



### **Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT**

#### **Projeto, fabricação e montagem de estruturas para LT's na era da Indústria 4.0 e Internet das Coisas**

Filipe Guerra Soares  
Jean Mark Carvalho Oliveira  
Juliana Augusto da Silva

Paulo Ricardo R. Liberato  
Pedro Henrique de O. Liberato (\*)  
Pedro Henrique Rocha de M. Braga

Ricardo de O. e B. Perucci  
Sírio José Ferreira  
Tiago Corradi Mello

**Engetower Engenharia e Consultoria Ltda.**

#### RESUMO

O presente Informe Técnico apresenta os conceitos de Indústria 4.0 e Internet das Coisas, contextualizando-os no cenário contemporâneo do setor de Engenharia e Construção no Brasil. Descreve a experiência da Engetower Engenharia na reestruturação de seus processos internos e no desenvolvimento de novas tecnologias visando à incorporação do conceito BIM ao projeto de estruturas metálicas para linhas de transmissão. Por fim, propõe um novo modelo de processo que integra projetistas, fabricantes e montadores em um sistema de produção mais eficiente e produtivo. Conclui-se que tal reestruturação é inevitável e resultará em expressivos ganhos de natureza técnica e econômica.

#### PALAVRAS-CHAVE

Indústria 4.0, Internet das Coisas, BIM, Torres treliçadas, Linhas de Transmissão

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*) é a técnica que permite conectar informações de dispositivos através da internet, fornecendo a base do novo conceito preconizado pela Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0), integrando de forma inteligente os sistemas, máquinas, produtos e pessoas que participam de uma organização ou processo.

No setor de Engenharia e Construção, a integração e compartilhamento de informações entre os envolvidos no desenvolvimento de um projeto dependem da adoção do conceito BIM (*Building Information Modeling*), que demanda a adaptação e reorganização das empresas e indivíduos, resultando em um sistema de trabalho mais eficiente e produtivo.

Este Informe Técnico descreve a experiência da Engetower Engenharia na reestruturação de seus processos internos de forma a estabelecer a infraestrutura tecnológica e organizacional necessária para a adoção plena dos conceitos BIM e IoT, e apresenta um novo modelo de processo que integra todos os envolvidos na cadeia produtiva em consonância com as diretrizes da Indústria 4.0.

#### 2.0 - INDÚSTRIA 4.0 E INTERNET DAS COISAS

Indústria 4.0 foi um termo cunhado em 2012 na Hannover Messe, maior feira industrial do mundo realizada anualmente na Alemanha. O termo faz alusão ao que seria a Quarta Revolução Industrial, devido à profundidade do impacto acarretado pelas transformações tecnológicas vivenciadas pela sociedade contemporânea.

A Primeira Revolução Industrial ocorreu no final do século XVIII com a invenção da máquina a vapor e a construção de ferrovias e marcou a transição do método de manufatura artesanal para a produção mecânica. Nas últimas décadas do século XIX, o advento da eletricidade e das linhas de montagem possibilitou a produção em massa,

modelo que foi posteriormente popularizado por Henry Ford com a sistematização da produção em série na indústria automobilística e marcou o início da Segunda Revolução Industrial. Na década de 1960 iniciou-se a Terceira Revolução Industrial, usualmente chamada de revolução digital, devido ao desenvolvimento e popularização dos computadores e posteriormente da internet.

Schwab (1) descreve o período em que vivemos atualmente como sem precedentes em termos da velocidade com que novas ideias e tecnologias estão sendo desenvolvidas e divulgadas. Ao contrário das revoluções industriais anteriores, a atual está se desenvolvendo em um ritmo exponencial e não linear. Isso é resultado das características da globalização do mundo contemporâneo, em que pessoas e organizações estão totalmente interconectadas e as informações trafegam com uma rapidez inédita. Como consequência desse sistema, novas tecnologias são imediatamente disponibilizadas e viabilizam a geração de tecnologias ainda mais avançadas e assim sucessivamente.

Nesse contexto, situa-se o conceito da Internet das Coisas que consiste na interoperabilidade e conexão virtual entre objetos físicos e seres humanos. Toda a infraestrutura tecnológica existente hoje em dia possibilita a integração inteligente entre dispositivos para os mais diversos fins, como monitoramento de saúde em tempo real, operação de veículos ou sistemas residenciais autônomos etc. Contudo, conforme Manyika et al. (2), é no setor industrial que o impacto econômico da utilização da Internet das Coisas é mais expressivo. O conceito pode ser aplicado em atividades como manutenção preditiva, automação de processos e controle de operações, resultando em um modelo de indústria mais dinâmico e eficiente.

