

## 5

### Detalhamento da solução

Partindo das equações estabelecidas no capítulo 3 e da técnica de otimização definida no capítulo 4, chega-se a uma solução concreta para o problema que será detalhado nesse capítulo.

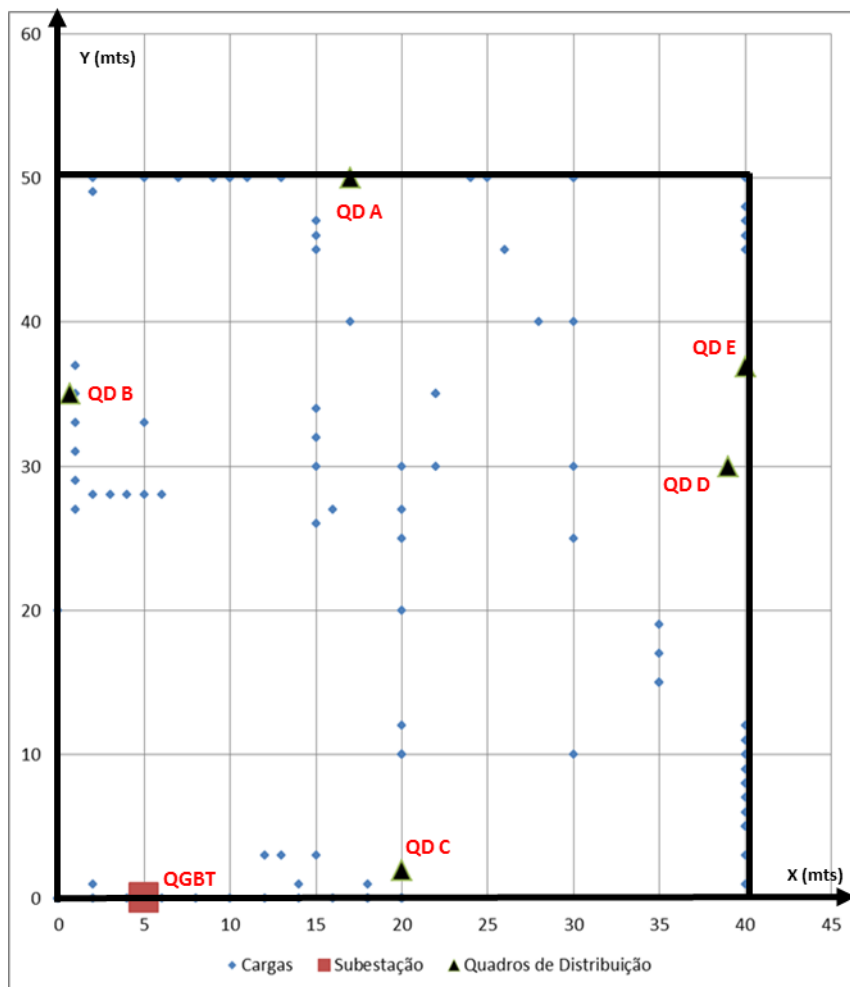
#### 5.1.

##### Modelagem do algoritmo genético

A implementação do algoritmo genético foi realizada no ambiente do aplicativo Evolver 6.2.1 em uma versão de teste disponibilizada pelo seu fabricante. Esse aplicativo faz parte de um conjunto de *add-ins* denominado *Decision Tools Suite* (DTS) desenvolvido pela *Palisade Corporation* para uso com o Microsoft Excel 2003 e versões mais recentes.

O aplicativo possui uma interface intuitiva e de fácil navegação, através de janelas para a configuração do modelo, do algoritmo genético propriamente dito, de suas restrições e dos relatórios emitidos. Os resultados são adequadamente reportados através de gráficos e tabelas com informações detalhadas do processo de otimização realizado.

Além dessa ferramenta, no mesmo ambiente Excel, foi preparada uma interface gráfica animada usando um gráfico de dispersão que mostra, em tempo real, as posições testadas dos quadros de distribuição e da subestação ao longo da planta na medida em que o processo de otimização evolui. Na figura a seguir é apresentada a interface gráfica mostrando a área da planta industrial com o posicionamento das cargas (fixas), dos quadros de distribuição e da subestação (móveis).



