



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GET  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

#### **GRUPO XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA,  
DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO – GET.**

#### **OTIMIZAÇÃO EM TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

**Jairo Rodrigo Corrêa \***

**COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL**

#### **RESUMO**

A rede elétrica de distribuição secundária apresenta variações nas cargas dos consumidores, sejam em aumento ou em redução. Isto acarreta sobrecarga ou subcarga no transformador de distribuição, causando desperdício de recursos, bem como de energia elétrica, e ainda redução na sua vida útil. Por muitas vezes ser complexo redistribuir esta carga ou redimensionar vários transformadores em um trecho de rede, considerando todas as variáveis envolvidas, considerou-se neste trabalho a hipótese de utilizar inteligência artificial através de algoritmos genéticos implementados em um sistema computacional modelado com orientação a objetos para auxiliar nesta tarefa.

#### **PALAVRAS-CHAVES**

Transformadores de Distribuição, Redes Elétricas de Distribuição, Inteligência Artificial, Algoritmos Genéticos.

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

O presente trabalho científico tem como objetivo buscar a otimização dos transformadores de distribuição da concessionária, no que diz respeito ao seu carregamento.

O transformador sobrecarregado além da redução da vida útil apresenta perdas por aquecimento, decorrente de sobrecarga, enquanto quando é subcarregado perde energia a vazio e aumenta reatância indutiva na rede.

Este estudo pretende sugerir substituições entre transformadores de distribuição instalados em rede urbana, que se encontrem mais próximos.

Cada transformador é localizado dentro de um mapa, com coordenadas georeferenciadas, para que durante a otimização sejam buscados os que se encontrem mais próximos, considerando a menor distância entre ambos para ser utilizado como um fator a se considerar nas substituições, bem como alterações nos trechos de redes secundárias.

Isto se torna necessário para dentro do possível poder aproveitar ocasionalmente os mesmos desligamentos na rede elétrica para inverter o posicionamento dos mesmos, evitando o emprego de material adicional e desta forma buscar a redução de desperdícios de energia elétrica, e utilizar os carregamentos de transformadores de distribuição de uma maneira mais próxima à ideal.

O ponto fundamental da solução se encontra no conceito de algoritmo genético, que é uma técnica de busca utilizada para encontrar soluções próximas do ideal, em espaço de tempo o mais reduzido possível.

(\*)Rua Sotero dos Reis, 677 - Bloco 7 - Apartamento 204 - CEP 84045-420 - Ponta Grossa - PR - BRASIL  
Tel.:(042) 3220-2023 - Cel:(042) 8832-1897 - e-mail: jairo.rodriigo@hotmail.com

Tal conceito, dentro das técnicas computacionais foi modelado a partir da Genética, inicialmente com fins de simulação, posteriormente empregado para busca de soluções para problemas de combinação que requeiram otimização.

## 2.0 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

O transformador é um equipamento estático de indução eletromagnética, destinado a transformar um sistema de correntes variáveis em um ou vários outros sistemas de correntes variáveis, de intensidade e tensão, geralmente diferentes, e de frequência igual.

O transformador de distribuição, especificamente, é o transformador que alimenta cargas de baixa tensão (220/127 V ou 254/127 V) através de uma rede de distribuição de média tensão (34,5 kV ou 13,8 kV).

Quando um transformador é sobredimensionado ocasiona além de desperdício do investimento, as perdas indesejáveis a vazio, enquanto que, subdimensionado, fica sujeito a sobrecarga, tendo conseqüências como aquecimento anormal dos enrolamentos, envelhecimento precoce do óleo isolante, desarme constante de proteções, podendo chegar à queima do mesmo.

O ideal é que o carregamento do transformador seja feito de maneira otimizada, considerando as potências instaladas, portanto será o principal elemento da rede elétrica de distribuição a ser submetido ao rearranjo.

## 3.0 REDES ELÉTRICAS DE DISTRIBUIÇÃO

A rede elétrica de distribuição é o conjunto de instalações de distribuição de energia elétrica, com tensão inferior a 230 KV ou instalações em tensão igual ou superior.

Quando nos referimos especificamente à rede secundária, que é nosso foco, temos que é a rede elétrica com tensão de fornecimento em baixa tensão, (Menor que 1000 V).

