

XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA A ADEQUAÇÃO DO
CARREGAMENTO ELÉTRICO DE TRANSFORMADORES**

RICARDO HAUS GUEMBAROVSKI, M.Eng.

CELESC – CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A.

Palavras chave:

Sistemas de Informações Geográficas
Gerência de Rede de Distribuição
Otimização
Economia
Transformador.

Foz do Iguaçu, 19 a 23 de Novembro de 2000

RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia baseada em SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) para minimizar custos de adequação do carregamento elétrico dos transformadores que compõem um sistema de distribuição, para uma demanda projetada ao longo do horizonte de planejamento adotado pela concessionária.

Inicialmente apresenta-se a organização atual das concessionárias quanto a gerência de distribuição e descreve-se os elementos que compõem o sistema assim como os critérios adotados para expandir, operar e manter o sistema dentro de padrões estabelecidos.

Sequencialmente demonstra-se os fundamentos necessários à concepção do sistema bem como as técnicas convencionais que vem sendo atualmente utilizadas.

O sistema proposto visa a determinação de uma política ótima de adequação do carregamento elétrico dos transformadores considerando o estado atual de carregamento e o incremento de demanda previsto para o sistema no horizonte de planejamento adotado, sugerindo alterações de potência nominal dos circuitos utilizando os próprios transformadores contidos no escopo do problema com o mínimo de deslocamento possível para viabilizar a solução proposta.

Após a apresentação do sistema proposto e da análise econômica é realizada uma aplicação prática demonstrando a melhor taxa de utilização dos transformadores no horizonte de planejamento adotado.

ABSTRACT

This paper proposes a methodology based on Geographic Information Systems to minimize costs (of adequacy) of electrical loading of transformers that constitute a distribution system, considering an estimated demand.

Firstly, we present the current organization of the electrical utility companies regarding the distribution management and we describe the elements which compose the system as well as the criteria adapted to expand, operate and maintain the system within established patterns.

Then we demonstrate the fundamental concepts needed to create the system and the conventional techniques that have been used lately.

The proposed system aims to determine an idea policy (of adequacy) of electrical loading of transformers, considering the current loading and the increment of demand estimated for the future, suggesting alterations of the circuit nominal potency, using the transformers that have already been used with minimum dislocation to make the proposed solution viable.

Following the presentation of the proposed system and the estimation of costs, we realize a practical application showing the best rate of utilization of transformers in the horizon of the adopted planning.

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se percebido uma evolução significativa na busca de um relacionamento mais estreito entre prestadores de serviços e clientes. O fator motivador é o nível de competitividade crescente e o fator condicionante é a sobrevivência da empresa no mercado. Mesmo atuando em regime de monopólio, as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil estão, cada vez mais, preocupadas com a evolução destes fatores. É de vital importância, então, se dispor de ferramentas tecnológicas de última geração para responder com agilidade, qualidade e produtividade às exigências de um mercado cada vez mais seletivo.

A tecnologia de AM/FM/GIS constitui um instrumento poderoso para a integração de dados de diversas fontes, baseados na localização espacial e nos relacionamentos destes dados. Pôr isso, é cada vez maior a convicção de que esta tecnologia vem efetivamente ao encontro das necessidades das concessionárias, ao permitir uma adequada coordenação de todas as atividades realizadas na Gerência de Redes de Distribuição.

Hoje se observa uma grande efervescência no mercado de SIGs, com todas as concessionárias de energia elétrica, gás canalizado, telefonia, água e esgoto, assim como prefeituras e órgãos ambientais, procurando implementar esta tecnologia em suas rotinas técnicas.

Outro aspecto relevante acerca da necessidade de modernização das concessionárias é a questão da qualidade de fornecimento de energia elétrica que atualmente é controlado pela Agência Nacional de Empresas de Energia Elétrica - ANEEL. Conforme esta regulamentação, as concessionárias deverão cumprir critérios de fornecimentos estabelecidos, sob pena de multas extraordinárias ou mesmo perda de concessão de fornecimento.

Neste contexto, teve origem este trabalho que apresenta como objetivo geral a minimização de custos do sistema de distribuição de uma concessionária, através da adequação do carregamento elétrico dos transformadores, utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

As empresas de energia elétrica anualmente contabilizam perdas em geral. A falta de ferramentas adequadas levou-as à gerência inadequada contabilizando ano após ano seus gastos com equipamentos elétricos danificados por pura falta de planejamento e controle adequado do sistema.

Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de aplicações específicas no ambiente SIG para solução de problemas típicos de engenharia de distribuição, sendo que os benefícios almejados são:

- Otimização da aplicação de recursos na rede;
- Incremento de agilidade e de precisão nos processos de engenharia;
- Disponibilização rápida de informações do cadastro da rede e dos processos gerenciais correlatos;
- Aumento da vida útil dos transformadores instalados;
- Melhoria da qualidade dos serviços prestados;
- Redução acentuada dos custos operacionais;
- Incorporação rápida ao cadastro de alterações/ampliações na rede elétrica;
- Aumento geral na produtividade dos empregados envolvidos nos processos operacionais de gerência da rede.

2 - MODELO DESENVOLVIDO

O modelo desenvolvido baseia-se no reaproveitamento dos próprios transformadores existentes no contexto do problema de carregamento elétrico, para realizar a adequação do sistema utilizando-se um mínimo necessário de transformadores disponíveis no almoxarifado da empresa.

A viabilidade deste procedimento torna-se evidente face a quantidade de transformadores com carregamento elétrico inadequado e os vários patamares de potência nominal que existem. Numa análise simplificada, pode-se dizer que, o procedimento requer a identificação de todos os transformadores que apresentem valores de carregamento elétrico fora do faixa considerada adequada, utilizando-se para isto, a curva de correlação e alguns critérios elétricos pertinentes a sistemas de distribuição, tais como: critério de carregamento, tensão e equilíbrio de carga. Identificados os transformadores candidatos a remanejamento, utiliza-se a função de otimização para definir a matriz de solução do problema. Então, a partir desta matriz, executa-se o algoritmo de otimização para definição dos remanejamentos necessários à adequação do problema de carregamento elétrico dos transformadores.

Especial atenção deve ser dispensada na identificação dos transformadores que apresentam problemas de carregamento elétrico. Os problemas de tensão existentes nos circuitos secundários nem sempre são decorrentes do grande distanciamento das unidades consumidoras em relação ao transformador, algumas vezes o nível de sobrecarga atinge níveis intoleráveis, o que em termos técnicos implica numa queda de tensão no circuito interno do transformador (reatância de dispersão). Nestas condições, um circuito secundário abastecido por tal transformador, apresentará valores inadequados de tensão já nas proximidades do barramento do circuito.

A adequação elétrica de um circuito que apresente problemas de carregamento elétrico e tensão, não

necessariamente requer a substituição do transformador, mas sim, requer uma divisão de circuito com inserção de um novo transformador.

Existe, entretanto, a necessidade de identificação do real problema que exista nos circuitos secundários, sob pena de executar ações corretivas no sistema de distribuição antieconômicas. Portanto, faz-se necessário uma análise criteriosa para identificar transformadores que apresentem problemas exclusivos de sobrecarga ou subcarga. Tal abordagem realiza-se mediante análise de equilíbrio de carga e de tensão secundária para cada um dos transformadores candidatos ao remanejamento, conforme Fluxograma Seletivo (Figura 1) apresentado a seguir:

- 1 Para cada um dos transformadores existentes no sistema identifique o K;
- 2 Se ($K < 0,70$ ou $K > 1,25$), defina-o como candidato a remanejamento, se não, ele não faz parte do problema (transformador adequado);
- 3 Para cada novo candidato a remanejamento, verifique o índice de queda de tensão do respectivo circuito.
- 4 Se ($Iq\% < 5\%$), este transformador faz parte do problema. Se não, verifique Se ($Id\% > 15\%$), simule o equilíbrio de carga deste circuito, e calcule o novo $Iq\%$.
- 5 Se ($Iq\% < 5\%$), este transformador faz parte do problema, Se não, ele requer divisão de circuito.

