

Uma Abordagem para Automação de Projetos de Redes de Distribuição de Energia Elétrica

V.J. Garcia, J.F.V. González, P.M. França, C. Lyra - UNICAMP
C. Cavellucci - THOTH SOLUTIONS e
F. Bassotelli - CPFL

Resumo— O objetivo deste artigo é apresentar o detalhamento das técnicas e algoritmos propostos ao Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para projetos de redes de distribuição. O processo de projetar redes de distribuição é apresentado, destacando sua complexidade e a necessidade de diversas habilidades e conhecimento. Propõe-se um modelo para automação de projetos, que estabelece as bases da automação de projetos de redes. São discutidas as técnicas de otimização utilizadas para tratar o problema de projetar a rede secundária, incluindo sua interligação com a rede primária. É apresentada uma abordagem por sistema especialista para determinar os detalhes construtivos dos projetos, usando as regras de engenharia existentes nas normas da empresa. A implementação do projeto é estabelecida por regras para definição dos roteiros. Os módulos do SAD são detalhados, especificando os requisitos para seu desenvolvimento

Palavras-chave — projeto de redes, rede distribuição, sistema de apoio à decisão.

I. INTRODUÇÃO

Projetar redes de distribuição é tarefa que exige a reunião de diversas habilidades e conhecimentos que, para resultar em um projeto final, precisa fazer uso de normas técnicas, procedimentos empíricos, julgamento, bom senso, cálculos e uma quantidade considerável de dados. Por esta razão, esta é uma tarefa complexa e demorada. Iniciando pelas normas técnicas, observa-se que é por meio delas que se estabelecem os procedimentos técnicos e critérios básicos para assegurar as condições técnicas necessárias ao funcionamento do sistema de distribuição e adequar a qualidade de fornecimento exigida pelos órgãos reguladores e de fiscalização. Além disso, elas estabelecem os níveis de segurança compatíveis com as necessidades operacionais da rede. Além das normas técnicas específicas, existem várias outras que complementam ou detalham assuntos pertinentes ao projeto, somando grande quantidade de informação a ser usada, estudada e interpretada pelos projetistas.

Os procedimentos e critérios são aplicados em projetos de construção de alimentadores, extensões de rede primária e secundária, ou ainda, em reformas ou melhorias das redes de distribuição. São também utilizados em ligações novas, aumentos de carga, instalações de iluminação pública e ligações provisórias, assim como, na construção de redes novas em núcleos habitacionais e loteamentos.

Os projetos de rede devem observar o planejamento básico para atender ao crescimento de carga de cada local, ou região. Devem também considerar aspectos estéticos, ecológicos e sociais sem, no entanto, comprometerem a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Todos esses fatores,

com maior ou menor grau, competem entre si, exigindo dos projetistas uma complexa busca por soluções de compromisso.

Este trabalho propõe uma abordagem de automação de projetos de redes aéreas de distribuição primária e secundária. O artigo está organizado da seguinte maneira: a próxima seção define e caracteriza o problema de automação de projetos de redes de distribuição; a seção III apresenta uma proposta de modelo para automação de projetos de rede; a abordagem adotada é discutida na seção IV; a seção V detalha a arquitetura do sistema de apoio à decisão e uma discussão sobre a pesquisa realizada e desdobramentos futuros são apresentados na seção VI.

II. PROJETO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O processo para elaboração do projeto de rede de distribuição inicia pela classificação do tipo de projeto a ser realizado, considerando as características próprias de cada um deles. O tipo de projeto definido, é executado o levantamento de campo. Este levantamento tem o objetivo de legitimar os dados registrados em mapas e cadastrados em sistemas de informação; verificar as condições físicas dos elementos das redes primárias e secundárias; avaliar os tipos de carga e as condições físicas existente do local do projeto. O projetista, de posse destes dados, planeja as ações que devem ser executadas e obtém uma alternativa de engenharia para o projeto. Essa alternativa pode ou não ser aceita ou não. No caso de rejeição, o processo é reiniciado na etapa de planejamento ou o projeto é abortado. A Figura 1 mostra as etapas deste processo.

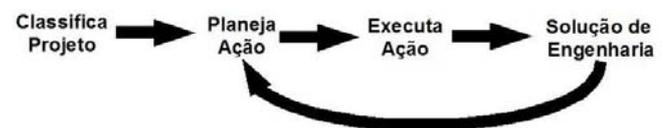


Figura 1. Processo de elaboração de projetos de redes de distribuição.

A solução de engenharia consiste no detalhamento construtivo dos elementos da rede de distribuição como postes, cruzetas, amarrações, fixações, estais, transformadores, chaves, cabos, banco capacitores, entre outros. Todos estes elementos devem ser inseridos no projeto respeitando as restrições mecânicas, para obter-se uma rede de distribuição que atenda os requisitos do projeto e seja estruturalmente estável.