Quando se encontram fora dos valores normais são necessários projetos e obras de melhorias, que visam introduzir modificações nos trechos de linhas ou redes de distribuição, alterando sua configuração elétrica, e conseqüentemente física, devido ao crescimento de carga ligada ao transformador, dando origem à insuficiência dos condutores aos níveis de carregamento e/ou limites de queda de tensão, deixando-os fora dos valores padronizados.

Através do sistema proposto pretende-se obter soluções otimizadas para estas obras de melhoria, utilizando a inteligência artificial como ferramenta de apoio.

## 4.0 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência artificial é a área da computação que visa obter meios de simular o pensamento do ser humano, especialmente com a finalidade da resolução de problemas.

A origem destes estudos remonta o início da Segunda Guerra Mundial, quando os cientistas Hebert Simon e Allen Newell, dentre outros, inspirados em Matemática, Psicologia e Informática estudaram meios de simular o pensamento, fornecendo as contribuições básicas ao estudo da Inteligência Artificial e criando na década de 50 o primeiro laboratório de inteligência artificial, na Universidade de Carnegie Mellon, na cidade de Pittsburgh, estado da Pensilvânia nos Estados Unidos da América.

Embora já se houvesse a necessidade de simular a capacidade humana de pensar, com a evolução computacional estes estudos foram favorecidos, tendo em vista que o seu desenvolvimento possibilitou maior progresso nesta área.

Dentro do estudo da Inteligência Artificial existem duas maneiras de abordagem, que são a cognitiva e a conexionista.

A cognitiva é aquela que enfatiza a racionalidade como forma de deduzir a inteligência através da lógica embutida em algoritmos, enquanto que a conexionista é aquela que enfatiza, inspirada no funcionamento dos neurônios do cérebro e suas conexões neurais ou sinapses.

Dentre algumas áreas da Inteligência Artificial existem os Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy, Processamento de Linguagem Natural, Redes Neurais e Algoritmos Genéticos, sendo que o último foi utilizado na modelagem do sistema proposto.

## 5.0 ALGORITMO GENÉTICO

O algoritmo genético é uma das técnicas utilizadas na área de inteligência artificial para a resolução de problemas complexos de otimização através de probabilidade e não determinística e por ser inspirado na Genética, daí então a correlação com seus termos específicos.

Foram criados pelo cientista John Henry Holland, autor do livro "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*", no qual discute a capacidade de adaptação de sistemas complexos baseados na evolução biológica.

Podemos resumir o seu funcionamento básico da seguinte maneira:

Um indivíduo é o portador de um código genético particular. Este código genético é uma representação do espaço de possibilidades de soluções do problema a ser resolvido, em geral na forma de conjunto de caracteres que contém codificadas todas as suas particularidades, ou seja, problemas com várias entradas podem combinar em uma única seqüência de bits todo o conjunto dos valores no espaço de busca.

A população é um conjunto de indivíduos, que neste caso representa um conjunto de soluções possíveis. Uma população inicial tem o seu tamanho definido para ser capaz de fornecer a primeira geração de indivíduos.

A função-objetivo é o meio para identificar os indivíduos mais ou menos aptos, por meio de uma nota que é atribuída a ele conforme sua maior ou menor aptidão, ou capacidades de atender as restrições impostas inicialmente pelo algoritmo.

Ela funciona como uma "caixa preta" onde nos preocupamos apenas com o formato das entradas e nos retorna um valor que queremos otimizar. A grande vantagem dos algoritmos genéticos está no fato de não precisarmos saber como funciona esta função-objetivo, apenas criá-la para ser aplicada aos indivíduos.

A reprodução necessita da seleção, cruzamento e mutação para que seja efetiva, e faz com que a busca embora composta por valores aleatórios, se torne dirigida.

A seleção é uma parte do algoritmo na qual é feita a escolha aleatória como forma de conseguirmos escolher pais mais bem adaptados, entretanto sem deixar de lado os menos adaptados. Normalmente, usa-se o algoritmo de seleção por "roleta", onde os indivíduos são ordenados de acordo com a função-objetivo e lhes são atribuídas probabilidades decrescentes de serem escolhidos. Basicamente o seu objetivo é que as melhores características encontradas até o momento passem as gerações posteriores, orientando desta forma a busca.

O cruzamento é um processo que imita o processo biológico da reprodução sexuada: os descendentes recebem em seu código genético, parte do código genético do pai, parte do código da mãe. Esta recombinação garante que os melhores indivíduos sejam capazes de trocar entre si as informações que os levam a ser mais aptos a sobreviver. Assim os descendentes serão ainda mais aptos. Este cruzamento pode ocorrer em um ou mais pontos e tem como objetivo levar as partes dos códigos genéticos melhores adaptados às gerações futuras.