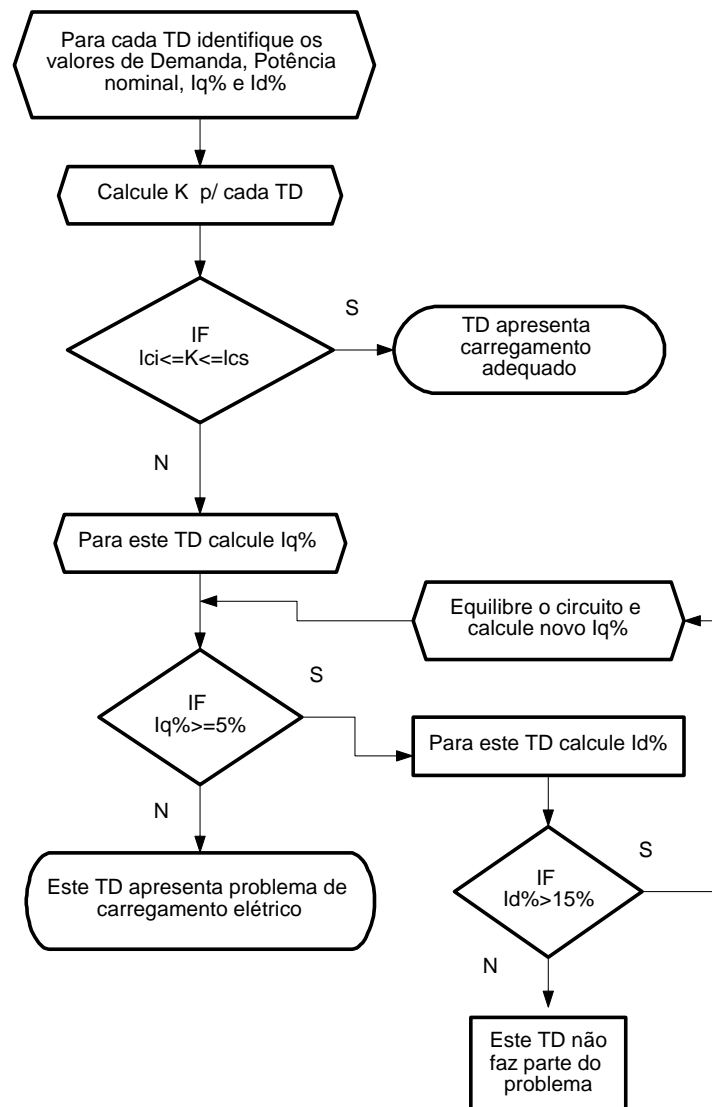


FIGURA1: Fluxograma Seletivo

3 - SISTEMA DESENVOLVIDO

Inicialmente foram identificados todos os transformadores que apresentaram irregularidade de carregamento elétrico conforme fluxograma seletivo. A demanda requerida por cada um destes circuitos foi determinada utilizando-se o modelo de dados relacional que o sistema SIG utiliza, assim como a coordenada geográfica dos transformadores assinalados.

Em linhas de máximo, o problema consiste em determinar qual transformador irá suprir a demanda requerida na posição geográfica (x,y), e para onde vai o transformador existente nesta posição geográfica (x,y), sucessivamente até que todos os transformadores sejam deslocados de suas posições anteriores para outras posições geográficas, tal que a condição de otimização e restrições do sistema sejam satisfeitas.

A seguir são definidos os elementos necessários à formulação do problema:

Seja P_i o conjunto de todos os valores de potência nominal, em kVA, referente ao transformador localizado no circuito i ; onde $i = \{1,2,3, \dots, n\}$, e n = número total de transformadores existentes;

- Seja D_j o conjunto de todos os valores de demanda devida ao circuito j , em kVA, onde $j = \{1,2,3, \dots, m\}$, e m = ao número total de circuitos existentes;
- Seja $Fad(P,L)(i,j)$ a função objetivo que determina a penalidade do transformador localizado no circuito P_i atender a demanda do circuito D_j .
- Seja $P_i(X,Y)$ a coordenada geográfica (UTM) do transformador P_i ;
- Seja $D_j(X,Y)$ a coordenada geográfica (UTM) do transformador localizado no circuito D_j ;
- Seja $D(0)j$ o valor de demanda máxima, em kVA, requerida pelo circuito j no ano base;
- Seja tcd a taxa anual média de crescimento da demanda definida para todo o sistema;
- Seja a o ano de referência previsto para adequação de carregamento elétrico;
- Seja $D(a)j$ o valor de demanda máxima, em kVA, requerida pelo circuito j no ano de referência a ;
- Seja lsc o limite superior de carregamento admissível;
- Seja lic o limite inferior de carregamento admissível;

O problema de adequação do carregamento elétrico consiste em deslocar n transformadores P_i que possuem coordenadas geográficas em UTM, e potências nominais em kVA, para m posições geográficas, que possuem demandas em kVA, de modo que, para todo transformador P_i , seja atribuído uma demanda D_j , e que cada transformador P_i realize uma e somente uma tarefa de atendimento a demanda requerida do circuito D_j , e que além disto a diferença entre o valor de demanda em kVA requerida pelo circuito D_j , e a potência nominal em kVA do transformador P_i , seja mínima. A Figura 2 exemplifica um modelo hipotético do problema de atribuição de transformadores às demandas.