A elaboração do projeto mesmo considerando, rigorosamente, os padrões de construção de redes de distribuição, as

soluções de engenharia obtidas variam, dependendo do projetista que elaborou. Esta variação deve-se a experiência do projetista, do bom senso, do conhecimento técnico, que são empregados. Não existindo na literatura formulação matemática que represente este problema, e portanto, uma técnica que resolva este problema, a solução desse problema apóia-se em técnicas desenvolvidas da computação inteligente.

Na seção seguinte apresenta-se uma proposta de modelo para automatizar o processo de elaboração de projetos de rede de distribuição.

III. PROPOSTA DE MODELO PARA AUTOMAÇÃO DE PROJETO

As etapas do processo de elaboração de projetos de rede de distribuição podem ser resumidas em duas fases *Classificação do Projeto* e *Especificação do Projeto*, conforme ilustra o diagrama apresentado na Figura 2. Estas fases são conduzidas independente da complexidade do projeto, desde a simples ligação de um consumidor até a elaboração da rede elétrica numa expansão do sistema.

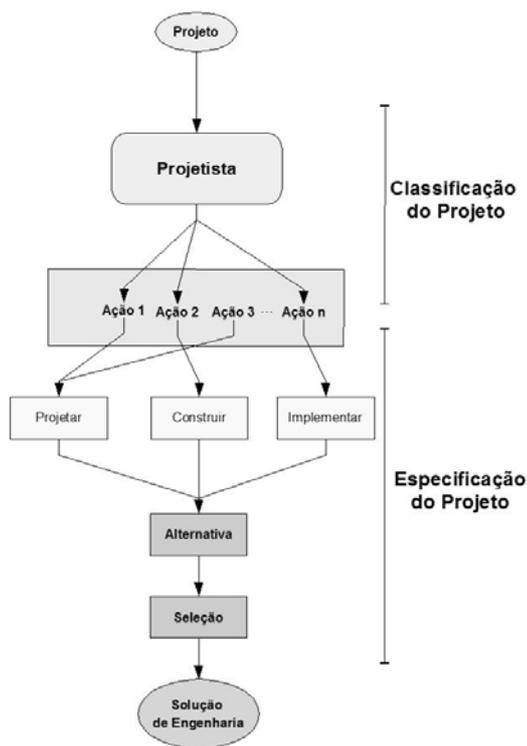


Figura 2 Modelo para automação de projetos de rede de distribuição

A fase *Classificação do Projeto* distingue os vários tipos de projetos a serem especificados. Estes tipos são definidos considerando as características básicas do projeto, resultados de projetos anteriormente elaborados, experiência do projetista, normas e padrões da empresa. Frequentemente, o projetista usa seu bom senso em casos onde uma solução de compromisso é necessária.

A fase seguinte, *Especificação do Projeto*, compreende a

execução dos procedimentos adequados a cada tipo de projeto. Os procedimentos resumem-se no encadeamento das atividades de projetar, construir e implementar, com o objetivo de definir alternativas de soluções de engenharia e, posteriormente, indicar da solução que melhor se adequa aos requisitos do projeto.

Os tipos de projetos são baseados no motivo principal da sua realização [1], seja para adequar tecnicamente as redes ou para expandi-las com o objetivo de atender a solicitação de clientes e do crescimento do mercado. São eles: ligação de clientes, núcleos habitacionais e loteamentos novos, melhoria na rede de distribuição, iluminação pública, projetos de alimentadores e ramais.

As ligações de clientes incluem todas as ligações isoladas dos diversos tipos de clientes da CPFL. Há uma subdivisão bem própria: ligação de novos clientes e mudança de local do consumidor existente, com ou sem aumento de carga. No primeiro caso pode incluir a extensão da rede primária para atendimento de consumidores comerciais e industriais que requeiram fornecimento em média tensão, além das ligações de edificações coletivas. Clientes residenciais ou alguns tipos de consumidores comerciais pode requerer a extensão da rede secundária. No segundo, inclui somente clientes com baixo consumo, restritos à rede secundária.

Projetos de melhoria nas redes de distribuição são para modificar a rede significativamente, alterando sua configuração física e/ou elétrica para atender o crescimento de carga na área, eliminando deficiências técnicas e mantendo os níveis de qualidade; inclui também reforços das estruturas para suportar os esforços devido a ocupação de terceiros.

Os projetos do tipo núcleo habitacional e loteamentos é prevista a extensão da rede primária e a construção da rede secundária para ligação de um conjunto de novos consumidores residenciais ou comerciais. Projetos de núcleos habitacionais consideram todas as casas prontas, com ocupação imediata, enquanto que os projetos de loteamentos devem permitir a construção parcial das redes, a expansão é determinada pela evolução da demanda de pedidos de ligação, isentos de custos adicionais para os clientes.