**Figura 1 - Interface gráfica.**

A modelagem do algoritmo genético utilizado foi a seguinte:

- Representação: real com 2 casas decimais para apresentar as posições dos diversos elementos (quadros de distribuição, cargas, etc.);
- Cromossoma: conjunto de posições dos “n” quadros de distribuição da instalação assim como a posição da subestação;
- Função de Avaliação: a função que avalia a aptidão da solução proposta pelo algoritmo genético é a equação (6) descrita anteriormente no item 3.3.1, que calcula o custo total dos cabos decorrentes das posições definidas para os quadros de distribuição e para a subestação;
- Restrições:

- adotada uma restrição configurável de afastamento máximo dos quadros de distribuição das paredes que determinam o perímetro da área;
  - considerado que a subestação deveria estar posicionada em uma das paredes externas assumindo  $y = 0$  e  $X$  variável;
  - limitado o posicionamento dos quadros de distribuição à área interna da instalação.
- Crossover: utilizado crossover uniforme a uma taxa de 0,8.
  - Mutação: o operador mutação foi configurado a uma taxa elevada de 0,25 visando forçar o algoritmo a testar soluções em várias áreas do espaço de busca.

## 5.2.

### Metodologia para alocação inteligente

A partir da base teórica e das simplificações e premissas explicadas até aqui, pode-se estabelecer uma metodologia para a alocação inteligente dos quadros de distribuição em baixa tensão que seja de fácil aplicação no ambiente dos projetos elétricos e traga resultados efetivos no que diz respeito a otimização de custos.

Essa metodologia foi pensada para o uso de algoritmos genéticos através do aplicativo Evolver 6.2.1 conforme explicado no item 4.1.

A seguir listam-se as etapas que definem o método:

#### Premissas

- a. As cargas possuem posicionamento fixo;
- b. Os preços dos cabos elétricos são fixos;
- c. O custo do projeto de baixa tensão se resume ao custo dos cabos elétricos;
- d. Definição da referência original de posicionamento dos quadros de distribuição e da subestação cujo custo será comparado ao custo resultado do posicionamento definido pela alocação inteligente;

Etapas 1: Levantamento de dados

1. Definir as dimensões totais da área sobre a qual serão distribuídas as cargas, os quadros de distribuição e a subestação ou quadro geral de baixa tensão;
2. Definir as restrições ao uso da área definida no item 1, junto ao usuário final estabelecendo os espaços onde se permite a instalação dos quadros de distribuição e da subestação;
3. Definir as características elétricas das cargas assim como seu posicionamento dentro da área estudada;
4. Cotar no mercado local os cabos elétricos definidos no item 7, definindo seu custo por metro linear;

#### Etapa 2: Projeto Elétrico

5. Definir as restrições ao uso da área definida no item 2, a luz da NBR5410, estabelecendo os espaços viáveis para a instalação dos quadros de distribuição e da subestação;
6. Definir quantos quadros de distribuição serão utilizados e quais circuitos comporão cada um deles;
7. Especificar os cabos necessários para atender os alimentadores das cargas e os alimentadores gerais dos quadros de acordo com os critérios da NBR5410;

#### Etapa 3: Modelo Matemático

8. Definição da função de aptidão do algoritmo genético baseado nas equações 1,2 e 3 do item 3.3.1, adaptando-as a entrada de dados do aplicativo Evolver 6.2.1;
9. Definição matemática das restrições de posicionamento definidas pelos itens 2 e 5 dessa metodologia adaptando-as a entrada de dados do aplicativo Evolver 6.2.1;
10. Definição das configurações típicas a serem testadas variando o número de tentativas e o tamanho da população de forma a obter o melhor desempenho do algoritmo genético;
11. Configuração dos demais parâmetros do algoritmo genético conforme as janelas de configuração do aplicativo Evolver 6.2.1<sup>1</sup>;

---

<sup>1</sup> A configuração recomendada é:

- Taxa de cross-over = 0,8
- Mutação = 0,25
- Mudança Máxima = 0,01%
- Operadores: Cross-Over, Mutação, Seleção de Pais e Backtrack
- Semente Inicial: automática

12. Configuração do solucionador de restrições do aplicativo para a geração de valores iniciais aleatórios que atendam às restrições definidas, conforme a janela de configuração específica do aplicativo;
13. Simulação de um número igual ou superior a 20 tentativas<sup>2</sup> para cada uma das configurações típicas definidas no item 10 calculando o valor médio e o desvio padrão dos resultados alcançados para cada configuração típica;

#### Etapa 4: Avaliação dos resultados e ajuste

14. Avaliação da aderência do resultado a realidade em termos de posicionamento. Caso seja necessário aperfeiçoar as restrições definidas;
15. Avaliação da redução de custo em relação ao posicionamento original definido pela premissa “d”;
16. Análise de sensibilidade pela variação na composição de circuitos dos quadros de distribuição que estejam contribuindo mais significativamente para o custo total, avaliando a possibilidade de subdividi-los em dois ou mais quadros novos ou agrupá-los em outros quadros já existentes.<sup>3</sup>

### 5.3.

#### Definição das perdas por efeito Joule e emissões de CO<sub>2</sub>

A composição de um quadro de distribuição determina para cada circuito que o compõe, entre outras informações: a bitola (ou seção) do cabo e a corrente nominal a qual aquele circuito estará submetido.

