Após a retirada de sais solúveis, areia, sedimentos e óxido ferroso na dessalgação, o óleo é enviado para a destilação, onde é feita a separação do petróleo em subprodutos;

O óleo cru é aquecido a cerca de 300°- 400°C, então o vapor é enviado para a coluna de destilação. Há um gradiente de temperatura, mais quente no fundo e mais fria no topo. À medida que o vapor passa pelos estágios, ele se esfria, condensando em pratos onde existe o equilíbrio líquido-vapor. Os produtos da destilação atmosférica, após tratamentos, são tratados como produtos acabados:

- Nafta, gasolina e componentes leves
- Querosene
- Gasóleo leve
- Gasóleo pesado
- Gás de refinaria

Porém, nem todas as frações se vaporizam na destilação atmosférica, ficando um subproduto no fundo. Para vaporizá-lo, é preciso elevar ainda mais a temperatura. Contudo, isto leva à decomposição dos seus componentes além de prejudicar os equipamentos. Em algumas refinarias, este resíduo é enviado para destilação a vácuo.

Nesta unidade, o aquecimento ocorre sob pressão menor, o que diminui o ponto de ebulição das frações pesadas. Os subprodutos da destilação a vácuo são:

- Gasóleo leve de vácuo
- Gasóleo pesado de vácuo
- Resíduo de vácuo

Os processos de destilação atmosférica e a vácuo são processos físicos de obtenção de subprodutos. Há outros processos de conversão que atuam no arranjo químico dos hidrocarbonetos, sobretudo de resíduo atmosférico e resíduo de vácuo. Estes processos são comumente conhecidos como processo de “fundo de barril” que visam transformar estas frações em subprodutos de menor peso molecular e maior valor agregado como a gasolina e diesel. São basicamente dois tipos de processos: térmicos e catalíticos (que ocorrem com a presença de um catalisador).

O Coqueamento é um exemplo de processo térmico. Nesta unidade, a carga é submetida a altas temperaturas, então convertida frações da faixa do GLP e da gasolina e adicionalmente, coque. Este último é um produto de elevada concentração de carbono que é usada como combustível e eletrodos da indústria metalúrgica.

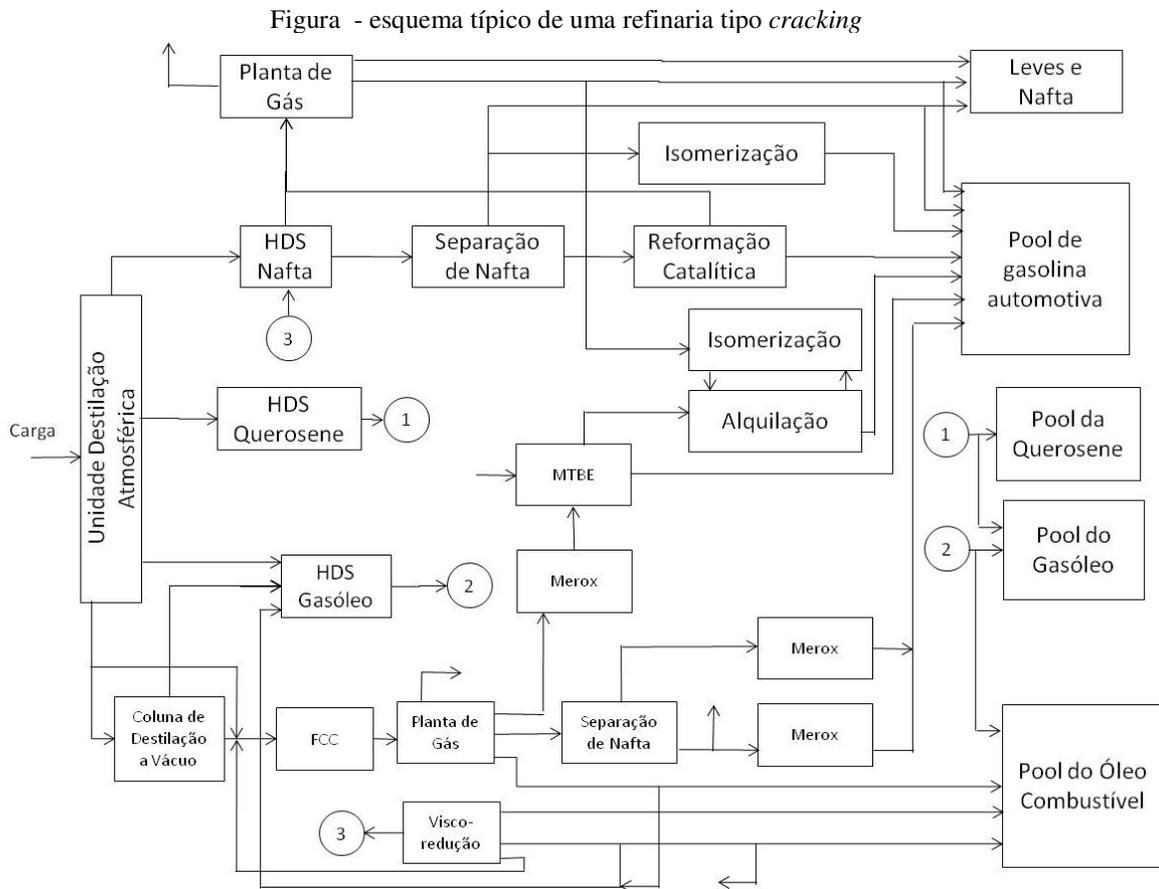
O Craqueamento Catalítico em leito fluidizado (FCC), do inglês *Fluid Catalytic Cracking*, é um exemplo de processo catalítico de alteração molecular dos hidrocarbonetos. O processo é similar ao processo térmico, porém é feito sob condições menos severas devido ao uso de catalisador.

O Hidrocraqueamento Catalítico (HCC) é outro processo de transformação química dos hidrocarbonetos. O processo ocorre em elevadas pressões na presença de hidrogênio e catalisadores. A presença de compostos sulfurados, oxigenados e nitrogenados contaminam o catalisador. Razão pela qual normalmente são empregadas unidades de hidrotratamentos (HDT's) à montante para remoção de compostos sulfurosos, oxigenados e nitrogenados.

Em paralelo aos processos descritos previamente, existem unidades auxiliares de recuperação de enxofre, geração de hidrogênio e utilidades (energia elétrica, nitrogênio, fornecimento água, vapor, tratamento de efluentes). As unidades auxiliares são imprescindíveis à operacionalização do refino.

A figura 3 mostra o esquema básico de uma refinaria do tipo *cracking* – tipo de configuração de refinaria que privilegia a conversão do resíduo atmosférico em

combustíveis mais leves, que é segundo SZKLO (2008) a característica do parque refinador brasileiro.



Fonte: EIPCCB (2004 apud SZKLO, 2008) modificado

No geral, os arranjos físicos de refinaria são elaborados a experiência dos funcionários obedecendo à lógica de processo do refino descrita anteriormente. É intuitivo pensar que unidades de processo auxiliares estejam posicionadas no centro do arranjo.

Alguns parâmetros podem guiar orientação do *site*, como a diferença de cota que pode ser usada favoravelmente no posicionamento de tanques de cru nas partes mais altas do terreno ou conhecimento *a priori* de dutos, adutoras e emissários. Algumas precauções, traduzidas em normas da indústria ou de cada companhia, são tomadas norteadas por diretrizes de segurança, meio-ambiente e saúde. Estas auxiliam na decisão de arranjo físico exemplo: localização de unidades industriais distante 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 múltiplos objetivos. É interessante observar que apesar disto, na prática, não se observa o uso de metodologias matemáticas de suporte a decisão de leiaute.

2.2 - Arranjo Físico

2.2.1 - Introdução

Os primeiros problemas de Leiaute descritos por KOOPAMANS & BECKMANN (1957) tratavam de otimizar arranjos de m departamentos de tamanhos iguais em n espaços de tamanhos iguais, disponíveis em um pavimento, como um Problema Quadrático de Alocação (PQA).

O problema de Leiaute, conhecido como *Facility Layout Problem* - FLP é de grande importância na indústria para o posicionamento de departamentos, facilidades, unidades de processo e máquinas. “Um leiaute (arranjo físico) adequado é aquele que propicia a melhor utilização do espaço disponível, resultando em um processamento mais efetivo e seguro, através da menor distância, no menor tempo possível” (VIEIRA, 1983, *apud* DRUMMOND, 2004).

Um arranjo equivocado causa longos fluxos, elevados estoques em processo e tempos de respostas mais longos. Uma vez que unidades produtivas já estejam posicionadas, sua mudança é muito cara, difícil ou inconveniente. Na indústria do petróleo, este problema se acentua dada a dimensão de seus investimentos. Segundo SLACK (1997), “O arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento dos recursos de transformação”.

“Um leiaute (arranjo físico) adequado é aquele que propicia a melhor utilização do espaço disponível, resultando em um processamento mais efetivo e seguro, através da menor distância, no menor tempo possível” (VIEIRA, 1983, *apud* DRUMMOND, 2004).

Mesmo que as unidades industriais sejam relativamente fixas, dado um ciclo de vida medido em dezenas de anos, mudanças de posicionamento acontecem, algumas situações em que são necessários estudos de leiaute incluem:

- Obsolescência das instalações;
- As instalações existentes tornam-se ineficientes devido a:
 - Novos produtos a serem fabricados;
 - Aquisição de máquinas exigindo ampliações de algumas seções;
 - Avanço na tecnologia, implicando em novos processos de fabricação;
 - Necessidade de maior espaço para estocagem, instalação de novas seções etc.
- Redução dos custos de produção;
- Variação na demanda - Isto pode exigir um aumento ou um decréscimo na produção;
- Ambiente de trabalho inadequado ruído, temperaturas anormais, pouca ventilação, má iluminação baixam o rendimento do trabalhador. Acidentes de trabalho podem ser evitados com um melhor leiaute;
- Excesso de estoques - É um indício de que o fluxo do produto não está bom;
- Manuseios excessivos - Provocam estragos no material de produção e atrasam a produção;
- Instalação de uma nova fábrica.

2.2.2 - Tipos de Arranjos Físicos

Existem diferentes formas de se classificar os arranjos físicos. A Tabela 2, a seguir, produzida a partir da modificação do estudo de arranjo feito por DRIRA *et al* (2007), sintetiza esta classificação.

Tabela - Classificação de Arranjos Físicos

Sistema de Manufatura	Número de Dimensões
<ul style="list-style-type: none"> • Arranjo Posicional • Arranjo por Processo • Arranjo Celular • Arranjo por Produto 	<ul style="list-style-type: none"> • Caso bidimensional • Caso tridimensional
Forma das Facilidades	Natureza do tamanho das facilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Regular • Irregular 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades com áreas diferentes • Facilidades com áreas iguais
Sistema de Manuseio de Material	Evolução do Layout
<ul style="list-style-type: none"> • Configuração de Layout • Dispositivos • Fluxo de Movimentação 	<ul style="list-style-type: none"> • Estático • Dinâmico
Formulação de Layout	Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> • Representação Discreta • Representação Contínua 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar custo • Minimizar backtracking e bypass • Multi-objetivos
Restrições	Métodos de Resolução
<ul style="list-style-type: none"> • Restrições de posicionamento • Restrições de Investimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos exatos • Métodos heurísticos

Fonte: DRIRA *et al* (2007) adaptado

Tipo de Arranjo quanto ao sistema de Manufatura

Usualmente Arranjos Físicos são divididos em quatro tipos básicos quanto ao sistema de Manufatura. O que não quer dizer, necessariamente, que arranjos mistos não possam ser empregados, uma vez que é rara a ocorrência de apenas um tipo de arranjo em toda organização.

- Arranjo físico posicional: Também conhecido como arranjo posicional fixo. A necessidade dos recursos transformados prevalece sobre os recursos transformadores. O produto permanece imóvel, pois é muito caro, muito grande, muito delicado ou muito inconveniente. Segundo COSTA (2004), “o principal problema em elaborar o leiaute posicional é organizar os recursos transformadores, como equipamentos, maquinários, instalações e pessoas, em um espaço que muitas vezes é limitado”. No contexto de refino, pode se observar a ocorrência de arranjo físico

posicional durante a fase de construção: homens e máquinas se movimentam enquanto a unidade de processo é construída.

- Arranjo físico por processo: As necessidades dos recursos transformadores prevalecem sobre os recursos transformados. É conveniente que aqueles permaneçam próximos devido à similaridade entre eles. É adequado para cenários de grande variabilidade de produtos. Tipicamente ocorre a formação de filas de produtos nas máquinas. As refinarias dispõem de locais próprios para armazenamento de peças sobressalentes e produtos químicos, que apesar de serem insumos necessários para boa parte dos processos são alocados em um mesmo local para desfrutar de condições similares de armazenamento.
- Arranjo físico celular: Os recursos transformados são selecionados para se movimentarem de acordo com o que for mais conveniente para atender suas necessidades imediatas. Segundo GINATO (1998 apud DALMAS 2004), “a idéia básica da manufatura celular é melhorar o gerenciamento de manufatura através do agrupamento de recursos produtivos em células independentes, isto é, em subsistemas de produção”.
- Arranjo físico em fluxo: Também conhecido como Arranjo em linha, consiste em posicionar recursos transformadores de acordo com a conveniência dos recursos transformados. Não há movimentação dos recursos transformadores os recursos transformados passam através deles. De acordo com BORGES e DALCOL (2002), “funcionamento contínuo em termos temporais das plantas é uma exigência de se amortizar mais rapidamente os elevados custos das instalações, apesar de em muitos casos ser uma exigência do processo em si”. O arranjo em fluxo é utilizado nas refinarias devido ao seu alto volume e baixa flexibilidade; os recursos transformados passam através dos recursos transformadores através de dutos até serem armazenados em tanques e esferas.

A tabela 3 sintetiza as principais vantagens e desvantagens no emprego de cada tipo de arranjo.

