

Metodologia dirigida ao aumento da eficiência do processo de elaboração e análise de projetos de linhas aéreas rurais de distribuição de energia elétrica

Leonardo da C. Brito (Universidade Federal de Goiás) brito.lc@gmail.com

Adson S. Rocha (Instituto Federal Goiano) adsonrocha@gmail.com

Cássio L. Ribeiro (Universidade Federal de Goiás) ziglee@gmail.com

Denner M. de Carvalho (Universidade Federal de Goiás) denner.engeletrica@gmail.com

Pedro H. S. Palhares (Universidade Federal de Goiás) phpalhares@gmail.com

Resumo:

Neste artigo é apresentada uma nova metodologia dirigida ao aumento da eficiência do processo de dimensionamento e aprovação de projetos de linhas rurais aéreas de distribuição de energia elétrica. Em substituição ao processo sequencial atualmente empregado, a abordagem proposta é baseada em Engenharia Simultânea, onde todos os atores do processo têm acesso à ferramenta computacional em plataforma *web* que permite implementar a metodologia, possibilitando realizar a atividade multidisciplinar em paralelo, de maneira mais ágil. As estimativas realizadas indicam que a ferramenta possibilitará a redução do tempo gasto para a elaboração e aprovação dos projetos, permitindo: reduzir o custo total em homem-hora despendido pela concessionária de energia elétrica; satisfazer a necessidade do cliente de maneira mais rápida; otimizar os dimensionamentos mecânicos das linhas de distribuição; e prover ganho financeiro adicional à concessionária devido à redução do tempo médio para efetivamente iniciar o fornecimento da energia elétrica.

Palavras chave: Otimização, Projeto, Distribuição, Energia Elétrica.

A Methodology for Increasing the Efficiency of Elaboration and Analysis Process of Overhead Rural Line Projects for Electrical Power Distribution

Abstract:

This paper presents a novel methodology aimed at increasing the efficiency of the process of designing and approving projects of rural electricity distribution overhead lines. As a substitute for the sequential process currently employed, the proposed approach is based on Simultaneous Engineering, where all the actors of the process have access to the computational tool in a web platform that allows implementing the methodology, making it possible to perform the multidisciplinary activity in parallel, in a more agile way. Estimates indicate that the tool will reduce the time spent to prepare and approve projects, allowing: to reduce the total cost in man-hours spent by the electric utility; to satisfy the customer's need faster; to optimize the mechanical dimensioning of distribution lines; and to provide additional financial gain to the utility due to the reduction of the average time to effectively start supplying electric power.

Key-words: Optimization, Project, Distribution, Electrical Power.

1. Introdução

Para atendimento de uma unidade consumidora de energia elétrica, é necessário que o cliente interessado solicite o fornecimento de energia à responsável pela concessão da distribuição de energia da região, processo realizado através de conexão com a rede elétrica existente. Após ser realizada essa solicitação de demanda, a concessionária define as ações necessárias ao atendimento, podendo ser por meio de serviço executado pela própria concessionária ou pelo cliente no âmbito particular. Esses serviços são executados de acordo com as diretrizes e prazos estabelecidos pela resolução normativa vigente (ANEEL, 2010).

Em seguida, é realizado o processo de aprovação do projeto para atender à referida unidade consumidora. Em se tratando especificamente do processo de aprovação de projetos para atendimentos de áreas rurais, foco deste trabalho, é necessário primeiramente a avaliação do sistema por meio de estimação do fluxo de potência demandado e da disponibilidade de carga da rede de distribuição de energia elétrica por parte da fonte geradora. Nesse momento, são definidas as características elétricas, tais como: tensão elétrica de operação, pré-encaminhamento da rede com posicionamento dos pontos de derivação e ponto de entrega por parte da concessionária. Com essas definições de planejamento, são realizadas as etapas de levantamento do perfil planialtimétrico do caminho que a rede irá percorrer e, em seguida, a elaboração do projeto eletromecânico para posterior análise por parte dos Engenheiros analistas responsáveis na concessionária.

A etapa de levantamento topográfico é de grande relevância no processo de aprovação de projeto, sendo atualmente executada exclusivamente por profissionais agrimensores. No momento do levantamento dos dados topográficos *in loco*, esse profissional, que na maioria das vezes não possui acompanhamento de um técnico especialista em projeto de redes de distribuição de energia elétrica, acaba sendo forçado a realizar decisões significativas na etapa de elaboração do projeto, podendo acarretar até mesmo a inviabilidade no dimensionamento eletromecânico. Com isso, ocorrem retrabalhos e, em sua maioria, sendo necessário novos levantamentos em campo, atrasando todo o processo de elaboração e aprovação do projeto.

Outro fator preponderante no processo de aprovação de projetos se dá nas etapas de dimensionamento e análise de projetos. O processo de locação dos postes e estruturas de sustentação das redes de distribuição de energia são realizados manualmente, ponto-a-ponto, e exigindo mão-de-obra qualificada para avaliação técnica-econômica. Os erros e equívocos no dimensionamento eletromecânico do projeto é tão comum, que exigem várias correções e redimensionamentos, de tal forma a ocorrer, em muitos casos, mais de três reprovações por projeto. E, dado o tempo de análise exposto pela normativa vigente para cada análise/reprovação, o prazo para aprovação de projeto acaba gerando uma perda significativa tanto para o consumidor que necessita da energia elétrica, quanto para a própria concessionária que perde financeiramente meses de consumo de um cliente.