O objetivo dos projetos de iluminação pública é atender as solicitações para instalação de matérias de iluminação pública.

Todas as ações nos projetos de alimentadores e ramais estão restritas à rede primária. Compreendem a construção de alimentadores expressos não exclusivos, alimentadores a partir de subestações rebaixadoras, alimentadores para energização em localidades que não possuem subestações ou alimentadores suporte para aliviar ou dividir cargas de circuitos sobrecarregados. Também está prevista a construção de ramais primários para energização de transformadores

Este trabalho propõe a automação assistida da fase *Especificação do Projeto*, deixando a *Classificação do Projeto* para ser elaborada pelo projetista. Os projetos de alimentadores pressupõem o fornecimento dos dados do planejamento da rede primária e os de iluminação pública resumem-se em definir ligações e fixações.

IV. METODOLOGIA DE ABORDAGEM

A abordagem metodológica adotada neste trabalho é disponibilizar para o projetista um conjunto de ferramentas, cada qual específica para um determinado tipo de projeto e capaz de fornecer uma proposta de solução compatível com as normas de projeto e de menor custo possível. Para exemplificar e tomando o caso de projetar um loteamento novo, a ferramenta deve auxiliar o projetista a elaborar um projeto completo de energização, compreendendo entre outras coisas um projeto detalhado da rede secundária e de sua interligação com a rede primária existente. Esta proposta deve especificar a locação de postes, a localização e a capacidade dos transformadores de distribuição, o traçado dos circuitos secundários, a melhor forma de interconexão à rede primária de alimentação existente, o balanceamento da carga entre as fases, definição das estruturas padronizadas e definição do sistema de iluminação pública. Em um nível mais refinado, a proposta de projeto deve definir os melhores tipos de cabos, de postes e de transformadores; deve também especificar as amarrações, fixações, conexões e ramais, executando os cálculos elétricos (tensão, corrente e perdas) e mecânicos necessários. A Figura 3 ilustra o conjunto de ferramentas a ser disponibilizadas ao projetista.

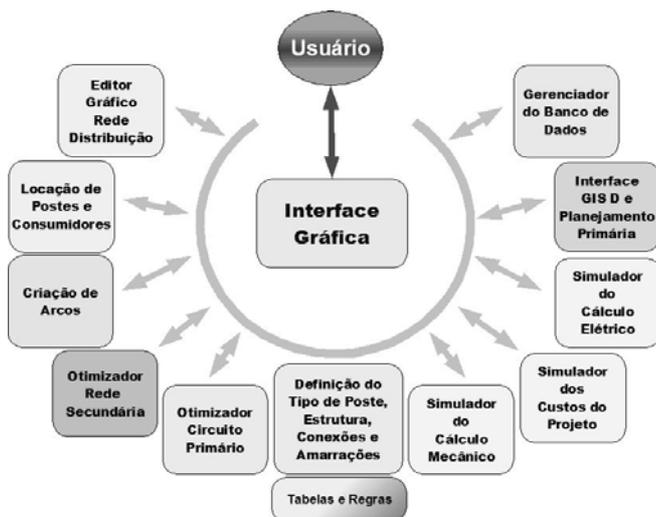


Figura 3. Conjuntos de Ferramentas Computacionais

Em conseqüência das necessidades práticas, requisitos desejáveis e das circunstâncias envolvendo a área de projeto, é conveniente conceber a estrutura do sistema a ser desenvolvido como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) [1].

Desde algumas décadas, popularizou-se a expressão SAD para designar todo sistema computacional usado para auxiliar usuários a resolver problemas permitindo-lhes o acesso e o uso de conjuntos de dados e modelos analíticos. Em geral os SAD encontram maiores aplicações em problemas que não são de todo estruturados, tendo-se que, para a sua adequada solução, lançar mão de mecanismos recursivos que propiciem a busca e a seleção das mais apropriadas alternativas que resolvem o problema [3]. Dentre as muitas características desejáveis dos SAD, é possível citar:

- Uso de interfaces homem-máquina

- Facilidade de uso
- Habilidade em combinar modelos analíticos com dados de um modo flexível
- Capacidade em explorar o espaço de soluções e apresentar um conjunto de alternativas
- Solucionar problemas de forma interativa e recursiva

Segundo Miranda, Ferreira, Gusmão e Almeida [4] a construção de um SAD justifica-se pelas seguintes características: a complexidade do processo decisório, a interação existente entre o SAD e o usuário, a possibilidade do decisor focar sua atenção no problema e não nos métodos de resolução, fornecimento rápido de respostas e a possibilidade de geração de cenários que proporcionarão ao usuário a vantagem de analisar diversas alternativas de solução do problema.