Tabela - Vantagens e desvantagens no emprego de cada arranjo

Arranjo Físico	Vantagem	Desvantagem
Posicional	<ul style="list-style-type: none"> •Flexibilidade muito alta de mix e produto •Produto ou cliente não movido ou perturbado •Alta variedade de tarefas para a mão - de-obra 	<ul style="list-style-type: none"> •Custos unitários muito altos •Programação de espaços e atividades complexas •Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão -de-obra
Por Processo	<ul style="list-style-type: none"> •Alta flexibilidade de mix e produto •Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas •Supervisão de equipamentos e instalações relativamente fácil 	<ul style="list-style-type: none"> •Baixa utilização de recursos •Pode ter altos estoques ou filas de clientes •Fluxo complexo pode ser difícil de controlar
Celular	<ul style="list-style-type: none"> •Pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta •Atravessamento rápido •Trabalho em grupo pode resultar em maior motivação 	<ul style="list-style-type: none"> •Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual •Pode requerer capacidade adicional •Pode reduzir utilização dos recursos
Por Produto	<ul style="list-style-type: none"> •Baixo custo unitário para altos volumes •Especialização de equipamento •Fluxo continuado 	<ul style="list-style-type: none"> •Baixa flexibilidade de mix •Trabalho repetitivo •Suscetível a paradas para manutenção

Fonte: SLACK *et al* (1997)

Tipo de Arranjo quanto ao número de Dimensões

Os problemas de arranjo podem ficar restritos ao caso bidimensional (planar), bem como se estender para os casos de multi-pavimentos. Neste último, é necessário também prever áreas destinadas ao trânsito entre andares (elevadores, esteiras de elevação), ou, dependendo da complexidade do problema, gastos de transporte vertical.

Tipo de Arranjo quanto à Forma das Facilidades

As facilidades podem ter formas regulares e irregulares. As regulares se dividem em formato fixo razão de aspecto, quando a área é fixa e é dada uma razão entre comprimento e largura de cada bloco, (1).

É dado um limite superior , sendo α razão entre comprimento e largura de cada bloco, e um limite inferior , sendo de formato fixo para os casos em que . Os problemas de formas irregulares não são muito encontrados na literatura.

Figura - Facilidade de Forma Regular



Fonte: DRIRA *et al* (2007)

Figura - Facilidade de Forma Irregular



Fonte: DRIRA *et al* (2007)

Tipo de Arranjo quanto aos espaços ocupados por cada facilidade

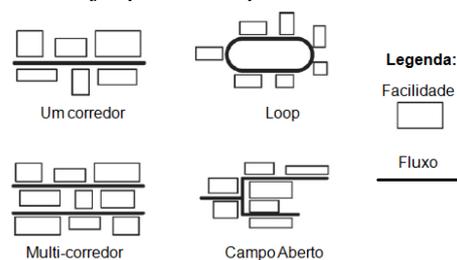
Os primeiros trabalhos de leiaute consideravam casos em que as facilidades e o espaço alocado tinham o mesmo tamanho e cada facilidade poderia estar alocada em apenas um espaço disponível. Contudo, existem abordagens nas quais as facilidades ocupam mais de um espaço, freqüentemente ocorre o emprego de uma unidade básica de área: um espaço no *grid* (grade). Há outros casos em que o posicionamento das facilidades é de formulação contínua.

Tipo de Arranjo quanto ao Manuseio de Material

A formulação de corredor único ocorre quando as facilidades têm que ser posicionadas ao longo de uma linha. Para multi-corredores, as facilidades passam a ser organizar de maneira paralela obedecendo a orientação de n-corredores.

Na formulação em *loop*, as facilidades são dispostas de maneira seqüencial em um *loop* fechado e os produtos são transportados em um sentido, esta abordagem incorpora uma estação de entrega e coleta. No leiaute de campo aberto, não há restrições de posicionamento entre as facilidades.

Figura – Arranjo quanto ao tipo de manuseio de material

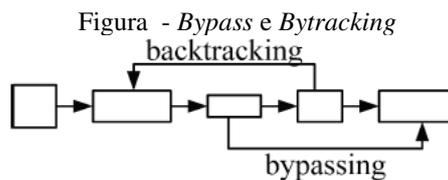


Fonte: DRIRA *et al* (2007)

Como a opção de posicionamento de facilidade passa por uma prévia etapa de identificação do tipo de arranjo, freqüentemente é escolhido o arranjo em fluxo, cujas características são transporte são aquelas que minimizam o custo de transporte.

O uso de elevadores é recorrente quando o estudo de leiaute prevê múltiplos andares. O espaço carga e descarga entre andares têm que estar previstos, bem como os custos associados a este deslocamento.

É comum o emprego de AGV, equipamentos freqüentemente usados na carga e descargas de objetos em prateleiras, muito comuns em Centros de Distribuição - CD's - de atacado. Esteiras são usadas em sistemas de produção em massa. O emprego de dutos ocorre em casos de fluxo contínuo, como no caso da indústria do petróleo.



Fonte: DRIRA *et al* (2007)

Bypass e Bytracking são movimentos que podem ocorrer no fluxo. O *backtracking* é quando uma facilidade envia para uma facilidade à montante desta no fluxo. O *bypass*, palavra em inglês para desvio, ocorre quando uma facilidade pode ser alimentada por outras, não somente a imediatamente anterior no fluxo.

Tipo de Arranjo quanto à evolução

A maior parte dos trabalhos trata de arranjos físicos em fluxo, com baixa flexibilidade das facilidades, alta especialização e baixo custo unitários. Isto justifica o posicionamento fixo dos recursos produtivos.

A mudança de posicionamento de facilidades é algo dispendioso, incômodo que por vezes incorrem em despesas. Contudo, há mudanças de mercado e legais que forcem a reconfiguração do leiaute, seja para modernização de seus processos, seja para construção de novas facilidades no decorrer da vida útil da instalação. Isto introduz uma nova variável, portanto a dinâmica do arranjo físico e seus custos de mudança passam a ser objeto de estudo.

A partir deste enfoque, é plausível dividir o horizonte de planejamento em períodos em busca da minimização de todos os custos de localização, de manuseio nestes períodos e o custo de rearranjo entre eles.

Tipo de Arranjo quanto aos objetivos

As primeiras formulações do problema, modelados como PQA, que consiste em alocar uma facilidade em um único local e reciprocamente. Segundo LOIOLA *et al* (2004), o PQA de instâncias de ordem $n > 30$ não podem, em geral, ser resolvidas exatamente em tempo computacional aceitável.

Os primeiros problemas de PQA objetivavam minimizar o fluxo entre as facilidades, desta forma indiretamente se minimizava o custo de transporte. Posteriormente a necessidade de prover arranjos em espaços estritos como navios ou mesmo centros urbanos com alto custo de terra, tornam o espaço disponível uma variável importante a ser levada em consideração, o objetivo nestes casos está relacionado com a minimização do espaço morto entre as facilidades.

Pode-se, ainda, trabalhar a minimização dos movimentos de *bypass* e *bytracking* no leiaute. Não há mudança no fluxo do processo. Há, contudo a preocupação em arranjar as facilidades de maneira a minimizar a soma ponderada de fluxos que estão em sentido contrário ao fluxo global dos produtos. Por fim a função objetivo pode ser multi-objetivo, o que naturalmente se aproxima mais do caso real e com isso, aumenta o problema em complexidade também.

Tipo de Arranjo quanto ao Método de Resolução

Os métodos exatos têm sido empregados para a busca em problemas de pequeno porte. Os mais comuns são *branch-and-bound* (KOUVELIS & KIM, 1992) e programação dinâmica (ROSENBLATT, 1986).

Como os métodos exatos não são adequados para a resolução de problemas de grande porte, autores empregam heurísticas e metaheurísticas. Há heurísticas de construção e de melhoria de alternativas (DRIRA, 2007).

Entre as metaheurísticas, destacam-se as de busca global: Busca Tabu (MARTINS, 2003) e *Simulated Annealing* (McKENDALL *et al*, 2005); e as evolucionárias: colônia de formigas (HANI *et al*, 2007) e algoritmos genéticos (TAVAKKOLI, 1998).

2.2.3 - Formulação Matemática

Dependendo de como o PQA é formulado, ele pode ser puramente discreto ou misto. No caso discreto, suas duas variáveis são discretas: qual unidade e onde ela é localizada. O segundo caso, no qual a posição é contínua, é recorrentemente tratado como Programação Linear Inteira Mista.

No caso discreto, o espaço é dividido em *grids* retangulares ou quadrados, onde cada um é ocupado exclusivamente por uma facilidade. E esta por sua vez, de tamanho unitário, ocupa apenas um *grid*. A formulação geral de LAWLER (1963):

$$\min \quad \sum_{i,j=1}^n \sum_{k,p=1}^n c_{ijkp} \cdot x_{ij} \cdot x_{kp} \quad (1)$$

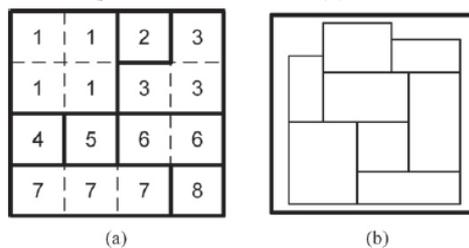
$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad 1 \leq j \leq n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad 1 \leq i \leq n, \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad 1 \leq i, j \leq n. \quad (4)$$

Há modificações que podem ser inseridas no modelo discreto para que uma facilidade passe a ocupar mais de um *grid*. No caso contínuo, as facilidades podem ser alocadas em qualquer espaço desde que não haja sobreposição das áreas das facilidades e que estas estejam contidas dentro dos limites do *site*.

Figura - Formulação no caso discreto (a) e no caso contínuo (b)



Fonte: DRIRA *et al* (2007)

2.2.4 - Critério de performance para Arranjos Físicos

Segundo COSTA (2004), existem diversos critérios de performance de arranjo físico, os quais podem incluir um ou mais fatores, que influenciam na tomada de decisão. A tabela 4 sumariza estes critérios.

Tabela - Critério de Performance de Arranjo Físico

Custo	Não-Inventariado	Terreno Prédio Produção Maquinário Material Manuseio Equipamentos Manutenção Mão-de-obra
	Inventariado	Matéria-prima Estoques em processo Estoques componentes acabados

Fluxo	Espaço	Utilização da área Áreas livres
	Fluxo de Materiais	Corredores Distância e densidade de volumes
	Flexibilidade e Robustez	Expansão Predial Robustez dos Equipamentos

Ambiente	Arredores da Fábrica	Topografia e Topologia Ambiente da Comunidade
	Qualidade do Ambiente	Segurança dos Operadores Conforto de trabalho Segurança patrimonial Acesso para manutenção

Fonte: LIN e SHARP (1999 *apud* TORTORELLA e FOGLIATTO, 2008)

2.2.5 - Artigos Selecionados de Problemas de Arranjo Físico

XU (2008) apresenta em seu trabalho um problema de alocação bidimensional em larga escala usando programação linear inteira mista implementado em GAMS com o solver CPLEX. O autor trabalha com arranjos bidimensionais de uma planta química. É dado um conjunto de equipamentos, suas dimensões e o custo de conexão entre eles. O trabalho determina a localização de cada equipamento tal que minimize o custo total de conexões. A formulação matemática está descrita no Anexo II. Problemas de arranjo de programação inteira mista não conseguem trabalhar satisfatoriamente com muitas facilidades. O autor propõe então um método iterativo onde fixa algumas unidades enquanto o algoritmo trabalha em outras. O procedimento é repetido até que não haja

mais melhoras. Os resultados computacionais apontam que a proposta é bem sucedida e atinge objetivos similares ou superiores em comparação com a literatura.

ARGOUD (2007) descreve um software cujo enfoque é em arranjo físico modular em manufatura. Um módulo é um grupo de máquinas com um fluxo parecido. São utilizados algoritmos genéticos para definir a priori o número desejado de módulos ou para que o número e a formação de módulos seja uma variável de decisão do problema. Foram desenvolvidos três tipos de operação de cruzamento e quatro de mutação para atender diferentes codificações de cromossomos estabelecidas pela autora. O arranjo físico proposto apresentou importante redução da distância total percorrida pelo conjunto de peças da fábrica têxtil.

O trabalho proposto por DRUMMOND (2004) utiliza programação linear inteira mista para obter um leiaute em uma fábrica de papéis com 15 equipamentos de áreas diferentes, com objetivo de minimização de custo. O problema é do caso contínuo. A solução é implementada em GAMS, CPLEX. O trabalho foi bem sucedido ao minimizar custos de suportes, terreno e tubulação.

MARTINS (2003) desenvolve uma ferramenta para posicionamento de facilidades - Avoli - baseada em busca tabu capaz de tratar problemas de grande porte (55 unidades) sujeito a um conjunto de restrições realista. O software lida com restrições de: tamanho máximo de área, facilidades com tamanho fixo, razão de aspecto, orientação livre (vertical ou horizontal), sobreposição, facilidades fixas/móveis a priori, áreas mortas, adjacências entre facilidades, adjacências entre facilidades e fronteira, distância. As soluções encontradas pelo modelo se mostraram promissoras, porém não foi possível uma investigação detalhada uma vez que não foram encontrados problemas semelhantes.

O trabalho de TAVAKKOLI (1998) usa Algoritmos Genéticos para solucionar um problema de alocação discreto. Os dados do trabalho experimental é retirado do trabalho de outros autores. TAVAKKOLI trabalha o caso de departamentos com áreas iguais - um departamento ocupando uma área no *grid* - caso de alocação quadrática; e desiguais através da introdução de uma modificação. Em ambas, o objetivo é minimização de custo de investimento e de custo de manuseio

KOCHHAR (1998) emprega Algoritmo Genético para resolver um problema de alocação de facilidades em corredores. O algoritmo cria um algoritmo que é comparado

Tabela - Categorização de Trabalhos Pesquisados

Autor	Xu (2008)	Argoud (2007)	Drummond (2004)	Martins (2003)	Tavakkoli (1998)	Kochhar (1997)
Sistema de Manufatura	Arranjo por Produto	Arranjo Modular	Arranjo por Produto	Não Informado	Arranjo por Produto	Arranjo por Produto
Dimensão	Bidimensional	Bidimensional	Bidimensional	Bidimensional	Bidimensional	Bidimensional
Formas das facilidades	Dimensões Fixas	Dimensões Fixas	Dimensões Fixas	Razão de Aspecto	Dimensões Fixas	Dimensões Fixas
Natureza da área dos departamentos	Áreas Diferentes	Não Informado	Áreas Diferentes	Áreas Diferentes	Áreas iguais e desiguais	Áreas Diferentes
Configuração de Layout	Campo Aberto	Não Informado	Campo Aberto	Campo Aberto	Campo Aberto	Multi-corredor
Dispositivos	Dutos	Esteira	Dutos	Não Informado	Dutos	Dutos
Formulação de Layout	Contínua	Discreta	Contínua	Discreta	Discreta	Discreta
Objetivos	Minimizar custo de conexão	Minimizar custo de movimentação através de geração de grupos	Minimizar Custo de Espaço e Minimizar custo de conexão	Minimizar Custo de Conexão	Minimizar custo de movimentação e minimizar custo de equipamentos	Minimizar custo de movimentação
Restrição	Sobreposição e Distância entre unidades	outros	Distância entre unidades	Sobreposição de espaço alocado, orientação, espaço total disponível e áreas proibidas	Sobreposição e distância entre unidades	Sobreposição
Métodos de resolução	MILP	Algoritmo Genéticos	MILP	Busca Tabu	Algoritmos Genéticos	Algoritmos Genéticos
Número de Facilidades	36	255	15	55	90	50

2.3 - Algoritmos Genéticos

2.3.1 – Introdução

É atribuído ao naturalista Britânico Charles Darwin o início do estudo da evolução com a publicação de seu livro Origem das Espécies. O impacto da introdução de evolução através de seleção natural. O embate com as idéias do monge austríaco Gregor Mendel, considerado o pai da genética, reconhecido pelo seu minucioso trabalho com plantas, ocorriam porque as teorias de hereditariedade e manutenção das características parentais se confrontaram com as pequenas alterações de geração em geração defendidas por Darwin. Por fim, o Neodarwinismo uniu as duas pontas, ligando a genética com a evolução.