A mutação é feita com probabilidade a mais baixa possível, e tem como objetivo permitir maior variabilidade genética na população, impedindo que a busca fique limitada. Ela atua pela alteração de um dos genes escolhido aleatoriamente, recebendo um valor também aleatório.

Os parâmetros do algoritmo ainda necessitam de alguns ajustes específicos, como taxa de mutação, tipo de cruzamento e método de seleção, que são feitos de acordo com a situação ou problema de otimização a ser resolvido.

ESQUEMA SIMPLIFICADO DE FUNCIONAMENTO DE UM ALGORITMO GENÉTICO:

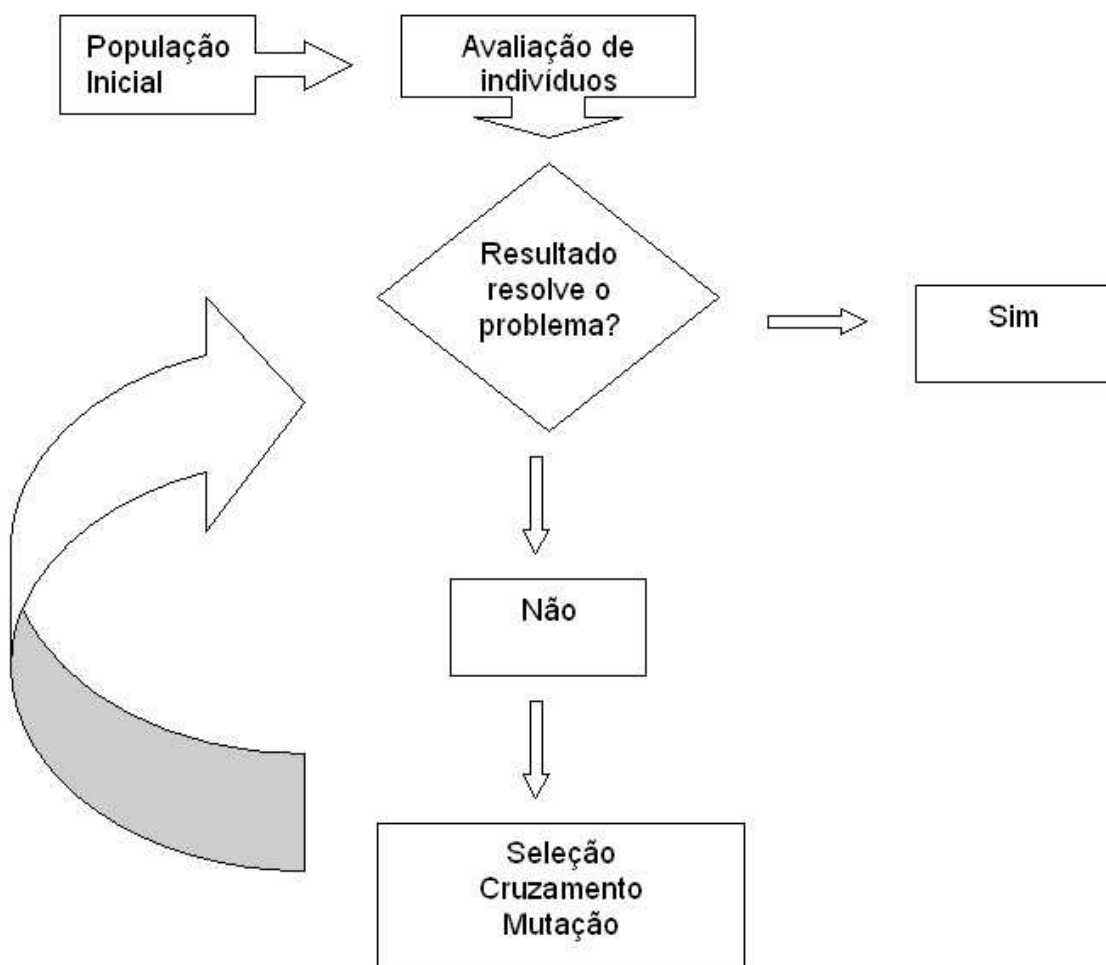


Figura 1

## 6.0 OTIMIZAÇÃO EM CARREGAMENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

Durante o projeto do sistema foram levantados dez requisitos de software que necessitam ser atendidos durante a criação do sistema para atender ao processo, conforme segue:

1 – Seleção do trecho de rede: É selecionado na forma de polígono, um trecho de rede secundária existente, com transformadores que o alimenta, para ser otimizado. É um requisito funcional e não depende de nenhum outro.