Após concluída a elaboração do projeto, o mesmo é submetido à análise da concessionária. Nesta etapa, por se tratar de um atendimento em uma área rural, o analista estuda o encaminhamento proposto de forma a evitar desvios desnecessários, o qual acarretaria maiores custos para a concessionária, caso o projeto possua uma maior extensão ou até mesmo um dimensionamento não-ótimo das estruturas. Atualmente, para essa análise, é necessária a avaliação por meio de vários softwares diferentes, como por exemplo o encaminhamento e perfil planialtimétrico através do Google Earth (GOOGLE, 2017a) e comparação com o cadastrado nas ferramentas de dimensionamento, que em muitos casos, não possui avaliação de altimetria, sendo essa uma das principais características a serem observadas nesse tipo de projeto. Por se tratar de um conhecimento específico e a análise demandar diversos meios e

métodos, o processo de elaboração e aprovação demanda um tempo considerável de profissionais extremamente qualificados, gerando custo para a concessionária.

A solução identificada para contribuir para a melhoria do processo de elaboração de projetos em áreas rurais foi o desenvolvimento de uma metodologia baseada em Engenharia Simultânea (PIMENTEL, 2003; FILHO, 2006; GONÇALVES, 2007; PRASAD 2011), implementada por meio de uma ferramenta computacional de dimensionamento que emprega, adicionalmente, otimização computacional para locação das estruturas com avaliação de todas as solicitações mecânicas pertinentes, evitando equívocos de dimensionamento. Especialmente, a ferramenta oferece a funcionalidade de análise de topografia por meio do emprego de API do Google Maps (GOOGLE, 2017b) integrada à solução, sendo possível criar propostas de encaminhamentos previamente analisados, de forma orientar os profissionais de topografia através de uma plataforma *web* amigável, podendo também ser atualizada em tempo real quando conectada a uma fonte de internet. A ferramenta descrita, devido à essa integração, proporciona análises de forma imediata e comparativa, minimizando o tempo de análise, otimizando todo o processo.

2. Metodologia proposta

A metodologia proposta neste trabalho é composta por um processo que visa a melhoria global do fluxo de projeto de rede rural aérea de distribuição de energia elétrica, com o objetivo de reduzir o tempo para aprovação, bem como de um método que objetiva melhorar a qualidade técnica das soluções de locação de montagens, concomitantemente com a minimização dos custos estimados para implantação física da rede.

2.1 Método de Dimensionamento

O processo de dimensionamento mecânico geralmente é realizado a partir de cálculos aproximados de forças e momentos mecânicos impostos às estruturas, bem como de catenárias que os alimentadores (cabos) formam ao longo dos vãos entre montagens - montagem, neste trabalho, é referente ao conjunto formado pelo poste, pelos eventuais estais de sustentação dos postes e pelas estruturas de sustentação dos alimentadores, tais como cruzetas, isoladores e mãos-francesas, como ilustrado na Figura 1. Os cálculos mecânicos são realizados para verificar se os elementos da montagem proposta suportam os esforços aplicados e os cálculos de catenárias permitem garantir que as distâncias mínimas entre o alimentador e o solo, impostas por normas, sejam respeitadas.

De forma a aumentar a confiabilidade referente aos cálculos, a metodologia proposta engloba um método consagrado de cálculo mecânico, no qual é realizado o cálculo estrutural matricial (WILLIAMS, 2009) de cada montagem com vistas a, posteriormente, comparar os esforços calculados com os esforços máximos permitidos, os quais são definidos em tabelas elaboradas *a priori*. Ademais, as catenárias dos alimentadores são também calculadas (LABEGALINI, 2009) e as suas alturas mínimas comparadas com valores da norma específica (CELG D, 1993), de forma a garantir a segurança da população.

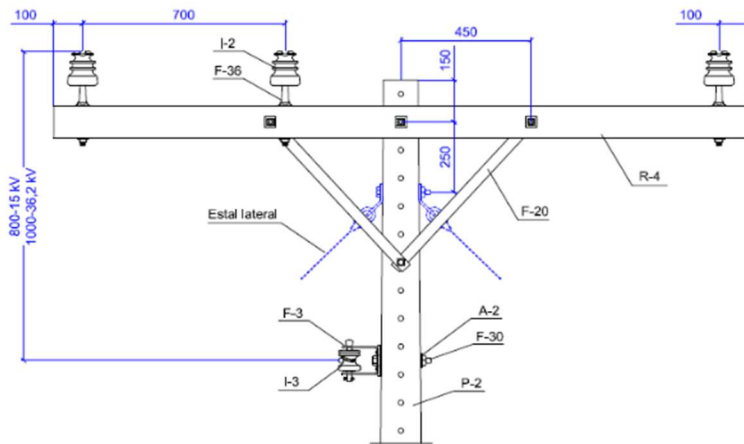


Figura 1 – Exemplo de montagem (poste, cruzeta, mão-francesa e isoladores). Fonte: (CELG, 2012).

