



CONSTRUMETAL 2014

Congresso Latino-Americano da Construção Metálica

Contribuições Tecnocientíficas

- Parte 6 -

Projeto – Arquitetura e Engenharia

Tema: oficial de submissão

## DESENVOLVIMENTO DE DIRETRIZES PARA PROJETO DE EDIFICAÇÕES PARA FINS DIDÁTICOS COM SISTEMA ESTRUTURAL CONSTRUTIVO MODULAR EM AÇO\*

Maria Emília Penazzi<sup>1</sup>  
Alex Sander Clemente de Souza<sup>2</sup>

### Resumo

O presente estudo propõe parâmetros para a adoção de sistema estrutural construtivo modular em aço, permitindo a elaboração de soluções técnicas de modo flexível e adaptável à concepção do edifício, compreendendo também o atendimento ao respectivo programa de necessidades do espaço didático. Valendo-se de uma abordagem teórica, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos de industrialização e construção industrializada, abordando a situação atual no Brasil, além de confrontar as principais tecnologias industrializadas presentes hoje no segmento da construção civil, permitindo-se com isso, optar pela utilização do sistema modular em aço como opção para o processo de produção de edificações para fins didáticos aqui estudado, com base na fundamentação teórico-metodológica desenvolvida. Na sequência, são caracterizadas duas tipologias de edificações didáticas, em relação ao espaço físico para atender as demandas arquitetônica, porém considerando também aspectos logísticos. Adicionalmente, a pesquisa apresenta caráter aplicativo, pois é motivada pela necessidade de se resolver problemas reais, portanto, com finalidade prática.

**Palavras-chave:** Sistema modular em aço; Industrialização da construção; Racionalização.

## ARCHITECTURAL PROJECT DEVELOPMENT AND CONSTRUCTIVE STEEL FRAME SYSTEM GUIDELINES FOR TEACHING PURPOSES

### Abstract

This study proposes a set of parameters for the adoption of constructive steel modular structural system which allows the development of technical solutions in a flexible and adaptable way according to the design of the building. It also meets need of the respective

---

<sup>1</sup>Arquiteta e Urbanista (2006). Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PPGECiv), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), bolsista CNPq. Mestrado em andamento com ênfase em industrialização da construção, racionalização do processo construtivo, e sistema estrutural modular em aço. E-mail: [mepenazzi@yahoo.com.br](mailto:mepenazzi@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar São Carlos – SP. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (1994), mestrado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (1998) e doutorado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (2003). E-mail: [alex@ufscar.br](mailto:alex@ufscar.br)

---

\* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

teaching space program. Based on a theoretical approach, this paper presents a literature review about concepts of industrialization and industrialized construction by addressing the major industrialized technologies present in the construction industry nowadays. Hence it allows the choice to use the modular system of steel as an option for the production of the buildings for teaching purposes, based on the developed theoretical-methodology foundation. Following, two types of educational buildings are characterized, connected to the physical space in order to meet architectural demands, however it also considers the logistic aspects. Furthermore, this research presents feasibility since it is motivated by the need to solve real problems, thus with practical purpose.

**Keywords:** Steel Modular System; Industrialization of construction; Rationalization.

## 1 INTRODUÇÃO

O atual cenário da construção civil no país pode ser considerado favorável à adoção de novas tecnologias. Fatores como o aumento de custo de mão de obra, o aquecimento da economia, a crescente demanda por obras novas, a normatização de critérios e requisitos de desempenho, a abertura do mercado da construção civil com a importação de novos produtos e tecnologias, entre outros, formam um terreno propício para que empresas construtoras busquem na industrialização da construção alternativas viáveis de serem implantadas, tecnicamente e financeiramente. Neste contexto, o conceito de modulação é parte intrínseca aos principais processos industrializados atualmente disponíveis no ramo da construção civil.

Segundo Glass [1], a ideia de se conceber módulos de espaços completos unidos na fábrica que configurem cômodos é denominada construção volumétrica. Algumas tipologias têm adotado de forma crescente este tipo de sistema, como edifícios comerciais, públicos e privados de diversas funcionalidades.

Os sistemas estruturais e construtivos, podem se apresentar sob diferentes formas. Tudo vai depender das variáveis envolvidas no desenvolvimento do projeto, onde uma determinada solução, ou conjunto delas, contribui para a adoção de uma composição específica de elementos que vão formar um sistema. A forma de estabelecimento do desempenho arquitetônico e construtivo, como exposto na NBR 15575-1 [2], é comum e pensada por meio da definição de requisitos qualitativos, critérios quantitativos ou premissas, e métodos de avaliação.

Falhas na escolha do sistema estrutural e construtivo, para NBR 15575-1 [2], podem surgir por falta diretrizes no desenvolvimento de projeto, emprego de materiais, na elaboração de especificações, e detalhamentos no desenvolvimento do projeto, que acabam por levar a improvisações no momento da execução, abrindo margem para o surgimento de futuros problemas, dificultando a eficiência da edificação, e conseqüentemente, diminuindo a qualidade para o usuário, assim como a vida útil do mesmo e da edificação como um todo.

A atividade da construção de edifícios tem grande importância para a movimentação da economia do país. De acordo com Melhado [3], a temática da qualidade no setor da construção civil vem ganhando importância tanto no meio acadêmico como empresarial, com forte crítica ao desempenho, sobretudo quanto ao desperdício de material e mão de obra.



