

DIMENSIONAMENTO DA MELHOR POSIÇÃO DE UM TRANSFORMADOR EM UMA PROPRIEDADE RURAL

Yasmin J. S. Cruz¹, Pedro P. P. Santos¹, José R. Camacho¹, Juliana A. Malagoli¹, Adélcio M. Sobrinho¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica

NUPEA – Núcleo de Pesquisa e Extensão em Energia Alternativa - Uberlândia – MG,

E-mail: yasminjsc@hotmail.com, pedrop_paulino@hotmail.com, jrcamacho@ufu.br, juliana.malagoni@gmail.com, adelmax@uft.edu.br

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo determinar a posição do transformador, dentro de uma propriedade rural, que resultará em valores mínimos de quedas de tensão nos ramais de baixa tensão dos transformadores de distribuição rurais (entre os terminais de baixa tensão dos transformadores e as cargas) e minimizar o custo das instalações elétricas deste setor, tais como bitola dos condutores e suas infraestruturas. Para isso, foi desenvolvido um programa computacional que, ao reconhecer as posições das cargas (centros de consumo) com suas respectivas demandas, irá calcular o melhor local para o transformador ser instalado e, conseqüentemente, auxiliar na distribuição dos ramais que alimentam os centros de carga dentro da propriedade. Os resultados preliminares indicam que a metodologia proposta configura-se como uma interessante alternativa para a finalidade acima descrita.

Palavras-Chave - Carga, Demanda, Transformador.

DIMENSIONING OF TRANSFORMER BETTER POSITIONING IN A RURAL PROPERTY

Abstract - The study aims determine the position of the transformer within a rural property, which will result in minimum voltage drops in low voltage branches of rural distribution transformers (between low voltage terminals of transformer and loads) with the minimization of cost of electrical installations in this sector, such as gauge of electrical wires and their infrastructure. For this, a computer program was developed which, by recognizing the position of loads (load centers) with their respective demands, will calculate the best place for the transformer to be installed and hence assist in the distribution of branches that feed load centers within the property. Preliminary results indicate that the proposed method appears as an interesting alternative for the purpose described above.

Keywords - Charge, Demand, Transformer.

I. INTRODUÇÃO

Os transformadores são uns dos principais elementos do sistema elétrico de potência, eles realizam a função de converter a energia elétrica em um nível de tensão para outro. Podem ser tanto abaixadores quanto elevadores de tensão, dependendo da sua necessidade de aplicação [1].

Um transformador consiste em dois ou mais enrolamentos acoplados por meio de um fluxo magnético comum. Se um dos enrolamentos, o primário, for conectado a uma fonte de tensão alternada, então será produzido um fluxo alternado cuja amplitude dependerá da tensão do primário, da frequência da tensão aplicada e do número de espiras [2]. O fluxo comum estabelece um enlace com o enrolamento secundário, induzindo uma tensão cujo valor depende do número de espiras do secundário, assim, como da magnitude do fluxo comum e da frequência. Ao estabelecer uma proporção adequada entre os números de espiras do primário e do secundário, praticamente quaisquer das relações, seja de tensão e corrente, ou relação de transformação, pode ser obtida [3].

O funcionamento de um transformador requer apenas a existência de um fluxo comum, variável no tempo, enlaçando dois enrolamentos. Tal ação pode ocorrer entre enrolamentos acoplados pelo ar, no entanto, o acoplamento entre enrolamentos pode se tornar muito mais eficiente usando-se um núcleo de ferro ou de algum outro material ferromagnético [1].

Dentre os tipos de transformadores existentes, aquele que é usado na propriedade rural é o transformador de distribuição, um importante componente do sistema elétrico, o qual converte energia elétrica de um nível de tensão alta para um nível de tensão adequado ao uso dos consumidores [3]. Os transformadores de distribuição são encontrados nos postes com entrada no lado de alta tensão, são de alta potência e projetados para ter alta eficiência, de modo a minimizar o desperdício de energia e calor gerado.