Como o processo de simulação de uma proposta de solução foi automatizada computacionalmente, naturalmente estendeu-se a metodologia de forma a prover uma solução ótima ou quase-ótima também automaticamente, empregando-se um método de otimização (BRITO, 2017). O método objetiva eliminar as violações às restrições técnicas (esforços máximos aplicados às montagens e alturas mínimas entre cabos e solo), empregando-se o mínimo investimento possível para tal. Têm-se então dois objetivos e, assim, empregando-se convenientemente o critério de dominância Pareto (MICHALEWICZ, 2004) na comparação entre propostas de solução ao longo do processo iterativo de otimização. A função-objetivo que expressa a qualidade técnica da solução, a qual deve atingir o valor 0 (zero), é dada pela equação (1). A equação (2) fornece a estimativa do custo da rede proposta, a qual deve ser minimizada. Desta forma, aplica-se a equação (1) para avaliação mecânica da linha, a qual envolve as trações nos condutores T , os momentos nas bases dos postes (engastamentos) M_b , os momentos nas bases das mãos-francesas M_f e as forças aplicadas nos isoladores F_p , os quais são comparados, respectivamente, com os valores nominais de resistência mínima à tração do condutor T_{nom} , momento máximo suportado pelo engastamento $T_{b,nom}$, o momento máximo tolerado na mão-francesa $T_{f,nom}$ e esforço máximo suportado pelo isolador $F_{p,nom}$. Outro critério empregado refere-se às distâncias cabo-solo D nos vãos, que não podem ser inferiores ao limite mínimo exigido por norma D_{min} .

$$h(X) = \sum_{i=1}^n \left[\left\langle M_b^{(i)} - M_{b,nom} \right\rangle - \left\langle M_f^{(i)} - M_{f,nom} \right\rangle \right] + \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{k^{(i)}} \left\langle F_p^{(i,j)} - F_{p,nom} \right\rangle \right] + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{l^{(i)}} \left\langle T^{(i,j)} - T_{nom} \right\rangle + \left\langle D_{min}^{(i,j)} - D^{(i,j)} \right\rangle \right] \quad (1)$$

Na equação (1), o operador $\langle v \rangle = \max(0, v)$, maior valor entre 0 (zero) e v , dá o quanto a respectiva restrição foi violada numericamente. A variável X denota a configuração avaliada (montagens e cabos e suas disposições físicas), n é o número de montagens (postes e suas estruturas), $k^{(i)}$ é a quantidade de isoladores do poste i , m é a quantidade de vãos e $l^{(i)}$ é a quantidade de cabos no vão i . Pretende-se, assim, minimizar a função $h(X)$, cujo valor mínimo é zero, significando que nenhuma restrição técnica foi violada.

Por sua vez, o custo da solução é avaliado pela equação (2), na qual: V_{mont} é o valor estimado da montagem, somando-se os preços do poste, da estrutura, dos isoladores e dos demais elementos; U_{cabo} é o valor do alimentador empregado por unidade de comprimento; e L é o comprimento utilizado do cabo no vão.

$$f(X) = \sum_{i=1}^n V_{mont}^{(i)} + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{l(i)} U_{cabo}^{(i,j)} \cdot L^{(i,j)} \right] \quad (2)$$

O algoritmo de otimização que compõe a metodologia proposta é exposto detalhadamente em (BRITO, 2017). Este algoritmo visa satisfazer a equação (3), variando-se a quantidade de postes, os tipos de poste e suas posições ao longo do trajeto entre a fonte (ponto de derivação na rede de energia elétrica) e a carga (consumidor), bem como dos tipos de estruturas empregadas para a sustentação do poste e dos alimentadores.

$$\begin{aligned} &\text{minimize } f(X), \\ &\text{sujeito a } h(X) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 Metodologia para o Fluxo do Processo de Projeto

De forma a mitigar as reincidências de erros de projeto, as quais provocam grandes atrasos para o efetivo início do fornecimento da energia elétrica, o fluxograma apresentado na Figura 3 é proposto neste trabalho. Tal fluxo contrasta com o que hoje é empregado, o qual é ilustrado na Figura 2. A metodologia proposta se baseia fundamentalmente na aplicação da ferramenta computacional *web* desenvolvida, ilustrada seção 3.1, a qual permite acessos e interações simultâneas por parte de todos os envolvidos no processo de projeto: analistas da concessionária, topógrafos, engenheiros, clientes e outros. O processo correntemente empregado (vide Figura 2) é baseado num encadeamento sequencial de atividades, cada qual atribuída a um único ator. Percebe-se na Figura 2 que as etapas de levantamento topográfico e de dimensionamento das linhas são realizadas consecutivamente para posterior apresentação à concessionária de energia, de tal modo que, se houver uma desconformidade em qualquer etapa, o mesmo deve ser reiniciado. Assim, qualquer atraso ou erro de elaboração implica em um atraso global significativo. Por outro lado, o fluxograma proposto (Figura 3) se baseia em fundamentos da Engenharia Simultânea, com atividades paralelas e multidisciplinares e com a possível atuação de todos os envolvidos, permitindo análises pontuais por parte da concessionária em cada uma das etapas. Isso permite mitigar os erros de levantamento topográfico e de sub ou superdimensionamentos das linhas em tempo mínimo por meio da ferramenta computacional *web* desenvolvida, aumentando a eficiência quanto ao levantamento de dados, à elaboração do projeto e à sua efetiva aprovação.

Na Figura 2, referente ao fluxograma correntemente empregado, os gargalos do processo são indicados na cor vermelha. Em caso de ocorrência de um erro de levantamento topográfico, o qual é verificado pelo analista da concessionária, todo o processo para esse fim é reiniciado, significando grandes atrasos, tipicamente. Analogamente, caso o projetista da linha de distribuição incorra em erro, o processo deve ser repetido, impactando negativamente também no tempo global para aprovação do projeto. Geralmente, erros de projeto são oriundos de um dos seguintes fatores: (i) não atendimento às restrições técnicas de projeto, o que é imperativo e que causa a reprovação dos mesmos perante a concessionária; (ii) subdimensionamento, que impacta positivamente no orçamento da rede, mas que gera soluções com margem de segurança técnica pequenas; e (iii) superdimensionamento, que atende às restrições técnicas com grande margem de segurança, mas onera demasiadamente o orçamento para a construção da linha.