## 2.1 BIM (*Building Information Modeling*)

No setor de Engenharia e Construção a adequação dos processos às premissas da Indústria 4.0 e Internet das Coisas está diretamente relacionada à implantação do BIM, que é um paradigma para o desenvolvimento de empreendimentos de arquitetura e engenharia que considera todo o seu ciclo de vida, desde a concepção do projeto, o acompanhamento e controle de sua execução até a fase de gestão e manutenção pós-obra.

O BIM é baseado na elaboração de modelos virtuais dos componentes de um projeto que podem ser sistemas, mecanismos, estruturas etc. Esses modelos contêm a geometria e dados necessários para a fabricação, construção e gerenciamento do projeto. Essas informações são preservadas ao longo das etapas da cadeia produtiva, facilitando a comunicação e a integração entre as diversas pessoas e organizações que participam do empreendimento.

## 2.2 Cenário brasileiro

A revolução digital da nova era está conduzindo a profundas modificações de paradigmas econômicos e sociais. Os sistemas governamentais, econômicos, industriais e a sociedade como um todo estão se adaptando à passos largos ao novo modelo organizacional da Indústria 4.0.

Em 2018, o Governo Federal oficializou a estratégia nacional para a disseminação do BIM que tem por objetivo incentivar a incorporação do conceito nas empresas brasileiras. A estratégia foi instituída pelo Decreto nº 9377/18 e prevê a exigência da adoção do BIM nos novos projetos de engenharia e arquitetura a partir de 2021. A Figura 1 descreve os níveis de exigência progressiva do BIM nos projetos, de acordo com a estratégia governamental.

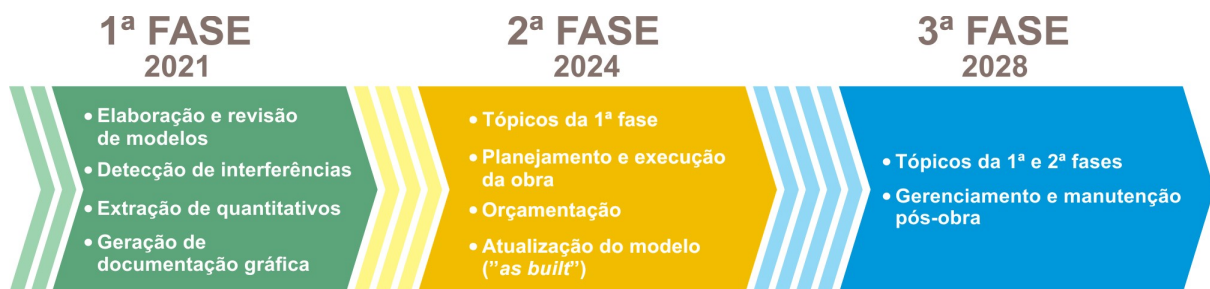


FIGURA 1 – Exigência de adoção progressiva do BIM pelo Governo Federal brasileiro

Com o aumento da produtividade e redução de custos proporcionados pela adequação do processo, espera-se um aumento de 28,9% no crescimento do PIB da Construção Civil entre 2018 e 2028. Segundo levantamento da Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil a partir da migração da indústria para o conceito 4.0 será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano (3).

### 3.0 - BIM, INTERNET DAS COISAS E INDÚSTRIA 4.0 NO PROJETO DE ESTRUTURAS PARA LT'S

O projeto de estruturas metálicas para linhas de transmissão tem início na fase de estimativas preliminares para os empreendimentos, quando são definidas as soluções estruturais, incluindo a estimativa de pesos das estruturas com as respectivas cargas sobre as fundações. Após essa fase inicial, é elaborado o projeto básico estrutural e estudo para o projeto executivo, com a otimização da série de estruturas para o traçado definitivo e perfil topográfico da linha. Estabelecidas as definições do projeto, realiza-se o cálculo das estruturas e o dimensionamento final das barras e conexões. Após a etapa de cálculo e dimensionamento, é realizado o detalhamento das estruturas, quando são incorporados detalhes como linhas de furação, conexões, dobras e recortes, que possibilitam a criação de fichas de fabricação para máquinas CNC e desenhos para montagem do modelo real.