Por outro lado, o posicionamento dos quadros elétricos definidos após a alocação inteligente define para cada circuito a extensão em metros que cada circuito terá.

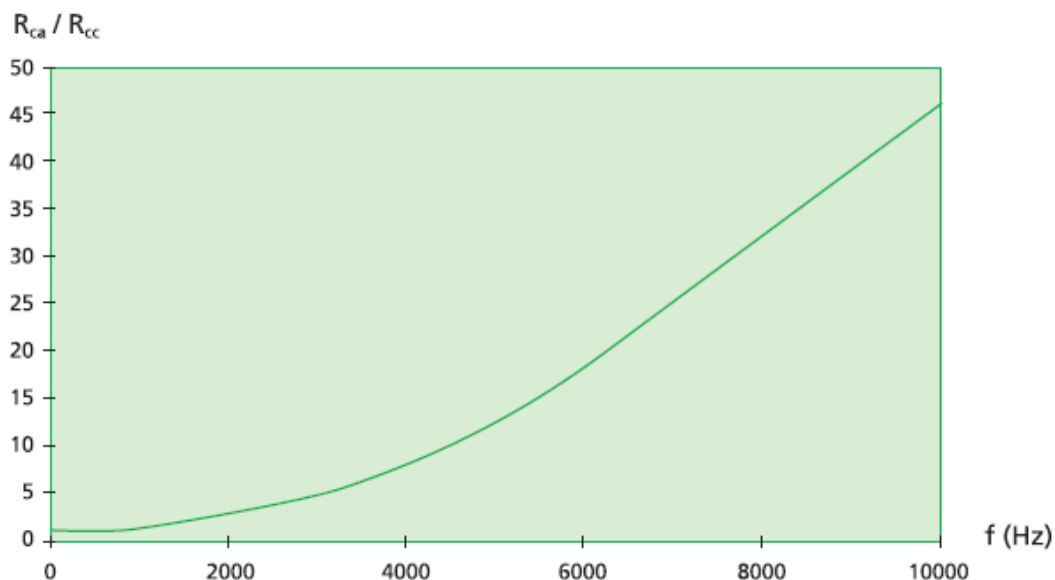
Foram considerados sempre condutores de cobre por serem mais comuns nos circuitos de baixa tensão. Foram usados os valores de resistência por quilômetro de cabos elétricos, em corrente contínua a 20° C informados pelos

---

<sup>2</sup> Dado que os algoritmos genéticos não são algoritmos determinísticos, é preciso um número razoável de tentativas para confirmar os resultados de cada experimento.

<sup>3</sup> Essa avaliação por ser bastante trabalhosa deve ser limitada apenas a situações onde o quadro de distribuição apresente comportamento indefinido, caracterizado por um posicionamento nem muito próximo às cargas nem muito próximo à subestação.

catálogos dos fabricantes. Apesar dos circuitos estarem submetidos a frequência de 60Hz, o efeito pelicular explicado no item 3.4.1 nessa faixa de frequência ainda é muito pequeno como pode-se observar na figura 7 e não haverá um erro significativo adotando a resistência em corrente contínua.



**Figura 2 – Efeito da frequência sobre a resistência.**

Fonte: Moreno, 2010

O regime de funcionamento dos circuitos considerado foi de 5 horas contínuas por dia, durante 20 dias por mês e 12 meses por ano numa tentativa de se aproximar do regime de funcionamento de uma planta industrial.

A partir desses dados, a perda Joule e a emissão  $\text{CO}_2$  evitada foi calculada utilizando-se para tanto as equações 12 e 13 respectivamente, apresentadas anteriormente, em cada alimentador de carga e em cada alimentador geral de cada quadro de distribuição e por fim, foi somada para obter a perda Joule total e as emissões de  $\text{CO}_2$  associadas ao posicionamento definido.