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 nos anos 70 por HOLLAND (1975) com a transposição de conceitos da biologia para a programação. A tabela 6 mostra este comparativo.

Tabela - 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

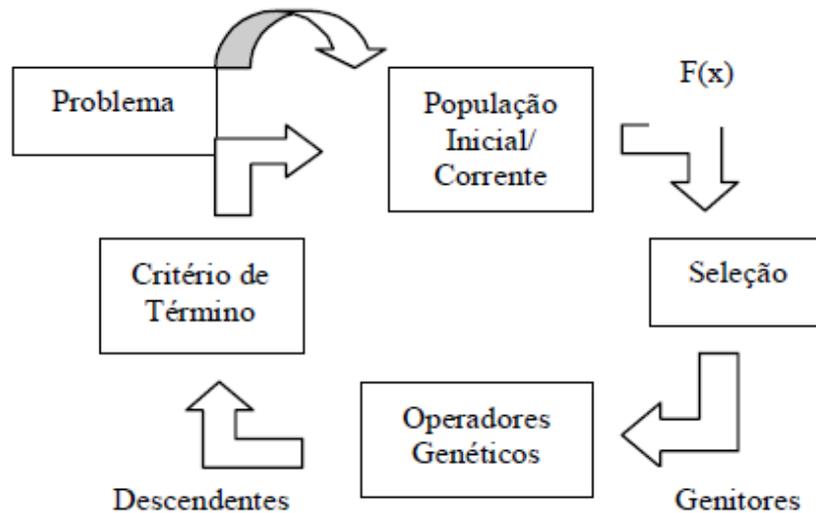
Gene	Unidade de hereditariedade transmitida pelo cromossomo e que controla as características do organismo	Parâmetro codificado no cromossomo, ou seja, um elemento da string
Genótipo	Composição genética contida no cromossomo	Informação contida no cromossomo
Fenótipo	Manifestação física de um gene no organismo, por exemplo, pele lisa ou rugosa	Estrutura construída a partir do genótipo

Alelo	Uma das formas alternativas de um gene	Valores que o gene pode assumir
-------	----------------------------------------	---------------------------------

Fonte: ARGOUD (2007) adaptado de LACERDA, CARVALHO e LUDEMIR (1999)

Segundo CRUZ (2007) “aplicam-se algoritmos genéticos particularmente em problemas complexos de otimização, como por exemplo, problemas com diversos parâmetros ou características que precisam ser combinadas em busca da melhor solução; problemas com muitas restrições ou condições difíceis de serem representadas matematicamente e problemas com espaços de busca grandes.”. Os AG’s operam seguindo o fluxograma da figura 10:

Figura - Fluxograma do AG
Representação



Fonte: PACHECO (1999)

2.3.2 - Codificação

Codificar é modelar o problema real de maneira que o AG possa interpretar. Tal como no seqüenciamento de DNA, em que os cromossomos carregam as informações dos seres vivos, nos AG, esta representação ocorre em forma de vetor que codifica uma possível solução. Para cada solução válida, o algoritmo avalia sua aptidão conforme a função objetivo modelada.

Codificação Binária: O vetor é representado por uns e zeros. Foi a primeira a ser utilizada devido sua simplicidade.

Codificação de Valores: Um caso mais amplo do binário, onde os alelos podem ser de qualquer natureza: números reais, caracteres, objetos, etc.

Codificação por Permutação: Usado em problemas de ordenação, no qual todos os possíveis valores estão contidos no vetor. O AG busca encontrar um ordenamento que satisfaça da melhor forma a função-objetivo.

2.3.3 - Componentes do Algoritmo Genéticos

“O princípio básico dos operadores genéticos é transformar a população através de sucessivas gerações, estendendo a busca até chegar a um resultado satisfatório. Os operadores genéticos são necessários para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores.” (de LACERDA, 1999)

População

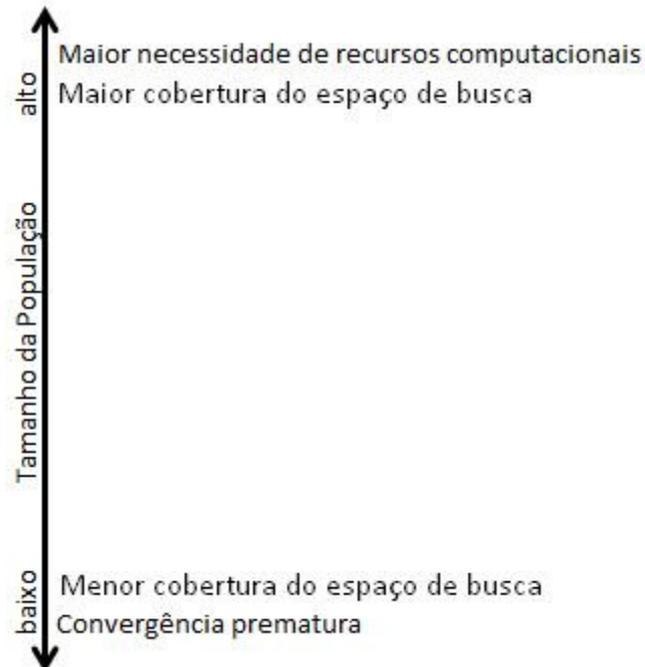
A população inicial é gerada de maneira aleatória no espaço de soluções. Há, contudo, ocasiões que é preferível direcionar a população inicial. SANGINETO (2000) descreve as diferentes formas de geração da população inicial:

- **Iniciação Aleatória:** indivíduos distribuídos aleatoriamente no espaço solução. Por ser um experimento aleatório, há chances de concentração de indivíduos em alguns pontos e escassez em outros. Entretanto, a distribuição aleatória permite uma maior variabilidade dos resultados obtidos. Informações adicionais podem ser obtidas cada vez que o algoritmo é iniciado.
- **Iniciação Determinística:** A população é distribuída uniformemente dentro de um espaço solução. A vantagem é cobrir homogeneamente o espaço de soluções. Novas informações não são adicionadas a quando o algoritmo é iniciado novamente, pois a população inicial é a mesma.
- **Iniciação Aleatória com “nicho”:** Usa a aleatoriedade, porém elimina duas soluções muito próximas. O processo é repetido até que os indivíduos estejam sozinhos em seus nichos. O processo garante que não ocorre concentração, porém não pode assegurar que todo o espaço inicial é coberto de início.

Uma população pequena tende a cobrir um menor espaço para busca de uma solução, o que pode levar a uma convergência muito prematura. Do oposto, populações

maiores tendem a ocupar maiores seções mais representativas de soluções, porém necessitam de maiores recursos computacionais ou de maior tempo de processamento.

Figura - Tamanho da população



Avaliação

Assim como na biologia, os indivíduos são avaliados e aqueles mais adaptados ao ambiente são mais bem sucedidos. O conceito darwinista é aplicado em Algoritmos Genéticos através da avaliação da aptidão, comumente chamada de função *fitness*.

Existem formas de se avaliar e selecionar os melhores indivíduos. É preciso ter um mecanismo que impeça que indivíduos com alto grau de aptidão se reproduzam, e assim, dominem a população, fazendo com que o resultado convirja rapidamente a um ótimo local. Com isto, o espaço de solução não é explorado suficientemente.

Do contrário, indivíduos com aptidões muito próximas fazem com que a probabilidade de escolha de algum deles, e, por conseguinte, o conjunto de características a serem repassadas, seja aleatório. Isto torna o algoritmo muito lento.

Seleção

O processo de seleção simula o mecanismo de seleção natural que existe na natureza e define quais conjuntos de características são passadas para as próximas gerações. Por esta razão, o tipo de seleção tem uma grande influência nos resultados do algoritmo.

Figura - Categorização de tipos de seleção

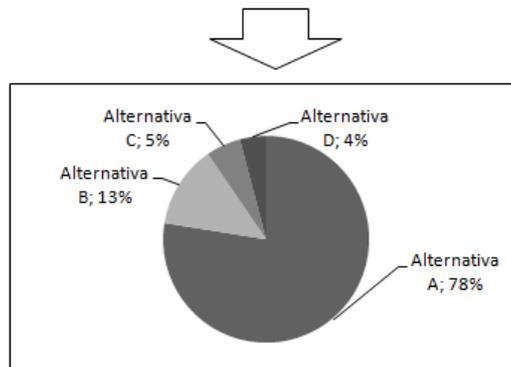
Fonte: GUDWIN & VON ZUBEN (1998)

- **Seleção Elitista:** Os melhores indivíduos são selecionados para fazerem parte da geração seguinte.

- **Seleção Aleatória:**
 - **Salvacionista:** o melhor indivíduo é selecionado enquanto o restante é escolhido aleatoriamente.
 - **Não-Salvacionista:** todos os indivíduos são escolhidos aleatoriamente.
 - **Uniforme:** todos possuem a mesma chance de serem escolhidos.
 - **Proporcional:**
 - **Roleta:** Na seleção tipo Roleta, a chance de seleção de um indivíduo é diretamente proporcional à sua aptidão em relação ao somatório da aptidão dos outros organismos. O nome de roleta é dado, pois cada indivíduo recebe uma fatia proporcional ao seu desempenho e a escolha é feita ao girar esta roleta. Por ser um método aleatório, uma alta aptidão não significa necessariamente que determinado organismo será selecionado.

Figura - Exemplo de seleção tipo roleta

Alternativas	Fitness	%
Alternativa A	300	78%
Alternativa B	50	13%
Alternativa C	21	5%
Alternativa D	16	4%



- **Roleta usando sigma *Scaling*:** Faz uso do desvio padrão e média das funções objetivo da população. É útil em casos de indivíduos com escores muito próximos.

(5)

Onde:

: função de escala da função objetivo de a

$f(a)$: função objetivo de a

μ : média da função objetivo da população

σ : desvio padrão

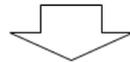
c : constante pertencente

- **Boltzmann:** Estabelece uma pressão diferente no discernir da pesquisa da solução. Inicialmente, permite que indivíduos com aptidões mais baixas se reproduzam, com o intuito de manter a diversidade da população. Posteriormente, a pressão aumenta em favor daqueles com maiores escores.

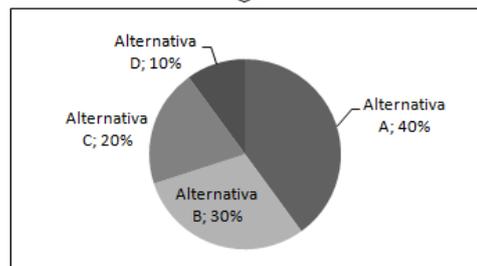
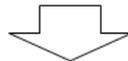
- **Baseada em *Ranking*:** A partir de suas aptidões, os N indivíduos são ordenados de maneira decrescente, recebendo N pontos o indivíduo de maior aptidão, N-1 para o segundo melhor e assim, sucessivamente. Neste método, a probabilidade de escolha está indiretamente relacionada à aptidão do indivíduo. O esquema abaixo mostra o método usando os mesmos valores do método da roleta.

Figura - Seleção de seleção baseada em *ranking*

Alternativas	Fitness	%
Alternativa A	300	78%
Alternativa B	50	13%
Alternativa C	21	5%
Alternativa D	16	4%



Alternativas	Ranking
Alternativa A	4
Alternativa B	3
Alternativa C	2
Alternativa D	1



- **Por diversidade:** São selecionados os indivíduos mais diversos na população intermediária, a partir do melhor indivíduo.
- **Bi-classista:** são selecionados os p melhores indivíduos e os 1-p piores indivíduos, onde p [0,1].

- **Torneio:** Neste método, a seleção ocorre pela competição entre indivíduos. A cada torneio, vence aquele com melhor desempenho. Além de decidir a quantidade de torneios, é preciso definir o número de participantes a serem escolhidos aleatoriamente, devendo ser maior ou igual a dois.
- **Steady-State:** Somente um indivíduo é substituído ao invés de toda uma população. Esta técnica é conhecida por ser mais eficiente do que o método de substituição geracional.

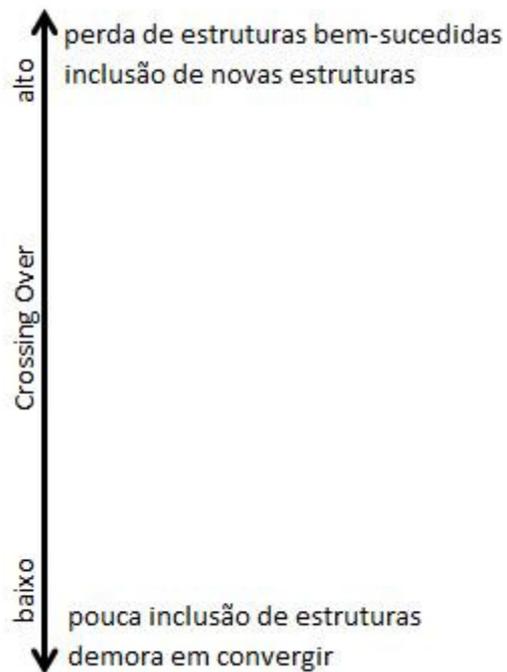
Operador *Crossing-over*

Na biologia, o *crossing-over*, ou recombinação, é a troca aleatória que ocorre durante a fase de meiose. Em algoritmos genéticos esta troca de informações entre os cromossomos escolhidos entre os mais bem-sucedidos da geração anterior.