2 - Cadastro de postes: É feito um cadastro dos postes da rede de distribuição secundária, do polígono selecionado, com as informações: código, carga instalada, coordenada x, coordenada y e transformador. É um requisito funcional e depende do primeiro.

3 – Soma de cargas: O sistema soma as cargas dos postes, totalizando a carga total do polígono selecionado, através da soma das cargas dos postes. Exemplo: 1500 kVA. É um requisito funcional e depende do primeiro.

4 – Seleção de potências de transformadores: São selecionadas as potências dos transformadores de distribuição que poderão ser utilizados. Exemplo: 45 kVA e 75 kVA. É um requisito funcional e não depende de nenhum outro.

5 – Quantidade de transformadores: Também é definida a quantidade mínima e máxima de transformadores de distribuição a serem utilizados no polígono selecionado. Exemplo: 15 a 20 transformadores. É um requisito funcional e depende do quarto.

6 – Carregamento de transformadores: É definido o carregamento mínimo e máximo ideais para cada transformador a ser escolhido pelo sistema. Exemplo 100 a 140 % de carregamento. É um requisito funcional e depende do quarto.

7 – Queda de tensão dos condutores: Os condutores são considerados inicialmente serão quadruplex com bitola 75 mm<sup>2</sup> e o seu coeficiente de queda de tensão 0,0842 ou, 120 mm<sup>2</sup>, com coeficiente de queda de tensão 0,0618. É um requisito funcional e depende do oitavo.

8 – Queda de tensão nos trechos: A queda de tensão admissível é definida inicialmente como 5% no trecho de cada transformador. É um requisito funcional e não depende de nenhum outro.

9 – Designação de cargas por transformador: A designação de cargas por transformador é feita através de pontos médios encontrados entre transformadores, que definem daí o polígono do qual fazem parte a carga instalada, por poste, fazendo daí parte de seus atributos. É um requisito funcional e depende do quarto.

10 – Otimização: A cada indivíduo, ou solução, criado aleatoriamente avaliado por queda de tensão média dentro de todo o trecho, bem como pelo carregamento médio de todos os transformadores do trecho, sendo selecionados os com melhor aptidão para a próxima geração e assim por diante. É um requisito não funcional e não depende de nenhum outro.

As funcionalidades apresentadas no diagrama de caso de uso têm como responsáveis o projetista e o sistema, tendo em conta que definidas as restrições ele atuará automaticamente:

Daí são obtidas as principais classes do sistema manipuladas pelo projetista são apresentadas no diagrama abaixo que se referem aos elementos principais: polígono, trecho, poste, transformador e condutor.