Os atrasos e erros de dimensionamento técnico e orçamentário podem, então, ser mitigados com o processo ilustrado na Figura 3. Pode-se perceber que o processo conta com mais interações entre os atores envolvidos, o que se dá basicamente mediante a disponibilização na *web* da ferramenta desenvolvida. Os pontos de integração completa entre os atores, significando que os analistas da concessionária poderão propor modificações em tempo de coleta de dados e de dimensionamento, são mostrados em vermelho na Figura 3.

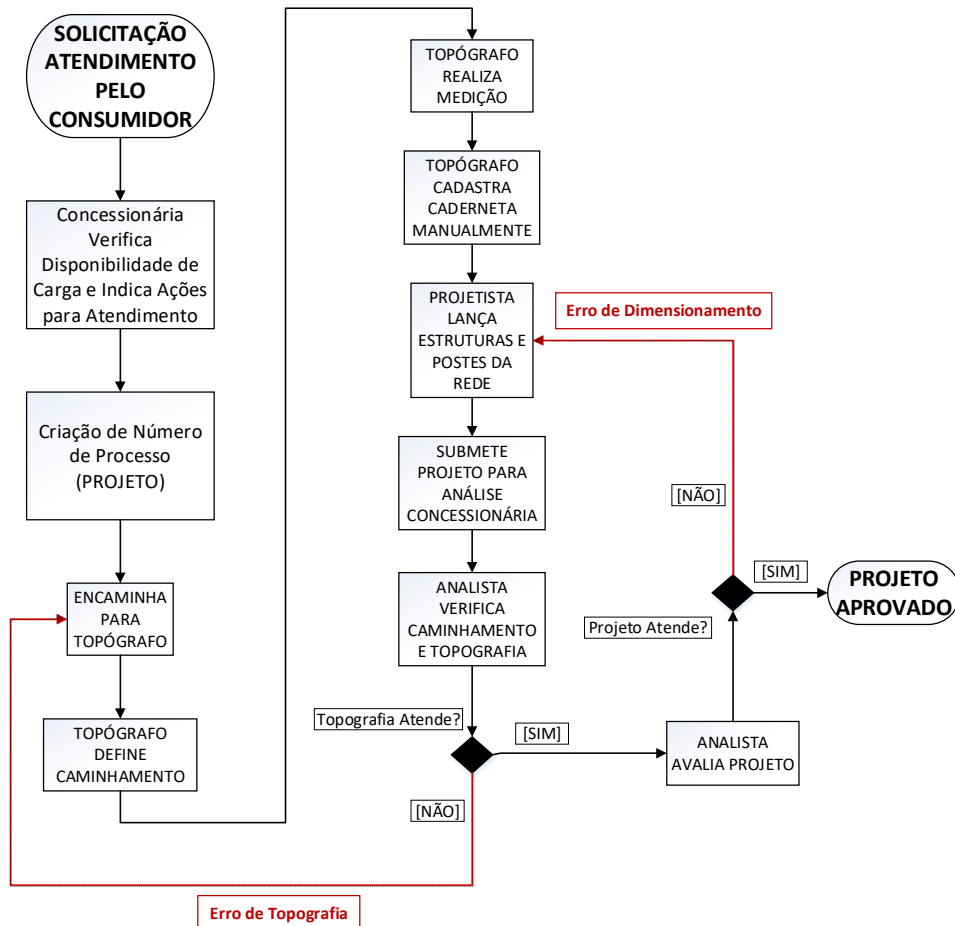


Figura 2 – Fluxograma correntemente empregado. Em vermelho, os gargalos que causam atrasos.