A implementação do conceito BIM no processo de concepção e construção de estruturas para linhas de transmissão é o pré-requisito que possibilita a digitalização e o intercâmbio de informações ao longo de todas as etapas do processo, envolvendo projetistas, fabricantes e montadores através de um sistema inteligente e compartilhado de gerenciamento de documentos e informações.

#### 3.1 Modelagem 3D das estruturas

A incorporação do BIM é feita por meio de algumas etapas, de forma a se estabelecer a infraestrutura técnica e operacional necessária para a adoção plena do conceito. Em um primeiro estágio, desenvolveu-se um *software* customizado para a modelagem 3D das estruturas, denominado *Hefesto*<sup>1</sup>. O desenvolvimento deste programa demandou extenso trabalho de uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros, projetistas e desenvolvedores.

Conforme descrito nos trabalhos de Oliveira et al. (4) e Perucci (5), no modelo adotado pela Engetower Engenharia, a modelagem tridimensional das estruturas é realizada a partir de uma silhueta constituída por linhas que contêm as informações necessárias para criação dos elementos estruturais. A silhueta é gerada pelo *software* utilizado para o cálculo da estrutura e exportada para o *Hefesto* através de uma interface que possibilita a integração entre os programas.

A Figura 2 demonstra a silhueta de uma estrutura com as respectivas informações provenientes do cálculo que são vinculadas às linhas.

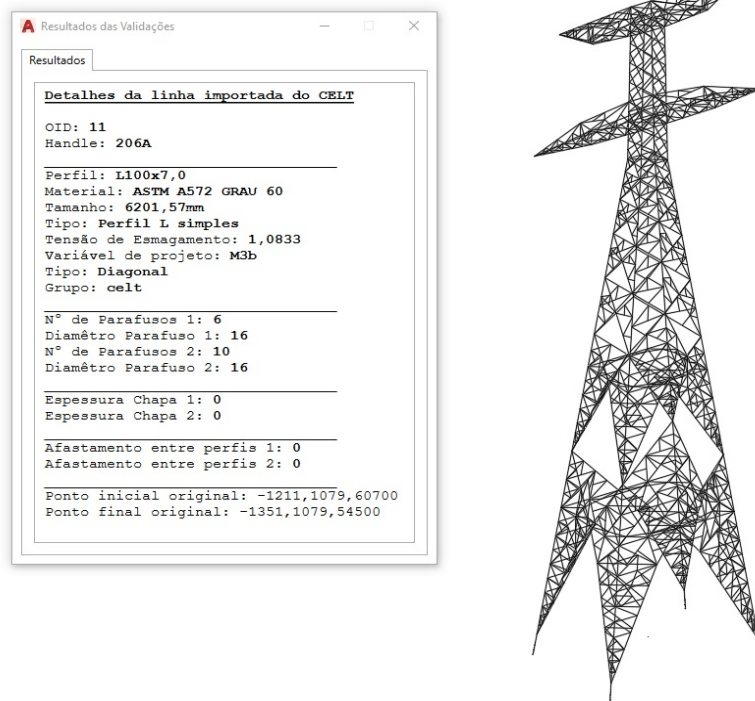


FIGURA 2 – Silhueta com informações importadas do programa de cálculo (CELT – Cálculo de Estruturas para Linhas de Transmissão)

<sup>1</sup> Na mitologia grega Hefesto é o deus da tecnologia e patrono dos trabalhos com metais. Segundo a tradição, Hefesto construía seres autômatos para auxiliá-lo na realização de suas tarefas.

A inserção dos elementos na estrutura é feita por meio de centenas de ferramentas customizadas que possibilitam que o projetista realize de forma prática e eficiente a modelagem de cantoneiras, chapas e parafusos, preservando a vinculação entre os objetos. Através dessas ferramentas, os objetos são inseridos automaticamente de acordo com as informações relativas ao dimensionamento, como perfis das cantoneiras, espessura de chapas e diâmetro e quantidade de parafusos nas ligações.

Para o correto posicionamento relativo entre os elementos estruturais no modelo, elaboraram-se complexas rotinas computacionais baseadas em relações algébricas e geométricas da estrutura. Por meio dessas rotinas foi possível superar dificuldades como a definição de dobras e torções para o lançamento de cantoneiras entre planos não ortogonais dentre outras necessidades construtivas.

Os modelos virtuais construídos pelo *Hefesto* representam com elevada fidedignidade a estrutura real, conforme ilustrado pela Figura 3, que compara trechos do modelo virtual de uma torre autoportante treliçada com os respectivos trechos reais.