Dentro destas colocações, o intuito deste trabalho é agregar conhecimento relativo à melhoria da qualidade de projetos para ocupações com fins didáticos, propondo parâmetros para a adoção de sistema estrutural construtivo modular em aço, de modo a permitir a elaboração de soluções técnicas de modo flexível e adaptável à concepção do edifício, compreendendo também o atendimento ao respectivo programa de necessidades do espaço didático. Nesta lacuna esta pesquisa irá contribuir para atenuar a escassez de informações idôneas sobre o assunto.

### **1.1 Processo construtivo industrializado**

Para Mamede [4], o processo construtivo na industrialização apresenta caráter repetitivo, bem representado pelo sistema de pré-fabricados, que reduz os desperdícios, o que reflete diretamente na produtividade da mão de obra. No entanto, antes de se tornarem tarefas muito repetitivas, os procedimentos e os processos devem ser altamente coerentes, para não se correr o risco de reproduzirem, em larga escala, também os erros.

Ainda de acordo com o autor, o grande diferencial dos processos construtivos industrializados é verificado na padronização, racionalização dos materiais e otimização da mão de obra, pois o sistema utiliza-se de equipamentos e dispositivos para pré-fabricação, precedidos da montagem dos elementos estruturais básicos da construção, como paredes, coberturas e lajes. A partir daí foram criados sistemas de pré-fabricação dos elementos para obras e desenvolvidos equipamentos para executar a montagem desses elementos na construção de edificações. De modo que tais sistemas possam construir edifícios no menor espaço de tempo com custos reduzidos e oferecendo os benefícios da padronização, qualidade e racionalização.

A cada dia surgem novos produtos pré-fabricados ditos inovadores, para atender à crescente demanda de industrialização no canteiro de obra, o que pode ser positivo sob os aspectos de racionalização das construções para fins didáticos.

### **1.2 Desempenho e qualidade: instrumentos para projeto**

Dentre os aspectos construtivos do espaço físico educativo, merecem destaque o conforto ambiental, conjunto de situações térmica, acústica, visual, segurança, entre outras, que propicia sensação de bem-estar aos usuários de um ambiente, no caso alunos e professores em geral. A inobservância dessas condições, para Santos [5], constitui a principal causa de sintomas diversos e desagradáveis, como: a fadiga, desconcentração, desânimo, entre outros.

Desse modo, entre os problemas relativos à implantação de salas de aula, existem as questões de conforto ambiental, que interferem diretamente no desempenho e qualidade da edificação. Sendo assim, por exemplo, a baixa qualidade do ar é um potencial fator desencadeador de doenças, que ausentam os alunos do local de ensino, prejudicando o desempenho de aprendizagem. Alguns efeitos da má qualidade do ar, tais como: irritação nos olhos, infecções nas vias aéreas superiores, náusea, fadiga ou sonolência, dor de cabeça e vertigem. São sintomas definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como Síndrome do Edifício Doente (SED), na língua inglesa classificada "*sick building syndrome*" pela Environmental Protection Agency.

Portanto, o desempenho dos projetos de edifícios para fins didáticos, é o componente prioritário na qualidade do local de aprendizagem, pois está diretamente relacionado às



características de sua utilização, que por sua vez determinarão o grau de satisfação dos usuários final, docentes e discentes.

De forma análoga, para os autores Medeiros e Melhado [6], grande parte das decisões tomadas na fase de concepção do projeto podem afetar o ciclo de vida do empreendimento até a fase de operação e manutenção, de forma que o projeto tem um papel importante como síntese do conhecimento gerado pela equipe projetista.

Neste contexto, devido à importância da etapa projeto, é necessário considerar os instrumentos utilizados como recursos de projetos. Assim, as Normas Técnicas Brasileiras em vigência, possuem grande importância para a concepção do edifício em estudo, agrupando-se em quatro categorias: Conforto Térmico, Conforto Acústico, Conforto Luminoso e Desempenho (Quadro 1). Elas servem de referência para os procedimentos a serem adotados para organização, dimensionamento e verificação dos espaços e sistemas projetados, além de apresentarem critérios para as avaliações a serem realizadas na execução de projetos.

**Quadro 1 – Importância e descrição das normas técnicas**

Importância	Descrição
Conforto Térmico	Alguns dos principais problemas de implantação das salas de aula se relacionam às questões de conforto ambiental, entre eles pode-se citar, o desconforto térmico.
<b>Conforto Acústico</b>	É recomendável proporcionar conforto sonoro em ambientes destinados ao ensino, com baixos níveis de ruído de fundo, pois favorecem a concentração no trabalho intelectual, e a boa condição sonora também beneficia a comunicação verbal.
Conforto Luminoso	É compreendido como a existência de um conjunto de condições em determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de perspicácia, e precisão visual.
Desempenho	Esta Norma busca contemplar o conforto, estabilidade, e vida útil adequada para edificação e usuário final.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

### 1.3 Alguns sistemas construtivos industrializados e a escolha adotada na pesquisa

Em tempos de economia aquecida, construtoras concorrem por obras públicas de infraestrutura, e o aumento na demanda por empregados especializados pressiona os custos de contratação. Como resultado, o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) sobe, a margem de lucro dos empreendimentos fica achatada, e encarecem os imóveis para o consumidor final.

Neste contexto, os sistemas industrializados da construção, por exemplo, os pré-moldados e os pré-fabricados, racionalizam recursos humanos, e são executivamente muito mais rápidos.