Além de serem consideradas como moradias ou refúgios para muitos, as propriedades rurais atuais estão servindo como próprio sustento e negócio de seus proprietários. Boa parte da produção industrial está ligada direta ou indiretamente ao meio rural. Muitas vezes, ocorrem perdas na produção devido aos erros de projetos elétricos desenvolvidos dentro deste espaço. É importante notar que as quedas de tensão ocorridas devido a alguns desses erros,



XIII CEEL - ISSN 2178-8308
12 a 16 de Outubro de 2015
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

podem vir a acarretar problemas maiores na produção final, como por exemplo, o rendimento de uma máquina que não estará operando de acordo com suas condições elétricas nominais para as quais foram projetadas e instaladas [4].

Analisando, por exemplo, um processo de ordenha mecanizado, quando há uma variação momentânea de tensão elétrica causada por alguma perda no ramal de distribuição, a máquina pode perder pressão e deixar cair no chão o bico de sucção [5]. Isto faz com que o processo seja interrompido para lavagem e desinfecção, causando perda de tempo e prejudicando o produto.

Para melhores resultados em cada produção realizada, o proprietário rural requer uma boa qualidade de energia elétrica, necessária para o funcionamento de máquinas, equipamentos para alimentação de gados e processamento de grãos, iluminação, abastecimento de água, dentre outros. Assim, foi desenvolvido um programa computacional a fim de determinar a melhor posição do transformador na propriedade que garantirá essa otimização da energia, minimizando as perdas e os custos para o proprietário, e beneficiando as instalações elétricas entre o centro de distribuição (transformador) e os centros de consumo da propriedade.

As próximas seções deste artigo são organizadas da seguinte maneira: na seção II serão abordadas as equações matemáticas do modelo estudado. A seção III descreverá o método computacional adotado. Na seção IV serão apresentados os resultados e discussões. Por fim, a seção V apresentará as considerações finais.

II. EQUAÇÕES MATEMÁTICAS DO MODELO ESTUDADO

A demanda é a média das potências elétricas instantâneas solicitadas por uma unidade consumidora durante um período especificado [2].

$$Demanda = P_D = \frac{\int_t^{t+\Delta t} P \times dt}{\Delta t} \quad (1)$$

O cálculo da demanda em uma unidade consumidora rural envolve uma combinação de cargas que podem operar ao mesmo tempo. Por isso, saber as atividades diárias de uma propriedade torna o cálculo mais confiável.

Neste trabalho, o cálculo da demanda é realizado tendo como base a metodologia descrita pela norma da concessionária local [6].

Como o objetivo deste artigo é determinar o melhor posicionamento do transformador na propriedade rural, é necessário conhecer todos os centros de consumo presentes na propriedade. Assim, será possível saber a demanda necessária em cada centro de consumo da propriedade e, conseqüentemente, determinar quanto o transformador distribuidor deverá ser capaz de fornecer.

Com as demandas já determinadas, o sistema de posicionamento dentro da propriedade rural já pode ser introduzido. Em busca de facilidade e melhor precisão das medidas, optou-se pelo uso do programa *Google Earth*,

um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa estadunidense do *Google* cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas, para verificar as posições latitudinais e longitudinais de cada um dos centros de consumo pertencentes à propriedade.

Com os centros de consumo já associados às suas respectivas latitudes e longitudes, a escolha de uma origem para o sistema de coordenadas fica a critério do projetista.

A partir da referência escolhida, é possível calcular a variação latitudinal e longitudinal de cada uma das cargas presentes na propriedade. As equações a seguir mostram as distâncias em metros convertidas através das variações latitudinais e longitudinais [2]:

$$Y_i = \frac{Var(lat)_i * \pi * R}{180} \quad (2)$$

$$X_i = \frac{Var(long)_i * \pi * R}{180} \quad (3)$$

Onde:

R é o raio da Terra, equivalente a 6.371 (km);

$Var(lat)_i$ é a variação latitudinal da carga (i) em relação a latitude da referência escolhida;

$Var(long)_i$ é a variação longitudinal da mesma carga (i) em relação a longitude da referência escolhida.

Em posse da variável distância de cada carga e conhecendo a demanda de cada uma dessas cargas, poderá ser efetuado o cálculo de otimização que consiste no uso do conhecido método do momento elétrico [2]. Este cálculo irá retornar o valor Y_o (posição do transformador otimizada no eixo Y em relação a referência) e X_o (posição do transformador otimizada no eixo X em relação a referência).

