

INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do trabalho: Automatização dos processos de divisão da instalação elétrica em circuitos e balanceamento de fases em projetos de instalações elétricas em baixa tensão

Autor (es): Caio Marcelo Pereira Melo, Filipe Diego Da Silva, Leonardo Antônio Cunha Veloso, Samuel Rodrigo Antunes e José Antonio Moreira de Rezende

Palavras-chave: Divisão da instalação em circuitos. Balanceamento de fases. Pesquisa Operacional. Métodos determinísticos. Métodos heurísticos

Campus: Formiga

Área do Conhecimento (CNPq): Engenharia Elétrica

RESUMO

A norma ABNT NBR 5410:2004 Versão Corrigida: 2008 (instalações elétricas de baixa tensão) determina, nos itens 4.2.5 e 9.5.3, um conjunto de procedimentos para a realização da divisão de uma instalação elétrica em circuitos, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Uma vez definida a potência de cada circuito e sabendo o tipo de alimentação para esta instalação – neste caso a alimentação a 3 fios ou a 4 fios – é realizado o balanceamento de fases que consiste em distribuir uniformemente as cargas, de modo a obter-se o maior equilíbrio possível (no caso ideal, deseja-se que a potência em cada uma das fases seja de mesmo valor). Este último procedimento se torna extremamente difícil, conforme o aumento da quantidade de circuitos, pois a determinação do balanço ótimo de fases trata-se de um problema combinatório com restrições. Posto isto, a proposta deste resumo é a apresentação dos resultados parciais obtidos neste projeto de iniciação científica, em execução no *Campus* Formiga do IFMG, que tem como intuito desenvolver um sistema escrito em código Python que realize a divisão ótima da instalação elétrica em circuitos, seguindo as exigências da NBR 5410, além de automatizar a tarefa de balanceamento de fases, para instalações elétricas a 3 fios ou a 4 fios. Para que este objetivo seja alcançado, este sistema deverá obter as informações elétricas e posicionais dos pontos da instalação elétrica, realizar o cálculo de potências de cada ambiente da edificação, gerar uma estrutura em grafo para que seja possível obter uma série de circuitos em que cada um deles será a representação de um circuito da instalação elétrica. Para a resolução do problema combinatório enunciado anteriormente, serão estudadas e implementadas técnicas de Pesquisa Operacional, elencando os métodos determinísticos e heurísticos que sejam adequados à utilização neste cenário. Os resultados parciais obtidos apresentam que a metodologia de resolução da divisão automática da instalação elétrica em circuitos é promissora e implementável computacionalmente.

INTRODUÇÃO:

Um projeto de instalações elétricas de baixa tensão, em todo o território brasileiro, é regido pela norma ABNT NBR 5410:2004 Versão Corrigida: 2008 (ao longo deste texto, esta norma será referenciada somente por NBR 5410). Esta norma aplica-se, principalmente, às edificações residenciais, comerciais, públicas, industriais, agropecuárias, pré-fabricadas, entre outras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Para que um projeto de instalações elétricas seja executado, de forma que seja atendida a demanda de energia elétrica de uma edificação e que esteja de acordo com as exigências da referida NBR, são necessárias algumas etapas, como: alocação dos pontos de consumo, divisão da instalação em circuitos, dimensionamento dos condutores, eletrodutos, proteções, determinação da demanda e entrada de serviço da concessionária.

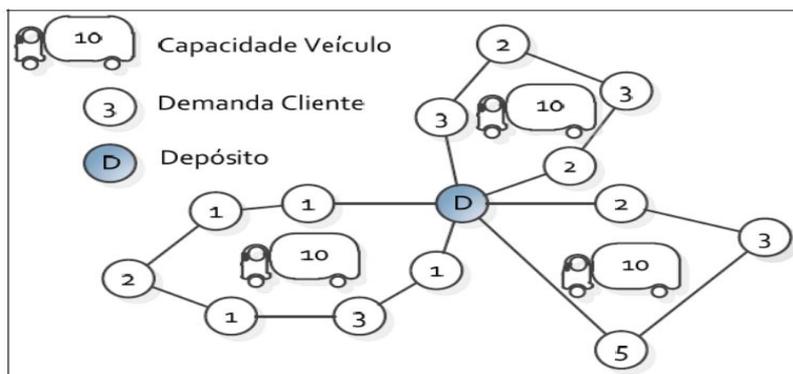
A etapa de divisão da instalação em circuitos é o momento de obter a demanda de cada circuito terminal, de forma a realizar a especificação da seção dos condutores elétricos e dos seus dispositivos de proteção

(COTRIM, 2009; CREDER, 2016). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), em seu item 4.2.5.1: “a instalação deve ser dividida em tantos circuitos quantos necessários, devendo cada circuito ser concebido de forma a poder ser seccionado sem risco de realimentação inadvertida através de outro circuito”. Seguindo esta premissa, vale ressaltar que: devem ser previstos circuitos terminais distintos para pontos de iluminação e para pontos de tomada (item 4.2.5.5); equipamentos com corrente nominal superior a 10 A devem constituir um circuito independente (item 9.5.3.1). Esta exigência emerge o conceito de como tomada de uso específico (TUE) e os pontos de tomada de cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados à alimentação de tomadas desses locais (item 9.5.3.2).