## DIAGRAMA DE CASOS DE USO:

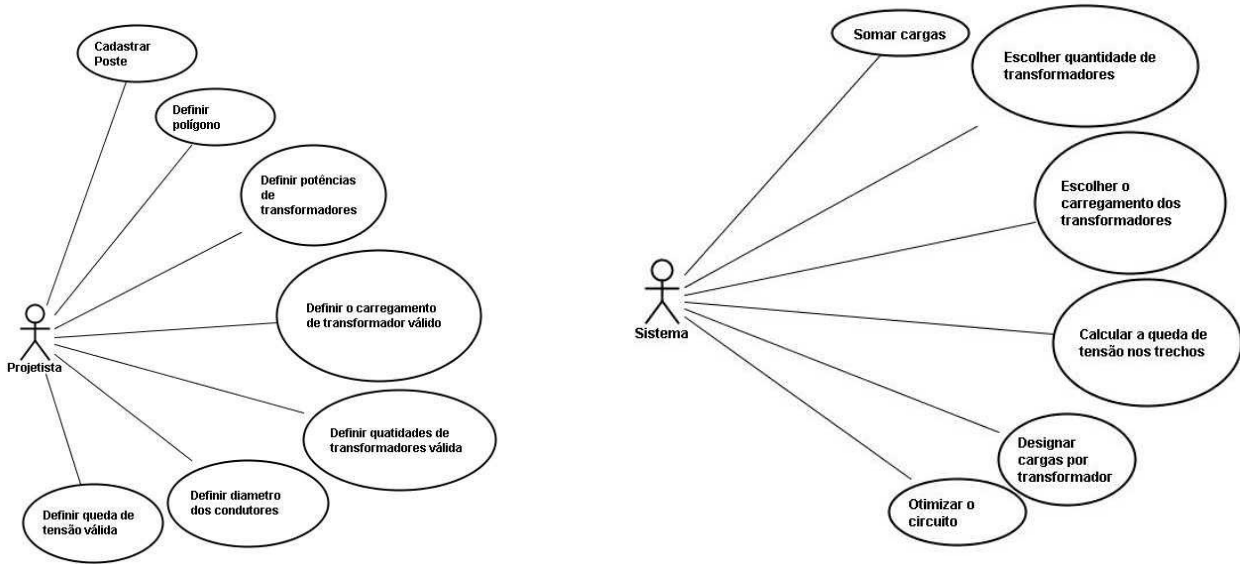


Figura 2

## DIAGRAMA DE CLASSES:

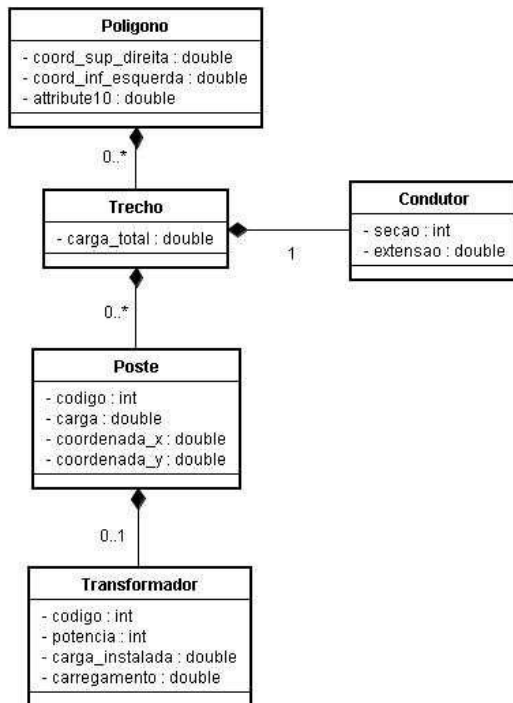


Figura 3

## 7.0 CONCLUSÕES

O sistema apresentou o resultado esperado, considerando as limitações de hardware e o objetivo proposto.

A análise e a implementação foram feitos isoladamente ao sistema da empresa, utilizando linguagem Java, o banco de dados MySQL, a ferramenta desenvolvimento Eclipse e a ferramenta de modelagem JUDE, para a parte de UML.

Foram inclusos ainda testes feitos para traduzir o código para a linguagem Autolisp, com a finalidade de desenhar automaticamente a solução proposta, contendo todos os trechos de rede com seus postes, transformadores e condutores, dentro do software Autocad, por exemplo.

As camadas trabalhadas foram somente as de aplicação e de dados, deixando de lado a camada de interface, em virtude do tempo que seria demandado, podendo esta última fazer parte de uma próxima seqüência do projeto.

As soluções obtidas em um tempo de cálculo relativo satisfizeram as necessidades da rede em questão, no que se refere à melhoria da rede elétrica de distribuição, porém existe a necessidade de repetir os testes no ambiente de grandes servidores. Para verificar se seria uma solução efetiva para ser anexada ao sistema real em uma empresa.

## 8.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) LINDEN, R. Algoritmos genéticos. Brasil.
- (2) EISENMANN, A. L. K. Tecnologia da Computação. Brasil.
- (3) RAMOS, R. A. Treinamento prático em UML. Brasil.
- (4) BORATTI, I. C. Programação orientada a objetos utilizando Java. Brasil.

## 9.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Jairo Rodrigo Corrêa

Nascido em Ourinhos, SP em 8 de novembro de 1974.

Especialista em Engenharia de Software (2008) na PUCPR, graduado em Tecnologia em Processamento de Dados (2006) na FATEC/SP, Graduando em Licenciatura em Física (previsto 2010) na UEPG.

Co-autor do trabalho "Uso de Algoritmo Genético no escalonamento de veículos de transporte coletivo urbano" no 14º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP.

Empresa: COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica

Atua no Setor de Projetos e Obras de Ponta Grossa – HSDCDPO/SPOPGO.