



## INTERFACE GRÁFICA DE USUÁRIO ESPECIALIZADA PARA PESQUISA E ESTUDO EM PROJETOS ELETROMECAÑICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Rafael Costa Bitencourt<sup>(1)</sup>, Gabriel Henrique Fonseca<sup>(2)</sup>, André Roger Rodrigues<sup>(3)</sup>

<sup>(1)(2)</sup> Alunos do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica - Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - Campus Formiga.

<sup>(3)</sup> André Roger Rodrigues - Professor orientador - IFMG - Campus Formiga

### RESUMO

Este artigo apresenta o atual estágio de desenvolvimento de uma interface gráfica de usuário (*GUI-Graphical User Interface*) especializada para o projeto eletromecânico de linhas de transmissão aéreas, desenvolvida com a biblioteca *TKINTER* da linguagem *PYTHON*. Esta *GUI* permite o cálculo da ampacidade, da flecha e da tração nos cabos considerando a influência tanto da velocidade de vento quanto da variação da temperatura de operação do cabo. Como funcionalidades, o usuário obtém a velocidade de vento de projeto corrigida por fatores de rugosidade do terreno, da constante de tempo de resposta dos cabos ao vento, e pela altura dos cabos calculada a partir de dados de estações anemométricas ou de outras bases de dados. Assim, após a entrada de dados de variáveis mecânicas, elétricas, geográficas e climáticas, o usuário pode realizar análises multivariadas de diferentes condições operacionais da linha de transmissão, a partir dos resultados de grandezas eletromecânicas tais como ângulo de balanço e comprimento real dos cabos, altura mínima de fixação dos cabos nas torres, com foco na obtenção de um projeto otimizado baseado no equilíbrio de critérios técnicos e econômicos. A *GUI* também plota as curvas de tração por ampacidade, flecha por ampacidade e temperatura do cabo por ampacidade. Para demonstração destas funcionalidades, este artigo apresenta um estudo de caso envolvendo uma linha de transmissão de 138 kV em operação, em que os resultados evidenciam que os recursos e funcionalidades da *GUI* proporcionam ao usuário a otimização de projetos de novas linhas ou a repotencialização daquelas que estão em operação.

**Palavras-chave:** Projeto eletromecânico. Linhas de transmissão. Interface gráfica de usuário. *Tkinter*. *Python*.

### 1 INTRODUÇÃO

O planejamento da expansão do sistema de transmissão de energia elétrica visa assegurar o atendimento à demanda crescente por energia elétrica do país, projetada pela Empresa de Pesquisa Energética-EPE a partir dos dados contidos no Plano Decenal de Energia



Elétrica-PDE. Os novos empreendimentos também viabilizam a integração de centrais geradoras, principalmente aquelas que utilizam fontes renováveis e contribuem para a diversificação da matriz elétrica do Sistema Interligado Nacional-SIN. As diretrizes do ONS (2013) para elaboração de projetos modernos, robustos e eficientes de linhas de transmissão requerem um profundo conhecimento técnico e científico, além do uso de *softwares* e ferramentas especializadas. O projeto mecânico de uma linha de transmissão (LT) consiste em análise multiobjetivo de todos os esforços mecânicos aos quais a linha pode ficar submetida durante sua operação, almejando atingir um nível apropriado de confiabilidade no transporte de energia elétrica. Um vasto conjunto de equações interdependentes permite ao projetista determinar a ampacidade da linha de transmissão, e conseqüentemente, a potência elétrica transmitida pela linha. Tradicionalmente estes tipos de projetos são realizados com o emprego de *softwares* tais como o *TOWER* e o *PLS-CADD* (HATASHITA et al., 2010) que proporcionam a otimização dos custos e do tempo para projeto. Entretanto, os altos custos de aquisição inviabilizam a formação de futuros engenheiros e técnicos com capacitação quanto a elaboração de projetos assistidos por estes softwares. Como solução para este problema, este trabalho apresenta uma interface gráfica de usuário concebida como uma ferramenta especializada baseada em Python para auxílio em projeto eletromecânico de linhas de transmissão, com aplicações em pesquisa, desenvolvimento e ensino através da metodologia de aprendizagem baseada em projeto.