Para determinar a quantidade de circuitos de uma instalação elétrica, de acordo com os procedimentos da NBR 5410, será utilizada uma abordagem conhecida como Problema de Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC), que é um modelo matemático representado por um grafo $G = (V, A)$, que possui um conjunto de vértices $V = \{0, \dots, n\}$, representativo das localidades a serem atendidas por um depósito no vértice 0 e um conjunto de arestas associadas às possibilidades de locomoção entre os vértices (SANTOS, 2014).

A Figura 1 ilustra um exemplo de uma instância PRVC em que, para a efetividade do modelo e para que ele possa gerar soluções ótimas, as seguintes restrições devem ser obedecidas: (1) Cada vértice $V \setminus \{0\}$ deve ser visitado uma única vez por apenas um veículo; (2) Todas as rotas devem se iniciar e terminar no depósito; (3) Cada vértice i possui uma demanda d_i e a soma das demandas de qualquer uma das rotas geradas não deve exceder a capacidade Q dos veículos.

Figura 1 - Instância PRVC que será adaptada ao problema de divisão da instalação em circuitos.



Fonte: Santos (2014).

A adaptação do PRVC para a divisão em circuitos de uma instalação elétrica consistirá em: considerar o quadro de distribuição de circuitos (QDC) como sendo o centro de distribuição (ou depósito); considerar cada ambiente da residência como sendo um ponto a ser atendido (cidade ou cliente) e o percurso fechado de cada caminhão (a ser coberto por um “veículo” de capacidade Q) e que passa por um subconjunto de elementos da instalação será considerado um circuito da instalação elétrica.

No caso de instalações em que o circuito alimentador possua mais de uma fase, ao término da divisão da instalação em circuitos é realizado o balanceamento de fases com o intuito de distribuir uniformemente a carga, conforme exigido pelo item 4.2.5.6. Desta forma, garante-se que o circuito de distribuição não corra o

risco de trabalhar sobrecarregado. Entretanto, não existe um procedimento registrado na NBR 5410 para realizar o balanceamento de cargas. A condição ideal é que a distribuição seja tal que a potência em cada uma das fases seja igual. Porém, esta condição é extremamente difícil de ser alcançada, fazendo com que seja recorrida à seguinte regra: a maior potência de uma fase não deve exceder 10% (dez por cento) a menor potência (JÚNIOR, 2012).

METODOLOGIA:

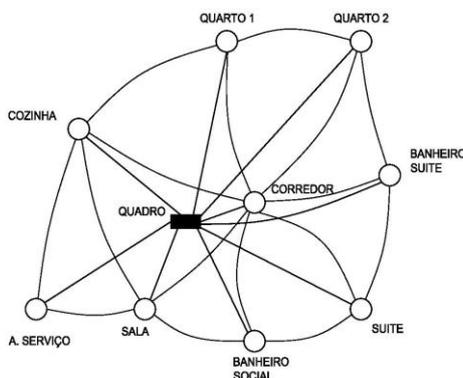
Com o intuito de realizar a divisão da instalação elétrica em circuitos, é importante que se tenha disponível a planta baixa de uma residência. Esta informação gráfica da edificação fornece, por exemplo, as informações correspondentes aos valores de área e de perímetro para cada ambiente em que, a partir daí, são levantados os valores de potência de iluminação e de tomadas, obedecendo os procedimentos exigidos pela norma NBR 5410.

Após a determinação da potência dos pontos de iluminação e tomada de acordo com a norma NBR 5410, tem-se a alocação dos pontos de iluminação e tomadas em planta baixa. Posto isto, a solução do PVRC será realizada por meio de um grafo não orientado, ponderado e amplamente conectado, em sua configuração inicial, onde cada vértice do grafo será um equipamento da instalação elétrica conforme descrito anteriormente.

A Figura 2 ilustra a representação em grafo da planta baixa com o intuito de obter a divisão da instalação elétrica em circuitos, via PRVC. Para que seja obedecida a exigência da NBR 5410, que consiste em circuitos distintos para iluminação e tomadas, será montado um grafo para cada um dos cenários.