O *crossing-over* é o principal operador de AG. Ele assegura que a busca por soluções terá seguirá um caminho coerente apontado pelas gerações passadas. Portanto, é natural que taxa de troca de informações no cromossomo através de *crossing-over* seja maior do que a taxa de mutação.

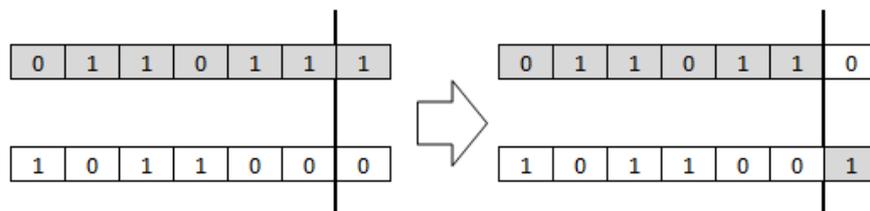
LACERDA (1999) diz que quanto maior a taxa de *crossing-over*, maior a chance de novas estruturas serem introduzidas na população. Se for alta demais, existe a chance de uma característica com potencial possa ser perdida. Uma taxa de *crossing-over* muito baixa, pode tornar o algoritmo muito lento.

Figura - Taxa de Crossing-over



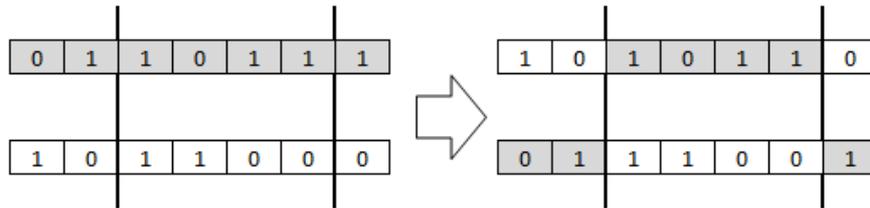
- Crossing-over de um ponto: um ponto é selecionado para o corte, gerando dois filhos. Conforme o esquema abaixo:

Figura - Crossing-over de um ponto



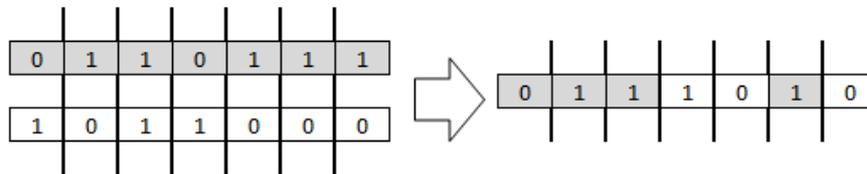
- Crossing-over de dois pontos: similar o item anterior, porém são escolhidos dois pontos para corte

Figura - *Crossing-over* de dois pontos



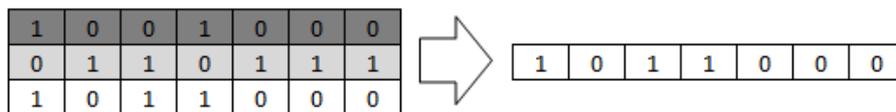
- *Crossing-over* uniforme: Aplicável no caso de representação binária. Para cada bit, é feito um sorteio, podendo receber dados do pai I ou pai II.

Figura - *Crossing-over* uniforme



- *Crossing-over* baseado em maioria: É necessário que haja no mínimo três pais e o número máximo é o tamanho da população. Cada bit do filho será aquele que a maioria dos pais possuírem.

Figura - *Crossing Over* baseado em maioria



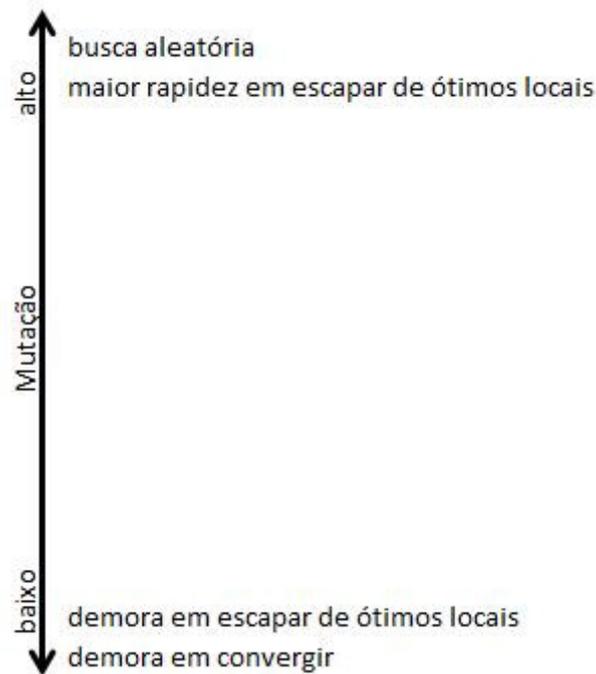
Mutação

Este operador introduz alterações aleatórias nos cromossomos, causando uma diferença em relação à geração passada. O objetivo é preservar alguma diversidade genética à medida que indivíduos tendem a ficar cada vez mais parecidos. Em geral, este operador atua depois do *crossing-over*. A mutação pode ser mal-sucedida, levando esta mutação a ser extinta, porém este artifício pode induzir a soluções que escapem de

um ótimo local, no qual a população estava fadada a convergir por conta de sua similaridade.

A mutação é um operador secundário, assim como na natureza, a taxa de mutação é baixa; taxas altas transformam o problema em busca aleatória. Ter um operador de mutação diferente de zero assegura que há probabilidade e percorrer qualquer ponto do espaço de busca.

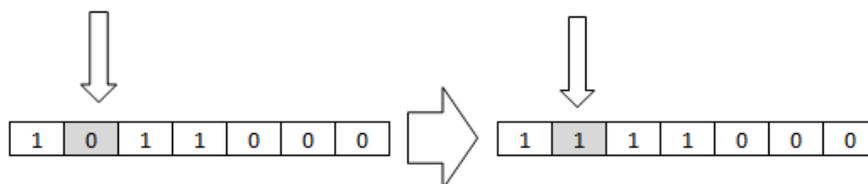
Figura - Taxa de Mutação



Codifica o Bin ria

Muta o Simples: aleatoriamente   escolhido um bit para ser alterado. Se for zero, este   alterado para um e vice-versa

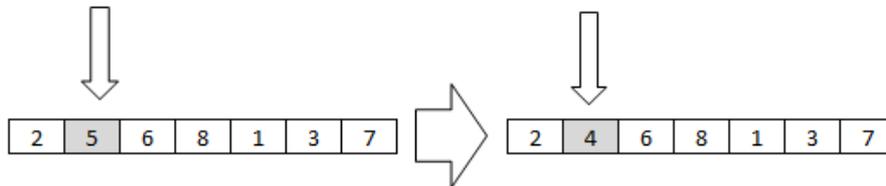
Figura - Muta o Simples (caso bin rio)



Codifica o Real

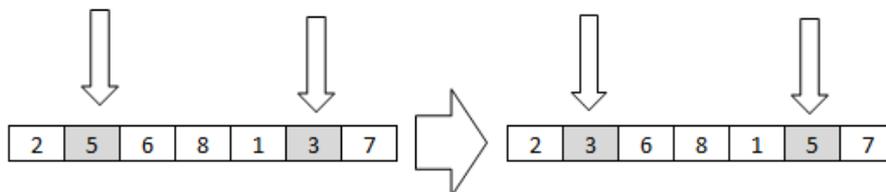
Mutação Simples: aleatoriamente é escolhido um bit ser alterado por algum outro dentro do espaço de possíveis valores de bits.

Figura - Mutação Simples (caso real)



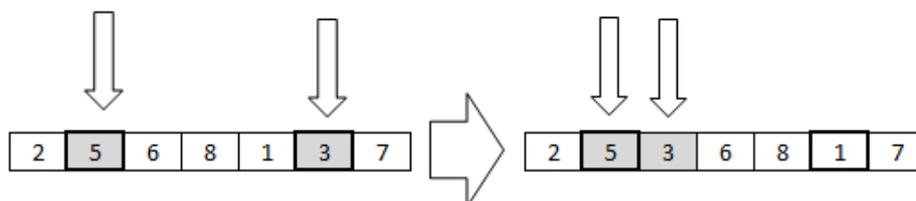
Permutação: Troca aleatória entre dois bits.

Figura - Mutação por Permutação



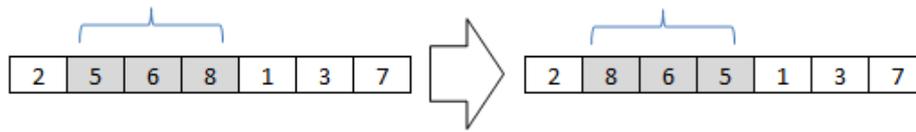
Mutação por Mudança: Dois bits são aleatoriamente retirados e colocados lado a lado. O primeiro volta para sua posição original e o bloco restante é deslocado no sentido da posição do segundo gene.

Figura - Mutação por Mudança



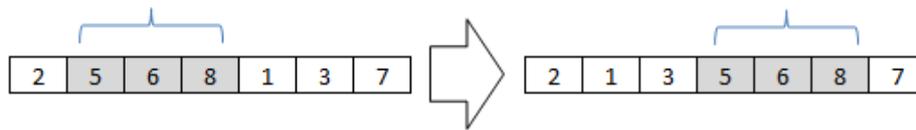
Mutação por Inversão: uma seqüência de bits é retirada, invertida e colocada na mesma posição.

Figura - Mutação por Inversão



Mutação por Translocação: uma seqüência de bits é retirada e deslocada em outra posição, preservando o seqüenciamento entre eles.

Figura - Mutação por Translocação



Capítulo 3: Metodologia de Solução

3.1 - Exemplo do estudo

A metodologia de resolução criada nesta dissertação foi baseada nos dados de uma refinaria em implantação. No momento da elaboração desta dissertação, esta refinaria encontrava-se em fase de projeto de engenharia e licitação. As obras de grande porte ainda não haviam iniciado. Salvo pequenas intervenções, a planta de arranjo está praticamente definida.

A refinaria em questão possui 145 unidades, destas, 45 de processo. O restante é composto por uma variedade de facilidades que dão suporte ao processo, tão diversas quanto: tanques, parque de enxofre, provimento de energia elétrica, vapor, nitrogênio, água, prédios administrativos, estradas, entre outros.

Excluindo as unidades de águas ácidas e de recuperação de enxofre, as unidades são todas em série, o que confere uma confiabilidade menor. Porém, esta fragilidade é compensada pela tancagem intermediária e final, funcionando como pulmões em caso de problemas operacionais.

Para este estudo, foram consideradas 38 unidades industriais geograficamente próximas, situadas em uma área quadrangular de 1.600m x 1.600m, dividida em 256 *grids* iguais.

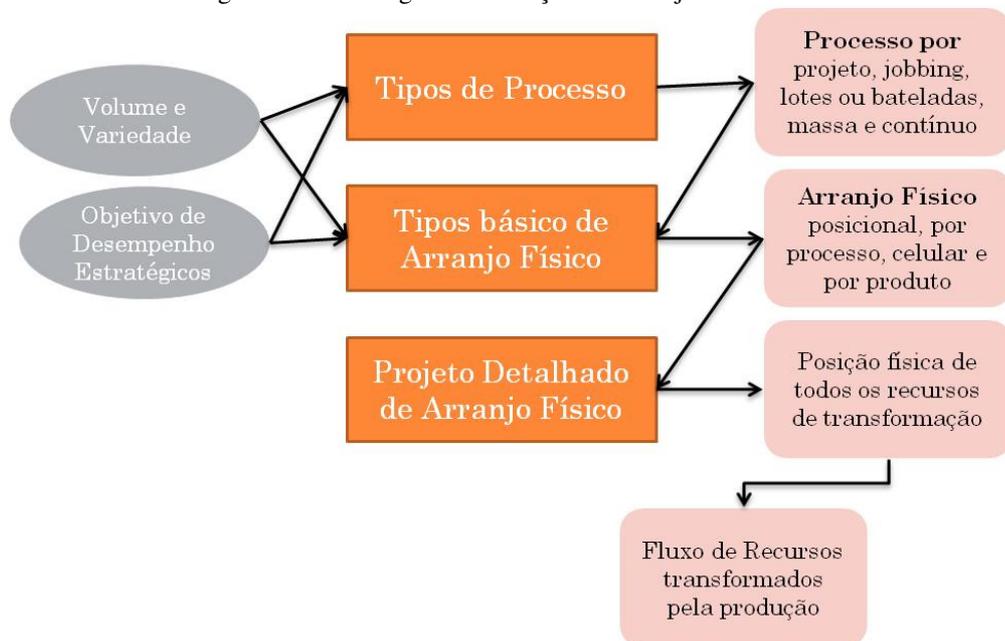
A implantação da refinaria é do tipo *greenfield*, isto é, ocorre em uma região que até então não era destinada ao uso industrial. Propriedades rurais foram compradas, outras desapropriadas para a instalação da refinaria. Por se tratar de um projeto desta natureza, não havia até o momento, infraestrutura na região: portos, dutos, estradas, emissários, adutoras e linhas de transmissão para suporte à obra e à operação da refinaria.

Por situar-se próximo de áreas ambientalmente sensíveis, o projeto possui a preocupação em causar pouco impacto no meio ambiente. Existem áreas destinadas ao plantio de espécies de árvores nativas para formação de um corredor ecológico e áreas de recuperação da mata ciliar dos rios que delimitam a área. Existem vestígios histórico-culturais em sítios contidos dentro da área da refinaria que serão preservados.

3.2 - Metodologia de Solução

Existem diferentes metodologias para definição de arranjo físico. Este trabalho utiliza a metodologia de SLACK *et al* que propõe definir este arranjo a partir de dois critérios: volume x variedade e os cinco objetivos desempenhos da produção desejados pela organização.

Figura - Metodologia de Definição de Arranjo Físico



Fonte: SLACK (1997)

- **Volume x Variedade:** Nos sistemas que operam com altos volumes há um alto grau de repetição de tarefas, o que permite custos unitários baixos, pois os custos fixos são diluídos em um grande número de produtos. No caso contrário, em que há uma grande customização, os volumes são baixos e custos unitários mais elevados. Para os caso de refino, o decisor precisa ter em mente que não há uma grande variedade de produtos a oferecer e é necessário um grande volume para que estes derivados possam diluir os altos custos de implantação de uma refinaria.

