



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Marcus Rodrigo Carvalho	Luiz Gonzaga Fernandez Silva	Samuel M. Barbosa Neto
Daimon Engenharia e Sistemas	CPFL PIRATININGA	Daimon Engenharia e Sistemas
marcus@daimon.com.br	fernandez@cpfl.com.br	samuel@daimon.com.br

Alden Uehara Antunes	Paulo Francisco Bruno Junior	Elcio Franklin de Arruda
Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas
alden@daimon.com.br	jrbruno@daimon.com.br	elcio.arruda@daimon.com.br

Nova Metodologia para Proposição e Localização de Subestações com Análise Espacial do Comportamento da Carga.

Palavras-chave

Ampliação
Heurística
Localização
Otimização
Planejamento
Subestação

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do projeto de P&D que teve por objetivo realizar proposição cronológica de construção de novas subestações e ampliação das existentes, visando a determinação do Plano Ótimo de Investimentos para obras de grande vulto. A ampliação de capacidade do sistema (acréscimo, troca de transformadores ou ainda proposição de novas subestações), juntamente com a determinação da localização das novas instalações e o ano de construção/ampliação, é problema extremamente complexo e visa atender uma projeção da demanda futura. Neste artigo é apresentado um novo método de três fases que permite fornecer uma solução ótima para o problema. Na primeira fase foi construído um modelo linear para determinar qual a necessidade de incremento no fornecimento no ano horizonte, ou seja, quais subestação

deveriam ser ampliadas e quantas novas devem ser construídas. Foi utilizado o algoritmo simplex para resolvê-lo. Na segunda fase, localização das novas subestações, foi utilizada uma variação do método de Particle Swarm. Finalmente, na terceira fase, para o planejamento no tempo, foi utilizada uma técnica de Scoring dos pontos candidatos. A metodologia proposta foi aplicada em uma rede da CPFL Paulista e os resultados demonstraram um sistema eficiente, de rápida convergência e robustez.

1. Introdução

O processo de planejamento de sistemas de distribuição consiste basicamente na projeção do mercado futuro e na proposição e análise de alternativas de reforços do sistema para o seu atendimento.

A projeção do mercado futuro é realizada em geral com base em dados históricos para determinação de curvas de tendências e através da definição de correlações com outros índices que possam explicar o crescimento do consumo de energia. Características geográficas, assim como aspectos legais (lei de zoneamento, etc.) afetam diretamente as projeções, sendo imprescindível sua incorporação nas metodologias de projeção de carga para estudos de planejamento.

Com a definição do comportamento espacial do mercado ao longo do tempo e, conseqüentemente, da demanda a ser atendida pelo sistema, é possível realizar diagnóstico para cada ano do horizonte de estudo, tendo como meta o atendimento de critérios técnicos, restrições econômicas e regulatórias (Prodist – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional).

A definição dos critérios técnicos de planejamento é baseada em resoluções normativas que estipulam os índices técnicos (por ex.: carregamento, nível de tensão, IAS – Índice de Aproveitamento das Subestações) a serem respeitados pelas empresas concessionárias, na aversão ao risco de não atendimento dos critérios citados em situações de contingências e em estudos econômicos de utilização de seus ativos.

Uma vez transgredido um critério técnico de planejamento são propostos reforços no sistema com base em portfólio de alternativas de planejamento padronizadas por cada empresa. Estas alternativas variam de simples intervenções na rede de distribuição para melhoria de índices de qualidade até obras estruturais como novas subestações em casos de transgressão do critério de carregamento de uma existente.

Neste cenário, o presente artigo apresenta a análise e o desenvolvimento de uma nova metodologia, baseadas em programação matemática, para determinação da ampliação da capacidade, localização e o ano de entrada (no horizonte de estudos) de subestações.

Tais ferramentas foram desenvolvidas sobre uma base espacial da área de concessão da distribuidora (desagregada em quadriculas), considerando concepções de tipo de consumidor (contribuição de cada classe de consumidores), de ocupação do solo (ocupação espacial) e que determine os montantes de investimentos de natureza indicativa de forma a minimizar o custo de expansão do sistema durante o horizonte de estudo.