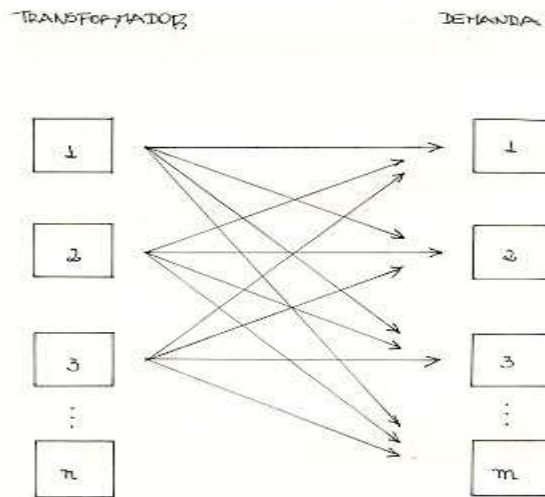


FIGURA 2: Modelo Hipotético do Problema de Atribuição

Seja $Fad(P,L)(i,j)$ a função objetivo que determina o valor da penalidade de atribuir ao transformador P_i a demanda D_j . Então, este problema poderá ser definido como:

S.A:

$$\begin{aligned}
 & \text{MIN} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Fad(P,L)_{(i,j)} \cdot X_{(i,j)} \\
 & \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \\
 & \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq 1 \quad x_{ij} \in \{0,1\}
 \end{aligned}$$

A função penalidade $Fad(P,L)_{(i,j)}$ foi concebida de modo a atender a questão de adequação de carregamento dos circuitos considerando, também, o problema de caminho mínimo à solução proposta de adequação.

O objetivo principal é definir uma expressão matemática que represente a configuração ideal de carregamento elétrico.

A condição básica de adequação de carregamento elétrico para qualquer circuito secundário de distribuição é definida por:

$$[Pi - Dj] = 0;$$

Em que:

Pi representa a potência nominal (kVA) do transformador i ;

Dj representa a demanda (kVA) do circuito j .

Mas em linhas gerais, esta expressão não penaliza adequadamente muitas situações existentes devido a linearidade estabelecida.

Faz-se necessário modificar a condição básica de adequação de carregamento elétrico $[Pi - Dj]$, visando atender dois requisitos fundamentais, citados a seguir:

1. Penalizar acentuadamente candidatos $[Pi - Dj] \gg 0$ ou $[Pi - Dj] \ll 0$;
2. Normalizar a expressão $[Pi - Dj]$ em valores absolutos, pois as parcelas positivas ou negativas de potência são partes integrantes da solução do problema.

A função penalidade passa a ser definida por:

$$Fad(P)_{(i,j)} = [Pi - Dj]^2;$$

A função penalidade para quaisquer valores de potência nominal e demanda retornará por conveniência valores inteiros inferiores a 40000, dado o conjunto finito de potências nominais e demandas.

O problema do caminho mínimo à solução de adequação do problema deverá ser integrado à função penalidade, no entanto, sua participação deverá ser muito menor que a contribuição da expressão de carregamento.

A expressão matemática Lij representa a distância em km do transformador Pi ao circuito Dj .

A expressão Lij é definida por:

Em que:

$$Lij = \sqrt{((Djx - Pix)^2 - (Djy - Piy)^2)}. 1 / 100$$

$Pi(X,Y)$ é a coordenada geográfica (UTM) do transformador Pi ;

$Dj(X,Y)$ é a coordenada geográfica (UTM) do transformador localizado no circuito Dj .

A função penalidade constituída pelas duas parcelas é definida a seguir:

$$Fad(P,L)_{(i,j)} = [Pi - Dj]^2 + Lij;$$

Se $Dj / Pi \leq lsc$ e $Dj / Pi \geq lic$;

Faça:

$$Fad(P,L)_{(i,j)} = [Pi - Dj]^2 + Lij$$

Se não

Faça:

$$Fad(P,L)_{(i,j)} = 40000, \text{ (valor relativo infinito).}$$

Onde lsc e lic assumem os valores 1.25 e 0.70 respectivamente. Estes valores representam o limite máximo e mínimo de carregamento elétrico dos transformadores, valores inferiores a 0.70 assinalam transformadores subcarregados e valores superiores a 1.25 assinalam transformadores sobrecarregados.