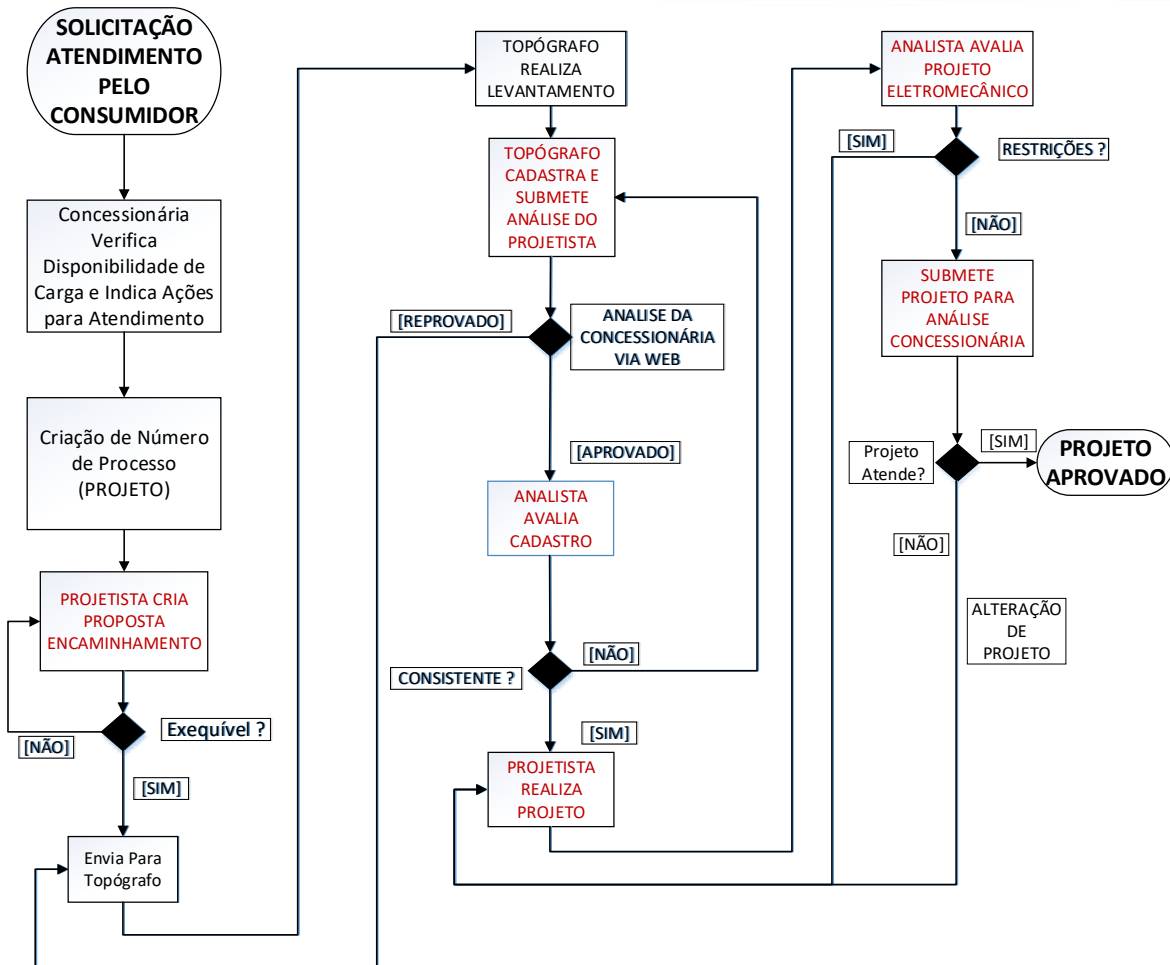


Figura 3 – Fluxograma proposto. Em vermelho, os pontos de interação entre os atores do processo.

3. Resultados

Um exemplo ilustrativo do emprego da ferramenta computacional *web*, implementada no escopo da metodologia proposta, é apresentado na seção 3.1, e uma análise da expectativa de aumento da eficiência por meio do emprego desta ferramenta é abordada na seção 3.2.

3.1 Exemplo de Aplicação da Ferramenta Computacional

Neste exemplo ilustrativo, uma linha de distribuição de aproximadamente 1600 metros deve ser implantada. Foi pré-definida a seguinte configuração após a realização de estudos de capacidade de atendimento quanto à potência demandada: tensão elétrica: 13,8 kV; linha trifásica com cabo neutro; cabos do tipo CAA 2/0; estruturas do tipo N (CELG, 2012); e velocidade do vento considerada no projeto: 100 km/h.

Primeiramente, o Engenheiro responsável da concessionária de energia elétrica cria uma sugestão de encaminhamento para o projeto utilizando a ferramenta *web*, após identificar o ponto de derivação da linha a partir da rede existente, levando em conta as estimativas altimétricas e as imagens disponibilizadas pela API do Google Maps. Na Figura 4, este passo é ilustrado. A execução da atividade de levantamento das cotas planialtimétricas é, então, solicitada ao topógrafo. De posse do trajeto sugerido, este verifica localmente se há reais condições de implantação da linha de distribuição, bem como coleta as cotas topográficas reais. Em caso de ocorrência de restrições, o topógrafo pode sugerir novo encaminhamento pela ferramenta *web*. Após a determinação do trajeto definitivo, as cotas reais são cadastradas no

sistema, conforme mostrado na Figura 5.

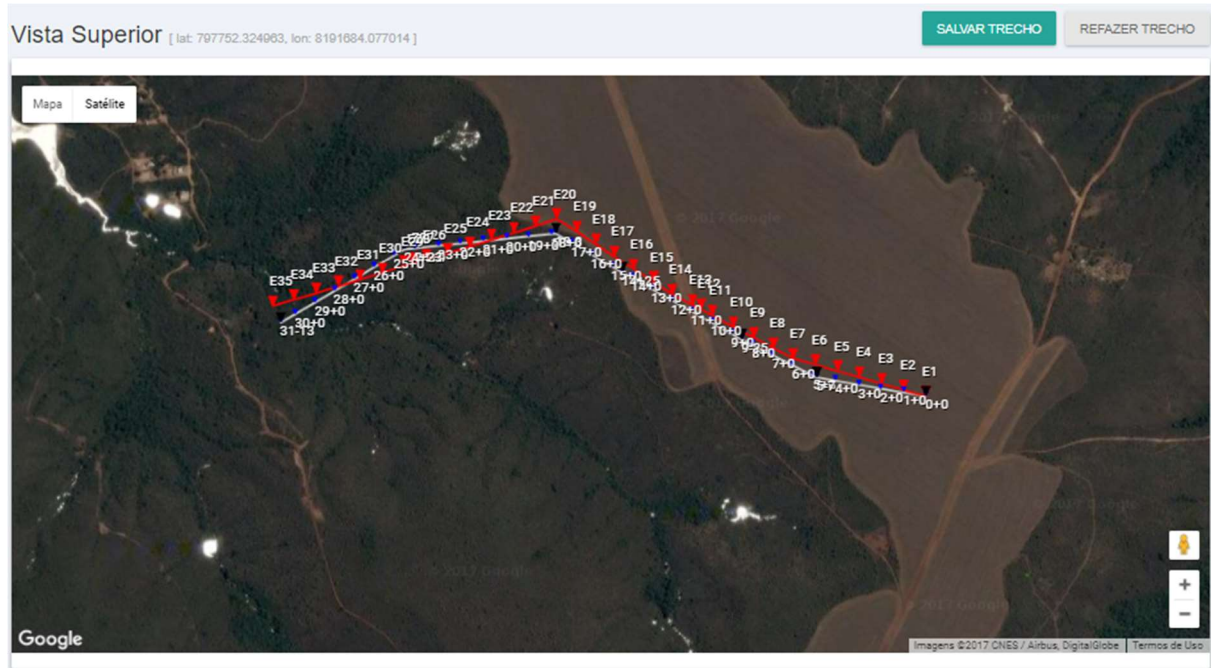


Figura 4 – Definição do trajeto sugerido (pontos azuis) para a linha de distribuição de energia elétrica.

