



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

**OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINANCEIROS
NO PLANEJAMENTO DE OBRAS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO A PARTIR DE SUBESTAÇÕES DE
TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO-SE AS
PERDAS TÉCNICAS**

Helder Lara Ferreira

Dissertação de Mestrado PPGEE-177/2016

Orientador: Prof. Dr. Petr Iakovlevitch Ekel

Fevereiro de 2016



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

HELDER LARA FERREIRA

**OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINANCEIROS NO
PLANEJAMENTO DE OBRAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO A
PARTIR DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO
CONSIDERANDO-SE AS PERDAS TÉCNICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, elaborada sob a orientação do Prof. Dr. Petr Iakovlevitch Ekel.

Belo Horizonte
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

F383o Ferreira, Helder Lara
Otimização na alocação de recursos financeiros no planejamento de obras em redes de distribuição a partir de subestações de transmissão e distribuição considerando-se as perdas técnicas / Helder Lara Ferreira. Belo Horizonte, 2016.
118 f. : il.

Orientador: Petr Iakovlevitch Ekel
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica - Transmissão. 2. Energia elétrica - Distribuição. 3. Redes elétricas - Analisadores. 4. Análise de envoltória de dados. 5. Benchmarking (Administração). 6. Processo decisório. I. Ekel, Petr Iakovlevitch. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 621.316



**“OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINANCEIROS NO
PLANEJAMENTO DE OBRAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO A PARTIR DE
SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO-SE AS
PERDAS TÉCNICAS”**

HELDER LARA FERREIRA

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 03 de fevereiro de 2016.

Por:

Dr. Cleber Esteves Sacramento, CEMIG

Prof. Petr Iakovlevitch Ekel, Dr. – orientador

PPGEE, PUC-Minas

Prof.ª Rose Mary de Souza Batalha, Dra.,

PPGEE, PUC-Minas.

Prof. Carlos Augusto Paiva da Silva Martins, Dr.,

Suplente- PPGEE, PUC Minas

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Petr Iakovlevitch Ekel, pelos valiosos ensinamentos e exemplo de simplicidade, pela orientação, pela prontidão em esclarecer minhas dúvidas além da incansável dedicação empenhada no sucesso deste trabalho.

Ao colega, amigo e conterrâneo Iguatiman G. Monteiro pelo incentivo em retomar os estudos, aos colegas e amigos Victor Henrique Duarte de Oliveira pelas colaborações e inestimáveis ajudas nas simulações e Ezequiel Campos Pereira, pelas sugestões e auxílios nas correções do texto.

À minha esposa Virginia M. C. Ferreira, meus filhos (Helder Lara Ferreira Filho e Marília Marsicano Ferreira) e meus pais (Sidney Rezende Ferreira e Maria Inês de Lara Rezende) pelos constantes ensinamentos, apoios, exemplos e carinho.

E a todos que de alguma forma contribuíram para tornar este trabalho possível.

“Enquanto houver um louco, um poeta e um amante haverá sonho, amor e fantasia. E enquanto houver sonho, amor e fantasia, haverá esperança.” (William Shakespeare)

RESUMO

Historicamente, no Brasil, as perdas elétricas na distribuição giram em torno de 15% da energia comprada pelas distribuidoras. As perdas de energia tratadas ao longo deste trabalho são as perdas técnicas presentes nos alimentadores de Média Tensão (MT) oriundos das subestações de Transmissão e de Distribuição. A grande maioria dos alimentadores são derivados das subestações da distribuidora onde as perdas na MT estão no patamar aproximado de 8,4%, cerca de 75% das perdas totais. A parcela referente a perdas técnicas, em MWh, excluindo-se a alta tensão da distribuidora, foi de aproximadamente 3.164 GWh em 2014. Daí tem-se uma dimensão do tamanho do problema para a distribuidora e o motivo que levou a incluir as perdas técnicas nos critérios de priorização das obras. Para a priorização dos alimentadores de MT optou-se por usar uma metodologia baseada na Análise Envoltória de Dados (DEA) que é adotada pela ANEEL na avaliação das distribuidoras de energia elétrica do país e, como suporte às simulações, utilizou-se o software estatístico “R”. Nas simulações foi possível demonstrar que a modelagem pela DEA, orientada a insumo e retorno variável de escala, permitiu que se fizesse de forma bastante satisfatória o *benchmarking* do desempenho de mais de 1500 alimentadores de MT, separados em sete malhas regionais. Foram utilizados dados da distribuidora, uma das maiores empresas do setor na América Latina em termos da extensão de rede e número de consumidores, que estivessem com os critérios de apuração e de armazenamento já consolidados. Um dos aspectos fundamentais verificado no contexto deste trabalho referiu-se à escolha das variáveis de entrada. Os insumos foram escolhidos pensando-se na priorização dos alimentadores com a inserção de dados que permitissem que as obras a serem feitas levassem em conta, além da redução das perdas técnicas, a melhoria da qualidade (continuidade e conformidade), com conseqüente redução dos custos e dos pagamentos de compensações aos clientes e também outros benefícios que foram agregados (exemplo: redução das despesas relacionadas à operação e manutenção, diminuição dos gastos com a compra de energia, etc.). Obviamente que todos esses ganhos somente serão possíveis com a realização das obras elencadas a partir do que foi sugerido pelas simulações com a aplicação do modelo proposto.

Palavras-chave: Transmissão. Distribuição. Tomada de Decisão. Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT

Historically, in Brazil, the electrical losses in the distribution are around 15% of the energy purchased by the utilities. The energy losses treated throughout this paper are technical losses present in the medium tension feeders (MT) coming from the transmission and distribution substations. The vast majority of feeders are derived from the utility where losses in the MT are in the approximate level of 8.4%, nearly 75% of total losses. The portion related to technical losses, in MWh, excluding the utility high tension was approximately 3.164 GWh in 2014. Therefore, there is a scale of the problem size for the utility and the reason that led to include technical losses in the criteria for prioritization of works. For this works prioritization was decided to use a methodology based on Data Envelopment Analysis (DEA) which is adopted by the National Electric Energy Agency (Aneel) in the evaluation of the electric energy utilities in the country and to support the simulations was used the statistical software "R". In simulations it was possible to demonstrate that modeling by DEA, targeted the input and scale variable returns, It allowed to be done quite well the performance benchmarking of over 1500 MT feeders, separated in seven regional networks. Utility's data were used, one of the largest companies in Latin America in terms of network extension and number of consumers that were with the calculation criteria and storage already consolidated. One of the fundamental aspects verified in this work context refers to the choice of input variables. The inputs were chosen thinking on the prioritization of the feeders with the inclusion of data that allowed the work to be made considering, besides the reduction of technical losses, the quality improving (continuity and compliance), with consequent costs reduction and compensation payments to customers and also other benefits that were aggregated (example: expense reductions related to operation and maintenance, reduction in expenses with the energy purchase etc.). Obviously, all these gains will only be possible with the completion of the works listed from what was suggested by the simulations with the proposed model application.

Keywords: Transmission. Distribution. Decision Making. Data Envelopment Analysis.