Desta forma, diferente da construção convencional, onde todas as tarefas das obras são executadas através do elemento humano, a construção industrializada utiliza equipamentos automatizados para fabricação e montagem dos seus componentes ou elementos construtivos. Oferecem vantagens como organização de processos executivos, qualidade, controle tecnológico, segurança e agilidade muito superior.



Para tanto, no Quadro 2, são expostos alguns métodos construtivos industrializados, abordando suas vantagens e desvantagens.

**Quadro 2 – Alguns métodos construtivos industrializados**

Sistema	Vantagens	Desvantagens
<i>Wood Frame</i>	Possui comportamento estrutural superior ao da alvenaria estrutural em resistência; conforto térmico; conforto acústico.	No Brasil, esse sistema ainda é muito pouco conhecido e utilizado, por falta de conhecimento técnico, por preconceito associado a má utilização da madeira como material de construção e por falta de normalização.
<i>Steel Frame</i>	Baixos preços; qualidade homogênea; alto desempenho estrutural; baixo peso; produção em massa; facilidade de pré-fabricação.	Pode considerar que é um produto tecnológico novo no país; foge ao tradicional ou convencional e desperta sentimentos de suspeita e insegurança.
<i>Containers</i>	Econômicos e flexíveis; Possuem baixo custo de construção; Estruturalmente sólidas; fácil transporte; flexibilidade construtiva; reutilização de containers em desuso; curto prazo de construção.	Exige acabamentos e revestimentos para garantir o conforto do usuário; Necessita de equipamento especializado, como empilhadeiras e guindastes, para transportar e auxiliar na montagem.
<b>Modular em aço</b>	Módulos flexíveis a vários espaços; adequado e adaptável a uma variedade de necessidades; baixo custo de construção; estruturalmente sólidas; fácil transporte; flexibilidade construtiva; menos desperdícios com erros de execução; rapidez na montagem; maior nível industrialização.	Necessita de equipamento especializado, como empilhadeiras e guindastes, para transportar, movimentar e auxiliar na montagem.
Pré-fabricados de concreto	Rapidez; limpeza da obra; garantia da construção; possibilidade de combinação de materiais diferentes.	O preço relativamente alto; necessidade do projeto ser modular; possibilidade de fissuras na junção entre placas e a dificuldade de reformar a edificação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Tais informações balizaram a escolha adotada para o desenvolvimento do projeto nesta pesquisa, no caso, o sistema modular em aço. Tal sistema possui características importantes, para as principais interfaces do trabalho em questão, contribuindo com a qualidade do produto final: diretrizes de projeto para fins didáticos, que atendam às Normas Brasileiras em vigência, conjugando desempenho e flexibilidade projetual.

Ainda neste contexto, serão exemplificados alguns sistemas semelhantes ao adotado na presente pesquisa, como os casos apresentados por Lawson e Ogden [7]. Trata-se de projetos executados no Reino Unido, que têm demonstrado os benefícios das tecnologias de construção de pré-fabricados, como o premiado projeto *Murray Grove* em Hackney, Londres, concluído em 1999, que utilizou módulos prontos nas dimensão 8,00m de comprimento, por 3,00m de largura, com 3,20m de pé direito. Mais recentemente, o projeto *Lillie Road*, em Fulham, oeste de Londres, concluída em 2003, usou estruturas de aço leve, banheiros



modulares para este edifício de uso misto. Em ambos os projetos, o cliente foi *The Peabody Trust*, que teve um forte interesse em realizar o valor benéfico destas tecnologias relativamente novas. Esses projetos são ilustrados na Figura 1.

**Figura 1-** *Royal Northern College of Music*, em Manchester, composto por 900 módulos de aço empilhados, e instalação de unidades modulares em *Murray Grove*, Hackney, Londres



Fonte: LAWSON e OGDEN, 2008

Nas duas situações, conforme Figura 2, Lawson e Ogden [7], destaca os sistemas construtivos volumétricos fabricados a partir de painéis em estrutura de aço leve, cujos módulos são montados fora do empreendimento, e transportados para o canteiro de obras, apenas para montagem.

**Figura 1 –** Construção mista (comercial e residencial) em Wilmslow Road, Manchester, com 1.400 módulos em estrutura de aço, e o projeto modular em Lillie Road, Fulham, em Londres



Fonte: LAWSON e OGDEN [7]

Exemplo atual, localizado em Nova Iorque, temos o edifício conhecido como A Pilha, na língua inglesa, *“The Stack”*. Localizado na parte superior de Manhattan, o projeto foi realizado por associados Jeffrey M. Brown, mais associados e arquitetos *Gluck*. Trata-se de um edifício residencial (Figura 2), sendo que seu projeto possui 28 unidades de ocupação, em sete pisos, composto de 56 módulos pré-fabricados, empilhados em 19 dias, com um grupo de oito trabalhadores experientes em construção com aço, operador de guindaste, e seis assistentes. Demorou alguns meses para preparar o local e construir a fundação, base do edifício, enquanto uma equipe acompanhava a construção dos módulos em uma fábrica localizada na Pensilvânia.

**Figura 2 - Montagem dos módulos e edifício pronto**



Fonte: <http://gluckplus.com/project/the-stack> - acesso em 05/02/2014

O projeto deste edifício residencial, apresenta a praticidade e viabilidade da construção pré-fabrica modular. No interior, existem diferentes combinações de unidades, que fornecem integridade estrutural, bem como uma variada nos tipos de *layouts* para os moradores.

No Brasil, estamos no início do desenvolvimento da indústria da construção com módulos para edifícios de diversos usos, enquanto nos Estados Unidos há bastante experiência na produção de construções modulares, parte construída em uma fábrica, transportada e montada no local.