A proposta metodológica de utilizar o paradigma dos SAD para desenvolver o sistema para automação de projeto parece ser a mais adequada na medida que um SAD oferece aos técnicos projetistas ambientes gráficos e analíticos que facilitam seu trabalho, sem porém desprezar o conhecimento e as práticas adquiridas pela experiência.

É importante salientar que os aspectos mais relevantes que influenciaram na escolha do padrão SAD são suas características de flexibilidade e interatividade. Estes aspectos são essenciais nas atividades de projeto de redes, visto que um projeto é construído em etapas seqüenciais nas quais o projetista freqüentemente precisa usar o seu poder de julgamento, intervindo, modificando e retornando a etapas prévias até conseguir chegar a um projeto satisfatório.

A seção a seguir detalha os componentes de um SAD e a arquitetura do SAD para projetos de redes de distribuição de energia elétrica.

V. ARQUITETURA DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

O conceito original de Sistema de Apoio à Decisão foi definido por Gorry e Scott-Morton [6], que integraram as categorias de atividade gerencial de Anthony [7] e a descrição dos tipos de decisão de Simon [8]. Para Anthony a atividade gerencial é constituída de: planejamento estratégico (envolve as decisões relacionadas às metas e missões da empresa, normalmente com horizonte de tempo maior); controle gerencial (envolve a utilização eficiente de recursos em um horizonte de tempo não muito distante) e controle operacional (envolve a distribuição efetiva dos recursos na forma prevista pelo controle gerencial em um horizonte de tempo praticamente imediato). Simon descreve os problemas de decisão de acordo com seu grau de estruturação, como: programados (rotineiros, repetitivos, bem estruturados, fáceis de resolver) e não-programados (novos, mal estruturados, difíceis de resolver); e resume o processo de tomada de decisão em três fases: Inteligência (definição e classificação do problema); Elaboração (desenvolvimento de alternativas) e Escolha (avaliação das alternativas e escolha de uma para ser implementada).

Gorry e Scott-Morton [6] passaram a utilizar os termos estruturado, semi-estruturado e não-estruturado para classificar a natureza dos problemas de decisão e definiram SAD como um sistema de informação para apoiar um decisor face

a problemas onde pelo menos uma das fases é semi-estruturada ou não-estruturada [9].

Ferramentas SAD compreendem componentes para:

- capacidade de gerenciamento de banco de dados sofisticados com acesso a dados internos e externos, informação e conhecimento;
- funções de modelagem poderosas acessadas por um sistema gerenciador de modelos;
- interfaces com o usuário simples e poderosas que permitam consultas interativas, relatórios e funções gráficas.

Estes componentes estão organizados numa arquitetura composta de uma base de dados, uma base de modelos e uma interface (diálogo) com o usuário [2]. Na Figura 4 pode ser visualizada a relação entre os elementos da arquitetura de um SAD.

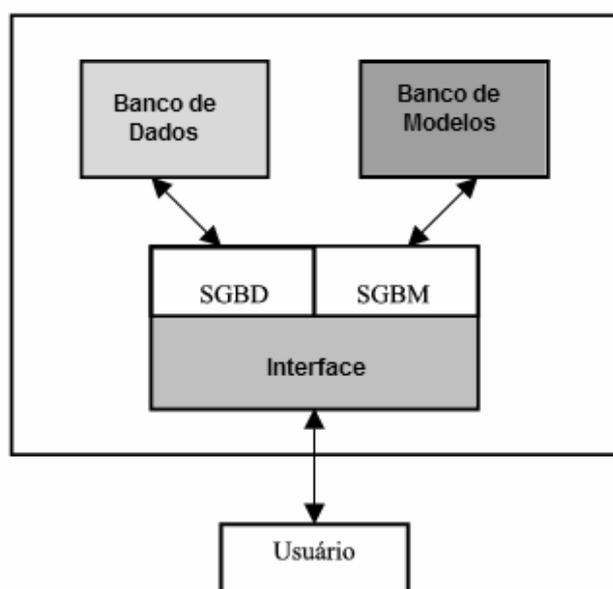


Figura 4. Arquitetura de um SAD

A base de dados é responsável pelo armazenamento, que pode ser local ou remoto, de dados consistentes importantes para o processo de tomada de decisão. Os dados relevantes são modelados, extraídos, armazenados e controlados por um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), de forma a garantir a sua segurança, integridade e consistência. Algumas das características requeridas em um SGBD são:

- habilidade de combinar uma variedade de dados através de processos de captura e extração;
- habilidade de adicionar e remover dados de forma rápida e simples;
- habilidade de controlar uma ampla variedade de dados utilizando para tal um conjunto completo de funções de gerenciamento.