A matriz de solução representa o conjunto de possibilidades de adequação do carregamento elétrico dos transformadores de distribuição.

De maneira geral, a matriz de solução $MS_{(i,j)}$ é constituída por i linhas e j colunas, em que o número de linhas é sempre igual ao número de colunas, ou seja, $i = j$ para qualquer hipótese de sistema, conseqüentemente a matriz MS é quadrada por definição.

As i linhas da matriz MS representam os i transformadores provenientes da análise do fluxograma seletivo, sendo que cada linha da matriz identifica um transformador com sua respectiva potência nominal em kVA.

As j linhas da matriz MS representam os j circuitos secundários provenientes da análise do fluxograma seletivo, sendo que cada coluna da matriz identifica a respectiva demanda em kVA do circuito selecionado.

A matriz MS é definida por:

$$MS_{(i,j)} = Fad(P,L)_{(i,j)}$$

Em que:

$$Se Dj / Pi \leq lsc \text{ e } Dj / Pi \geq lic;$$

Faça:

$$Fad(P,L)_{(i,j)} = [Pi - Dj]^2 + Lij$$

Se não

Faça:

$$Fad(P,L)_{(i,j)} = 40000, \text{ (valor relativo infinito).}$$

Uma questão importante acerca da matriz MS é a definição das demandas dos circuitos Dj .

A projeção de demanda do circuito é considerada de modo a estabelecer um determinado período em que os transformadores transferidos permaneçam sob demanda adequada. A análise da evolução da carga e previsão do crescimento futuro deverá abordar um período de até 10 anos, podendo ser alterado em função da característica do sistema de distribuição em questão ou política interna da concessionária.

Por conveniência, um transformador poderá ser deslocado para atender a demanda de um circuito desde que, as relações $D(0)_j/Pi \geq lic$ e $D(5)_j/Pi \leq lsc$, sejam satisfeitas, pois a solução ficaria fora de propósito se os limites de carregamento inferior e superior não fossem respeitados. Ainda, para que o transformador permaneça sob carregamento elétrico adequado por um período de tempo maior, a demanda prevista para o ano de referência deve ser igual a potência nominal do transformador. Satisfeitas estas condições, o transformador permanecerá sob demanda adequada por um período de tempo maior. O ano de referência é definido conforme critérios internos da concessionária.

A função exponencial é utilizada para estimar a demanda do circuito no ano de referência estabelecido, assim sendo:

$$D(a)_j = D(0)_j \cdot [1 + tcd/100]^a$$

Em que:

$D(a)_j$ = demanda máxima do circuito i para o ano a ;

$D(0)_j$ = demanda máxima do circuito i para o ano base;

tcd = taxa anual média de crescimento da demanda;

a = ano 1,2, ...,n

4 - APLICAÇÃO PRÁTICA

Para a aplicação prática escolheu-se o sistema de distribuição da cidade de Joinville região norte do estado de Santa Catarina, área de concessão das Centrais Elétricas do Estado de Santa Catarina - Celesc, onde iniciou-se no ano de 1999 a implantação do sistema de gerência de redes de distribuição (GIS).

O sistema possui 126.000 consumidores atendidos em baixa tensão e 3450 transformadores de distribuição com potências nominais típicas de: 5, 10, 15, 30, 45, 75, 112,5 e 150 kVA.

É importante salientar que no ano de 1998 o sistema apresentou por problema de sobrecarga uma taxa trimestral de avaria de 2,40%, o que comparado a outros sistemas de distribuição não representa um valor acentuado, embora seguramente este valor implique em prejuízos significativos à empresa.

Outro aspecto importante relativo a aplicação prática, é que embora existam 3450 transformadores de distribuição apenas 421 transformadores serão analisados na aplicação prática, pois muitos consumidores ainda não foram vinculados aos seus respectivos circuitos secundários o que impossibilita a análise completa do carregamento elétrico dos transformadores de distribuição. O consumidor secundário é um elemento fundamental ao sistema de gerência de redes.

Os dados referentes a análise do problema são os seguintes:

- limites inferiores (lic) e superiores (lsc) de carregamento são 0.70 e 1.25 respectivamente (limites para identificação de transformadores com carregamento inadequado);
- valor máximo admissível de queda de tensão $I_q\% = 5\%$;
- desbalanceamento máximo admissível de circuito secundário $I_d\% = 15\%$;
- função kVAS utilizada: $kVA(\text{trafo}) = 0.00374 \text{ kWh} + 3.983$;
- taxa anual média de crescimento da demanda $tcd = 5\%$ a.a;
- ano de referência para estimativa de demanda e adequação $a = 5$;
- função de adequação $Fad(P,L)(i,j) = [P_i - D_j]^2 + L(i,j)$.