2. Desenvolvimento

Determinar quando e quais subestações devem ser ampliadas, quando novas subestações devem se construídas bem como a localização dessas e o ano de realização das obras é um problema de grande complexidade. Abordagens que utilizam modelos lineares inteiros costumam se mostrar ineficientes para a resolução do problema, o que exige a utilização de métodos heurísticos.

No algoritmo desenvolvido, a região em análise é dividida em quadrículas de tamanho definido pelo planejador e as cargas são agrupadas em um único ponto de carga por quadrícula. Com isso, é possível determinar a área de influência de cada subestação e seu carregamento, conforme a figura 1.

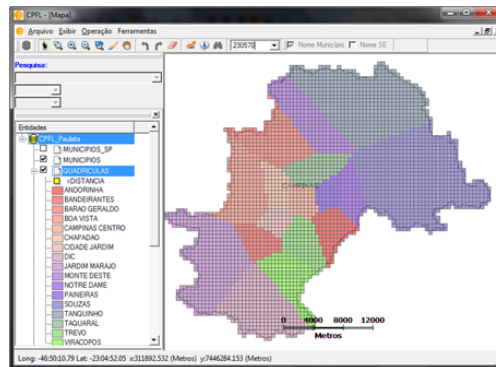


Figura 1- Exemplo de vinculação das quadrículas às Se's.

Para realizar a vinculação das quadrículas às subestações, foi implementado o método *Ford-Fulkerson* que vincula a subestação mais próxima, respeitando o seu carregamento máximo. Desta forma, o problema de otimização a ser formulado refere-se a minimização do produto dos parâmetros “Demanda atendida pela quadrícula (kVA) x km de atendimento”. O algoritmo pode ser descrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \min \quad & C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot Z_{ij} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^n Z_{ij} = S_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{i=1}^m Z_{ij} = D_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Onde:

m : número de subestações

S_i : capacidade da subestação i

n : número de cargas

D_j : demanda da carga j

C_{ij} : distância da subestação i à carga j

Z_{ij} : demanda D_j atendida pela subestação i

Para cada quadrícula é associada uma taxa de crescimento, permitindo assim a obtenção das demandas até o ano horizonte, conforme figura 02. Uma vez definido o sistema em estudo, calculadas ou informadas as taxas de crescimento de carga da região e, tendo a área em estudo sido devidamente dividida em quadrículas e estas associadas à cada subestação da região, resta apenas analisar o sistema ano a ano verificando possíveis transgressões de critérios de carregamento e propondo alternativas de expansão do sistema.

The screenshot shows a software window titled "Taxa de Crescimento (CIC)". It contains a table with columns for "Ano", "Nome SE", "Residencial", "Comercial", "Industrial", "Rural", and "Outros". The table lists data for years 2012 and 2015 for various substation names (e.g., ANO, BAN, BSE, CAG, CDU, CPO, DCE, JCE, N2015). Below the table, there are fields for "Período Regressão Linear" (Data Inicial, Data Final) and "Data de Energia Máxima" (Data Inicial, Data Final).

Figura 2 - Cadastro das taxas de crescimento.

No capítulo seguinte é apresentado modelo para proposição de novas SE's e ampliação das existentes, baseado em técnicas de otimização, dividido em três passos. O primeiro trata de definir quais SE's existentes serão ampliadas e quantas novas SE's serão construídas. O segundo otimiza a localização da construção das novas SE's. O terceiro utiliza dos dados de crescimento da demanda ano a ano até o ano horizonte para definir quando as obras de construção ou ampliação devem ser realizadas.

Passo 1

Cálculo dos coeficientes da Função Objetivo

Para determinarmos quantas subestações novas serão construídas e quantas das existentes devem ser ampliadas, assim como quais os valores de suas capacidades, foi utilizado um modelo relaxado da alocação de carga das quadrículas para estimar qual deve ser a capacidade total das SE's de modo que elas atendam toda a demanda no ano horizonte.