A base de modelos é construída através de uma série de elementos e suas relações. Um Sistema Gerenciador de Banco de Modelos (SGBM) armazena os modelos e controla os aspectos de integridade e segurança. Algumas das características requeridas em um SGBM são:

- habilidade para criar novos modelos rapidamente e de forma simples;

- habilidade de catalogar e manter uma ampla variedade de modelos, dando suporte a todos os níveis de gerenciamento;
- habilidade de inter-relacionar os modelos com o banco de dados;
- habilidade de acessar e integrar modelos.

A interface é definida como uma combinação de software/hardware/pessoas, que permite uma interação entre o usuário e o SAD. Trata-se de um componente muito importante, visto que a maior parte da flexibilidade e da interação amigável de um SAD deriva de uma interface bem projetada. Uma interface de qualidade deve ser simples e funcional.

A Figura 5 apresenta a arquitetura geral proposta para o SAD de projetos de redes.

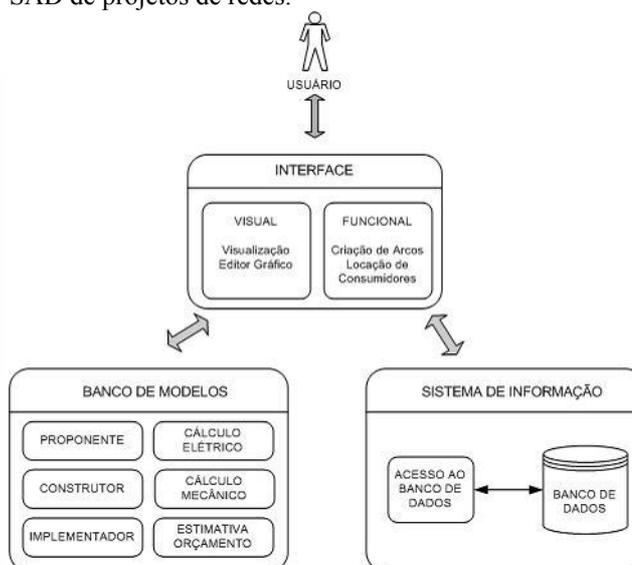


Figura 5. Arquitetura do Sistema de Automação de Projetos

A interface, como na arquitetura geral de um SAD, tem como objetivo proporcionar a interação entre o usuário e o SAD. Essa interação é tratada pelas funções de visualização e edição gráficas, ambas pertencentes ao módulo visual. O módulo funcional inclui funções básicas utilizadas na preparação dos dados de entrada do sistema – criação de arcos e localização de consumidores.

O sistema de informação compreende o banco de dados, que armazena dados sobre os projetos as serem especificados, e o módulo de acesso ao banco de dados, responsável pelas consultas e atualizações.

O banco de modelos é composto pelos módulos proponente, construtor, implementador, cálculo elétrico, cálculo mecânico e estimativa de orçamento. O módulo proponente define a instalação de transformadores de distribuição e os traçados dos circuitos primários (ramal) e secundários. O construtor estabelece as características construtivas de cada um dos elementos da rede de distribuição (poste, estruturas, amarrações, fixações, etc...). O módulo implementador determina os roteiros que são adicionados, retirados e substituídos da rede. Os módulos cálculo mecânico, cálculo elétrico e estimativa de orçamento são auxiliares as funções principais do sistema,

A. Proponente

O Módulo Proponente é uma ferramenta auxiliar de projeto de rede para propor um traçado otimizado da rede secundária delineando cada circuito, junto com a seleção econômica dos condutores e dos transformadores escolhidos, além da ligação destes com os ramais adjacentes da rede primária. Os limites elétricos dos condutores e dos transformadores são respeitados, assim como a adequação das quedas de tensão aos padrões determinados pela agência reguladora. Sua finalidade é propor um projeto o mais econômico possível e adequado eletricamente à rede secundária do sistema de distribuição. O método visa encontrar a localização ótima dos transformadores, o traçado da rede secundária e o dimensionamento dos condutores. Com esses aspectos definidos, é possível interligar da melhor forma possível os transformadores à rede primária existente.

Este módulo está concebido para gerar de forma automática alternativas de projeto de rede para três tipos de projeto:

- ligação de clientes,
- núcleos habitacionais ou loteamentos novos e
- melhoramentos na rede de distribuição.

A razão disso reside primeiramente na uniformidade conceitual que esses três tipos de projeto apresentam, permitindo assim que um mesmo enfoque metodológico básico seja empregado na solução deles. A partir desse enfoque básico são derivadas especializações para tratar cada um dos três tipos separadamente. Por outro lado, é na elaboração desses tipos de projeto que reside uma maior dificuldade, seja pelo elevado número de alternativas de solução, seja pela complexidade e decorrente gasto de tempo em lidar com cálculos e manipulação de grandes massas de dados.