- **Objetivos de desempenho da produção:** Os cinco objetivos-desempenho da produção são dimensões nas quais a organização pode focar sua estratégia: são eles:

Confiabilidade: Esta dimensão está relacionada ao princípio de realizar atividades em tempo para os consumidores receberem seus bens ou serviços quando foram prometidos. As refinarias têm o papel de prover subprodutos do petróleo para seu mercado. A Política Energética Nacional enfatiza, através da Lei nº 9.478./1997, que um dos objetivos é proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos. A garantia de estoque nacional é assegurada pela produção contínua das refinarias e dos diversos *buffers* (tanques que funcionam como pulmões para regular a oferta e demanda de produtos) entre estas e o consumidor final.

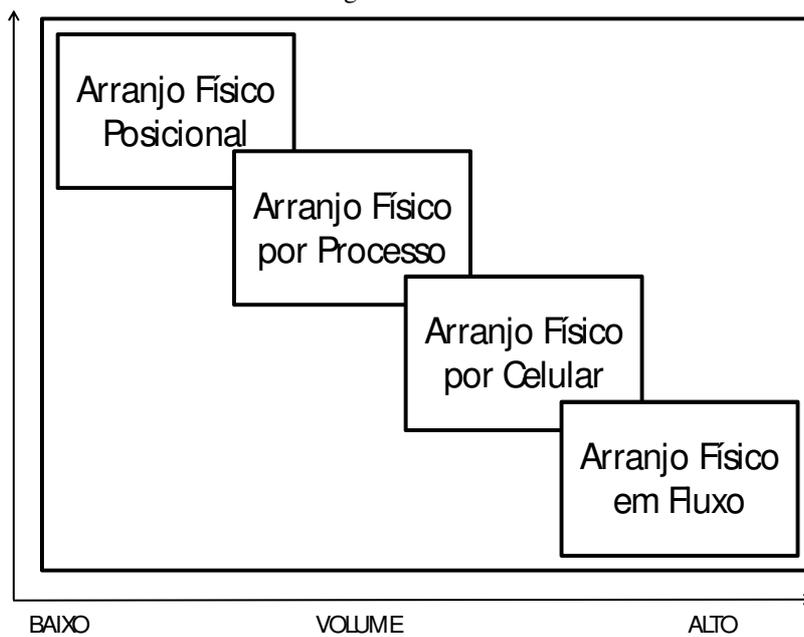
Flexibilidade: Flexibilidade significa capacidade de mudar a operação, alterando **o que** a operação faz, **como** faz ou **quando** faz. As refinarias são construídas a partir do planejamento de tipo de óleo cru de insumo e tipo de produtos a serem produzidos. O *hardware* – conjunto de unidades de processo – é concebido para esta finalidade. A introdução de novos produtos acontece de forma lenta e previamente negociada de acordo com a prioridade de investimento formulada a partir de diversas partes interessadas. Novas especificações de produtos e requisitos ambientais quase sempre requerem novos *hardwares* da ordem de dezenas de milhões de dólares. A flexibilidade quanto à produção variável de produtos também é baixa. Já a produção é pautada por estudos intensos de previsão de demandas. Dado o porte de investimentos requerido, o refino busca minimizar o nível de ociosidade. Pode-se dizer que o processo de refino possui uma flexibilidade muito baixa.

Rapidez: Rapidez significa quanto tempo os consumidores precisam esperar para receber seus produtos ou serviços. Os clientes finais não se abastecem diretamente das refinarias. Os clientes diretos das refinarias são as distribuidoras que estabelecem contratos de suprimento no qual as especificações dos produtos, as datas de entrega, frequência e quantidade são previamente acertadas. O reflexo desta dimensão internamente é o esforço de manter a operação funcionando sem falhas e produzir combustíveis conforme especificações acordadas para cumprir os compromissos contratuais.

Qualidade: Em administração da produção, qualidade significa fazer um produto corretamente, sem falhas. Em refino, isto pode ser observado pela qualidade requerida para os produtos de uma refinaria. A título de exemplo, o querosene de aviação – QAV – precisa ter alto poder calorífico para garantir a autonomia de vôo, baixo teor de aromáticos visando a diminuição de fuligem, escoamento à baixa temperatura, estabilidade térmica para suportar a variação de temperatura, baixo teor de enxofre para evitar a corrosão e baixíssimo teor de água para evitar o congelamento.

Custo: Como o setor de petróleo é altamente regulado, desequilíbrios entre oferta e demanda não seguem a lógica mercadológica de outras indústrias. Segundo a ANP, o abastecimento nacional de combustíveis é considerado de utilidade pública pela Lei nº9.478./1997. Com isto, o custo tem um relacionamento estreito com a dimensão qualidade na busca por eficiência operacional para manutenção da margem de lucro.

Figura - Volume x Variedade



Fonte: SLACK et al (1997)

A refinaria trabalha num processo de produção contínuo. O quadro anterior mostra que para um processo produtivo de cujas características alta repetição, baixa variedade, alta confiabilidade, baixa flexibilidade, grande rapidez, alta qualidade, grande necessidade de custos baixos; o arranjo físico mais adequado é em fluxo, no qual os recursos transformadores se encontram estacionados ao passo que os recursos

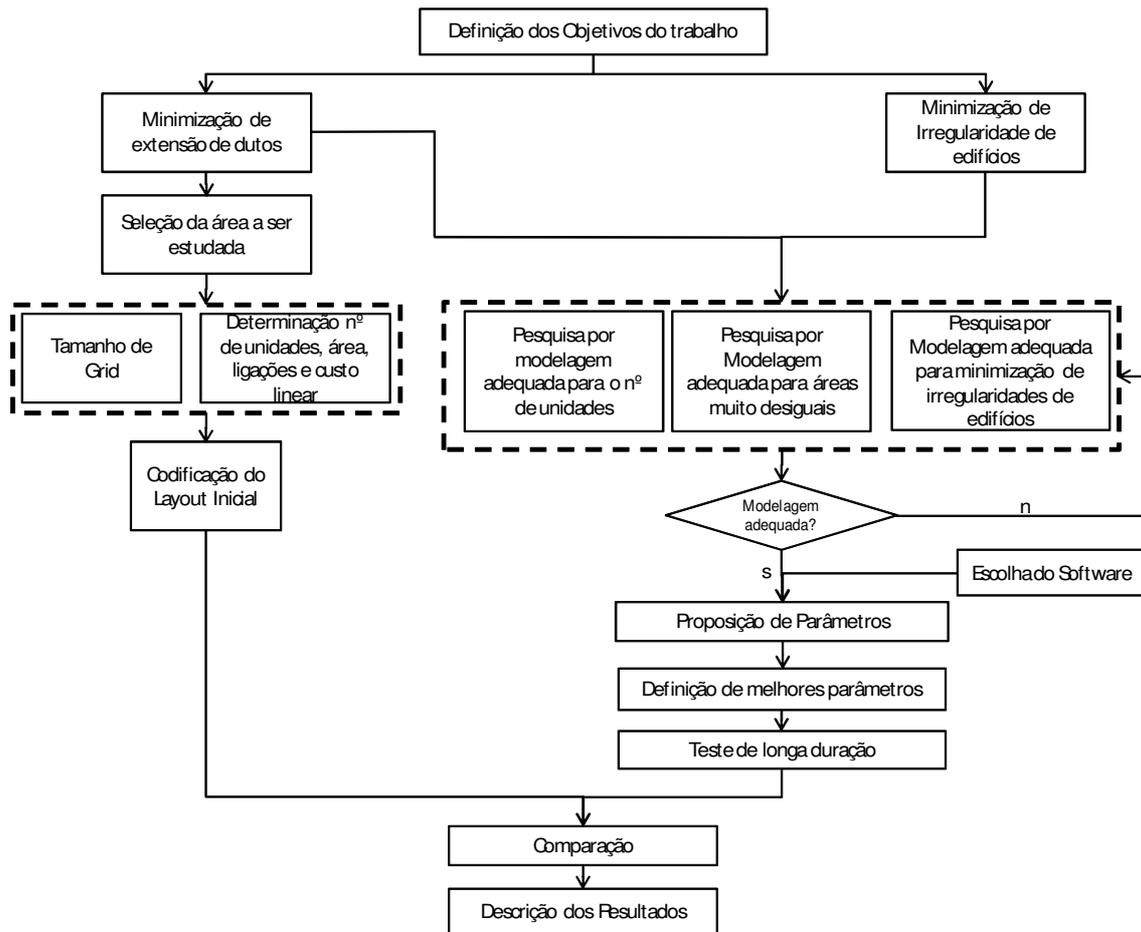
transformados passam através daqueles. Seguindo a metodologia de Slack, na próxima seção, será definido o Projeto Detalhado de Arranjo Físico.

3.3 - Projeto Detalhado de Arranjo Físico

Dentro desta seção, é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia para a localização de 38 unidades industriais em um *site* de uma refinaria buscando dois objetivos simultâneos: minimização da extensão de dutos e redução da irregularidade das unidades industriais.

A metodologia proposta está descrita na figura 29, sendo desenvolvida mais a fundo nos tópicos seguintes.

Figura - Metodologia de Solução



3.4 - Seleção da Área a ser estudada

Uma seção da refinaria foi selecionada para este estudo por concentrar a maior parte das principais unidades industriais do processo de refino e por estas estarem dispostas em uma área relativamente regular. O *site* é dividido em 256 quadras regulares de 100m x 100m. São ao todo, 38 unidades de processo descritas na figura 30.

Figura - Seção do *site* escolhida

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

As áreas hachuradas são espaços vazios ou destinados às tubovias. A tabela 7 descreve as unidades, área ocupada (sempre múltiplos de *grids* de 100 x 100), largura e comprimentos máximos.

Tabela - Número de *grids* ocupados por Unidades

unidade	área	X máx	Y máx
1	4	2	2
2	4	2	2
3	2	2	1
4	2	2	1
5	2	2	1
6	2	2	1
7	10	5	2
8	6	3	2
9	3	3	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	2	2	1
13	2	1	2
14	2	2	1
15	2	1	2
16	6	3	2
17	4	4	1
18	6	5	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	5	5	1
22	4	4	1
23	3	3	1
24	2	2	1
25	2	2	1
26	2	2	1
27	25	5	5
28	6	1	6
29	2	2	1
30	38	10	4
31	12	3	4
32	12	3	4
33	4	2	2
34	4	2	2
35	1	1	1
36	2	1	2
37	5	5	1
38	2	2	1

Determinação do Custo Linear

O arranjo físico em fluxo pressupõe a movimentação do recurso transformado através dos recursos transformadores, neste caso, o caminho percorrido pelo petróleo

cru, sendo convertido, através de sucessivas transformações físicas e químicas, em derivados acondicionados em tanques, esferas ou expedidos.

O problema do arranjo em fluxo está na determinação de posicionamento dos recursos transformadores de modo a tornar aumentar a eficiência do leiaute. No caso de transporte discreto – caixas, lotes e *containers* - isto é feito através da minimização de distâncias percorridas pelos funcionários e empilhadeiras; dado pelo número de viagens multiplicado pela distância percorrida. Em refinarias, o transporte é contínuo, não há um operador movendo o produto. Desta forma, não se busca minimizar a distância percorrida, mas sim, a extensão de dutos.

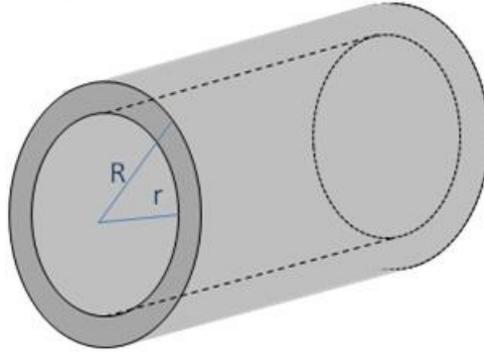
Antes de minimizar os dutos, é necessário investigar ocorrência de diferenças entre as ligações que ocorrem no *site*. Do contrário, é intuitivo pensar que uma unidade com muitas ligações seja localizada em no centro.

No exemplo deste estudo, ocorrem diferenças entre os custos das interligações. Com isto, o concluí-se que uma interligação feita de um material especial mais caro ou com uma parede mais espessa, deva ser a menor possível. A determinação do custo de um duto é dada basicamente por duas componentes: o número de válvulas utilizadas em sua extensão e o custo da tubulação propriamente dita, que pode ser calculado pela quantidade de material empregado multiplicado pelo preço do material.

O número de válvulas em cada uma das interligações depende do detalhamento do projeto. No momento da concepção deste trabalho, esta informação ainda não estava detalhada. Devido a sua imprecisão, esta componente foi omitida.

O material empregado em todas as tubulações é o aço-carbono. Uma vez que há homogeneidade de material, o custo, portanto, é calculado somente em função da quantidade empregada na sua construção, dada por sua metragem cúbica: extensão do tubo multiplicada pela área da seção circular entre o raio interno e externo.

Figura - Seção de área circular do duto



O custo de ligação é um grafo não-orientado e está descrito no Anexo III. Os custos foram obtidos a partir do levantamento de todas as ligações entre todas as unidades e parametrização da espessura de parede de acordo com a elevação do terreno e raio externo do duto. Na realidade do exemplo da dissertação, o custo é uma função parametrizada por apenas uma variável, o raio externo.

Com isto, o custo entre as unidades A e B é dada pela multiplicação da extensão entre estas unidades pela seção circular do duto que às conecta.

(6)

3.5 - Modelagem do Problema

3.5.1 - Introdução

Segundo SOUZA (2002), “A principal característica do modelo que o torna desejável é o poder de representatividade. Já a capacidade de simplificação da realidade lhe confere factibilidade operacional. Essas duas características, simplificação e representatividade, são as mais buscadas pelos responsáveis pelo processo de modelagem”.

A qualidade de uma solução depende não somente do custo das interligações, mas também da forma das unidades. Frequentemente a determinação de arranjo físico é modelada como um problema quadrático da alocação (PQA). É quadrático, pois a formulação matemática é descrita pela multiplicação de duas variáveis independentes: **quais** unidades e **onde** estas são localizadas.

Para saber quais e onde as unidades são alocadas, é necessário contornar duas características do exemplo desta dissertação: número elevado de variáveis e a grande disparidade de extensão de área.