O objetivo neste ponto é de minimizar as distâncias das quadrículas alocadas às SE's (D), as perdas com transmissão (P) e o custo das obras (C). Sabendo que estes valores obedecem as seguintes proporções (o custo é um fator conhecido que independe de outras variáveis):

$$D \propto \sum_{i \in S} \sum_{j \in Q_i} r_{ij}$$

$$P \propto \sum_{i \in S} \sum_{j \in Q_i} l_j^2 r_{ij}$$

Onde S é o conjunto de índices das SE's, Q_i é o conjunto de índices das quadrículas associadas à subestação i, l_j é a demanda da quadrícula j, e r_{ij} é a distância da quadrícula i à subestação j.

Foi considerada inicialmente a demanda de cada quadrícula para uma SE, que chamamos l_i de para a i-ésima subestação. Sendo assim, aproximando os valores das demandas das quadrículas para as médias, tem-se, para uma SE, os as seguintes proporções.

$$D_i \propto \sum_{j \in Q_i} r_{ij}$$

$$P_i \propto \bar{l}_i^2 \sum_{j \in Q_i} r_{ij}$$

Com isso, basta aproximar as somas das distâncias das quadrículas à cada subestação. Para isto, foram utilizadas duas hipóteses: que a distribuição de quadrículas associadas a uma subestação é circular, com a subestação no centro e raio igual à distância da quadrícula mais distante alocada (r_{max}) e que a seguinte representação do somatório das distâncias é utilizada.

$$\sum_{j \in Q_i} r_{ij} = \sum_{j \in Q_i} r_{ij} n_j$$

Onde n_j é o número de quadrículas associadas ao raio r_{ij} . Como fica claro, $n_j = 1$ no caso discreto, mas vamos tomar a seguinte representação contínua do somatório:

$$D_i \propto \int_G r dn$$

Onde G é a região em que as quadrículas da subestação i estão alocadas. Assim, dada a área a_q de uma quadrícula, temos que:

$$n = \frac{a}{a_q}$$

$$\therefore dn = \frac{da}{a_q}$$

Assim, dado que a região é circular, tem-se:

$$D_i \propto \int_G r dn = \int_{A_G} \frac{r}{a_q} da = \frac{2\pi}{a_q} \int_r r^2 dr$$

E analogamente:

$$P_i \propto \frac{2\pi \bar{l}_i^2}{a_q} \int_r r^2 dr$$

Portanto, foi definido o valor de demanda para as SE's existentes da seguinte forma: foram alocadas quadrículas até que toda a capacidade das SE's existentes seja utilizada e gerado, para cada SE, a média das demandas das quadrículas alocadas. Para as novas SE's, é definido a média como a média das médias das demandas das SE's existentes (1). Dessa forma, pode-se identificar o quanto a construção ou ampliação de uma SE influencia na função objetivo FO.

Para uma SE existente, tem-se que uma decisão de ampliação significa o aumento da capacidade da SE em:

$$\Delta Amp_i = \frac{\bar{l}_i}{a_q} \pi (r_{amp}^2 - r_{max}^2)$$

Assim, o novo raio após a ampliação é:

$$r_{amp} = \left(\frac{\Delta Amp_i a_q}{\pi \bar{l}_i} + r_{max}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Portanto, tem-se que a variação na função objetivo dada uma ampliação na SE é:

$$\Delta FO_i = \alpha \frac{2\pi \bar{l}_i^{-2}}{a_q} \int_{r_{max}}^{r_{amp}} r^2 dr + \beta \frac{2\pi}{a_q} \int_{r_{max}}^{r_{amp}} r^2 dr + C_i$$

Onde alfa e beta são os fatores de ajuste dos valores da função objetivo.