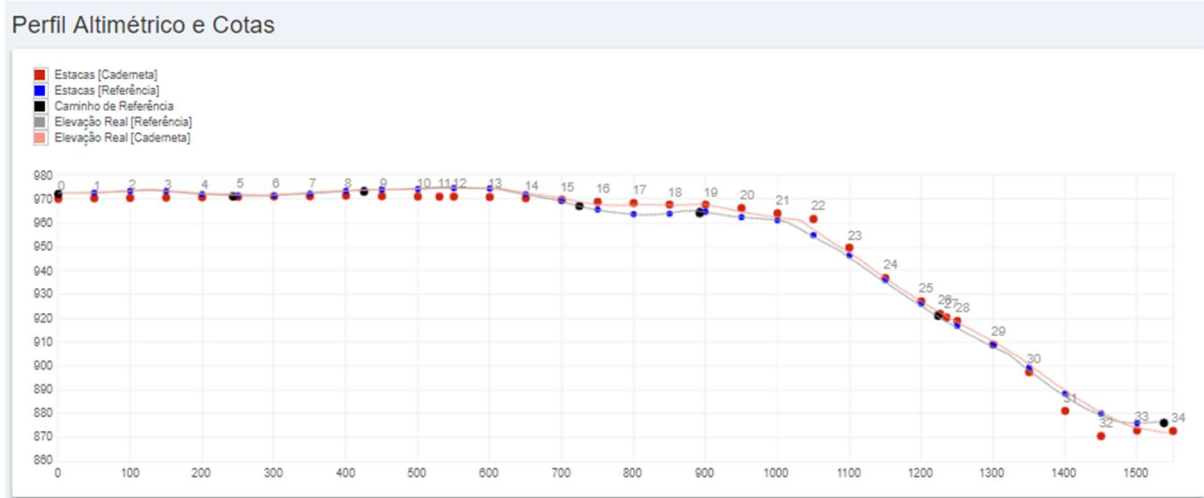


Figura 5 – Dados planialtimétricos coletados (“Estacas [Caderneta]”).

Após a definição dos parâmetros de projeto e do trajeto que a linha percorrerá, o processo de dimensionamento é aplicado. Para isso, selecionam-se os tipos de postes e estruturas que podem compor a linha de distribuição. A ferramenta computacional, então, propõe uma solução, por meio da execução do algoritmo de otimização, que fornece a quantidade de montagens, suas localizações ao longo do trajeto e suas configurações. A solução para o caso em questão é mostrada na Figura 6. Nesta, não há violação técnica e tem-se um custo estimado minimizado. Observa-se que o método de otimização foi capaz de se aproveitar das características do relevo, de forma a não infringir nenhuma altura mínima cabo-solo.

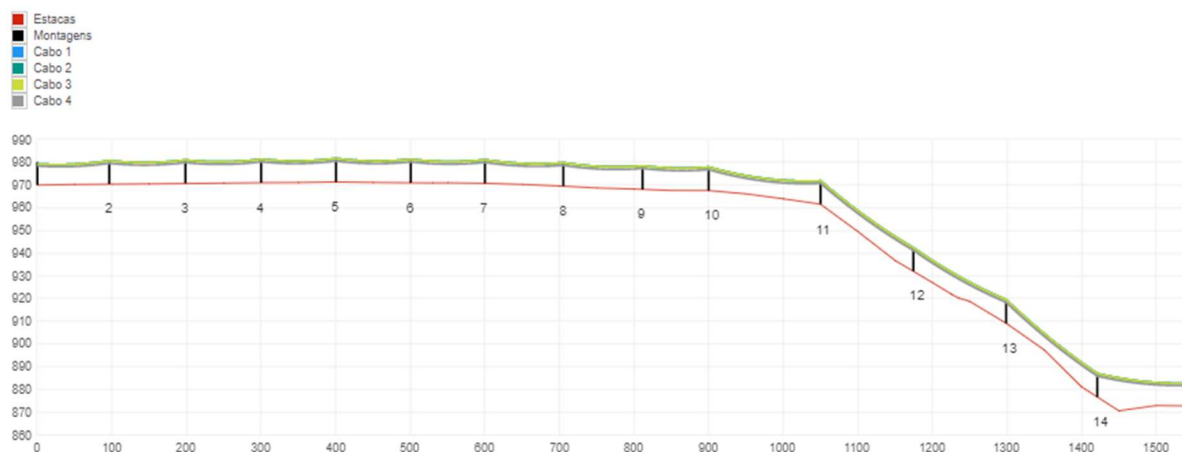


Figura 6 – Configuração otimizada da linha.

3.2 Análise da Metodologia Proposta

Historicamente, os projetos de rede de distribuição de energia elétrica, são elaborados passando por todo o processo de levantamento topográfico e dimensionamento eletromecânico para então serem protocolados na concessionária para análise. Motivados pela falta de verificação de cada processo após realizado, quando esses projetos chegam à concessionária, geralmente possuem reprovações técnicas de topografia, inutilizando todo o projeto realizado e sendo necessário novo levantamento de campo, o que gera custos adicionais aos contratados. As reprovações também ocorrem por equívocos de dimensionamento com relação às normas existentes, sendo estes fatores críticos que atrasam o processo de elaboração/aprovação dos projetos, onde o cliente deixa de ser atendido com agilidade, e a concessionária perde durante esse período com a venda da energia.