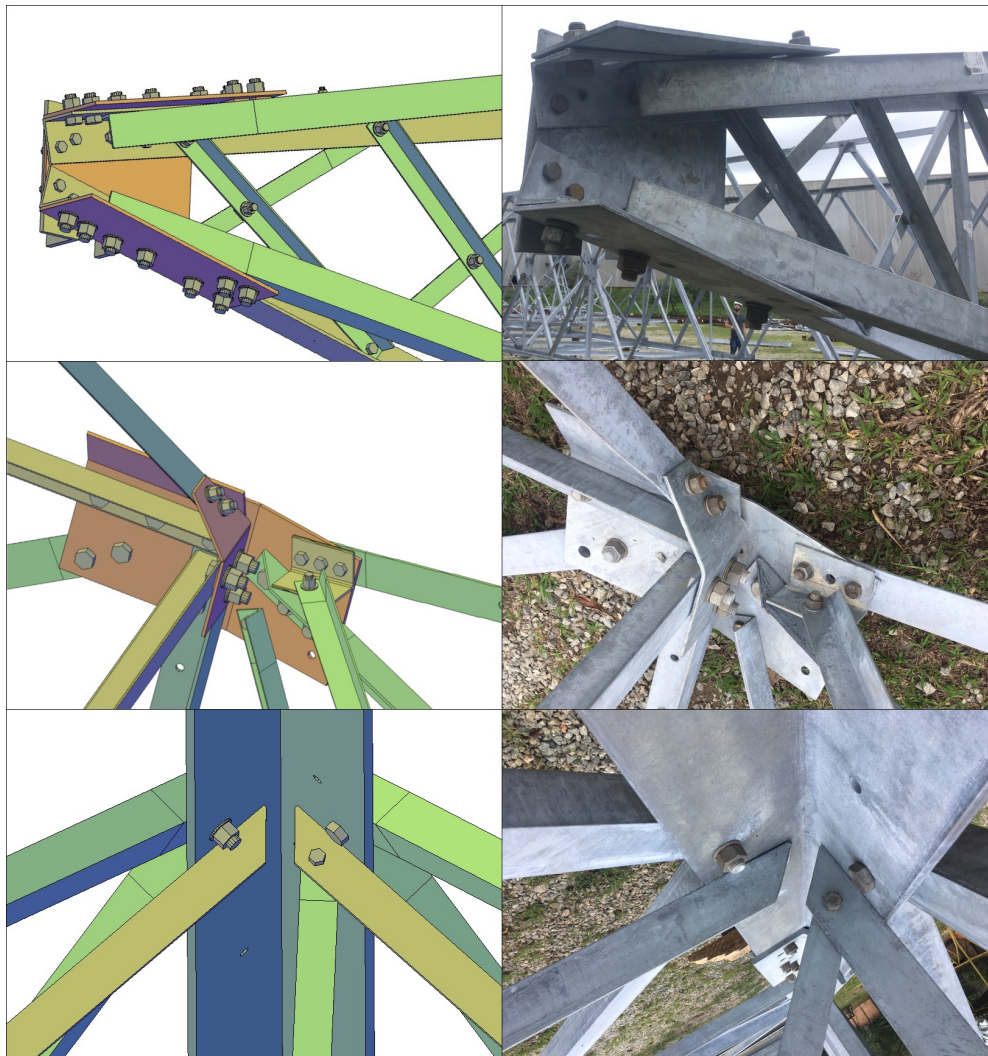


FIGURA 3 – Comparação entre trechos do modelo virtual e da estrutura real

A utilização do programa *Hefesto* resultou em um processo de detalhamento das estruturas mais célere e assertivo, uma vez que a precisão oferecida pelo modelo 3D e a comunicação direta de informações entre os programas de cálculo e modelagem eliminam diversos erros que são comuns quando o detalhamento é executado pelos métodos tradicionais.

### 3.2 – Automatização e Inteligência Artificial

Estabelecida a estrutura básica para a modelagem 3D das estruturas, iniciou-se uma nova etapa voltada para a automatização da modelagem. Com o objetivo de reduzir o tempo dispendido na etapa de detalhamento do projeto, foram desenvolvidas rotinas determinísticas para o lançamento automático dos objetos em componentes inteiros da estrutura. Tais ferramentas demonstraram serem eficientes para a modelagem automática de componentes como pés ou troncos de torres autoportantes e estaiadas, realizando de maneira inteligente inclusive recortes, excentricidades e outros detalhes construtivos.