Destarte, Guarnier [8] sugere que arquitetos, engenheiros e profissionais ligados à construção devam manter suas bases informacionais e tecnológicas atualizadas, de forma a estarem familiarizados com conceitos inovadores, para assegurar a inserção de construções de excelência ao mercado nacional, elevando o nível da qualidade de nossas edificações, com opções racionalizadas e inovações tecnológicas.

Exemplos de estudos correlacionados com o tema proposto nesta pesquisa como Caiado [9], Rezende e Gouveia [10], Lawson e Ogden [7] e Van Der Laan [11], constataam a importância atual de trabalhos correlacionados a construções modulares, industrialização e racionalização no processo construtivo, com a utilização de estruturas metálicas, complementando e dando sequencia em estudos e materiais já existentes, dentro do fluxo de contínuismo inerente ao processo científico.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fundamentação teórico-metodológica do trabalho, serão utilizados meios bibliográficos, através de pesquisas relativas ao tema em material científico publicado em livros, teses, dissertações, artigos científicos, revistas, *sites da internet*.

Inicialmente, o levantamento bibliográfico foi desenvolvido visando à caracterização das principais tipologias, em consonância com princípios de arquitetura de ensino superior. Na sequencia, a pesquisa bibliográfica teve continuidade abordando sistema estrutural construtivo, abordando seus conceitos, requisitos e critérios.

Dentro deste levantamento bibliográfico, foi estudado o programa básico de necessidades (PBN) do Edifício de Aulas Teóricas 7 (AT7), localizado na UFSCar Campus São Carlos. Paralelamente, com base no material levantado relativo aos sistemas construtivos industrializados disponíveis, e de comparações de suas características, foi escolhido o sistema estrutural construtivo modular em aço, para o desenvolvimento das tipologias modelo de edificações de salas de aula, mantendo-se as características dimensionais do edifício, visto que



o AT7 é adotado como modelo padrão dentro da UFSCar para edifícios de salas de aula. Nesta etapa, são apresentadas diretrizes que embasaram as escolhas relativas à concepção e detalhamento do sistema estrutural adotado.

Para o desenvolvimento da pesquisa, será utilizadas algumas ferramentas de trabalho, tais como, para realizar análise tridimensional das estruturas será aplicado *softwareSAP2000*<sup>®</sup>, para executar os projetos e detalhes construtivos será utilizado programa *AutoCAD*<sup>®</sup>, para elaborar as maquetes e renderizar as imagens o *softwareSketchUp*<sup>®</sup>, e para tabular as informações necessárias será aplicado o *software Excel*<sup>®</sup>.

A necessidade do desenvolvimento de uma pesquisa exploratória se dá devido ao tema proposto: “Desenvolvimento de diretrizes para projeto de edificações para fins didáticos com sistema estrutural construtivo modular em aço”. Este, devido a sua complexidade e amplitude, exige uma observação multidisciplinar dos acontecimentos, que envolve conhecimentos de engenharia, arquitetura e gestão, por exemplo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a adoção dos parâmetros do sistema construtivo adotado nesta pesquisa, iniciou-se pela concepção arquitetônica, avaliando as características das estruturas em aço ao iniciar as diretrizes de projeto, procurando a modulação adequada, para que os custos finais fossem menores. Desse modo, as premissas para o desenvolvimento do projeto central do presente trabalho estão sintetizadas no Quadro 3.

**Quadro 3 – Resumo da escolha dos sistemas construtivos**

Sistema	Descrição
Fundação	Convencional tipo radier
Estrutura	Perfis comerciais de chapa de aço formados a frio
Vedação horizontal laje / piso	Painel OBS
Vedação vertical externa	Painel pré-fabricado de concreto
Vedação vertical interna	Sistema <i>Dry-Wall</i> e painel removível
Cobertura	Telhas metálicas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

No sistema estrutural modular em aço, serão utilizados perfis comerciais de chapa de aço formados a frio, e suas ligações serão preferencialmente parafusadas para facilitar a montagem, por tanto, no projeto serão utilizados produtos disponíveis na indústria nacional, que atendem às Normas Técnicas em vigência.

Após a definição do sistema construtivo modular, será apresentado na sequência o desenvolvimento de duas propostas de projetos para a tipologia dos módulos, no caso, tipologia 01 e tipologia 02. Tais propostas diferenciar-se-ão no que se refere às dimensões do módulo. Provando desse modo, que o projeto modular em aço pode se adaptar a vários programas de necessidades, e com diversas formas geométricas arquitetônicas.



Pensando na interface do processo global de fabricação, deve-se considerar que o módulo virá pronto de fábrica para instalação na obra, acarretando transporte especial na zona urbana. Foram consideradas as dimensões máximas de transporte através de caminhões sem restrições de tráfego segundo o ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestre), que são: 18,15 m (comprimento); 2,60 m (largura); 4,40 m (altura).

Estudou-se uma relação métrica na qual fosse possível tirar o máximo do aproveitamento em relação a flexibilidade construtiva e estética voltado para o espaço didático. Com isso definiu-se o módulo parcialmente montado (tipologia 01) com: 10,00m (comprimento); 5,00m (largura); 3,55m (altura).