Tratar um problema com 38 unidades através de métodos exatos passa a ser uma tarefa difícil, sendo então o uso de metaheurística é uma alternativa mais adequada. Os trabalhos de ARGOUD (2007), TAVAKKOLI (1998), KOCHHAR (1998) e WANG (2005) empregam AG para problemas de alocação devido à robustez e eficácia no tratamento de problemas não-lineares e de alta complexidade.

A segunda característica do exemplo desta dissertação é a grande disparidade de extensão de área, chegando a variar em 3.900%. O modelo para áreas desiguais é, portanto, mais apto a representar esta realidade.

3.5.2 - Delimitação do Escopo da Pesquisa

Devido à alta complexidade do problema tratado e questões de sigilo industrial, algumas suposições e premissas foram adotadas para delimitar o escopo da pesquisa:

- O processo de refino não poderá ser alterado: Os processos petroquímicos têm que ocorrer conforme descritos inicialmente, não haverá adição ou subtração de ligações.
- Para áreas destinadas às futuras expansões de unidades industriais, cujo uso seja de conhecimento corporativo, estas são tratadas como clones de unidades já existentes e terão os mesmos atributos de ligação e tipo de corrente. A área é considerada vazia, caso haja desconhecimento da unidade a ser construída.
- Não se considerada o emprego de *hubs*, ou concentradores, entre unidades: em refino, as correntes comuns são agregadas formando grandes tubovias. Estas, por vezes, perpassam quase toda a extensão do *site* (área destinada à construção da refinaria), chegando a ocupar dezenas de metros de largura e centenas de comprimento. Este estudo não considera o emprego destas tubovias.
- Por questão de sigilo, é omitida a descrição detalhada de processo de refino: ligações entre unidades são mostradas, contudo não são expostas: cargas, fluxo, temperaturas, pressões, etc..
- Ainda por questão de sigilo, não é informado o preço detalhado de cada duto. Para tal, é empregado um fator de deflexão para todas as interligações, o que não

prejudica a qualidade do trabalho uma vez que a definição de arranjos é afetada somente pela diferença comparativa entre elas.

- Não é levado em conta o custo fixo de instalação. Em engenharia de solos, o custo de localização 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, tal custo fixo não é tratado devido à complexidade de mensuração dos dados e a pouca precisão de dados no estágio no qual a pesquisa foi realizada.
- Não é avaliado o custo de compra de equipamentos, construção e montagem, posto que este é um custo mandatório extremamente elevado, cujo vulto pode omitir variações marginais na comparação final.
- Devido à maturação dos projetos básicos e detalhados, que estavam ocorrendo durante a elaboração desta dissertação, alguns dados podem ser refinados, podendo não ser empregados nas suas versões finais. São utilizados os dados mais recentes que o autor tiver acesso.
- O trabalho trata somente de arranjos bidimensionais.
- O trabalho não tem a pretensão de atender todas as normas de localização de unidades da indústria.
- Seleção uma seção do *site* para estudo quantitativo.
- Devido à própria natureza do algoritmo genético, não há o compromisso de que a solução ótima seja encontrada.
- Nas soluções, podem ocorrer dutos que passam através de unidades de processo, entre os *grids* do *site*.
- Por possuir mais de um objetivo, a solução passa pela busca da solução dita não-dominada, isto é, quando não existe outra solução que melhore um dos objetivos sem causar a degradação do valor de pelo menos um dos outros.

3.5.3 - Modelagem do PQA Modificado

Pode-se modelar o problema através de uma modificação do PQA, fracionando a unidade em *grids*. Um problema advindo desta opção é possibilidade de ocorrência de soluções não viáveis, como mostra o exemplo de unidades descontínuas da figura 32.

Figura - Solução inviável (sem garantia de continuidade)

A	B	A
1	2	3
A	C	C
6	5	4
D	D	D
7	8	9

Na tentativa de garantir a continuidade, KOCHHAR (1998) afirma que é possível atribuir um alto valor de ligação entre os blocos pertencente à mesma unidade, de modo a incentivar que estes permaneçam juntos e com isto, obter soluções viáveis.

Foram realizados testes em pequena escala para averiguar a viabilidade desta afirmação. O problema foi modelado como um problema clássico de PQA com os blocos sendo tratados individualmente. Porém, os custos de ligação entre aqueles pertencentes à mesma unidade eram de 1,3 a 12 vezes maiores do que o custo de ligação entre blocos pertencentes às unidades diferentes.

Para este teste, foi utilizado o Palisade Evolver 5.5, software de resolução de algoritmos genéticos, população de 1000 indivíduos, taxa de *crossing over* 0,5, taxa de mutação de 0,1, 50.000 iterações.

Figura - Resultado após 50.000

iteração	Result
1	1580,555556
41344	1576,388889
41797	1568,055556
43535	1545,555556

Os resultados mostraram que um algoritmo excessivamente lento, isto pode ser atribuído ao elevado custo de ligação entre os blocos da mesma unidade, utilizado para modelar esta restrição. Havia um incentivo para que aqueles se aproximassem, porém não havia incentivo suficiente para que um bloco por si arriscasse a procurar se ligar a um bloco de outra unidade. Para isto, era preciso que ocorresse uma movimentação simultânea de grande parte dos blocos.

Como o operador *crossing-over* é responsável por manter estruturas tidas como adequadas aos descendentes, as soluções ficavam presas pela inércia do alto valor criado para manutenção da adjacência. O papel de “expulsar” a maioria dos blocos dos ótimos locais fica a cargo da mutação. Porém, a aleatoriedade deste operador precisaria agir simultaneamente na maioria dos blocos.

Ao elevar a taxa de mutação, o problema passa a ter um caráter aleatório, uma vez que não há a preservação de boas estruturas. Ao diminuir o incentivo de adjacência, os blocos se comportam individualmente, sem identidade com a unidade a que pertenciam. Não foi alcançado o fino equilíbrio entre incentivo de adjacência e o incentivo à ligação entre unidades.

3.5.4 - Modelagem Usando Curvas de Preenchimento Espacial

A alternativa de aumentar o tamanho da população de modo a cobrir mais o espaço de soluções refletiu em um aumento do esforço computacional e tampouco gerou resultados satisfatórios.

Diante do exposto, a modelagem da adjacência da unidade através de elevados custos de ligação foi descartada. O trabalho de KOCHHAR (1998) aborda o caso de uma facilidade ocupando mais de um *grid*, através do uso de *Space Filling Curves* (SFC), que são curvas de preenchimento espacial que percorrem o espaço bidimensional sem cruzar sobre si. Este artifício garante a continuidade das unidades: uma vez que iniciada a localização sobre a curva, a próxima unidade só poderá ser posicionada quando a anterior estiver finalizada.

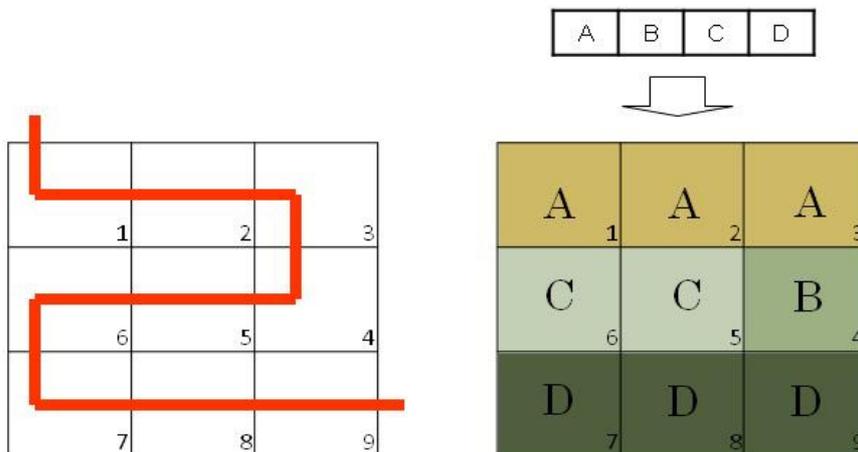
O uso de SFC dispensa a restrição de sobreposição, dado que a ordenação impede que um *grid* seja ocupado mais de uma vez. O emprego de SFC altera a natureza do problema, que passando a ser um problema de ordenação. Portanto, todas as soluções são sempre arranjos na ordem das unidades, o que garante 100% de soluções viáveis.

Com 38 facilidades, o número de possíveis soluções (diferentes ordenamentos) é $38! = 5,3 \cdot 10^{44}$. Para problemas como este, os Algoritmos Genéticos são indicados devido à sua eficácia na busca de boas soluções em grandes espaços de busca.

Como efeito adverso da abordagem por SFC, este modelo não permite configurações que não estejam previstas sobre seu traçado. Portanto, a escolha da SFC deve ser bem estudada de modo a garantir resultados satisfatórios.

As curvas de preenchimento espacial transformam o problema de arranjo em um problema de ordenação. Isto posto, a codificação natural dos cromossomos é então um vetor ordenado. Neste trabalho, o número de *grids* ocupados por cada unidade é constante, conforme tabela 7, com isto, não há necessidade de codificar o número de espaços ocupados.

Figura - Codificação de unidades com SFC



Minimização de irregularidades

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 componente de incentivo à redução da irregularidade das edificações. Este fator adimensional é conhecido como *Shape Factor Ratio*, ou SFR, que pode ser calculado pela expressão (7):

$$(7)$$

O SFR assumirá valor mínimo igual a 1 quando a unidade *i* possuir um formato de quadrado. Seu valor aumenta com o aumento da irregularidade. O raciocínio pode ser estendido às outras unidades, expresso pela média geométrica de todas as parcelas.

$$(8)$$

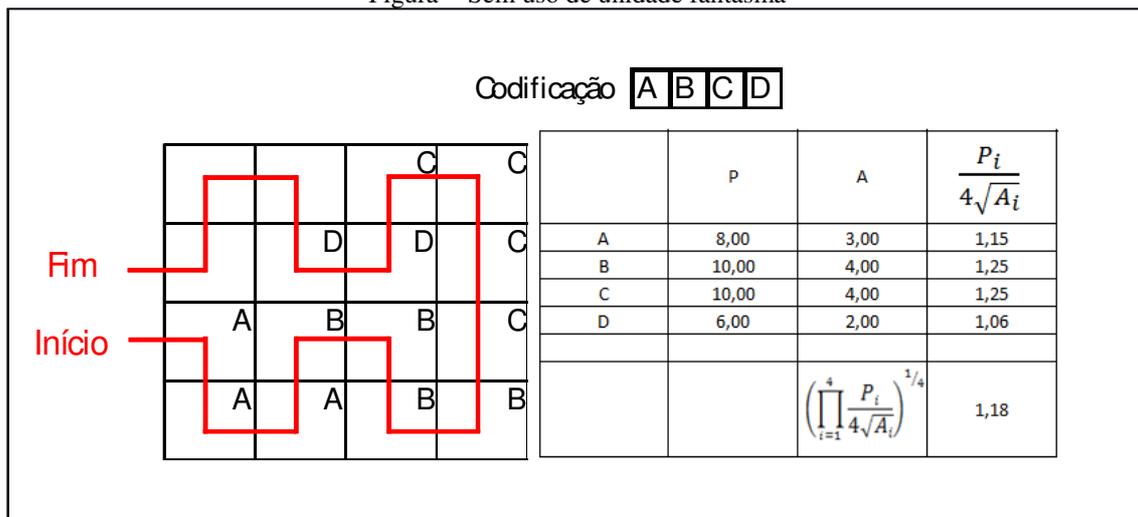
A média geométrica é não-compensatória, o que assegura que há um compromisso mútuo na busca de uma configuração mais regular para o conjunto de unidades, em detrimento de resultados individuais.

Unidades fantasmas

Para reduzir a irregularidade das edificações, foram inseridos espaços vazios, ocupando um *grid*, denominado “unidades fantasmas”, sem nenhuma interligação com qualquer unidade, cuja função é possibilitar uma maior chance de obtenção de regularidade de edificações.

O exemplo a seguir mostra como ocorre a inserção de uma unidade fantasma no arranjo. A figura 35 mostra um arranjo com unidades altamente irregulares.

Figura - Sem uso de unidade fantasma



Enquanto no caso da figura 36, o conjunto se torna mais regular ao ser beneficiado pela inserção da unidade fantasma X.

Um efeito adverso é o aumento do número de variáveis, fato que pode ser um fator complicador, pois o número de soluções possíveis cresce de maneira exponencial. A inserção de 7 unidades fantasmas acrescentou $1,19 \cdot 10^{56}$ combinações.

Mais a frente, as unidades fantasmas são introduzidas na modelagem e seus efeitos, discutidos em experimentações.

= área da unidade i [m²]

O emprego da geometria Manhattan neste estudo deve-se à melhor tradução da localização de unidades de processo em uma refinaria uma vez que as interligações entre unidades ocorrem em ruas e avenidas.

A distância Manhattan pode ser definida como dois pontos num espaço Euclidiano com sistema cartesiano de coordenadas fixo como a soma dos comprimentos da projeção da linha que une os pontos com os eixos das coordenadas. Num plano que contém os pontos P1 e P2, respectivamente com as coordenadas (x_1, y_1) e (x_2, y_2) , a distância Manhattan é definida por:

(10)

Figura - Distância euclidiana e distância Manhattan

Restrições

A modelagem se completa com o estabelecimento das restrições do problema. A primeira diz que soma das áreas das unidades industriais não pode exceder a área selecionada descrita para o estudo, desta forma:

(11)

Tal restrição nunca é violada, pois são 38 unidades industriais cuja soma, 194 *grids*, é inferior ao tamanho máximo do *site*.

A segunda restrição é de sobreposição de unidades, que impede que mais de uma unidade possa ocupar um mesmo *grid*. Uma forma usual de modelagem é atribuir o valor binário 1 para a localização da unidade k na i-ésima linha e j-ésima coluna e valor 0 caso contrário, este *grid* deve ter um valor menor ou igual a 1. Conforme visto, o artifício de curvas de preenchimento espacial exige que uma vez que a unidade comece a ser localizada, a próxima só começa quando a anterior tiver todos seus blocos alocados sobre a curva. Portanto, não são previstas sobreposições de unidades.

3.6 - Codificação

A codificação da solução inicial foi obtida a partir da planta de arranjo da refinaria (figura 30). Seu valor inicial, obtido através do somatório dos custos de dutos (anexo III) multiplicado pelo fator de irregularidade de edificações (equação 8). Os espaços vazios são ocupados pelas tubovias, que não *são* modeladas no trabalho, porém influenciam o valor da solução inicial.