A abordagem adotada para propor uma solução para o problema de dimensionamento elétrico da rede secundária baseia-se na subdivisão hierárquica do problema nos seguintes subproblemas:

- **$p1$: Localização e Dimensionamento dos Transformadores.** Escolhe os melhores locais (postes) para instalar um determinado número p de transformadores e define a capacidade mais adequada.
- **$p2$: Problema do Roteamento Primário.** Determina a melhor interconexão dos p transformadores aos alimentadores primários existentes e a bitola dos cabos.
- **$p3$: Problema do Roteamento Secundário.** Determina o melhor traçado dos circuitos de cada transformador e o dimensionamento ótimo dos condutores utilizados

A figura Figura 6. ilustra a hierarquia dos problemas $p1$, $p2$ e $p3$.

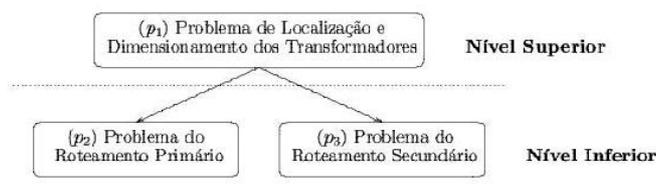


Figura 6. Decomposição hierárquica do método de solução.

Essa subdivisão se impõe sob o ponto de vista prático, a-

lém de permitir lidar com a alta complexidade matemático-computacional do problema. Facilita a resolução do problema como um todo e enseja uma forma adequada para lidar com os requisitos impostos pelos três tipos de projetos tratados.

Para a ligação de consumidores é muito freqüente a situação em que há um aumento da carga de um consumidor isolado, ou mesmo a extensão da rede secundária para ligação de um novo cliente que não tenha um ramal da rede próximo a ele. Em ambos os casos, faz-se necessário atender a demanda de forma segura e econômica fazendo a mínima ou nenhuma alteração na rede secundária já existente.

Em projetos de núcleos habitacionais e loteamentos há uma flexibilidade maior quanto à escolha do traçado da rede secundária, assim como da escolha dos condutores e transformadores a serem utilizados. Em geral, trata-se de uma área que não possui rede aérea, requerendo a construção completa, desde a locação dos postes até a ligação dos consumidores aos circuitos. Em resumo, a intervenção faz-se com pouca ou nenhuma restrição à rede existente, já que tudo é novo (*greenfield*).

Projetos de melhoramento na rede de distribuição ocorrem tipicamente para sanar deficiências de caráter elétrico (em decorrência do aumento de demanda) e/ou mecânico (equipamentos com vida útil esgotada), apresentando um grau intermediário de modificação da rede existente em relação aos outros dois tipos de projeto.

Posto que os três tipos requerem crescentes graus de respeito às restrições da rede existente, optou-se por conceber uma metodologia adaptativa que avança do tipo de projeto menos restrito ao mais restrito, usando basicamente o mesmo arcabouço metodológico que vai se adaptando por meio da inclusão de funcionalidades, que permitem aumentar o grau de restrição. Em otimização combinatória isso corresponde a ir do mais difícil (menos restrito → mais alternativas → mais complexo) ao mais fácil (mais restrito → menos alternativas → menos complexo).

Conseqüentemente, primeiro foi desenvolvido o Módulo Proponente para núcleos e loteamentos. Chamaremos este módulo de Módulo Proponente Básico. Neste módulo é obtida uma proposta de projeto para um número fixo p de transformadores (circuitos). O método proposto, tal como Carneiro, França, Silveira, [10], Costa e França [11] e Garcia, França, González, Yoshimoto, E., Lyra, e Cavellucci, [12], modela-se P1 como um problema de p -medianas não capacitado [13], P2 como um problema de caminhos mínimos [14] e P3 como um problema de *Steiner* [15].

A partir deste módulo criou-se uma nova estrutura capaz de acomodar os outros dois tipos de projeto. Isso foi conseguido com a adição de mecanismos que permitem simular a rede existente e fixar equipamentos que não devem sofrer mudança ou substituição. Obteve-se assim, a partir do mesmo módulo, novos módulos proponentes capazes de sugerir soluções de projeto para ligação de consumidores e melhoramentos de rede. Adicionalmente, foram anexados mecanismos de flexibilidade suficientes para que o projetista contemple critérios subjetivos ou de difícil quantificação.

Espera-se que assim estejam contemplados os requisitos

de flexibilidade necessários para um adequado dimensionamento elétrico automatizado para os três tipos de projeto considerados.

B. Construtor

O Módulo Construtor é baseado na técnica de Sistemas Especialistas (SE). Ele detalha cada elemento da rede nos componentes físicos (fixação de estruturas, definição de cabos, tipo de poste, etc...) que compõem a rede. Para isso, ele utiliza regras de engenharia baseadas em normas técnicas e conhecimento de projetistas, as quais formam a base de conhecimento do SE.