No entanto, a abordagem determinística demonstrou ser ineficiente para a modelagem de componentes mais complexos da estrutura, como mísulas e outros trechos mais elaborados. A ineficiência do método para esses casos se deve à inviabilidade de se programar explicitamente rotinas capazes de abranger todo o espaço de soluções resultante da análise combinatória das variáveis dos múltiplos elementos interdependentes constituintes de tais trechos.

Como forma de se superar a referida limitação dos métodos de automatização convencionais, recorreu-se a estratégia de abordagem dos problemas de detalhamento de estruturas por meio de técnicas e conceitos de Inteligência Artificial, como Algoritmos Genéticos e Redes Neurais. Conforme demonstrado por Braga et al. (6), tais métodos são reconhecidos pela sua autoadaptabilidade e pela capacidade de encontrar soluções otimizadas de maneira inteligente, sem a necessidade de varredura de todo o espaço de busca, em contraposição aos métodos de otimização tradicionais.

Atualmente já foram desenvolvidas diversas ferramentas baseadas em Inteligência Artificial para a tratativa dos problemas relacionados ao projeto de estruturas, abrangendo desde a etapa de estimativas preliminares do projeto até a etapa de detalhamento e geração de desenhos e documentos finais do projeto. A exploração de tais recursos para a aceleração e otimização das soluções adotadas ao longo do desenvolvimento dos projetos trata-se de potencial intrínseco a este novo modelo de processo e é objeto de desenvolvimento contínuo pela equipe da Engetower.

### 3.3 – Validações automáticas

A introdução de um novo processo demanda meios de se realizar de maneira criteriosa a validação da metodologia adotada. Nesse sentido desenvolveu-se rotinas para a verificação automática do atendimento aos critérios normativos e de dimensionamento das estruturas. A Figura 4 demonstra, como exemplo, o relatório de validação de um parafuso de uma torre em relação às cantoneiras em que ele está conectado.

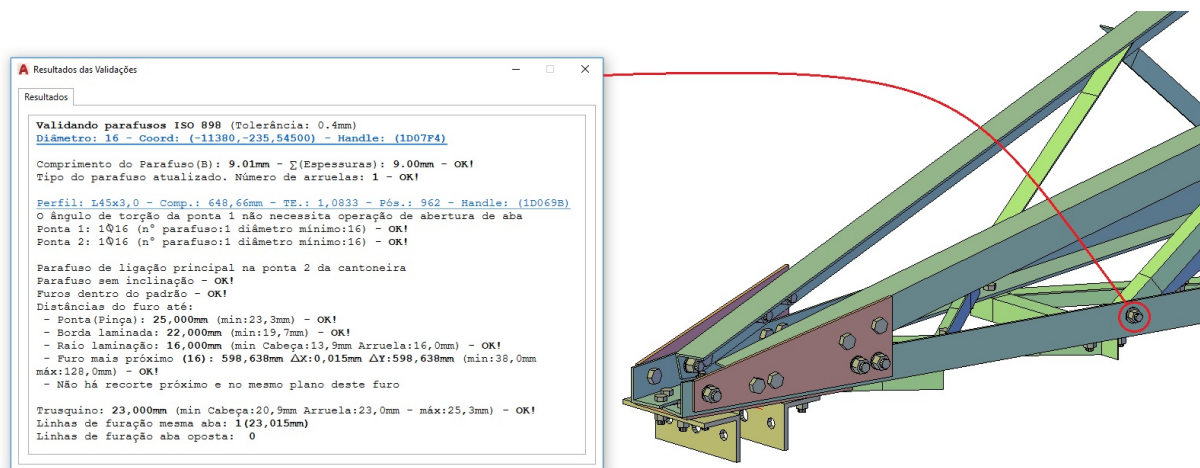


FIGURA 4 – Validação de um parafuso

Por meio dessas validações são verificados aspectos como distância dos furos às bordas das peças, valores mínimos de ponta (pinça), distância entre furos, necessidade de operações de abertura de aba, comprimento de flambagem das peças, comprimento e inclinação de parafusos etc.

No curso do desenvolvimento do projeto são gerados diversos relatórios automáticos que asseguram o alto padrão de confiabilidade do processo, garantindo expressiva redução da possibilidade de erros quando comparado aos métodos manuais.