Figura - Quantificação da Solução Inicial

O valor do leiaute inicial segundo a modelagem descrita é 2.937,13. Este valor e o Custo de Dutos e o Fator de Irregularidade são usados como *benchmarking* na comparação dos resultados obtidos através da investigação.

3.7 - Escolha do software

Para a execução do algoritmo genético, foi escolhido um software que se integrasse facilmente às tabelas de dados que já estavam sendo trabalhadas em MS-Excel, que permitisse a variação rápida dos principais dos parâmetros genéticos e que fornecesse sumário de resultados de forma compreensível e objetiva. Foi escolhido foi o 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. Mais detalhes do Palisade Evolver podem ser encontrados no Anexo IV.

O Evolver não permite que o usuário customize todos os parâmetros do algoritmo. Por padrão, o software trabalha com: Seleção baseada em *Ranking*, Crossing-over uniforme e *steady state*.

3.8 - Proposição de SFC

Um efeito inerente da abordagem por SFC é a 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. O *grid* em questão é regular (16 x 16), a orientação da curva é, portanto, indiferente.

Figura - SFC 1

Figura - SFC 2

Figura - SFC 5

Para flexibilizar as soluções geradas pelo uso das SFCs e, foram adicionadas 7 unidades fantasmas, seus resultados serão discutidas mais a fundo na seção 3.11. A seleção da melhor SFC para este trabalho foi realizada de forma experimental, que será descrita no próximo item.

3.9 - Escolha de SFC

O passo seguinte é a seleção de uma das SFC dentre as três propostas. É sabido que a escolha da SFC é capaz de enviesar o resultado, porém, esta especulação precisa ser averiguada estatisticamente. Para tanto, a hipótese de diferenças significativas entre as SFC's é testada conforme esquema da figura 42:

Figura - Metodologia de escolha de SFC

Fonte: WANG (2005)

Construção das Hipóteses:

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

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

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, minimizando a função de *fitness* com 7 unidades fantasmas com os parâmetros:

- População: 100
- Seleção: 0,5 (default do Evolver)
- Taxa de Crossing-over: 0,20
- Taxa de Mutação: 0,02

A tabela 8 mostra os valores alcançados para 41 iterações, o melhor valor e o valor médio.

Tabela - Avaliação das três SFC após 41 iterações

Tabela - Resumo Análise Variância 1

A coluna média se refere à média dos resultados da função *fitness* das 41 iterações das SFC1, SFC2 e SFC3.

Tabela - Resumo Análise Variância 2

- gl = grau de liberdade
- MQ = Média Quadrada
-
-
- F crítico é calculado a partir dos valores de *fitness* das três curvas para um

Como o F calculado é muito superior ao F crítico (3,071779), pode-se afirmar que há diferenças significativas entre as SFC. A hipótese nula, portanto, foi rejeitada.

Teste de Tukey:

A análise de variância mostra que há uma diferença significativa entre as curvas, porém é insuficiente para demonstrar entre quais ela ocorre. Segundo SARABANDO (2009), os testes de comparação múltipla respondem esta questão. O teste de Tukey, cuja análise feita a partir da comparação par a par entre duas médias é capaz de apontar quando estas são significativamente diferentes.

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.)

(12)

Onde:

$q(gl,r) =$ Valor tabelado a partir de gl e r

QMR = quadrado médio dos resíduos (dentro do grupo)

$r =$ número de tratamentos (curvas)

$gl =$ graus de liberdade

(iterações x tratamentos)- tratamentos (13)

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

Então, $q(120,3) = 3,63$ (Anexo V)

QMR = 31279,71 (tabela 10)

$706,87 > 100,26$; há diferença entre SFC1 e SFC2

$401,81 > 100,26$; há diferença entre SFC1 e SFC5

$305,06 > 100,26$; há diferença entre SFC2 e SFC5

Tabela - Comparação entre as médias de SFC

Os asteriscos mostram que há diferenças significativas entre SFC1-SFC2, SFC1-SFC5 e SFC2-SFC5. Conclui-se que . Por apresentar melhor performance, a SFC1 foi escolhida para dar prosseguimento no estudo.

3.10 - Definição de Parâmetros

Após a escolha da SFC 1, é preciso definir os parâmetros genéticos desta curva. Além dos parâmetros estabelecidos no teste de hipótese (população 100, taxa de *crossing-over*: 0,20 ; taxa de mutação: 0,02), foram testados parâmetros de outros três autores: de JONG (1988), GREFENSTETTE (1986) e SCHAFFER *et al* (1989)

Tabela - Parâmetros Genéticos

Após 10.000 iterações, os parâmetros de GREFENSTETTE apresentaram melhores resultados. A tabela 13 mostra o melhor o resultado encontrado após 10.000^a iterações. O resumo dos resultados estão no anexo VI.

Tabela - Melhor resultado após 10.000 testes

Os testes mostraram os parâmetros de GREFENSTETTE são mais adequados para o exemplo da dissertação: população 30, taxa de *crossing over* 0,95 e taxa de mutação 0,100.

Figura - Testes para os parâmetros de GREFENSTETTE

O melhor resultado para os parâmetros de GREFENSTETTE – taxa de mutação de 0,1 – despontou como melhor opção na 881^a iteração, e foi melhorando até o fim dos testes. Sua melhor marca foi obtida na 9923^a iteração.

Figura - Testes para os parâmetros de SCHAFFER

O melhor resultado para os parâmetros de Schaffer – taxa de mutação de 0,005 – despontou rapidamente como melhor opção na 378^a iteração. Sua melhor marca foi obtida na 9417^a iteração.

Figura - Testes para os parâmetros de De JONG

O melhor resultado para os parâmetros de de Jong – taxa de mutação de 0,100 – despontou como melhor opção a partir da 726^a iteração, porém não conseguiu manter a mesma distância, quase sendo alcançado ao fim do teste por duas outras alternativas . Sua melhor marca foi obtida na 6996^a iteração.

3.11 - Testes de longa duração

De posse da curva de preenchimento espacial, dos parâmetros genéticos de população, da taxa de *crossing over* e da taxa de mutação, executou-se testes de longa duração com os seguintes parâmetros:

Tabela - Parâmetros utilizados no teste de longa duração

Além do objetivo inicial do trabalho, foram realizados cinco testes adicionais para verificar aplicabilidade de unidades fantasmas no modelo.

- Teste 1: Minimização de custo de dutos e irregularidades com unidades fantasmas.
- Teste 2: Minimização de custo de dutos e irregularidades sem unidades fantasmas.
- Teste 3: Minimização irregularidades com unidades fantasmas.
- Teste 4: Minimização irregularidades sem unidades fantasmas.

- Teste 5: Minimização de custo de dutos com uso de unidades fantasmas.
- Teste 6: Minimização de custo de dutos sem unidades fantasmas.

A tabela 15 mostra o uso bem-sucedido do AG, curvas de preenchimento espacial e unidades fantasmas para a resolução da problemática de minimização de dutos e irregularidade das facilidades.

As alternativas ímpares, aquelas utilizaram este artifício na busca de seus objetivos, mostraram-se superiores ao *benchmarking*, às alternativas propostas e, principalmente, às suas variantes sem unidades fantasmas.

Tabela - Avaliação final do modelo

Todos os experimentos foram testados por um período de 6 horas em um Pentium IV, 2GHz, 4Gb RAM . Para comparação, utilizou-se o Leiaute inicial. Os resultados completos das execuções estão descritos no Anexo VII. As células em destacadas na tabela 15 mostram o objetivo do teste em questão. A seguir são apresentadas e discutidas as soluções encontradas para os testes.

Alternativa 3 versus alternativa 4

Ambos os testes objetivam a minimização de irregularidades, porém a alternativa 3 faz uso de unidades fantasmas. Analisando a minimização de irregularidades, a alternativa 3, que busca este objetivo, apresenta um desempenho superior ao seu par - que dispensa o uso de unidades fantasmas - , e à todas as outras alternativas propostas e ao *benchmarking*. Em comparação com o teste 4, ela também apresenta melhores resultados para diminuição de custo, por conseguinte, melhor desempenho geral.

Figura - Teste 3

Figura - Teste 4

Alternativa 5 versus alternativa 6

Tanto a alternativa 5 quanto a 6, buscam como objetivo principal, a minimização do custo de dutos, com o uso de unidades fantasma no teste 5. Os testes mostram que a alternativa ímpar mostra-se superior à sua variante sem unidades fantasmas, a todas outras alternativas apresentadas bem como ao *benchmarking*. Quando confrontada com teste 6, o teste 5 apresenta um desempenho inferior em se tratando de minimização de irregularidades. Porém, ainda em comparação ao teste 6, o teste 5 demonstra melhor conjunção de resultados – custo de dutos E minimização de irregularidades.

Figura - Teste 5

Figura - Teste 6

O fato de a introdução de unidades fantasmas auxiliar o desempenho de minimização de custo dutos causou surpresa, pois era esperado que a inserção oportuna de unidades de tamanho unitário entre as unidades fizesse com que a distância entre os centróides aumentasse e, portanto, majorando seus custos e o que não foi observado. Para explicar isto, poder-se-ia supor que as unidades fantasmas estariam localizadas no fim da codificação, portanto, indiferente ao restante das alternativas e que o melhor resultado fora obtido graças a possíveis estruturas bem sucedidas, porém observa-se na figura 48, que existem unidades fantasmas (em cinza) que estão inseridas entre as unidades de processo.

Alternativa 1 versus alternativa 2

Para o objetivo do trabalho, minimização de custo de dutos e minimização de irregularidades, o teste 1, cuja modelagem da função de *fitness* busca ambos objetivos com o uso de unidades fantasmas, exibe performance superior ao seu par sem unidades fantasmas, a todas outras sugestões e ao *benchmarking*.

Figura - Teste 1

Figura - Teste 2

Observa-se que mesmo não sendo modelada para estes dois objetivos, a alternativa 5 apresenta desempenho próximo ao teste 1, mostrando que, de acordo com a modelagem sem pesos diferenciados adotada para este trabalho, o custo tem uma influência significativa na composição final.

Capítulo 4: Conclusão e Trabalhos Futuros

4.1 - Conclusão

A partir de um questionamento sobre a magnitude dos gastos que poderiam advir de uma localização feita sem estudos aprofundados, foram levantadas quais eram as metodologias empregadas nesta problemática. Verificou-se que na companhia do exemplo desta dissertação, os arranjos físicos eram definidos através do uso do fluxo de processo e bom-senso e experiência de operários mais antigos. Havia uma lacuna de melhoria a ser preenchida através do emprego de técnicas de Engenharia de Produção. O problema desta pesquisa era desenvolver um caminho que respondesse dois questionamentos: **qual** unidade e **onde** ela é localizada?

Primeiramente, foram revistas informações sobre refino, arranjo físico, algoritmos genéticos. Artigos envolvendo a localização de muitas facilidades eram obtidos através de Algoritmos Genéticos devido à sua eficácia, como os de ARGOUUD (2007), TAVAKKOLI (1998), KOCHHAR (1998).

Era preciso tornar o trabalho mais aderente à realidade, na qual a grande disparidade entre o tamanho das áreas era notória, em alguns casos chegando a 3.900%. Para tal, era premente que a desigualdade de área fosse modelada. Isto, contudo, implicava em um aumento de complexidade no modelo usual do problema de alocação quadrática, fazendo com que uma unidade pudesse ocupar mais de um espaço no *grid*. As unidades foram fragmentadas em blocos, e foi estabelecido um alto custo de ligação entre estes para obtenção de facilidades contínuas, ou seja, a garantia de soluções

viáveis. Após testes, verificou-se que esta modelagem torna o algoritmo excessivamente lento.

O artigo de KOCHHAR (1998) propõe uma abordagem alternativa no problema de alocação de unidades de tamanhos desiguais através da introdução de curva de preenchimento espacial (SFC), que percorre todo o *grid*, sobre a qual, as unidades são localizadas. Este artifício transforma o problema de alocação quadrática em um problema de alocação. Como efeito adverso, limita as representações de leiautes àqueles que podem ser representados sobre a curva.

A localização das unidades sob as curvas de preenchimento espacial, não raro, cria unidades de formas irregulares. O artigo de WANG (2005) inseriu um fator matemático de modelagem de irregularidade das unidades, no qual se busca minimizá-las, ou seja, torná-las mais quadrangulares.

Este trabalho contribuiu ao inserir sete espaços vazios, chamados de unidades fantasma, sem valor de ligação, com objetivo de oportunamente preencher os espaços entre as unidades de modo a propiciar maiores chances de obtenção de edificações mais regulares. Como efeito negativo desta abordagem, está o aumento no espaço de busca, o que pode ser um fator complicador, já que o número de alternativas cresce de modo exponencial.

Foram propostas três SFC para localização das unidades. Elas foram testadas para averiguar se havia ou não influência das curvas na função de *fitness*. Para esta finalidade, a hipótese nula proposta **não** haveria diferenças significativas entre as curvas. Posteriormente, através de análise de variância simples, esta hipótese nula rejeitada: sim, havia diferenças significativas entre as curvas. A rejeição da hipótese nula é capaz de confirmar que há diferenças significativas, porém não é capaz de responder entre quais curvas ela está presente.

Para responder esta questão, utilizou-se o teste de Tukey, um procedimento estatístico de comparação das médias, duas a duas. O método apontou que a diferença significativa estava presente entre todas as comparações. A SFC que apresentou o melhor resultado foi selecionada para a próxima etapa.

Com a definição da SFC, o próximo passo foi definir os parâmetros de população, taxa de *crossing over* e mutação. Estes foram retirados de sugestões da literatura de três autores de JONG (1988), SCHAFFER *et al* (1989) e GREFENSTETTE (1986). Este último se apresentou como mais aderente para ao problema.

De posse da curva escolhida e dos parâmetros acertados, a última etapa eram testes de longa duração. Em comparação com o leiaute inicial, foram testadas seis alternativas: Teste 1 (Minimização de custo de dutos e irregularidades com unidades fantasmas), Teste 2 (Minimização de custo de dutos e irregularidades sem unidades fantasmas), Teste 3 (Minimização irregularidades com unidades fantasmas), Teste 4 (Minimização irregularidades sem unidades fantasmas), Teste 5 (Minimização de custo de dutos com uso de unidades fantasmas) e Teste 6 (Minimização de custo de dutos sem unidades fantasmas). O estudo mostrou que as alternativas que as SFC e o AG foram bem sucedidos na sugestão de alternativas e os testes que fizeram uso de unidades fantasma tiveram desempenho melhores às suas variantes que dispensaram este artifício.