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times X_i [kVA \times m]}{D_o [kVA]} \quad (4)$$

$$Y_o = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times Y_i [kVA \times m]}{D_o [kVA]} \quad (5)$$

Este valor de D_o que aparece nas equações (4) e (5) é o valor em (kVA) da potência mínima de transformação que o transformador deverá ter, que é simplesmente o somatório das potências individuais de cada carga. O transformador a ser adquirido deve possuir uma potência maior ou igual a D_o .

Portanto, finalizou-se o cálculo e nesta condição o transformador estará na melhor posição possível em que apresenta o melhor nível de distribuição energética ponderada para as cargas. Onde as cargas com maior demanda estarão mais próximas do transformador.

III. MÉTODOS COMPUTACIONAIS

O *software* utilizado para realizar o programa computacional deste trabalho foi o Octave. É um *software* de domínio público que integra programação matemática, visualização e uma linguagem poderosa para oferecer um ambiente flexível para computação técnica [7].

Um dos objetivos do programa desenvolvido é ser manuseado facilmente por qualquer usuário que deseje projetar ou modificar o projeto de distribuição de eletricidade em sua propriedade rural. Para que o cálculo da melhor posição do transformador seja realizado, é necessária a entrada de alguns dados no programa como: o número de cargas, a demanda de cada carga e suas coordenadas geográficas (latitude e longitude).

Para cada carga da propriedade, ou seja, cada local onde é essencial a presença de energia elétrica deverá ser fornecida a sua localização com os respectivos valores de latitude, longitude e demanda, bem como a quantidade de cargas da propriedade.

Ao receber os valores dos centros de cargas e do transformador citados anteriormente, o programa irá armazená-los e solicitar ao usuário que escolha um ponto de referência fixo (latitude e longitude) para ser considerado como a origem do sistema de coordenadas da propriedade rural. É aconselhável que este ponto fixo seja escolhido de maneira que todas as cargas fiquem dentro do primeiro quadrante do sistema de coordenadas cartesiano, ou seja, as distâncias calculadas sempre terão valores positivos.

A partir dos dados fornecidos, o primeiro passo realizado será converter as posições latitudinais e longitudinais em números decimais para facilitar as operações matemáticas ao decorrer do programa. Já com os dados em números decimais, é possível calcular a variação entre cada uma das cargas e o ponto de referência escolhido. Essa variação será tanto no eixo das longitudes (eixo x no sistema cartesiano) quanto no eixo das latitudes (eixo y no sistema cartesiano).

Trabalhou-se com o sistema internacional (SI) de medidas, e foi realizada a transformação das distâncias para metros. Feita a conversão para metros, o programa irá realizar o cálculo do momento elétrico do transformador que será resultado do somatório dos momentos elétricos de cada um dos pontos de carga da propriedade. Estes momentos dependem diretamente da distância entre a carga analisada até cada um dos eixos definidos no plano cartesiano e da demanda de cada uma das cargas.

Com o momento elétrico já calculado pelo *software*, é possível determinar o centro de carga elétrica da propriedade, ou seja, o melhor local para instalar o transformador.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, testou-se o programa computacional desenvolvido, no caso uma propriedade rural entre os municípios de Ituiutaba (MG) e Capinópolis (MG). Coletaram-se os pontos de carga dentro da fazenda e todos os equipamentos que necessitam de energia para seu

funcionamento, sendo: Casa (lâmpadas fluorescentes, tomadas, ferro, máquina de lavar roupas, chuveiro, televisão, geladeira, freezer); Escritório (computador, lâmpadas); Casa de Máquinas (lâmpadas, motor Desintegrador); Casa de Ordenha (resfriador de leite, lâmpadas, motor da ordenhadeira); Bomba (bomba d'água).

Cada uma das cargas foi localizada, coletando-se também suas respectivas coordenadas latitudinais e longitudinais. Além disso, verificou-se a posição atual do transformador que está instalado na propriedade a fim de comparar sua localização à nova posição determinada pelo programa computacional elaborado.

Para utilizar o programa, determinar a demanda de cada uma das cargas é indispensável, por isso temos a seguir o processo de determinação das demandas da propriedade.