Em levantamento quantitativo de análises de projetos realizados no Setor de Engenharia de Média Tensão da Celg D, onde são apresentados os projetos de redes de distribuição rural de interesse particular da regional da capital Goiânia, é possível observar no gráfico da Figura 7 a quantidade de projetos e suas respectivas quantidades de análises nos anos de 2016 e 2017 até o presente momento. Verifica-se que grande parte dos projetos são reprovados diversas vezes, chegando em alguns casos a possuírem até 10 análises. Assim, considerando o tempo máximo de análise determinado pela resolução da ANEEL (30 dias) e considerando o tempo de correção após a análise, esses projetos podem ficar na etapa de elaboração por mais de um ano devido as reincidências provocadas pelo indevido dimensionamento técnico. Com a proposta, os problemas são identificados em cada etapa do processo, evitando assim que, no momento em que o projeto for apresentado para análise, o mesmo sofra mais reprovações devido aos equívocos na definição do encaminhamento pelo levantamento topográfico e também das verificações do dimensionamento das estruturas através da avaliação por meio da ferramenta computacional desenvolvida.

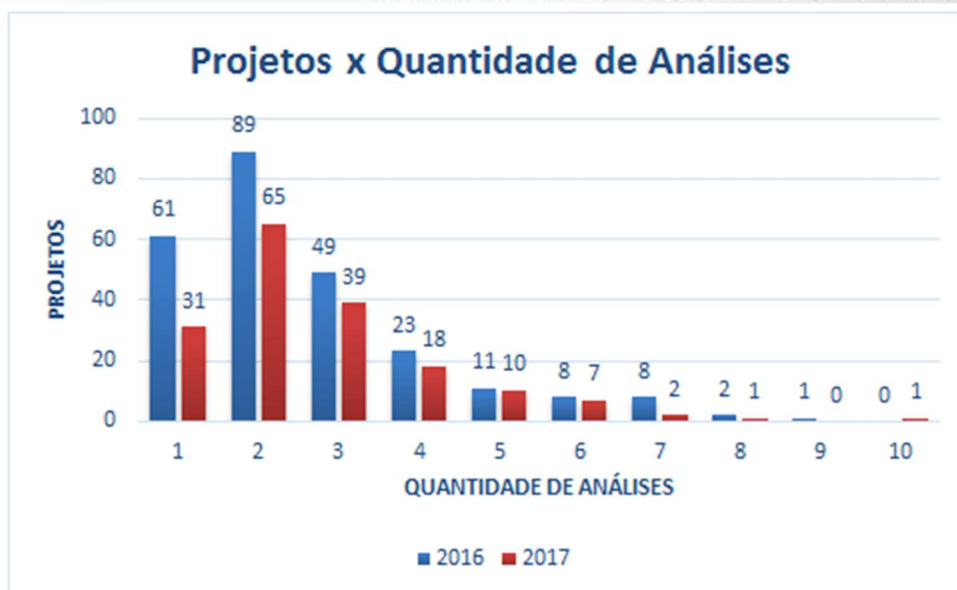


Figura 7 – Gráfico Projetos vs. Quantidade de Análises.

Dos projetos analisados, pode-se observar, por meio da Figura 8, que a quantidade de análises é tão mais incidente quanto maior for a extensão da rede, sendo, portanto, considerado um gargalo no processo. Com a uniformização de elaboração e de avaliação dos projetos por meio da metodologia proposta, aplicada em projetos com maior ou menor extensão, é possível minimizar a reincidência desses projetos, impactando fortemente na utilização de mão-de-obra especializada da equipe dos contratados e, também, dos analistas técnicos da concessionária.

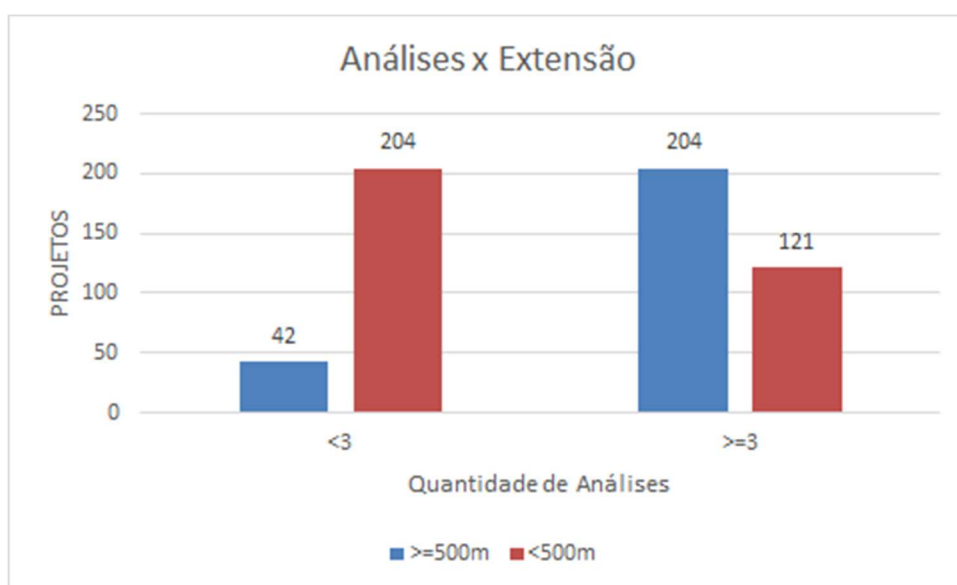


Figura 8 – Gráfico Análises vs. Extensão.