## 2 METODOLOGIA

A interface gráfica de usuário foi implementada utilizando o procedimento de cálculo de ampacidade contido em Labegalini et. al. (1992), permitindo realizar estudos de carregamento inicial e final dos cabos das fases em regime normal e em emergência para atendimento dos requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas do submódulo 2.4 do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2017). A Figura 1 apresenta o *layout* da interface gráfica com campos de dados de entrada e resultados de cálculos nos campos de saída. No *frame* Dados Climáticos e Ambientais estão os campos de dados de entrada pelo usuário das condições climáticas de temperatura, altitude, velocidade básica de vento e fatores para sua correção em função do tipo de terreno da região. O procedimento de cálculo foi implementado considerando

também as prescrições da NBR-5422 (ABNT, 1985) quanto a manutenção das distâncias de segurança mínimas do condutor ao solo ou aos obstáculos, na operação em regime de curta ou de longa duração. Estes dados de entrada podem ser obtidos consultando as principais bases de dados nacionais, tais como: i. CRESEB-Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito; ii. SINDAT- Sistema de informações geográficas cadastrais do SIN; iii. estações do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia; assim como bases de dados internacionais como o *Global Wind Atlas*. Os campos do *frame* Dados dos Cabos recebem os valores de parâmetros eletromecânicos dos cabos fornecidos por catálogos de fabricantes. Há também um *frame* para correção da resistência elétrica dos cabos da linha pela temperatura.

Projeto Eletromecânico V 1.4


Dados dos Cabos		Dados Climáticos e ambientais								
<b>Dados Eletromecânicos</b>		KD	1.3	?	KR	0.85	?	N	9.5	?
Diâmetro	14.31 mm	T inicial	20.0 °C	T final	64.6 °C	Vb	1.7 m/s	i ii iii		
Área	125.09 mm <sup>2</sup>	Altitude	505.0 m	H0	10.0 m	Altura de Segurança	9.34 m			
epsilon	0.5	<b>Dados do vão</b>								
Massa Linear	433.19 kg/km	Comprimento	333.0 m							
Módulo Elasticidade	8055.63 kgf/mm <sup>2</sup>	H	18.55 m							
EDS	20.0 %									
RMC	3655.624 kgf									
CDL	1.91e-5 °C <sup>-1</sup>									
<b>Dados para Correção da Resistência Elétrica dos Cabos da Fases</b>										
R(T1)	0.2765 Ω/km	T1	25.0 °C	Carregado						
R(T2)	0.3679 Ω/km	T2	50.0 °C	Enviar Dados						
									Calcular	
Resultados										
<b>Esforços dos Cabos</b>			<b>Efeitos do Vento</b>			<b>Ampacidade</b>				
Angulo de Inclinação	5.6431 °	Massa Especifica do Ar	0.8411 kg/m <sup>3</sup>	QR	7.2160 W/m					
Tração total	734.6854 kgf	Pressão do Vento	0.1724 kgf/m <sup>2</sup>	QS	2.9192 W/m					
Flecha	8.2127 m	Flecha c/ Vento	8.2128 m	QC	77.3623 W/m					
<b>Efeitos da Temperatura</b>			Ângulo de Balanço	0.3262 °	Ampacidade	440.2689 A				
Tração c/ ΔT	607.1249 kgf	Peso Virtual	0.4332 kgf/m <sup>2</sup>	<b>Cabo na Torre</b>						
Flecha c/ ΔT	9.8901 m	Comprimento Real	333.5401 m	Altura Mínima						
Flecha c/ ΔT e Vento	9.8902 m	Vento de Projeto	2.0047 m/s	19.2302 m						

Figura 1 – Layout da GUI desenvolvida com recursos do *TKINTER* da linguagem *Python*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como forma de evidenciar as funcionalidades da interface gráfica de usuário desenvolvida, são apresentados os resultados de um estudo de caso de um vão de 333 m da linha de transmissão de 138 kV, trecho Várzea da Palma até Pirapora (VP-P) (OLIVEIRA, 2018) identificada no mapa de transmissão do setor elétrico da ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica na Figura 2 (a). Na Figura 2(b) são apresentados os dados da silhueta e geometria da torre com as alturas dos cabos das fases ao solo. A Figura 2(c) contém parâmetros de temperaturas médias máximas (21,9 °C) e mínimas (18,7 °C), altitude local de 505 m e velocidade básica de vento de 1,7 m/s, obtidos por consulta a estação meteorológica do INMET mais próxima à cidade de Pirapora-MG. O terreno foi considerado como sendo do tipo C ( $K_r = 0,85$ ), com fator de correção devido ao tempo de resposta dos cabos à velocidade de vento ( $K_d$ ) igual a 1,30 e fator de rugosidade do terreno ( $n$ ) de 9,5. O estudo de caso tem por objetivo determinar os valores de flecha e de tração no cabo da fase mais baixa que está a 18,55 m do solo e também sua ampacidade.