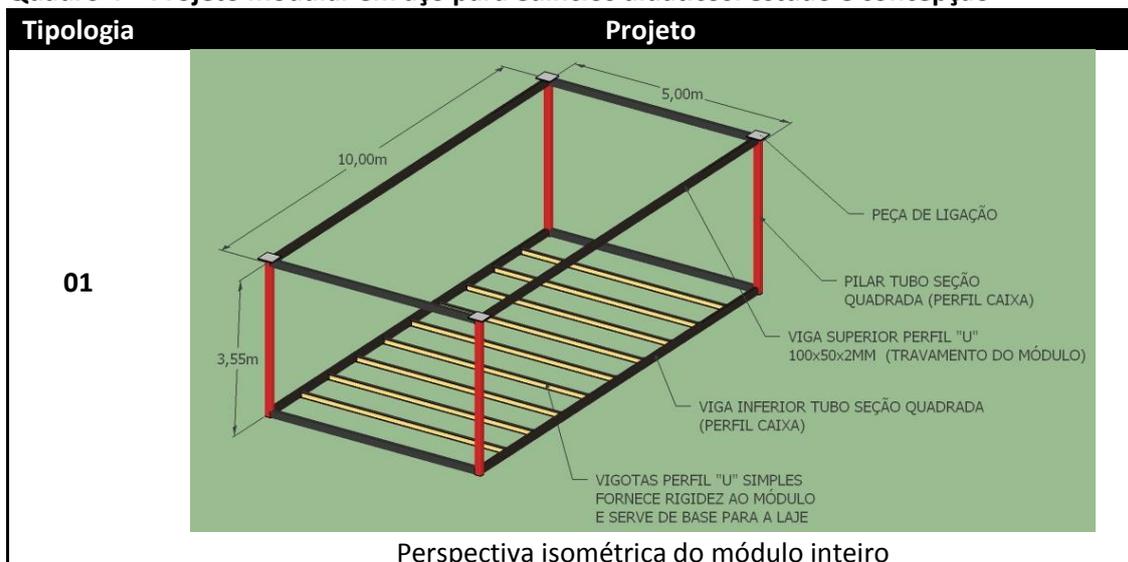
Com essas dimensões seu transporte não ficaria viável sobre caminhões de médio porte, com capacidade de locomoção no perímetro urbano, portanto, para a tipologia 01, o módulo chegaria a obra parcialmente montado, devendo ser finalizado no local.

Desse modo, estudou-se outra relação métrica, onde favorecesse o transporte do módulo pronto, aproveitando a flexibilidade construtiva sem interferir no espaço didático. Com isso definiu-se o módulo pronto (tipologia 02) com: 8,00m (comprimento); 2,40m (largura); 3,55m (altura).

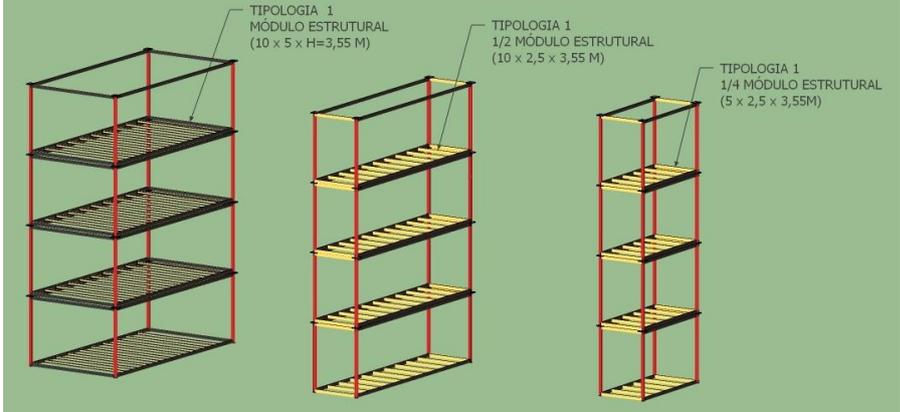
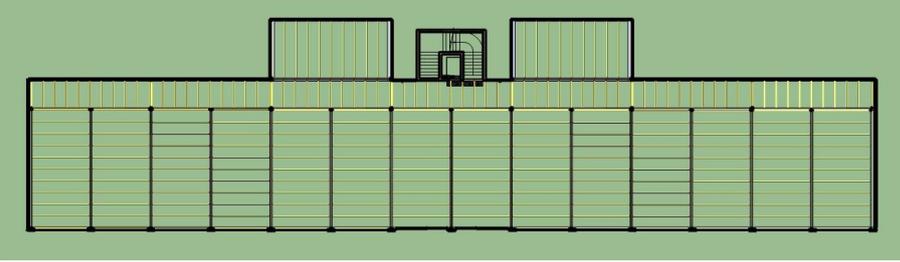
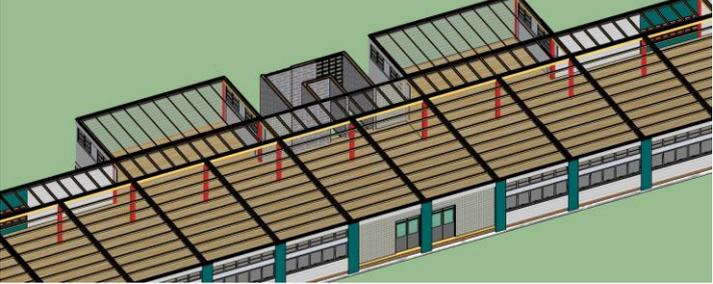
Estas medidas favorecem o transporte horizontal, sobre caminhões de médio porte, com 2 ou 3 eixos, não acarretando grandes dificuldades relacionadas à logística dentro da malha urbana das cidades.