A concessionária de energia elétrica por sua vez, poderá obter ganhos de produtividade na análise dos projetos com o modelo de processo proposto, podendo também, utilizar a ferramenta como forma de validação de serviços de terceiros contratados para realização de projetos internos, além de proporcionar elaboração de projetos internos pelos próprios funcionários da concessionária com maior agilidade e tecnicamente validados pela ferramenta computacional. Por exemplo, aplicando-se uma tarifa de 0,30 R\$/kWh com fator de utilização de 20% referente às potências dos transformadores instalados nos projetos, cujo histograma é mostrado na Figura

7, obtém-se um ganho de R\$ 142.960,08, no prazo de um ano e meio, dado o tempo em que os projetos ficaram em análise. Ou seja, este valor estimado seria o ganho da concessionária, caso os projetos fossem aprovados na primeira análise, consequentemente gerando satisfação ao cliente por este ser atendido o mais rapidamente possível.

De uma maneira geral, utilizando o horizonte e quantidade de análises de projetos referentes à Figura 7 e considerando-se que seja possível reduzir esses quantitativo ao máximo de 2 (duas) análises por projeto, dado o emprego da metodologia proposta, tendo por base um tempo médio de análise de 4 horas por Analista para cada projeto, seria contabilizada uma economia de 2.944 horas de análise. Aplicando-se o valor do homem-hora para um Engenheiro Analista de R\$ 44,32, seria obtido uma economia total de R\$ 130.492,80 no horizonte de 1,5 anos considerados na Figura 7. Ademais, considera-se o ganho estimado de R\$ 142.960,08, no prazo de um ano e meio, referente à energia que seria suprida caso houvesse no máximo 2 (duas) avaliações por projeto (ou uma reprovação por projeto). Assim, normalizando o valor total, ter-se-ia uma economia estimada de R\$ 182.301,92, no cenário otimista. Levando-se em conta as incertezas inerentes aos processos de projeto, são apresentados, na Tabela 1, os ganhos referentes aos cenários pessimista, moderado e otimista, bem como o tempo de retorno do investimento. Foi empregada uma taxa de atualização anual líquida de 5% para o cálculo do *payback* descontado.

Percentual referente às incertezas	Valor estimado do ganho monetário	Tempo de retorno do investimento (simples)	Tempo de retorno do investimento (descontado)
50% (pessimista)	R\$ 91.150,96	6,28 anos	7,72 anos
75% (moderado)	R\$ 136.726,44	4,19 anos	4,82 anos
100% (otimista)	R\$ 182.301,92	3,14 anos	3,52 anos

Tabela 1 – Estimativa de tempo de retorno do investimento (*payback*).

Cabe ressaltar que as estimativas apresentadas na Tabela 6 não contemplam os custos adicionais gerados para os clientes da concessionária devido às reincidentes reprovações de projetos.

4. Considerações Finais

O processo de elaboração de um projeto de distribuição de energia elétrica no âmbito rural envolve várias especialidades, as quais devem trabalhar em conjunto para a correta e ágil consecução do projeto. Para incrementar a eficiência desse processo, este artigo apresentou uma nova metodologia, cujo emprego envolve a aplicação de uma ferramenta computacional *web*. A ferramenta é composta por elementos que permitem a interação de todos os atores envolvidos no processo, visando a correção em tempo mínimo das inconsistências que se apresentem. Estimativas realizadas evidenciam o impacto positivo da abordagem proposta, tanto para a concessionária, quanto para um nicho da sociedade em especial (clientes em área rural), que se beneficiará com a redução do tempo para o atendimento de sua demanda por energia elétrica.

Referências

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Resolução Normativa 414: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada*. Brasília, 2010.

BRITO, L.C. *et. al.* *Ferramenta Computacional para o Dimensionamento Mecânico de Linhas Aéreas Rurais de Distribuição de Energia Elétrica*. Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, CITENEL. João Pessoa/PB, 2017.

CELG D. *Norma Técnica de Distribuição NTC-07 – Critérios de Projetos de Redes de Distribuição Rural*, Goiânia, 2016.

CELG D. *Norma Técnica de Distribuição NTC-06 – Estruturas para Redes de Distribuição Aéreas Rurais – Classes 15 e 36,2 kV.* Goiânia, 2016.

FILHO, J.P.; SILVA M.J. *Análise comparativa de metodologias: abordagem orientada para a pesquisa das engenharias simultânea e convencional no âmbito de edificação residencial, com estudo de caso ilustrativo.* XIII SIMPEP, Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, 2006.

GONÇALVES, F.R. et. al. *Fundamentos de Engenharia Simultânea na produção de aplicações web.* XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.

GOOGLE. *Google Earth*, <https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>. Último acesso em 03/07/2017.

GOOGLE. *Google Maps*, <https://www.google.com.br/maps>. Último acesso em 03/07/2017.

LABEGALINI, P.R. *Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão.* 2ª ed., ed. Edgard Blücher, 2009.

MICHALEWICZ, Z.; FOGEL, D. *How to Solve It: Modern Heuristics.* 2ª ed., Springer, 2004.

PIMENTEL, C.L. *Engenharia Simultânea e sua aplicação à indústria naval. Dissertação.* (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

PRASAD, H. B. *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization, Volume I: Integrated Product and Process Organization.* Prentice Hall, 2011.

WILLIAMS, A. *Structural Analysis: In Theory and Practice.* Elsevier, 2009.