Durante o processo de definição dos elementos de rede poderá haver interação entre o módulo e o projetista, nos casos onde o Sistema Especialista não disponha de todas as informações necessárias para realizar uma escolha (exceções de regras). Nesses casos, o projetista poderá fornecer a informação desejada ou ele mesmo poderá efetuar a escolha.

Para a composição das regras foi feita uma análise de todos os elementos disponíveis para serem adicionados à rede. A escolha de cada elemento é dependente de vários fatores, que neste trabalho chamaremos de variáveis. Essas variáveis podem ter sido definidas anteriormente ou no próprio módulo construtor, provocando um fluxo de decisões encadeadas.

Como no SE temos regras referentes à alocação de postes, cálculo mecânico e definição dos tipos de postes, estruturas, conexões e amarrações, há a necessidade de organizar a base de conhecimento a fim de tornar o processo de busca das regras mais eficiente. Esta organização pode ser realizada utilizando-se o conceito de árvores de contexto.

Numa árvore de contexto os nós representam os tipos de contexto e cada um deles tem um ou mais atributos. Durante o processo de inferência, estes atributos são instanciados, originando-se árvore de contexto dinâmica. Desta forma, quando se infere conhecimento sobre determinado contexto, serão utilizados os atributos e regras referentes a este contexto.

A Figura 7 representa a árvore de contextos para projetos de redes de distribuição, onde os elementos estão agrupados em conjuntos definidos por suas funções na rede.

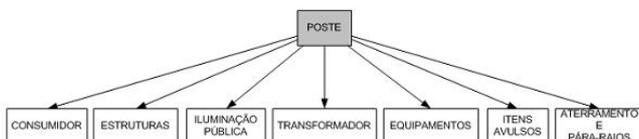


Figura 7. Árvore de Contexto do Sistema Especialista

C. Implementador

A solução de engenharia para um projeto de rede é traduzida numa lista de roteiros, definindo as operações de adição, retirada e substituição de elementos de rede.

O módulo Implementador é o responsável pela associação entre os elementos e seus respectivos roteiros, como mostra a Figura 8



Figura 8. Visão geral do Implementador

Os elementos a serem adicionados à rede são definidos no módulo *Construtor* (através das regras de engenharia) ou pelo projetista. Baseado nas informações de que elementos serão adicionados à rede e de quais serão excluídos, o módulo *Implementador* deve decidir qual o roteiro indicado. No caso de troca de um elemento de rede, isto é, a retirada do elemento existente e a adição de um novo elemento, caracteriza-se um roteiro de substituição, se o elemento a ser adicionado pertencer à mesma família (elementos semelhantes; por exemplo, mesmo tipo de cabo com bitolas diferentes) do elemento a ser. Caso contrário, deve-se decidir por um roteiro de adição para o primeiro e um de retirada para o segundo.

D. Cálculo Mecânico

Este módulo fará a verificação das condições mecânicas de cada poste, garantindo sua integridade e estabilidade através de soluções próprias ou pela indicação ao usuário de situações que requerem sua intervenção.

A suportabilidade dos postes em relação aos esforços mecânicos exercidos pela rede será verificada, analiticamente, pelo método de transferência de esforços ao topo e método do diagrama de momentos.

O primeiro consiste em se transferir para o ponto a 20 cm do topo todas as forças aplicadas ao longo do poste e, em seguida, calcular a resultante das mesmas. A resultante deverá ser no máximo igual à resistência nominal do poste multiplicada por um fator de sobrecarga admitido.

O método do diagrama de momentos, de acordo com o documento GED 3648 [16], “é utilizado quando são aplicados ao poste forças não coplanares em sentidos diferentes, ocasionando um momento fletor nos mesmos. Geralmente estes esforços ocorrem quando da utilização de cabos de estais, reduzindo os esforços resultantes aplicados ao poste, porém provocando o momento fletor. Devemos calcular o momento resistente do poste, comparando-o com o momento fletor ou momento solicitante, dimensionando o poste”.

O sistema poderá, para cada poste, determinar tanto sua suportabilidade aos esforços aplicados quanto ao do solo, impedindo sua ruptura ou tombamento. Quando necessário, será proposta a substituição do poste e/ou reforço do engastamento através de estaiamento de sub-solo.

No dimensionamento serão considerados os esforços devido às redes primária, secundária e de terceiros.