Essas análises realizadas no Quadro 4, fortificam que a relação métrica de ambas modulações, tipologia 01 e 02, favorecem a disposição dos módulos, podendo assim desenvolver um jogo de formas, além de auxiliar o sistema estrutural.

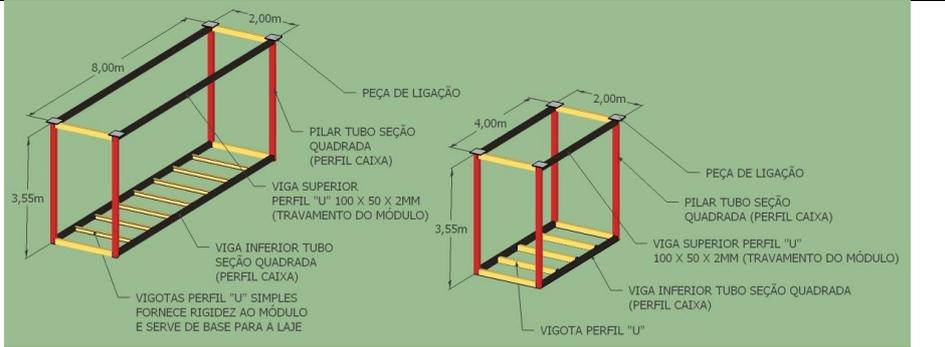
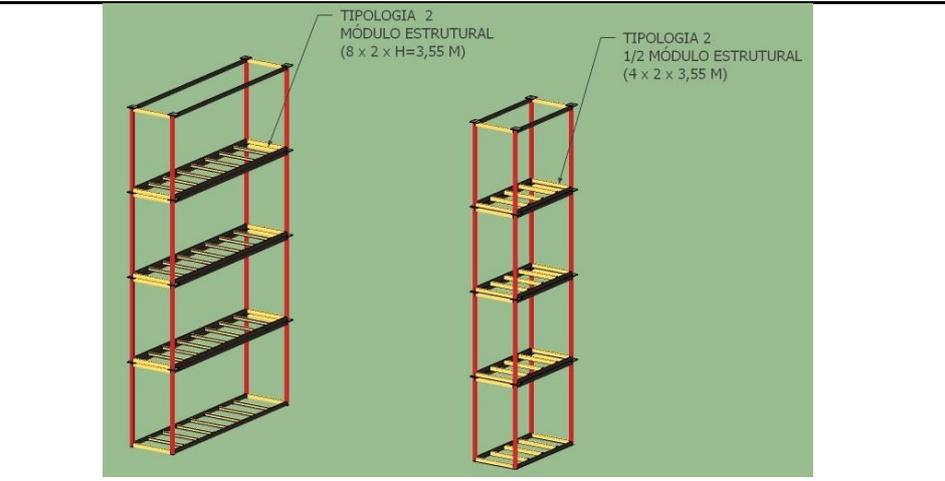
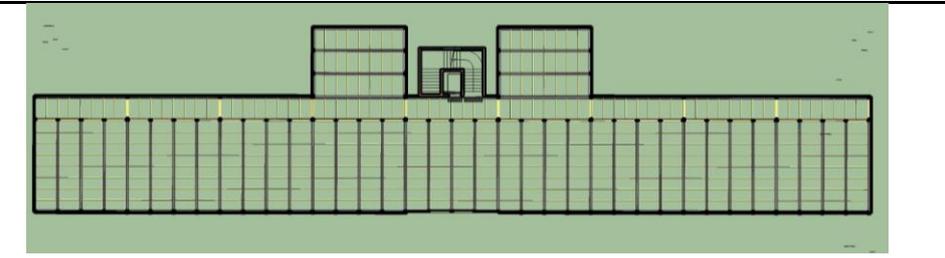
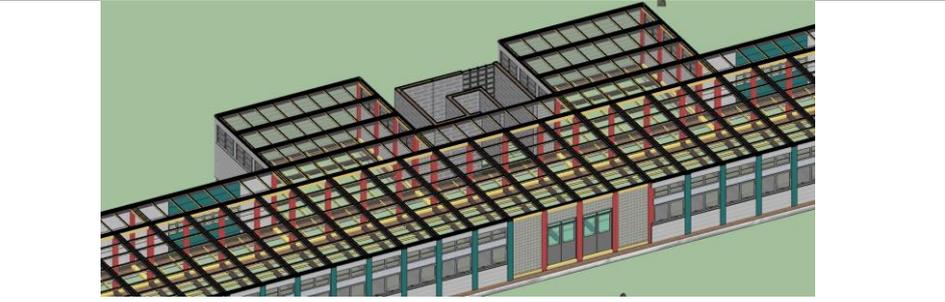
#### Quadro 4 – Projeto modular em aço para edifícios didáticos: estudo e concepção



**Quadro 4 – Projeto modular em aço para edifícios didáticos: estudo e concepção (Cont.)**

Tipologia	Projeto
01	 <p>Perspectiva isométrica dos módulos empilhados: módulos inteiros; ½ módulo e ¼ de módulo</p>
01	 <p>Edificação pronta com modulação: planta baixa</p>
01	 <p>Edificação com modulação: estrutura</p>
01	 <p>Edificação pronta com modulação: vista aérea</p>

**Quadro 4 – Projeto modular em aço para edifícios didáticos: estudo e concepção (Cont.)**

Tipologia	Projeto
02	 <p>Perspectiva isométrica do módulo inteiro e ½ módulo</p>
02	 <p>Perspectiva isométrica dos módulos empilhados: módulos inteiros e ½ módulo</p>
02	 <p>Perspectiva isométrica do módulo inteiro</p>
02	 <p>Edificação com modulação: estrutura</p>