A. Determinação da Carga Instalada

Como exemplo de cálculo deste trabalho, foram coletados dados de uma propriedade rural, contendo 5 cargas instaladas e o respectivo transformador alimentador.

Para o cálculo de demanda da propriedade, tem-se como primeiro passo conhecer a potência em *Watts* instalada em cada uma das cargas. A seguir, é mostrada a relação de Tabelas relacionando cada um dos pontos de carga.

Tabela I - Carga instalada na Casa

Quantidade	Descrição	Potência [W]
16	LFCs	240
15	TUGs	1500
1	Ferro	1000
1	Máquina de Lavar	1000
1	Chuveiro	4400
1	Televisão	250
2	Geladeira	500
1	Freezer	400
		9290 W

Tabela II - Carga instalada no Escritório

Quantidade	Descrição	Potência [W]
1	Computador	100
1	LFC	40
		140 W

Tabela III - Carga instalada na Casa de Máquinas

Quantidade	Descrição	Potência [W]
3	LFCs	120
1	Desintegrador (7,5 CV)	5520
		5640 W

Tabela IV - Carga instalada na Casa de Ordenha

Quantidade	Descrição	Potência [W]
1	Resfriador	500
6	LFCs	240
1	Ordenhadeira	1472
		2212 W

Tabela V - Carga instalada na Bomba

Quantidade	Descrição	Potência [W]
1	Bomba d'água	736
		736 W

Tendo os valores das cargas instaladas de cada um dos pontos de carga, é possível determinar a carga instalada total da propriedade, sendo esta o somatório de todas as cargas instaladas:

$$\sum_{i=1}^n CI(i) = 18018W \quad (6)$$

Onde:

CI é a carga instalada;

n é o número total de cargas.

Observando a equação (6), verifica-se que a carga instalada da propriedade analisada equivale a 18,018 kW. Seguindo a norma da concessionária local [6], se uma carga instalada de uma propriedade for maior que 15 kW, o consumidor pertence ao Tipo C e, é necessário realizar o cálculo de demanda.

B. Cálculo de Demanda

Para efetuar o cálculo de demanda desta propriedade, utilizou-se a seguinte equação [6]:

$$D = a + b + c + d + e + f (kVA) \quad (7)$$

Sendo:

a é a demanda referente à iluminação e tomadas;

b é a demanda relativa aos aparelhos eletrodomésticos e de aquecimento;

c é a demanda dos aparelhos de condicionadores de ar;

d é a demanda de motores elétricos;

e é a demanda de máquinas de solda e transformador;

f é a demanda de aparelhos de raios-X.

Nos cálculos abaixo, serão mostradas as demandas de cada ponto de carga da propriedade. A equação base dos cálculos é a seguinte:

$$Dx = \frac{P}{fp} * FD \quad (8)$$

Sendo:

P é a potência da carga instalada (W);

fp é o fator de potência dos aparelhos analisados;

FD é o fator de demanda, determinado pela quantidade de aparelhos.

Tanto os Fatores de Demanda (FD) quanto os Fatores de Potência (fp) foram utilizados seguindo a norma [6].

Para iluminação e tomadas foi utilizada a seguinte equação [6]:

$$a = \left(\frac{640}{0,92} + \frac{1500}{0,92} \right) * 0,76 = 1,77kVA \quad (9)$$

Para o cálculo da demanda de aparelhos eletrodomésticos e de aquecimento, deve-se levar em conta a divisão entre b1, b2, b3, b4 e b5 contidas na norma. No caso desta propriedade, considera-se b1 (chuveiro), b4 (máquina de lavar e ferro) e b5 (televisão, geladeira, freezer, computador e resfriador). Foi utilizada a Tabela 14 da norma da concessionária local [6]:

$$b = b1 + b4 + b5$$

$$b1 = \frac{4400}{1} * 1 = 4,4kVA$$

$$b4 = \left(\frac{1000}{0,92} + \frac{1000}{1} \right) * 0,92 = 1,92kVA$$

$$b5 = \left(\frac{1750}{0,92} \right) * 0,65 = 1,24kVA$$

$$b = 7,56kVA \quad (10)$$

Para o cálculo de demanda dos motores elétricos foi utilizada a Tabela 15: ND – 5.1 CEMIG [6], para demanda individual de 3 a 5 motores:

$$d = 7,5cv + 2cv + 1cv$$

$$d = 5,56kVA + 1,71kVA + 1,04kVA$$

$$d = 8,31kVA \quad (11)$$

Portanto, tem-se a demanda total da propriedade:

$$D = 1,77kVA + 7,56kVA + 8,31kVA$$

$$D = 17,64kVA \quad (12)$$

Com as demandas devidamente calculadas, é possível agora inserir os dados no programa e determinar a melhor posição para o transformador dentro desta propriedade analisada.