TABELA 1: Transformadores com os Respectivos Atributos

Refer.	Pi (kVA)	D(0)j (kVA)	D(5)j (kVA)	K(0)i	X (utm)	Y(utm)
1	45	59,7	76,2	1,33	714303,27	7090073,50
2	75	36,4	46,4	0,48	712514,64	7092860,44
3	75	28,8	36,8	0,38	719182,33	7086061,80
4	15	19,2	24,5	1,28	709393,48	7090695,90
5	112	141,0	179,9	1,26	707769,62	7086998,48
6	30	11,1	14,2	0,37	709938,77	7089611,33
7	45	59,7	76,2	1,33	707301,28	7093064,54
8	45	56,6	72,2	1,26	710333,16	7094344,03
9	45	23,7	30,2	0,53	716027,19	7095477,90
10	30	14,2	18,1	0,47	717728,01	7094812,37
11	30	38,5	49,2	1,28	717580,11	7092446,02
12	45	59,1	75,4	1,31	712748,81	7090967,05
13	75	38,2	48,8	0,51	716273,69	7090819,15
14	150	56,7	72,4	0,38	716421,58	7088551,40
15	45	56,5	72,1	1,26	712946,01	7086653,39
16	15	21,3	27,2	1,42	707671,02	7089118,34
17	30	53,7	68,5	1,79	704959,58	7092076,28
18	45	27,7	35,3	0,62	708854,19	7091903,73
19	75	95,0	121,2	1,27	711393,09	7089734,57
20	45	62,1	79,2	1,38	701853,74	7095132,81

Na tabela 1, Pi, D(0)j, D(5)j, K(0)i, X e Y representam a potência nominal (kVA), demanda do circuito ano base (kVA), demanda do circuito calculado para o 5° ano (kVA), carregamento elétrico do transformador, coordenadas geográficas X (utm) e Y (utm) respectivamente.

Para o cálculo da demanda estimada para o 5° ano Dj(5) e K foram utilizadas as seguintes expressões:

$$Dj(5) = Dj(0) \cdot [1 + tcd/100]^a$$

Em que:

D(5)j = demanda máxima do circuito i para o 5° ano sucessivo;

D(0)j = demanda máxima do circuito i para o ano base;

tcd = 5%;

a = 5.

$$K = Dj(0) / Pi$$

Em que:

D(0)j = demanda máxima do circuito i para o ano base;

P_i = potência nominal do transformador i .

Neste momento, todos os elementos necessários à elaboração da matriz MS estão calculados. Inicia-se então, utilizando-se a função de adequação $Fad(P,L)(i,j)$ à construção da matriz MS.

$$Fad(P,L)(i,j) = [P_i - D_j]^2 + L_{ij};$$

Concluída a elaboração da matriz MS, cria-se um arquivo de formato txt para servir de dados de entrada para executar o software de otimização (Assignment Problem).

A interface de localização do arquivo de dados é mostrada na figura 3.

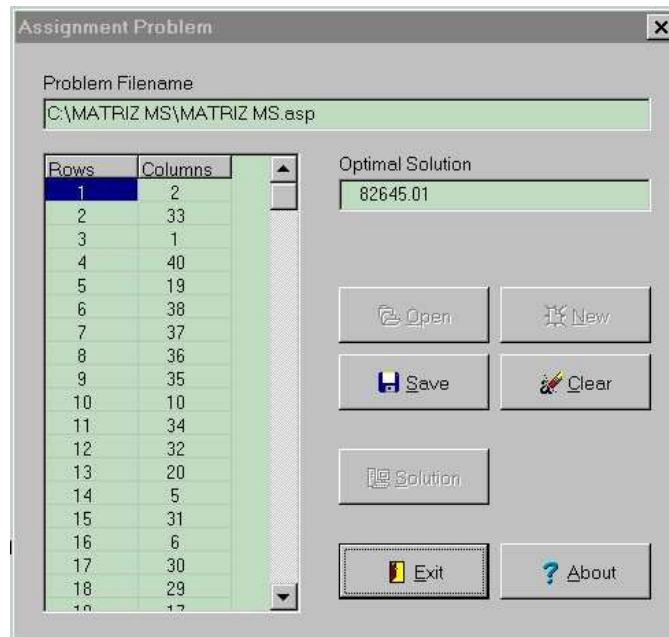


FIGURA 3: Interface de Localização do Arquivo de Dados

Processada a leitura do arquivo e execução do software um arquivo contendo a solução do problema é gerado. A solução à adequação do carregamento elétrico é mostrado no quadro 1.