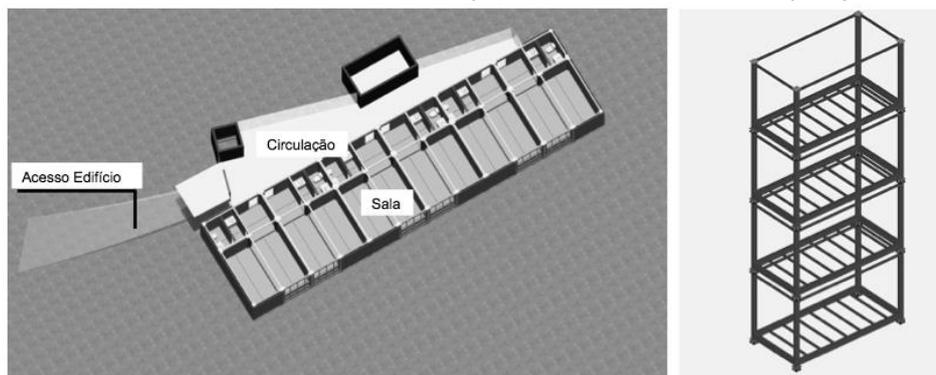
**Quadro 4 – Projeto modular em aço para edifícios didáticos: estudo e concepção (Cont.)**

Tipologia	Projeto
02	 <p data-bbox="592 728 1145 761">Edificação pronta com modulação: vista aérea</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Seguindo a linha de pesquisa deste trabalho, temos como referência o estudo de Caiado [9], que apresenta solução modular em aço para edifícios de escritórios (Figura 3). Este trabalho segue as premissas da industrialização onde deverá ser confeccionado dentro da planta física fabril, para maior controle de qualidade com relação às dimensões e materiais do módulo modelo.

**Figura 3**– Planta baixa do edifício modelo e esquema isométrico da sobreposição dos módulos



Fonte: Caiado, 2005

Com relação ao projeto arquitetônico, analisando o edifício modelo de Caiado [9], é possível observar que o mesmo foi desenvolvido dentro dos preceitos explanados neste trabalho, adotando-se o projeto de produto, a coordenação modular, a construtibilidade e a racionalização dos elementos construtivos. Constatou-se que na confecção desse edifício modelo, foram apresentadas inúmeras vantagens produtivas em comparação ao sistema tradicional de construção. Resumidamente o citado trabalho apresentou algumas vantagens em comparação ao sistema tradicional de construção, tais como:

- utilização de um número mínimo de componentes;
- utilização de materiais disponíveis no mercado, com tamanhos e configurações padronizados;
- utilização materiais e componentes fáceis de serem conectados;



- padroniza os meios de ação;
- utilização de uma sequência rítmica executiva;
- segmentação os projetos em pacotes construtivos;
- uniformidade modular; e
- redução de precedências.

Entretanto, este trabalho de Caiado [9] não esgota todos os aspectos relevantes sobre a tecnologia de sistema modular para a construção de civil, dada a complexidade do assunto. Por isso, foi sugerido por aquele autor alguns outros temas para a continuidade da pesquisa, como análise do sistema quanto ao desempenho e conforto, desenvolvimento do mesmo conceito para edificações de residências, avaliação de um modelo real quanto a sua utilização, desenvolvimento e avaliação da questão de ampliações e versatilidade no processo de montagem e desmontagem do sistema, logística no processo de construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço, análise de custos econômicos da construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço.

Portanto, são várias as tipologias de projetos industrializados disponíveis para estudo, e que poderiam ser aqui citadas. Todavia, cabe salientar as mais relacionadas com o tema central do presente trabalho.

Este artigo retrata uma parte da pesquisa de mestrado em andamento, dentro do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, SP. Quanto às próximas etapas da pesquisa, terão como delineamento as seguintes fases: definir a tipologia do edifício modelo entre as tipologias pesquisadas; realizar pré-dimensionamento dos elementos e a estabilidade da estrutura quando os módulos forem empilhados; elaborar diretrizes de projeto para edifícios com finalidade didática, e sua concepção estrutural modular em aço; executar projeto e detalhes, incluindo maquetes eletrônicas; elaborar resultados e considerações finais.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho desenvolveu duas propostas de projeto com o conceito de modulação, dentro do sistema estrutural construtivo em aço, considerando, além da concepção estrutural, fatores extremamente relevantes, como logística, concepção voltada a instalações didáticas e subsistemas de baixo custo, dentro da proposta trabalhada.

Os estudos e análise da literatura forneceram subsídios para auxiliar a confirmação da hipótese de que o processo de projeto de edifícios deve ser otimizado e qualificado pela introdução das premissas da industrialização da construção, mas devem ser adaptadas ao ambiente do setor da construção civil, e às necessidades e possibilidades particulares de cada empreendimento.

A visão sistêmica inserida no conceito da elaboração dos projetos voltados para o sistema construtivo modular em aço, deve ter início anteriormente à concepção do empreendimento, de modo que as decisões relativas à sua execução sejam analisadas em conjunto, visando

solucionar, o quanto antes, todas as interfaces com as demais disciplinas de projeto, com a fábrica e com as tarefas de logística e montagem, que serão realizadas no canteiro de obra.

### Agradecimentos

Ao CNPq e à FINEP, projeto CANTECHIS, pelo apoio recebido.