Este trabalho buscou prover uma metodologia para a problemática de localização de unidades industriais com o objetivo de reduzir custos de dutos e minimizar a irregularidade em edifícios. Dadas as simplificações da abordagem do problema, a conclusão é que o AG aliado ao emprego de curvas de preenchimento espacial e ao uso de unidades fantasmas mostrou-se adequado à realidade, cuja evidente disparidade de extensão de área e de número elevado de variáveis era inviabilizada por abordagens mais usuais.

4.2 - Proposta para Trabalhos Futuros

Devido à complexidade de problemas de arranjos, com seus múltiplos objetivos, a delimitação do escopo se faz necessária para a pesquisa, porém ela traz consigo um inerente grau de descolamento da realidade, o que afeta a aplicação imediata deste trabalho. Algumas sugestões para trabalhos futuros são descritas a seguir:

- Estudo de toda a área da refinaria;
- Implementação do uso de *hubs* (tubovias);
- Estudo de outras meta-heurísticas para a resolução do problema;
- Introdução do problema de coloração fundamentado em normas de adjacências de unidades por diferentes níveis de risco de operação.
- Inserção de algoritmo para definição de SFC a partir da área e formato das unidades.

- Inclusão algoritmo de caminho mínimo para os casos em que a tubulação necessite contornar uma unidade de processo.
- Uso de outros softwares que permitam variação de todos os parâmetros do Algoritmo Genético;
- Introdução da figura do decisor para estabelecimento da estrutura de preferências dos critérios (pesos) e investigação da fronteira ótima.

Referências Bibliográficas

ANTONIN, P., CATHERINE , A.P., SERGE, D., LUC, P., LUIS, P., & ANTONIO, E. (2005). *About the relevance of mathematical programming and stochastic optimisation methods: Application to optimal batch plant design problems*. Computer Aided Chemical Engineering: Elsevier, 49-54.

ARGOUD, A. R. (2007). *Procedimento para projeto de arranjo físico modular em manufatura através de algoritmo genético de agrupamento*. Tese de Doutorado. UFSCAR. São Carlos, SP.

BORGES, F. H. & DALCOL, P. R. T. (2002). *Indústria de Processo: Comparações e Caracterizações*. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, PR.

BRASIL. Lei nº 9.478 (1997). *Lei do Petróleo*. Disponível em <www.anp.gov.br> Acesso em: 24 de janeiro de 2010.

CARVALHO, A. P. L. F. (2009). *Algoritmos Genéticos*. Disponível em <<http://www.icmc.usp.br/~andre/research/genetic/index.htm>> Acesso em: 24 de Janeiro de 2010.

COELHO JUNIOR, T. P. (2009). *Dicas para elaboração de artigos*. Apresentação em Minicurso no LORDE, Rio de Janeiro, RJ.

COSTA, A. J. (2004). *Otimização do layout de produção de um processo de pintura de ônibus*. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, RS.

CRUZ, D. D. S. (2007). *Programação da Produção em Refinaria usando Algoritmos Genéticos: um Estudo para o Caso de Scheduling de Petróleos*. Dissertação de Mestrado. Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

DALMAS, V. (2004). *Avaliação de um Layout celular implementado: um estudo de caso em uma indústria de autopeças*. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, RS.

DIETZ, A., AZZARRO-PANTEL, C., PIBOULEAU, L., & DOMENECH, S. (2008). *Strategies for multiobjective genetic algorithm development: Application to optimal batch plant design in process systems engineering*. Computers & Industrial Engineering, 54(3).

DRIRA, A., PIERREVAL, H., & HAJRI-GABOUJ, S. (2007). *Facility layout problems: A survey*. Annual Reviews in Control, 31(2).

DRUMMOND, D. & GUIRARDELLO, R. (2004). *Otimização para o posicionamento dos equipamentos do circuito de massa na fabricação de papel Tissue*. Unicamp. Campinas, SP.

GOLDBERG, D., & HOLLAND, J. (1988). *Genetic algorithms and machine learning*. Machine Learning, 3(2).

GRAFENSTETTE, J. J. (1986). *Optimization of control parameters for genetic algorithms*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Volume SMC-16 New York – NY

GUDWIN r. & VON ZUBEN, J. (1998). *Notas de Aula*. Disponível em <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/ia707/aula4.pdf >. Acessado em 11 de Julho de 2010. Unicamp. Campinas, SP.

HANI, Y, AMODEO, L, YALAOUI, F, CHEN, H (2007) . *Ant colony optimization for solving an industrial layout problem*. European Journal of Operational Research, 183

HOLLAND, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.

De JONG, K. (1988). *Learning with genetic algorithms: An overview*. Machine Learning V 3.

KOCHHAR, J., HERAGU, S. & FOSTER, B. (1998). *HOPE: a genetic algorithm for the unequal area facility layout problem*. Computers and Operations Research 25(7-8): 583-594.

KOOPMANS, T., & BECKMANN, M. (1957). *Assignment Problems and the Location of Economic Activities*. Econometrica, 25(1), 53-76.

KOUVELIS, P.,& KIM, M.W. (1992). *Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems*. Operations Research, 40, 533–550

LAWLER, E. (1963). *The quadratic assignment problem*. Management Science.

de LACERDA, E. & de CARVALHO, A. (1999). *Introdução Aos Algoritmos Genéticos. Sistemas Inteligentes - Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

LOIOLA, E., ABREU, N., & BOAVENTURA NETTO, P. (2004). *Uma revisão comentada das abordagens do problema quadrático de alocação*. Pesquisa Operacional, 24.

MANGUINHOS (2010). *Perfil Institucional*. Disponível em <<http://www.manguinhosrefinaria.com.br/conteudo/perfilInstitucional.php>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2010.

MARIANO, J. B (2001). *Impactos Ambientais do Refino de Petróleo*. Dissertação de Mestrado. Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

MARTINS, V. & dos SANTOS COELHO, L. (2003). *Otimização de layouts Industriais com base em busca tabu*. Gestão & Produção 10.

McKENDALL, A., SHANG, J., KUPPUSAMY, S. (2005). *Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem*. Computers & Operations Research, 33

MORGAN, T. (1915). *The mechanism of Mendelian heredity*: Holt.

PACHECO, M. A. C (199). *Algoritmos genéticos: princípios e aplicações*. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada. Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ

PALISADE CORPORATION (2009). *Evolver 5.5 Guide to Using*.

PETROBRAS (2009). *Plano de Negócios 2009-2013*. Disponível em <www.petrobras.com.br>. Acesso em: 24 de janeiro de 2010.

_____ (2009). *Refinarias Petrobras*. Disponível em <<http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/capacidade/capacidade2008.asp?menuano=capacidade>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2010.

PETROLEO RIOGRANDENSE (2010). *Produtos*. Disponível em <<http://www.refinariariograndense.com.br/refinaria/produtos>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2010.

PONISH, A., AZZARO-PANTEL, C., DOMENECH, S. & PIBOULEAU, L. (2008). *Constraint handling strategies in Genetic Algorithms application to optimal batch plant design*. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47(3).

RANGEL, M., & ABREU, N. (2003). *Ordenações parciais nos conjuntos das soluções dos problemas de alocação linear e quadrático*. Pesquisa Operacional, 23, 265-284.

ROSENBLATT, M. J. (1986). *The dynamics of plant layout*. Management Science, 32.

SARABANDO, P. (2009). *Notas de Aula*. Disponível em <<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/psarabando/ANOVA2.pdf>>. Acesso em 11 de Julho de 2010. ESTV, Viseu, Portugal.

SANGINETO, M. L. T. (2000). *Um Algoritmo Genético para a Programação de Transferência em um poliduto*. Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

SAHNI, S., & GONZALEZ, T. (1976). *P-complete approximation problems*. Journal of the Association for Computing Machinery, 23.

SPINELLI, M. S. & PERTUSIER, R. R (2004). *Perspectivas de Investimento para o Refino Mundial*. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, BA.

SZKLO, A. & ULLER, V. C (2008). *Fundamentos do Refino de Petróleo*, 2ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ.

TAVAKKOLI-MOGHADDAIN, R. & SHAYAN, E. (1998). *Facilities layout design by genetic algorithms*. Computers & Industrial Engineering 35(3-4): 527-530.

SCHAFFER, J. D., CARUANA, R., ESHEKMAN, L. J. & RAJARSHI D. (1989) . *A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithms for function optimization*. Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms, San Mateo, CA

SCHAFFER, J. D. (1989). *A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithms for function optimization* Proc. Third Int. Conf. Genetic Algorithms.

SLACK, N., CHABERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., & JOHNSTON, R. (1997). *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 8.

SOUZA, F. A. F. (2002). *Elaboração de um modelo de localização de cargas unitizadas agroindustriais em pátios portuários: aplicação ao caso do terminal portuário de Pecém*. UFC, Fortaleza, CE.

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.

XU, G. & PAPAGEORGIOU, L. (2008). *Process plant layout using an improvement-type algorithm*. Chemical Engineering Research and Design 87(6): 780-788.

Anexos

Anexo I - Refinarias Brasileiras

Refinaria	Sigla	Estado	Capacidade Instalada (milhares bpd)
Refinaria do Planalto Paulista	REPLAN	SP	365
Refinaria Landulpho Alves	RLAM	BA	279
Refinaria Duque de Caxias	REDUC	RJ	242
Refinaria Henrique Lage	REVAP	SP	251
Refinaria Alberto Pasqualini	REFAP	RS	189
Refinaria Getúlio Vargas	REPAR	PR	189
Refinaria Presidente Bernardes	RPBC	SP	170
Refinaria Gabriel Passos	REGAP	MG	151
Refinaria de Manaus	REMAM	AM	46
Refinaria de Capuava	RECAP	SP	53

Refinaria de Petróleo Riograndense	-	RS	17
Refinaria de Manguinhos	-	RJ	15
Lubnor	LUBNOR	CE	7

Fonte: Petrobras (2009), MANGUINHOS (2009), REFINARIA DE PETRÓLEO RIOGRANDENSE (2009)

Anexo II - Formulação Matemática do estudo de Xu

Índices

Itens de Equipamentos

Parâmetros

Dimensões do item i

Custo de Conexão entre os itens i e j

Número total de unidades

Variáveis Binárias:

1 se o comprimento do item i (paralelo ao eixo x) é igual a 0 caso contrário

Variáveis de não-sobreposição

Variáveis Contínuas:

Largura do item i

Profundidade do item i

Coordenadas do centro geométrico do item i

Distância relativa nas coordenadas x entre os itens i e j , se i está à direita de j

Distância relativa nas coordenadas x entre os itens i e j , se i está à esquerda de j

Distância relativa nas coordenadas x entre os itens i e j , se i está acima de j

Distância relativa nas coordenadas x entre os itens i e j , se i está abaixo de j

Distância retangular entre os itens i e j

Função Objetivo:

(14)

Restrições de Orientação de Equipamentos:

(15)

(16)

Restrições de Distância

(17)

(18)

(19)

Restrições de Sobreposição

(20)

(21)

(22)

(23)

Restrições Adicionais de Design

(24)

(25)

Anexo III - Função Custo

Tabela - Custo de dutos (origem x destino)

(Continuação)

(Continuação)

Anexo IV - Evolver

Introdução

O Palisade Evolver é um programa de implementação de Algoritmos Genéticos que trabalha dentro do MS-Excel, o que facilita na inserção de formulas, macros e gráficos. O Evolver provê interface para descrever incertezas do modelo e maneiras de resolução.

Métodos de Resolução

O Evolver trabalha com seis métodos de resolução:

- **Recipe:** Neste método, as variáveis são ajustadas independentemente em busca da solução com maior função-objetivo.
- **Grouping:** Múltiplas variáveis devem ser arranjadas em grupos
- **Order:** Todas as soluções se encontram dispostas no cromossomo. O algoritmo altera a ordem dos alelos no cromossomo. Por ser um problema de permutação, há um crescimento muito abrupto à medida que novas variáveis são inseridas.
- **Budget:** Similar ao método da receita, porém a soma das variáveis deve ser manter constante.
- **Project:** Similar ao order, com o diferencial que certos itens devem atender restrições de precedência.

- **Scheduling:** Similar ao grouping, porém as variáveis devem atender à restrições de janela de eventos: junto de, não pode estar junto de, antes, em, não antes, não depois, não em e depois de.

Restrições

São três tipos de restrições:

- **Hard:** restrições mandatórias

- **Soft:** restrições desejáveis podem ser relaxadas através da adição penalidades. Penalidades são somadas se a função objetivo for do tipo min, e são subtraídas, caso a função objetiva for de máx.

- **Range:** especifica o domínio dos valores das variáveis

Fonte: Palisade (2009)

Anexo V - Tabela de Tukey

Anexo VI - Resultados dos testes de escolha de SFC

População 100, taxa de *crossing-over* 0.60 Taxa de Mutação 0,005

População 100, taxa de *crossing-over* 0.60 Taxa de Mutação 0,010

População 100, taxa de *crossing-over* 0.60 Taxa de Mutação 0,050

População 100, taxa de *crossing-over* 0.60 Taxa de Mutação 0,100

População 30, taxa de *crossing-over* 0.95 Taxa de Mutação 0,005

Grefenstette :Taxa de Mutação de 0,005 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.95 Taxa de Mutação 0,010

Grefenstette: Taxa de Mutação de 0,010 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.95 Taxa de Mutação 0,050

Grefenstette: Taxa de Mutação de 0,050 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.95 Taxa de Mutação 0,100

Grefenstette: Taxa de Mutação de 0,100 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.75 Taxa de Mutação 0,005

Schaffer: Taxa de Mutação de 0,005 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.75 Taxa de Mutação 0,010

Schaffer: Taxa de Mutação de 0,010 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.75 Taxa de Mutação 0,050

Schaffer: Taxa de Mutação de 0,050 (Continuação)

População 30, taxa de *crossing-over* 0.75 Taxa de Mutação 0,100

Schaffer: Taxa de Mutação de 0,100 (Continuação)

Parâmetros do Teste de Hipótese

Anexo VII - Resultados das alternativas propostas

Teste 1: Minimização de custo de dutos e irregularidades com unidades fantasmas.

Teste 2: Minimização de custo de dutos e irregularidades sem unidades fantasmas.

Teste 3: Minimização irregularidades com unidades fantasmas.

Teste 4: Minimização irregularidades sem unidades fantasmas.

Teste 5: Minimização de custo de dutos com uso de unidades fantasmas.

Teste 6: Minimização de custo de dutos sem unidades fantasmas.