O quadro 1 mostra a solução de adequação do carregamento elétrico. A solução apresentada deve ser analisada para posterior execução das transferências dos transformadores P_i para as demandas D_j estabelecidas.

Esta solução deve ser interpretada da seguinte maneira:

- transformador TD1 deverá ser deslocado ao circuito D39;
- transformador TD2 deverá ser deslocado ao circuito D33;
- transformador TD3 deverá ser deslocado ao circuito TD20, etc.

As transferências são executadas sucessivamente até que todos os transformadores sejam deslocados.

SOLUÇÃO			
TD(Ci)	D(Ci)	TD(Ci)	D(Ci)
1	39	21	14
2	33	22	23
3	20	23	27
4	40	24	25
5	19	25	18
6	38	26	22
7	37	27	12
8	36	28	16
9	35	29	8
10	30	30	10
11	26	31	6
12	32	32	9
13	17	33	21
14	5	34	13
15	31	35	4
16	34	36	3
17	24	37	7
18	29	38	11
19	15	39	1
20	28	40	2

Quadro 1: Solução à Adequação do Carregamento Elétrico

Uma análise comparativa entre os carregamentos dos transformadores antes $K(0)_{iant}$, e depois $K(0)_{idep}$ da solução proposta é mostrada a seguir, conforme quadro 2.

Quadro 2: Análise Comparativa do Carregamento Elétrico $K(0)_i$

Tdi	$K(0)_{iant}$	$K(0)_{idep}$	Tdi	Tdi	$K(0)_{iant}$	$K(0)_{idep}$
1	1,33	0,66	21	21	0,51	0,75
2	0,48	0,83	22	22	1,36	0,64
3	0,38	0,82	23	23	0,43	0,91
4	1,28	0,96	24	24	0,49	0,95
5	1,26	0,84	25	25	1,43	0,92
6	0,37	0,92	26	26	0,63	0,90
7	1,33	0,84	27	27	0,55	0,78
8	1,26	0,97	28	28	1,26	0,71
9	0,53	0,89	29	29	0,51	0,75
10	0,47	0,81	30	30	1,62	0,94
11	1,28	0,94	31	31	2,62	0,74
12	1,31	0,85	32	32	1,28	0,79
13	0,51	0,71	33	33	1,39	0,85
14	0,38	0,94	34	34	0,35	0,85
15	1,26	0,87	35	35	1,33	0,64
16	1,42	1,05	36	36	1,47	0,96
17	1,79	0,74	37	37	0,50	0,79
18	0,61	0,85	38	38	0,61	0,85
19	1,27	0,75	39	39	0,40	0,79
20	1,38	0,84	40	40	0,32	0,80

Observa-se que inicialmente os transformadores apresentaram o carregamento elétrico inadequado ($K(0)_{iant} < 0,70$ ou $K(0)_{iant} > 1,25$), e conforme a solução proposta os transformadores passaram a apresentar tipicamente valores adequados ($0,70 \leq K(0)_{idep} \leq 1,25$).

Outra análise importante é a projeção do carregamento elétrico dos transformadores conforme a solução proposta e sistema atual, ambos projetados para o 5º ano. O quadro 3 demonstra os resultados.

Tdi	K(5)isis	K(5)isol	Tdi	K(5)isis	K(5)isol
1	1,69	0,85	21	0,65	0,97
2	0,62	1,07	22	1,73	0,82
3	0,49	1,06	23	0,54	1,16
4	1,63	1,23	24	0,63	1,22
5	1,61	1,08	25	1,83	1,18
6	0,47	1,18	26	0,80	1,15
7	1,69	1,07	27	0,70	1,01
8	1,60	1,25	28	1,61	0,91
9	0,67	1,14	29	0,65	0,96
10	0,60	1,04	30	2,07	1,21
11	1,64	1,21	31	3,35	0,95
12	1,68	1,09	32	1,64	1,01
13	0,65	0,91	33	1,78	1,08
14	0,48	1,20	34	0,45	1,08
15	1,60	1,12	35	1,70	0,82
16	1,81	1,34	36	1,87	1,23
17	2,28	0,95	37	0,64	1,02
18	0,78	1,08	38	0,78	1,09
19	1,62	0,96	39	0,51	1,02
20	1,76	1,07	40	0,41	1,03

Quadro 3: Análise Comparativa do Carregamento Elétrico K(5)i

No quadro 3, entende-se por K(5)isis e K(5)isol o carregamento elétrico dos transformadores do sistema atual e o carregamento dos transformadores conforme solução proposta respectivamente, ambos projetados para o 5º ano sucessivo.