Adicionalmente, a Figura 2 representa cada ambiente da edificação como sendo um vértice do grafo, com informações obtidas pelo levantamento dos atributos apresentados pela Figura 4. Os pesos das arestas do grafo serão determinados por meio de uma função escrita em Python que possuirá os seguintes parâmetros: A distância entre cada elemento; o local de cada elemento e a semelhança, ou nível de similaridade, entre cada ambiente (para evitar que tomadas da cozinha sejam colocadas em circuitos com tomadas de outro ambiente, como quartos).

Figura 2 - Grafo para obtenção dos circuitos da instalação elétrica (TUGs ou iluminação).



Fonte: Próprio autor (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Como resultado parcial, será apresentado o algoritmo para a formação dos agrupamentos de potência, que é uma etapa anterior à construção do grafo PRVC, baseado nas informações de potência de tomada de uso geral disponíveis na planta elétrica da Figura 1.

Passo 1. Escolher um ambiente inicial: O primeiro ambiente a ser escolhido foi o **Quarto 1**, que possui duas TUGs de 100 W e duas TUGs de 300 W, resultando em uma potência de 800 W. Assume-se que o **Quarto 1** será um vértice do grafo (com potência de 800 W), o que impedirá que duas tomadas dentro do ambiente estejam em circuitos distintos da instalação elétrica.

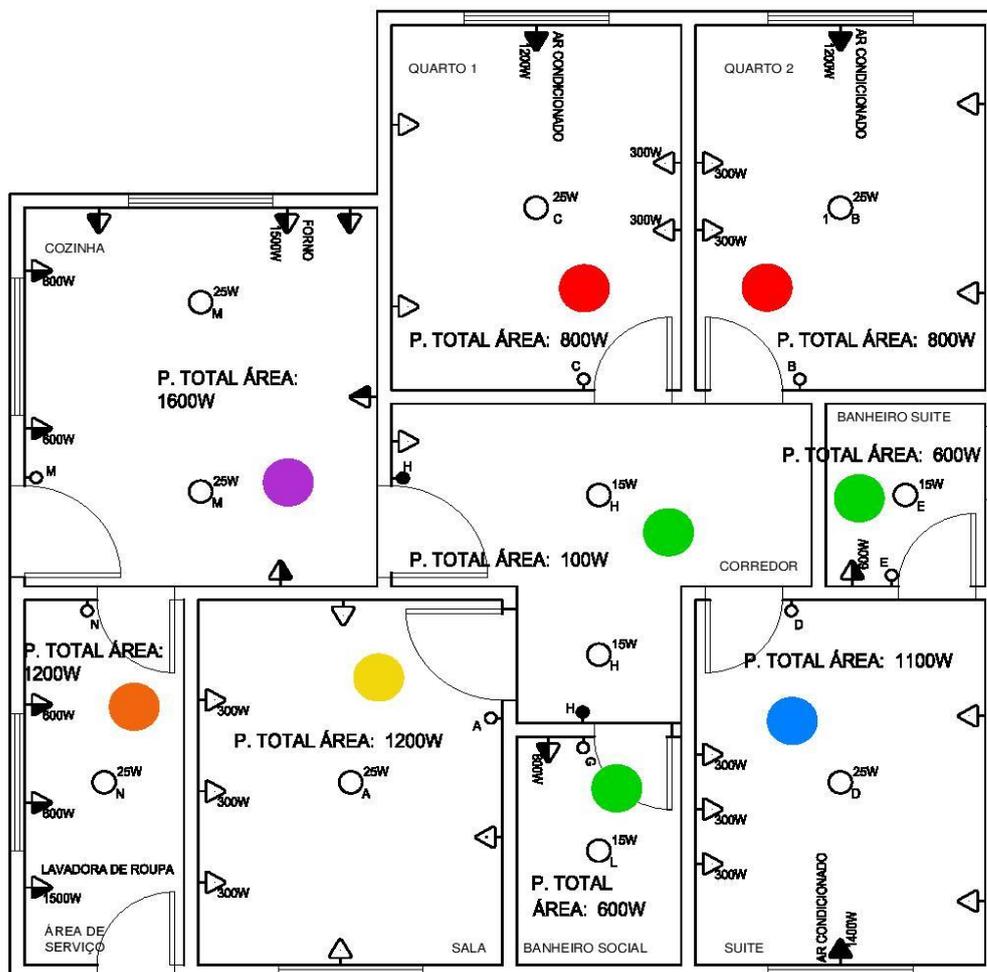
Passo 2. Verificar se a potência total do ambiente está no intervalo de 1200 W a 1600 W: Se o valor da potência total do ambiente estiver dentro desta faixa, as tomadas deste ambiente formarão um vértice do grafo e a busca por ambientes adjacentes é encerrada. Caso contrário, é verificada a potência de um ou mais ambientes adjacentes. Para o caso do **Quarto 1** ($P_{\text{Quarto 1}} = 800 \text{ W}$), será inspecionado um ambiente adjacente para que a potência total do conjunto esteja entre 1200 W e 1600 W.