### 3.4 - Geração automática de listas de materiais, fichas de fabricação para máquinas CNC e desenhos 2D

Usualmente, a empresa de projetos tem como produto final um conjunto de desenhos 2D que contém todo o detalhamento necessário para a fabricação e montagem das estruturas. De posse desses documentos, o fabricante converte manualmente as informações para o formato adequado às suas máquinas (CAM - *Computer-Aided Manufacturing*) e os montadores utilizam os desenhos impressos para realizarem seu trabalho em campo.

O estabelecimento do método de modelagem e detalhamento 3D das estruturas possibilitou o fornecimento de um novo formato de produto, no qual os arquivos CAM são gerados automaticamente e fornecidos diretamente para o fabricante, prontos para utilização, eliminando a necessidade de geração de desenhos detalhados para fabricação e a conversão manual dessas informações para o formato CAM. A eliminação dessas etapas resulta na redução significativa do tempo total dispendido no processo, além da redução da possibilidade de ocorrência de erros humanos. A geração dos desenhos 2D para montagem, por sua vez, passou a ser feita através de um algoritmo que realiza a extração automática das características geométricas do modelo e a plotagem para representação em um formato de desenho em conformidade com as normas e convenções de projeto. De maneira análoga, a disponibilidade de informações vinculadas aos componentes do modelo virtual possibilita a geração automática das listas de materiais das estruturas, utilizadas para realização de estimativas e controle ao longo das diversas etapas do processo.

### 3.5 – Plataforma de visualização e gerenciamento do projeto

A consolidação deste novo modelo de processo demanda ainda a elaboração de um sistema de gestão adequado às suas peculiaridades, com uma interface que permita o acesso a todos os envolvidos na cadeia de produção para realização de revisões, gerenciamento de problemas e visualização dos documentos gerados ao longo das etapas do processo.

Com o intuito de suprir essa demanda, desenvolveu-se um sistema através do qual o usuário, por meio de um *login* pessoal, pode acessar uma plataforma compartilhada com os respectivos projetos aos quais está vinculado. Através dessa plataforma, de nome Engeviewer, o usuário pode visualizar de maneira interativa os modelos tridimensionais das estruturas e acessar as propriedades individuais dos objetos, conforme exemplificado através da Figura 5.