Analogamente, para uma SE nova, o raio estimado alocado para a sua capacidade será:

$$r_{amp} = \left(\frac{\Delta Amp_i a_q}{\pi \bar{l}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Portanto:

$$\Delta FO_i = \alpha \frac{2\pi \bar{l}^2}{a_q} \int_{r_{max}}^{r_{amp}} r^2 dr + \beta \frac{2\pi}{a_q} \int_{r_{max}}^{r_{amp}} r^2 dr + C_i$$

O modelo linear

Através do cálculo da variação na função objetivo, pode-se então definir as variáveis do modelo linear. Definido x_{ijk} como uma variável binária, tais que i é o índice da subestação, j é o número de transformadores a serem construídos e k é o tipo do trafo a ser construído. Sendo assim:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se a obra da subestação } i \\ & \text{com } j \text{ transformadores} \\ & \text{do tipo } k \text{ deve ser realizada;} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Onde a realização da obra significa a ampliação da subestação i se essa já existir em j transformadores do tipo k . Caso a subestação i não exista, a sua construção com j transformadores do tipo k . Por conveniência, representa-se por I o conjunto de todos os índices i existentes, T_i o conjunto de todas as variáveis de índices (j,k) possíveis para a construção de transformadores em uma subestação existentes (estas variáveis são geradas automaticamente para as SE's existentes contemplando todas as possibilidades e são selecionadas dentre uma série de modelos de construção para as novas SE's) e T o conjunto de todas as variáveis de índices (i,j,k) existentes.

Define-se C_{ijk} como o coeficiente da função objetivo associado à obra x_{ijk} . Fica evidente como relacionar o custo da obra e o delta na capacidade no método descrito anteriormente tendo o tipo e do número de transformadores, uma vez que o tipo determina o custo de um transformador e sua capacidade. Da mesma forma, se for considerada a construção de uma nova subestação, isto é, o índice i for de uma SE que ainda não existe, deve-se incluir no custo o valor de construção da SE além dos custos dos transformadores.

A_{ijk} é definido como o aumento na capacidade associado à obra, D como o excedente na demanda além da capacidade já existente na região de estudo no ano horizonte e $\alpha > 1$ como um fator de folga para garantir que todas as quadriculas serão atendidas. Portanto, tem-se:

Minimizar

$$F = \sum_{(i,j,k) \in T} x_{ijk} C_{ijk}$$

Sujeito a:

$$\sum_{(j,k) \in \mathbb{T}_i} x_{ijk} \leq 1, \forall i \in I$$

$$\sum_{(i,j,k) \in \mathbb{T}} A_{ijk} x_{ijk} \geq \alpha D$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, (i,j,k) \in \mathbb{T}$$

Onde a primeira restrição garante que no máximo uma obra deverá ser realizada em cada subestação e a segunda garante que a capacidade total da região no ano horizonte é maior que a demanda total da região.

Passo 2

Para determinar a localização das novas SE's no ano horizonte foi utilizada uma variação do método de Particle Swarm. Este método tenta simular o comportamento de enxames de animais na natureza, sendo que ele utiliza memória da posição ótima de cada indivíduo e da posição ótima de todo o enxame de indivíduos, assim como a velocidade e inércia de cada um.

Seja então o indivíduo de índice i no instante t , sua velocidade como $v_{i,t}$ e a sua posição como $x_{i,t}$. Define-se também a melhor posição em que o indivíduo já esteve como $x_{i,t}^{best}$. Denomina-se enxame o conjunto de todos os indivíduos, sendo que a melhor posição que o enxame conhece, isto é, a melhor posição dentre todas as posições que os seus indivíduos já estiveram, é $x_{e,t}^{best}$. Sendo assim, a atualização da velocidade e posição é dada por:

$$v_{i,t+1} = c_1 v_{i,t} + c_2 rand() (x_{i,t}^{best} - x_{i,t}) + c_3 rand() (x_{e,t}^{best} - x_{i,t})$$

$$x_{i,t+1} = x_{i,t} + v_{i,t+1}$$

Onde $rand()$ é uma função geradora de números aleatórios com distribuição $U(0,1)$.