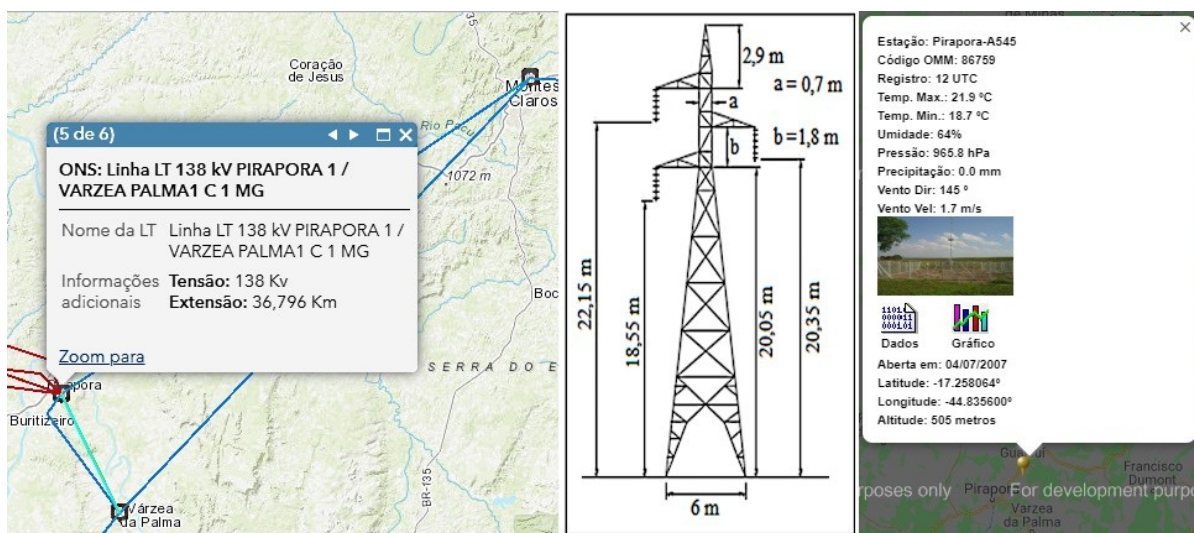


Figura 2: Detalhes e parâmetros da linha de transmissão.

A altura de segurança de 9,34 m foi determinada para uma área de passagem de ferrovia (CEMIG, 2020). Os parâmetros para os dados de entrada na GUI estão na Figura 1, nos campos Dados dos Cabos, Dados Climáticos e Ambientais, Dados do Vão e Dados para Correção da Resistência Elétrica. Os resultados de processamento da GUI estão nos frames do campo Resultados. Por análise, o maior valor de flecha foi de 9,89 m (Flecha  $c/\Delta T$ ) para a condição de



variação de temperatura de 20 °C para 64,6 °C. Nesta temperatura a ampacidade no cabo CAA, PENGUIN 4x0 foi de 440,02689 A, que é o valor nominal informado pelo fabricante. A flecha com efeito de temperatura (Flecha  $c/ \Delta T=9,89$  m) foi 12,18% superior ao valor de Flecha (8,2127 m) a 20°C. Para a linha de transmissão sob análise, o efeito da velocidade de vento de projeto (Vento de Projeto=2,0047 m/s) foi praticamente desprezível devido ao baixo valor, não impactando na flecha e na tração. Este efeito pode ser observado pelos baixos valores de pressão dinâmica do vento (Pressão do Vento) aplicada ao cabo da fase, resultando em um Peso Virtual ligeiramente superior à Massa Linear. Desta forma o valor da flecha com vento (Flecha  $c/$  Vento) foi quase o mesmo da flecha sem vento e sem efeito de temperatura (Flecha).

## 5 CONCLUSÕES

A interface gráfica de usuário obtida como produto do projeto de pesquisas permite a avaliação das linhas de transmissão em operação com intuito de implantar ações para repotencialização, bem como a otimização dos projetos de novos empreendimentos de transmissão. Esta é uma solução de baixo custo para formação técnica e de engenheiros eletricitistas capacitados para atender às demandas do mercado de trabalho do setor elétrico. Esta solução contribui para redução dos custos de energia elétrica aos consumidores, pois o custo do MWh consumido envolve, além dos custos de geração e de transmissão da energia elétrica, os encargos adicionais relacionados com despacho de energia elétrica tanto em regime permanente quanto transitório.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422:1985**: Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 57 p.

HATASHITA, L. S., HOFFMANN, J. N., PEDROSO, C. D. V. "Combined use of PLS-CADD and TOWER softwares for transmission line design - the experience and methodology of COPEL for Tower analysis," *IEEE PES T&D 2010*, New Orleans, LA, 2010, pp. 1-5, DOI: 10.1109/TDC.2010.5484517.

LABEGALINI et al. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2 Edição, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1992.

OLIVEIRA, Arlisson Júnior de. **Desempenho de Linhas de Transmissão Frente a Descarga Atmosféricas sob uma Abordagem Probabilística**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São João Del Rey. São João Del Rey. 2018.151 p.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão**. Estudos Elétricos, Especificação das Instalações, de Equipamentos e de Linhas de Transmissão. Rio de Janeiro, 2013.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Procedimentos de Rede, Submódulo 2.4 – Requisitos mínimos para linhas de transmissão**. Rio de Janeiro, 2017.