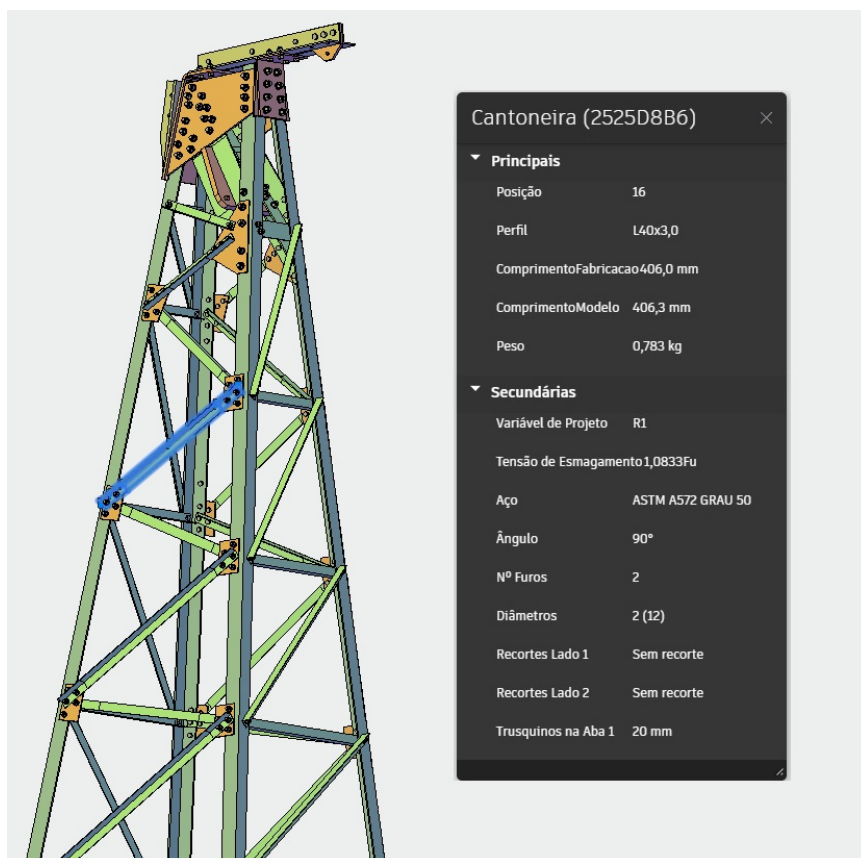


FIGURA 5 – Propriedades dos objetos

Dentre as funcionalidades do sistema está o gerenciamento de problemas vinculados a trechos ou elementos da estrutura. Dessa forma um usuário pode adicionar um problema ou *mark-up* ao projeto e associá-lo à outros usuários que são instantaneamente notificados da ocorrência, vide Figura 6. Assim, a comunicação entre os envolvidos nas etapas de projeto, fabricação e montagem da estrutura é feita de maneira mais eficiente, reduzindo o tempo de resposta e gerando o registro de todas as ações e medidas adotadas no ciclo de vida do projeto.



FIGURA 6 – Gerenciamento de problemas

O sistema possibilita ainda o *download* instantâneo de desenhos 2D, listas de materiais e fichas de fabricação para máquinas CNC, centralizando e facilitando o acesso a documentação a qualquer tempo por fabricantes, montadores, clientes e outros envolvidos no projeto.

Os usuários podem ainda ter acesso à plataforma em campo por meio de dispositivos portáteis como *tablets*, *smartphones* ou dispositivos de realidade virtual e aumentada, se beneficiando de funcionalidades como a vinculação bidirecional entre os objetos do modelo 3D e do desenho 2D, como ilustrado pela Figura 7. Tais facilidades propiciam um evidente aumento da eficiência do processo e redução de erros como a montagem incorreta de componentes devido à interpretação equivocada de desenhos.

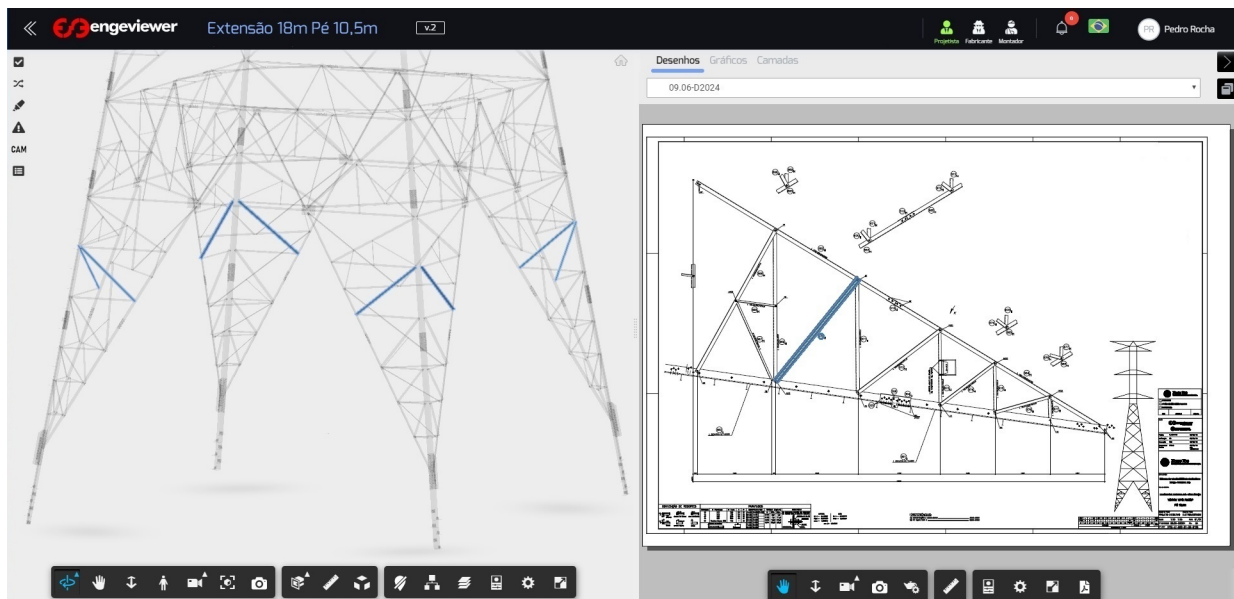


FIGURA 7 – Vinculação entre objetos 2D/3D

Outros recursos como a exibição de diversas informações e estatísticas relacionadas ao desenvolvimento de cada projeto possibilitam que o gestor tenha um panorama geral do seu andamento e possa avaliá-lo segundo critérios objetivos.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A adaptação das empresas envolvidas na cadeia de projeto, fabricação e montagem de linhas de transmissão ao novo modelo de produção da Indústria 4.0 é tida não apenas como viável, mas também necessária, já que é uma tendência inevitável das corporações e das diretrizes governamentais em nível nacional e global.