Na Tabela VI é mostrado as cargas com suas respectivas posições, o transformador em sua posição inicial, o ponto de referência escolhido e, por fim, a nova localização determinada através do programa. A demanda total calculada foi de 17,64 kVA, e um bom transformador final, portanto, para ser instalado seria o trifásico com potência 25 kVA. A Figura 1 mostra a imagem da propriedade analisada neste trabalho, retirada da ferramenta *Google Earth*.

Tabela VI - Localização final do transformador

	Latitude (S)	Longitude (W)	Demanda [kVA]
Transformador Inicial	18° 47' 54,96"	49° 38' 51,76"	10
Casa	18° 47' 55,92"	49° 38' 49,91"	8,57
Escritório	18° 47' 56,38"	49° 38' 50,61"	0,104
Casa de Máquinas	18° 47' 55,61"	49° 38' 51,52"	5,66
Casa de Ordenha	18° 47' 54,91"	49° 38' 50,38"	2,26
Bomba	18° 47' 57,66"	49° 38' 51,20"	1,04
Referência	18° 47' 58,91"	49° 38' 52,25"	
Transformador Final	18° 47' 55,80"	49° 38' 50,78"	25



Fig. 1. Imagem da propriedade de estudo.

V. CONCLUSÕES

Tendo base nos resultados obtidos pelas operações matemáticas e estas comparadas ao programa computacional desenvolvido, foi possível concluir que o objetivo do trabalho foi satisfeito e que uma nova ferramenta de cálculo da melhor localização de um transformador em uma propriedade rural pode ser utilizada a fim de facilitar as instalações elétricas rurais.

É importante ressaltar que, tendo a localização para o transformador de forma adequada, o processo de dimensionamento dos condutores e a distribuição dos ramais se dão também de maneira mais precisa, beneficiando o consumidor e a concessionária, de forma a diminuir a queda de tensão nos circuitos de baixa tensão das propriedades rurais.

Com o transformador já localizado corretamente através dos cálculos realizados pelo programa computacional, o projetista tem seu processo facilitado. De modo que é possível ver os pontos das cargas instaladas dentro da propriedade e determinar quais os melhores caminhos para se traçar os ramais de distribuição (entre o transformador distribuidor e cada uma das cargas instaladas). Neste percurso dos ramais, pode-se notar que as quedas de tensão são reduzidas, os condutores são escolhidos de forma adequada de acordo com a corrente exigida pela carga e, conseqüentemente, os custos das instalações são mais acessíveis e as perdas de energia elétrica são menores.

Como proposta de trabalho futuro, pode-se citar o cálculo da posição levando em consideração a distribuição de ramal menos onerosa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Uberlândia, pela utilização da infraestrutura do NUPEA. A autora Juliana Almansa Malagoli agradece à CAPES pelos recursos destinados ao desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr., S. D. Umans, "Electric Machinery". McGraw-Hill Higher Education, 2013.
- [2] V. N. Mittle, A. Mittal, "Design of Electrical Machines". Standard Publishers Distributors, Delhi, 2009.
- [3] K. G. Upadhyay, K. G. "Design of Electrical Machines". New Age International Publishers. New Delhi, India, 2008.
- [4] Cotrim, A.M.B, "Instalações Elétricas", 5ª Edição, 2009.
- [5] R. S. Cunha, "Posicionamento de Transformadores para a melhoria de Instalações Elétricas em Propriedades Rurais", Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UFU, 2004.
- [6] Norma de Distribuição Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea - Edificações Individuais, ND5.1, CEMIG.

[7] Manual Octave, <http://www.gnu.org/software/octava.pdf>,
acessado 05 de maio, 2015.