E. Cálculo Elétrico

Para validar os parâmetros elétricos de um projeto utiliza-se o módulo de cálculo elétrico. Ele realiza a verificação dos limites de tensão e corrente nas linhas de distribuição através de um método de fluxo de potência aproximado. A mostra o pseudo-código do método desenvolvido para tal validação.

```

Calculo_Eletrico(noref,  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{N}$ )
  1. Fluxo de carga(noref,  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{N}$ )
  2. Algoritmo de Validação( $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{N}$ )
  
```

Figura 9. Procedimento de cálculo elétrico.

Como parâmetros de entrada devem ser passados o nó de referência (transformador de distribuição ou disjuntor

do alimentador), o conjunto de nós com as cargas e os arcos com os respectivos condutores associados. No passo 1 são obtidos os fluxos de potência em cada arco da rede, com a posterior verificação dos limites de corrente e tensão no passo 2. Esse cálculo elétrico será realizado tanto para circuito primário como para o secundário.

F. Orçamento

O módulo de orçamento tem como objetivo estimar o custo de execução do projeto incluindo material, mão-de-obra e outros.

O orçamento dos projetos será feito de acordo com os requisitos da CPFL, podendo ser tão detalhado e preciso quanto desejado. Entretanto, foi estabelecido que orçamentos finais, com grau máximo de detalhamento, ficarão a cargo do sistema de gestão da Empresa.

Sendo assim, é proposta uma abordagem macro, com finalidade apenas de fornecer ao usuário informações que, juntamente com aspectos técnicos, lhe possibilitem optar por uma ou outra versão do mesmo projeto.

O método de orçamento proposto levaria em conta o custo dos itens mais relevantes, como postes, equipamentos, cabos e respectivas mãos-de-obra. Itens de menor importância econômica poderiam ter seus custos incorporados a outros de maneira estimada, por exemplo:

- Aos custos das redes secundárias com cabos multiplexados poderiam ser incorporados o custo de um certo número de laços pré-formados compatíveis por quilômetro.
- Os custos das estruturas primárias considerariam o custo da fixação para um poste padrão.

VI. DISCUSSÃO

Neste artigo foram discutidas as especificações do SAD a ser desenvolvido. Estas especificações foram apresentadas respeitando os módulos do SAD para projetos de redes de distribuição.

A integração do SAD para automação de projetos ao sistema GIS D não foi abordado neste artigo, pois será objeto de projeto específico. As possibilidades de integração são:

- Externa, realizada através de arquivos externos ao GIS D e
- Interna, onde o sistema de Automação de Projeto seja integrado na arquitetura do GIS D.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CPFL. Projeto de Rede de Distribuição - Terminologia - GED 3668
- [2] Sprague, R. H. e Watson, H. J. (1989). Decision Support Systems - Putting Theory into Practice, 2 edn, Prentice-Hall Inc.
- [3] French, S. e Liang, Y. (1993). OR Tutorial Papers, J. Norman, chapter Lagrangean/Surrogate heuristics for p-median problems.
- [4] Miranda, C. M. G., Ferreira, R. J. P., Gusmão, A. P. H. e Almeida, A. T. (2003). Sistema de apoio à decisão para seleção de atividades críticas no gerenciamento de projetos com avaliação multicritério, Anais do XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção, Ouro Preto, MG, Brasil.
- [5] Ribeiro, R. A., Powell, P. L. e Baldwin, J. F. (1995). Uncertainty in decision-making: an abductive perspective, Decision Support Systems 13: 183-193.
- [6] Gorry, G. A. e Scott-Morton, M. S. (1971). A framework for management information systems, Sloan Management Review 13(1): 50-70.
- [7] Anthony, R. N. (1965). Planning and Control System: A Framework for Analysis, Harvard University Graduate School of Business Administration, Cambridge, MA.
- [8] Simon, H. (1960). The new science of management decision, HarpkRow, New York.
- [9] Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R. e Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology, Decis. Support Syst. 33(2): 111-126.
- [10] Carneiro, M. S., França, P. e Silveira, P. D. (1996). Long-range planning of power distribution systems: secondary networks, Computers and Electrical Engineering 22(3): 179-191.
- [11] Costa, A. e França, P. (2002). Planejamento de redes secundárias de energia elétrica, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Automática, pp. 2563-2568.
- [12] Garcia, V., França, P., González, J., Yoshimoto, E., Lyra, C. e Cavellucci, C. (2003). Grasp para o problema de planejamento de redes secundárias de distribuição de energia elétrica, XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal, pp. 1427-1437.
- [13] Teitz, M. B. e Bart, P. (1968). Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. Operation Research, 16: 955-961.
- [14] Ahuja, R., Magnanti, T. and Orlin, J. (1993). Network Flows: Theory, Algorithms and Applications, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [15] Hawng, F. e Richards, D. (1992). Steiner tree problems. Networks 22: 55-89.
- [16] CPFL. Projeto de Rede de Distribuição - Cálculo Mecânico, GED 3648.