Observa-se que a adequação e reestruturação dos processos e metodologias consolidados no setor é fundamental na transição para um novo paradigma de sistema de produção mais integrado, no qual os indivíduos e organizações são interligados de maneira mais eficaz em prol da otimização do processo como um todo.

O presente Informe Técnico demonstra, a partir da experiência vivenciada pela Engetower Engenharia, que essa reestruturação representa uma evolução e resultará em um expressivo e mensurável incremento na eficiência, controle de qualidade e ganhos econômicos em todas as etapas de projeto, fabricação e montagem de estruturas para linhas de transmissão.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) SCHWAB, Klaus. *The Fourth Industrial Revolution*. 1 ed. Currency, 2017.

(2) MANYIKA, James, et al. *Unlocking the potential of the Internet of Things*. McKinsey Global Institute, 2015.

(3) BRASIL. *BIM BR – Construção Inteligente*. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018.

(4) OLIVEIRA, Jean M. C. et al - *Implementação da Modelagem Tridimensional no Projeto de Torres Treliçadas para Linhas de Transmissão*. XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE – Curitiba, Brasil, 2017.

(5) PERUCCI, Ricardo de O. e B – *Implementação da tecnologia Building Information Modeling (BIM) em projetos de estruturas para linhas de transmissão*. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

(6) BRAGA, Pedro H. Rocha de M. et al - *Inteligência Artificial aplicada ao projeto de estruturas para linhas de transmissão*. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE – Belo Horizonte, Brasil, 2019.



## DADOS BIOGRÁFICOS



**Filipe Guerra Soares** - Nascido em Timóteo/MG, em 29/06/1979, graduou-se em Engenharia Civil com ênfase em Cálculo Estrutural pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2001. Atua desde 1999 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.



**Jean Mark Carvalho Oliveira** - Nascido em Teófilo Otoni/MG, em 11/01/1985, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2009. Atua desde 2007 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.



**Juliana Augusto da Silva** - Nascida em Itaguara/MG, em 15/07/1979, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2009. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.



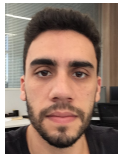
**Paulo Ricardo Ralo Liberato da Silva** - Nascido em Conselheiro Lafaiete/MG, em 01/06/1954, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 1977. Atuou como engenheiro projetista de estruturas metálicas para LT's e SE's na empresa Morrison Knudsen de Engenharia, no período de 1977 a 1986, e na empresa Mendes Júnior Montagens e Serviços, no período de 1987 a 1994. Foi professor da cadeira de Estruturas Metálicas do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFMG no período de 1978 a 1993. A partir de 1995 atua como sócio e diretor executivo da Engetower Engenharia.



**Pedro Henrique de O. Liberato (\*)** - Nascido em Belo Horizonte/MG, em 21/02/1982, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2006. Possui pós graduação em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral. Trabalhou com desenvolvimento de softwares para o AutoCAD com a tecnologia ObjectARX .NET durante dois anos. Trabalhou também durante nove anos com desenvolvimento de sistemas WEB e aplicativos móveis para diversos segmentos. Trabalha na Engetower Engenharia desde 2015 no setor de Tecnologia da Informação desenvolvendo o software de detalhamento 3D.



**Pedro Henrique Rocha de Menezes Braga** - Nascido em Belo Horizonte/MG, em 25/03/1991, graduou-se em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Atua desde 2017 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.



**Ricardo de O. e B. Perucci** - Nascido em Belo Horizonte/MG, em 22/06/1994, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's



**Sírio José Ferreira** - Nascido em Iguatama/MG, em 18/06/1962, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 1986. Atuou como engenheiro projetista de estruturas metálicas para LT's e SE's na empresa Morrison Knudsen de Engenharia em 1986, e na empresa Mendes Júnior Montagens e Serviços no período de 1987 a 1991. A partir de 1995 atua como sócio e analista de sistemas da Engetower Engenharia.



**Tiago Corradi Mello** - Nascido em Belo Horizonte/MG, em 12/07/1996, estuda Engenharia Civil na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais com previsão de conclusão em 2019. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia como estagiário no setor de engenharia.