Passo 3. Somar a potência obtida no Passo 1 com a potência dos ambientes adjacentes, até que o valor da potência do agrupamento esteja dentro da faixa especificado pelo Passo 2: O próximo ambiente escolhido é o **Quarto 2** ($P_{\text{Quarto 2}} = 800 \text{ W}$). Para este passo, a escolha do próximo ambiente será dada em função do nível de similaridade¹ de cada ambiente. Portanto, $P_{\text{Quarto 1}} + P_{\text{Quarto 2}} = 1600 \text{ W}$. Como obedeceu ao critério de parada, cria-se o primeiro vértice do grafo de TUGs e o algoritmo retorna ao **Passo 1** com a escolha de um novo ambiente da edificação. Se todos os ambientes já foram avaliados, encerra-se o algoritmo e parte-se para a montagem do grafo PRVC.

O resultado deste processo é apresentado na Figura 8. Todas as potências dos ambientes estão agrupadas em cores, com o intuito de apresentar o valor da potência de cada vértice, com o objetivo de definir os circuitos da instalação elétrica.

¹ Será definido como nível de similaridade do ambiente o critério de aquisição da quantidade de tomadas de uso geral especificado pelo item 9.5.2.2.1 da NBR 5410.

Figura 3 - Divisão de circuitos de tomadas segundo a metodologia proposta para o algoritmo.



CRITÉRIOS EM ORDEM DE IMPORTÂNCIA:

- TOMADAS DE UMA MESMA ÁREA DEVEM FICAR AGRUPADAS EM UM MESMO CIRCUITO, PARA FACILITAR A IDENTIFICAÇÃO DA PROTEÇÃO DA MESMA. CASO A POTÊNCIA DA DEPENDÊNCIA SEJA SUPERIOR A 2000W, DIVIDIR EM 2 CIRCUITOS.

- ÁREAS DE USO SEMELHANTES POSSUEM PESO MENOR PARA FAZER AGRUPAMENTOS

- CIRCUITOS COM POTÊNCIA ENTRE 1200W E 1600W

POTÊNCIA POR AGRUPAMENTO:

- | | | | |
|--|-------|--|-------|
| | 1300W | | 1200W |
| | 1100W | | 1200W |
| | 1600W | | 1600W |

CONCLUSÕES:

Este resumo teve como objetivo a apresentação dos resultados parciais de um projeto de pesquisa de iniciação científica que visa a automatização do processo de divisão da instalação elétrica em circuitos e o balanceamento de fases para consumidores a 3 ou a 4 fios e, para atingir este objetivo, os módulos responsáveis por estas tarefas serão implementados em linguagem Python. Para tanto, a representação gráfica da instalação elétrica desenvolvida em AutoCAD[®] fornecerá as informações elétricas e posicionais de cada um dos pontos de tomada e de iluminação para a montagem e resolução de um grafo PRVC.

Até o momento foram definidas as seguintes metodologias: de aquisição de informações dos pontos da instalação elétrica, de cálculo das potências de agrupamento e da geração do grafo PRVC. Neste segundo semestre, serão realizadas: as implementações computacionais destas metodologias e, ainda, a implementação do *solver* PRVC. Para tanto, serão experimentadas abordagens determinísticas e heurísticas com o intuito de resolver o problema da divisão da instalação em circuitos. Por fim, o módulo de balanceamento de fases também será implementado na segunda metade do período de vigência do projeto, aproveitando os resultados do *solver* PRVC.

Os experimentos iniciais da modelagem sugerida por este trabalho para a realização da divisão de circuitos de uma instalação elétrica, e que foram apresentados neste relatório parcial, representam uma prova de conceito com resultados promissores, pois eles foram criados para que fossem compatíveis com as exigências da norma NBR 5410. Sendo assim, restará saber, após a implementação destes módulos, qual será o esforço computacional gasto para a realização destas tarefas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

CERVELIN, S. CAVALIN, G. **Instalações elétricas prediais**: teoria & prática. Curitiba: Base Livros Didáticos Ltda, 2008.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**: revisada e atualizada conforme a NBR 5410:2004. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. São Paulo: LTC, 2016.

ESTEVAM, J. B. **Heurísticas para o problema de roteamento de veículos capacitados - PRVC visando aplicação no gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 2003. 101 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

JÚNIOR, I. C. S. **ENE065**: Instalações Elétricas I. 2012. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ivo_junior/files/2010/12/ENE065_-07_05_2012.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2018.

SANTOS, F. V. **A utilização da pesquisa operacional como ferramenta para redução de custos na logística de distribuição**: problema de roteamento de veículos capacitados (PRVC). 2014. Disponível em: <<https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21074/xmlui/bitstream/handle/123456789/279/TCC%20-%20FRENANDO%20VIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 07 ago. 2018.