Optou-se por uma normalização da velocidade em cada iteração, para impedir saltos grandes da posição devido à distância dos pontos ótimos conhecidos, além de representar mais fielmente o comportamento de um indivíduo na natureza, pois este tem uma velocidade limite que não pode ser ultrapassada pelo simples fato que o indivíduo ótimo se encontra mais distante. Entretanto, a atualização da velocidade descrita continua a orientar a direção do passo do indivíduo. Tem-se então:

$$v_{i,t+1} = c_1 v_{i,t} + c_2 rand() (x_{i,t}^{best} - x_{i,t}) + c_3 rand() (x_{e,t}^{best} - x_{i,t})$$

$$v_{i,t+1} = \frac{v_{i,t+1}}{\|v_{i,t+1}\|} d_t$$

$$x_{i,t+1} = x_{i,t} + v_{i,t+1}$$

Desta forma, o tamanho do passo dado no instante t é determinado pelo escalar d_t , que é variável a cada iteração.

Cada indivíduo é um possível posicionamento das novas subestações no mapa, ou seja, $x_{i,t}$ pertence R^{2n} , onde n é o número de novas subestações, com coordenadas x e y que localizam sua posição na região. Desse modo, em cada iteração do algoritmo é realizado um passo com as velocidades e posições descritas acima.

Calcula-se, então, a função objetivo para a associação das quadrículas com o novo posicionamento das SE's,

através dos termos descritos no passo 1: distâncias das quadrículas alocadas às SE's, fator de perdas e o custo das obras, e também as distâncias das novas subestações às linhas de transmissão. Caso a posição avaliada seja melhor do que a conhecida de um indivíduo, seu valor de $x_{i,t}(\text{best})$ passa a ser $x_{i,t}$. Da mesma forma, se for melhor que o conhecido pelo enxame, temos que $x_{i,t}$ passa a ser $x_{i,t}(\text{best})$. Assim, o processo continua por um número pré-determinado de iterações e tomamos no final o valor de $x_{e,t}(\text{best})$ como solução encontrada pela heurística.

Passo 3

Para decidir quando as obras devem ser realizadas no período do ano base até o horizonte de estudo, utiliza-se um processo de *Scoring* para determinar os candidatos mais interessantes ano a ano. A princípio, para cada excedente na demanda em um ano j , pode-se criar o conjunto de todas as combinações de obras que satisfazem este excedente e que ainda não foram realizadas e garantindo que alguma dessas combinações seja utilizada. Entretanto, a quantidade de elementos nestes conjuntos mostrou-se muito elevada, e o custo de processamento para calcular o *score* de cada possível solução muito alto. Sendo assim, decidiu-se por outra abordagem heurística.

O *score* é composto a partir de dois elementos, um que considera a semelhança da alocação das quadrículas com a alocação final no ano horizonte e outro que considera o custo das obras em cada ano.

Temos T o conjunto de todos os transformadores que existem no ano horizonte. Seja ainda T_j o subconjunto de T dos transformadores construídos no ano j e T'_j o conjunto dos transformadores que ainda podem ser construídos no ano j , considerando conhecida a alocação das quadrículas no ano horizonte com todas as obras realizadas.

Defini-se então $S(C)$ como a função que conta o número de quadrículas que, quando associadas com o conjunto de transformadores C , encontram-se associadas à mesma subestação que a associação realizada no ano horizonte. Isto é, se dada uma quadrícula q , ela será contada por $S(C)$ se a associação das quadrículas com o conjunto C associa q com a mesma subestação que a associação das quadrículas com o conjunto T . Lembramos que a associação pode ser realizada até que a capacidade total das subestações seja atingida sem necessariamente atender toda a demanda da região.

Sendo assim, dado um trafo t pertencente a T'_j , define-se o termo que indica a semelhança com a alocação no ano horizonte com a construção de t como:

$$s_{tj} = S(T_j \cup \{t\})$$

Define-se c_{tj} como custo de construção do trafo t no ano j . Este custo deve ter como referência o ano base de início do planejamento e deve considerar o valor da obra no ano j e o valor que foi “poupado” por se deixar a obra t para ser realizada somente no ano j , isto é, o valor que teria sido ganho caso o valor da obra t no ano tivesse sido investido até o ano 0. Fica claro então que c_{tj} respeita a seguinte desigualdade:

$$c_{tj} > c_{tj'} \text{ se } j < j'$$

Em outras palavras, quanto mais tarde for possível realizar a obra t , melhor. Assim, o *score* final para uma obra t no ano j , denominado F_{tj} , é dado por:

$$F_{tj} = \alpha s_{tj} + \beta \frac{1}{c_{tj}}$$

Onde alfa e beta são constantes que indicam o peso dado da proximidade do mapa final e o custo das obras, respectivamente. Para decidir quais obras t serão realizadas no ano j, tomam-se aquelas com o maior valor de Ftj e que com suas capacidades somadas satisfaçam o excedente na demanda daquele ano.

Resultados

Os testes foram realizados em uma região dividida em 1731 quadrículas de 500m x 500m e cuja demanda total no ano horizonte era de 1259,40 MVA. A capacidade inicial das SE's existentes era de 729,45 MVA, sendo que era necessária uma expansão de, no mínimo, 529,95 MVA.

Na primeira etapa, o algoritmo considerou 61 diferentes possibilidades de expansão ou criação de novas SE's, sendo que destas possibilidades, 21 compunham a solução das obras que deveriam ser realizadas. Estas 21 obras garantiam quem a demanda no ano horizonte fosse atendida. Foi utilizado fator de folga que impunha um aumento mínimo na capacidade de 549,95. A capacidade total da região ao final do processo foi de 1259,45 MVA, um aumento de 550,00 MVA, muito próximo da capacidade mínima imposta. Do total das obras, 16 eram de ampliação e 5 obras eram de construção de novas SE's. As subestações ao final da execução possuíam as características descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da Proposição de Ampliação de Capacidade do Sistema

SE	Potencia nominal (MVA)	Potencia ampliada (MVA)	Potencia alocada (MVA)
0	80,00	20,00	99,88
1	25,00	30,00	54,98
2	51,00	30,00	80,02
3	25,00	60,00	84,94
4	100,00	12,50	112,25
5	25,00	30,00	54,87
6	50,00	15,00	64,86
7	51,60	12,50	63,67
8	53,20	30,00	81,56
9	25,00	30,00	51,87
10	25,00	60,00	84,64
11	53,20	12,50	64,96
12	8,25	20,00	25,62
13	5,00	0,00	4,99
14	76,60	30,00	105,56
15	50,00	12,50	62,48
16	25,00	20,00	44,84
17	0,00	25,00	17,81
18	0,00	25,00	24,93
19	0,00	25,00	24,74
20	0,00	25,00	24,26
21	0,00	25,00	24,97

Com o resultado do passo 1, executou-se o passo 2 para definir a localização das novas subestações. Os gráficos mostram a evolução dos valores da função objetivo calculadas em $x_{e,t(best)}$, $x_{0,t(best)}$ e $x_{5,t(best)}$, onde t é a iteração. Executamos 100 iterações com um total de 10 indivíduos. A imagem mostra, para $x_{e,t(best)}$, a melhor solução encontrada no instante t_f , enquanto para $x_{0,t(best)}$ e $x_{5,t(best)}$ temos os pontos iniciais de execução do algoritmo. Os quadrados representam a localização das novas SE's. As SE's existentes não são representadas, mas influenciam na alocação das quadrículas. A região mais clara das quadrículas representa a concentração de carga. Para referência, abaixo temos o mapa com as subestações já existentes.

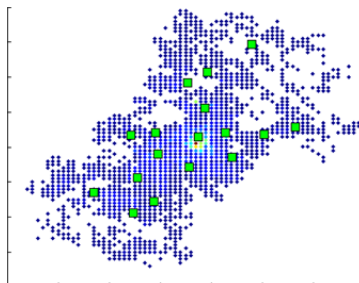


Figura 3 - Subestações já existentes

As figuras abaixo demonstram a evolução do processo de alocação das novas subestações.