Os resultados obtidos apresentam-se bastante satisfatórios, uma vez que, utilizando-se dos próprios transformadores existentes no sistema que apresentavam problemas de carregamento elétrico (subcarregamento ou sobrecarregamento), a solução proposta adequou 90% dos transformadores.

5 - CONCLUSÕES

Os investimentos em redes de distribuição secundária amontam uma parcela bastante significativa dos orçamentos anuais das empresas de distribuição de energia elétrica. O transformador de distribuição, além de ser um dos equipamentos essenciais à rede de distribuição, é o de maior quantidade em uso e a sua utilização adequada resulta em economia nos investimentos da empresa.

O controle do carregamento dos transformadores de distribuição, apesar de imprescindível, constitui-se um dos maiores problemas das empresas de distribuição. Constatou-se que é praticamente impossível gerenciá-los através de medições, dado a escassez de pessoal e/ou equipamentos. Por conseguinte, as empresas contabilizam vultuosos gastos anuais devido a falta de ferramentas adequadas ao controle do carregamento elétrico dos transformadores.

O modelo desenvolvido neste trabalho, em que o objetivo foi adequar o carregamento elétrico dos transformadores utilizando o máximo de transformadores existentes no sistema de distribuição, mostrou que é sempre possível obter uma solução ótima. Este fato é evidente dado que a solução obtida pelo procedimento tradicional baseia-se apenas em soluções isoladas, o que implica numa acentuada utilização dos transformadores disponíveis no almoxarifado à solução do problema de adequação. Salienta-se que os transformadores disponíveis no almoxarifado poderiam, quase que especificamente, suprir as requisições de divisão de circuitos, proporcionando um aumento considerável de economia e qualidade de fornecimento.

Outra vantagem no uso desta metodologia é a possibilidade de se efetuar uma análise de sensibilidade envolvendo os parâmetros adotados. Pode-se em qualquer momento alterar os parâmetros de seleção dos transformadores ou redefinir o horizonte de planejamento à adequação conforme as características elétricas ou condições do sistema de distribuição a ser analisado.

O trabalho desenvolvido proporcionou a constatação de que a evolução tecnológica pode resolver de forma cada vez melhor problemas específicos de engenharia de distribuição, pois utilizando-se das facilidades que o SIG proporciona, muitos problemas antes considerados sem adequação serão modelados e solucionados.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L.; KEVANI, M. J. *Geographic Information System*. 1992.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. *Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Brasília: EMBRAPA:, 1993.

BERRY, J. K. *Beyond Mapping: Concepts, Algorithms, and Issues in GIS, GIS in world*, USA: Inc. Colorado, 1993.

CIPOLI, J. A. *Engenharia de Distribuição*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

CODI - COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. *Planejamento de Sistemas de Distribuição*.: Vol. 1.. Rio de Janeiro: Campus. ELETROBRÁS, 1982.

FERRARI, R., *Viagem ao SIG*. Sagre: Curitiba, 1997.

LEITE, L.L.P., *Introdução aos Sistemas de Gerência de Bancos de Dados*. Edgard Blücher: São Paulo, 1980.

STAR, J., ESTES, J., *Geographic Information Systems - an introduction*. University of Califórnia. Santa Bárbara. USA. Prentice Hall. Inc. 1990.

TEIXEIRA, A.L. A. MORETTI, E. e CHRISTOFOLETTI, A., *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Edição do Autor. 1991.

MAYERLE, S. F., *Software Assignment Problem*, 1995.

DADOS DO AUTOR RESPONSÁVEL:

Nome: Ricardo Haus Guembarovski

Cargo: Engenheiro, Mestre em Engenharia de Produção (Pesquisa Operacional), Integra o GTGEO (Grupo de Trabalho de Geoprocessamento)

Av: Itamarati nº. 160 – Itacorubi – Florianópolis – SC

Tel: (0XX48) 2315716

e-mail: ricardohg@celesc.com.br