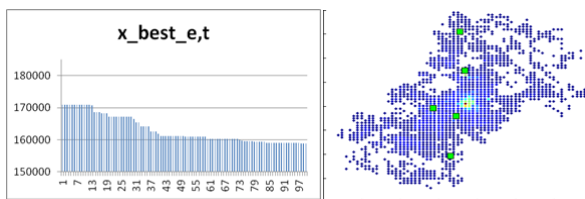


Figura 4 -Evolução da função objetivo e alocação final (ótima) das novas Se's.

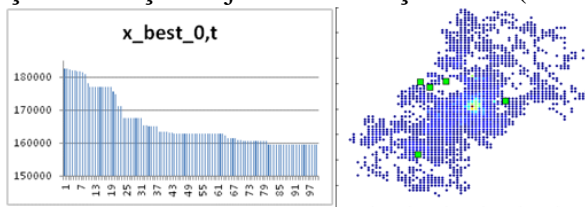


Figura 5 -Evolução da função objetivo e alocação inicial das novas Se's.

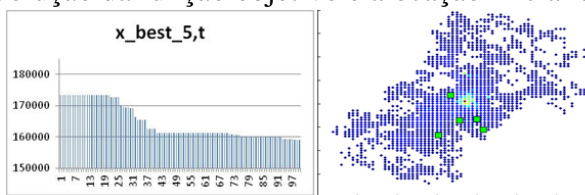


Figura 6 -Evolução da função objetivo e alocação durante o processo das novas Se's.

Note que o valor da função objetivo converge rapidamente para um mínimo local e o processo apresenta um ganho considerável em relação aos pontos iniciais. Ao contrário do que intuitivamente pode parecer, o indivíduo 5 demonstra que a alocação mais próxima do centro de carga não é necessariamente melhor, pois as quadrículas de menor carga ficam muito distantes das SE's e seu custo aumenta significativamente.

3. Conclusões

O presente artigo visou à definição de uma nova metodologia de planejamento para obras de grandes investimentos, com base no comportamento espacial da carga. Como exposto, o modelo otimização é composto de três grandes blocos metodológicos: definição da capacidade a ser ampliada, localização das novas subestações e análise cronológica (definição de quando cada obra deve ser realizada no horizonte de estudos).

Como principal resultado, podemos destacar:

- indicação cronológica da data de inserção de novas obras no sistema de distribuição;
- técnicas de otimização que buscam representar alocar e dimensionar automaticamente novas subestações;
- otimização dos recursos de ativos na base de remuneração regulatória atendendo as necessidades regulatórias de se melhorar os níveis de qualidade do serviço prestado.

A metodologia foi validada mediante simulações com sistemas reais da CPFL, demonstrando a viabilidade da aplicação do método proposto. A metodologia foi implementada em um sistema computacional, tornando-se uma ferramenta flexível e poderosa para os planejadores do sistema de distribuição.

4. Referências bibliográficas

- [1] D. Hongwei, Y. Yixin, H. Chunhua, V. Chengshan and G. Shaoyuni, "Optimal Planning of Distribution Substation Locations and Sizes-model and algorithm", IEEE, TENCON 93, Beijing.
- [2] M. Skok, D. Skrlec, and S. Krajcar, "Genetic Algorithm and GIS Enhanced Long Term Planning of Large Link Structured Distribution Systems ", Proceedings of the 2002 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, 2002 IEEE, 0-7803-7520-3.
- [3] ANEEL. PRODIST – Módulo2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição, Brasília, Superintendência de Regulação da Distribuição, 2010.
- [4] Sperandio M., Coelho J., Ramos R., Prospecção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Automatizados, Uma Visão Estratégica, VI SIMPASE – Simpósio de Automação e Sistemas Elétricos, São Paulo – SP, Agosto,2005.
- [5] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, "Metodologia de Análise de Projeção de Mercado", Nota Técnica N^o 351, Superintendência de Regulação Econômica, Dezembro/2007.
- [6] H. Lee Willis, Spatial Electric Load Forecasting. Marcel Dekker, New York, 1996.
- [7] M.V. Engel et al., Tutorial on Distribution Planning, IEEE, 1992
- [8] Fanning, R. Distribution vision 2010: planning for automation, Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES, Vol. 3, p.1692-1693, Outubro 2004;