### REFERÊNCIAS

- 1 GLASS, J. *The future for precast concrete in low-rise housing*. Leicester, UK: British Precast Concrete Federation, 2000. Disponível em: <https://web41.securesecure.co.uk/britishprecast.org/publications/bpcfbrochure.pdf>. Acesso em 22/09/2013.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15575-1**: Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- 3 MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios**: Aplicação ao Caso das Empresas de Incorporação e Construção. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 1994.
- 4 MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo. São Carlos: EESC, 2001.
- 5 SANTOS, J. P. *et al.* **Conforto Ambiental no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria**. Artigo: Encontro Nacional do Ambiente Construído, Florianópolis, 1998.
- 6 MEDEIROS, M. C. I. e MELHADO, S. B. **Gestão do conhecimentos aplicado ao processo de projeto na construção civil**: estudos de caso em construtoras. O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pós-graduados desta Universidade – BT/PCC/581. São Paulo: USP, 2013.
- 7 LAWSON, R. M.; OGDEN, R. G. *'Hybrid' light steel panel and modular systems*. Article info: Light steel modular demonstration building testing, 18 April 2008.
- 8 GUARNIER, C. R. F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação para obtenção de título de Mestre em Engenharia. Ouro Preto - MG, 2009.



9 CAIADO, K. F. **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Pré-Fabricados Estruturados em Aço.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação para obtenção de título de Mestre em Engenharia. Ouro Preto - MG, 2005.

10 REZENDE, E. M. e GOUVEIA, A. M. C. **Sistemas de estacionamento vertical modulado em estrutura metálica.** REM – Revista Escola de Minas. Ouro Preto, 59 (3): 279-284, 2006.

11 VAN DER LAAN, B.; GONÇALVES, M.; POLIDORI, M. C. **Obtenção e aplicação de uma célula arquitetônica modular a partir de sistemas construtivos modulares.** Artigo: XIX - ENPOS Congresso de Iniciação Científica, Pelotas - RS, 2010.

## IDENTIFICAÇÃO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA EM EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO \*

Silvia Scalzo Cardoso<sup>1</sup>  
Maria Alice Gonzales<sup>2</sup>

### Resumo

Mudanças vêm ocorrendo no setor da construção civil brasileira com o aumento da competitividade entre as empresas e a busca por sistemas industrializados. A pesquisa procurou identificar práticas de Engenharia Simultânea relacionadas ao projeto do produto e à produção do edifício em empreendimentos com estruturas metálicas e mistas. Buscou-se compreender como a entrada do fabricante da estrutura metálica, interage com os outros agentes do processo e ao mesmo tempo, entender como o processo de projeto do produto interage com o processo de produção. A pesquisa procura verificar como essas práticas de produto e de processo podem melhorar a construtibilidade do edifício, tirar partido das novas tecnologias e dos novos processos de produção. A pesquisa consistiu de revisão bibliográfica e de quatro estudos de caso descritivos que incluíram pesquisas de campo, como entrevistas a coordenadores de projeto e visitas a canteiros de obras. Como contribuição, a pesquisa identificou que houve desenvolvimento integrado e práticas de engenharia simultânea como integração entre equipes, utilização de novas tecnologias de gestão e de produção e valorização das parcerias entre agentes. Essas práticas resultaram em redução dos prazos de obras, introdução de inovações e alta qualidade dos produtos.

**Palavras-chave:** Estrutura metálica; Estrutura mista; Engenharia simultânea; Novas práticas de produto e processo.

## IDENTIFYING CONCURRENT ENGINEERING PRACTICES IN STEEL FRAMED BUILDINGS\*

### Abstract

Changes have been occurring in the Brazilian construction sector with the crescent competition among companies and the industrialized system needs. The study tried to identify concurrent engineering practices related to product design and building production where

---

<sup>1</sup> Arquiteta graduada pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, mestranda no ConstruíNOVA – Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP. Atua profissionalmente em empresa siderúrgica no desenvolvimento de mercado de aços planos na construção.

<sup>2</sup> Arquiteta graduada pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, mestranda no ConstruíNOVA – Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP.

---

\* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



composite and steel framed structures was employed. The study analyzed how steel fabricators have interacted with the other players and how product design processes and production processes have been modifying constructability. The study made a bibliographical review and analyzed four case studies, interviews with the players and job site visits. As a contribution, the study has identified that has occurred integrated development and concurrent engineering practices as more team integration, new management technologies and production and importance of partnerships among players. Those practices achieved reduction in construction delays, innovations and higher product quality.

**Keywords:** steel structures; composite structures; concurrent engineering; new products and processes practices.

## 1 INTRODUÇÃO: COMPETITIVIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

O crescimento da concorrência entre as empresas faz com que estas se confrontem com as necessidades de ampliação da produtividade, redução de custos e, sobretudo, melhorias na qualidade dos produtos, ao mesmo tempo em que devem reduzir os impactos ambientais dos seus produtos e processos [1].

O mercado imobiliário das empresas de construção civil é um mercado altamente competitivo fazendo com que as construtoras busquem redução de custos de modo a atender às necessidades de retorno dos investidores e manter a atratividade do setor. Para se alcançar menores custos aumentando a eficiência e obtendo eficácia é necessária a utilização de processos industrializados [2].

Além da competição crescente entre as empresas, há novos contextos como a existência de consumidores mais exigentes influenciados pelo processo de globalização, maior complexidade dos empreendimentos e uma maior regulamentação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Em resposta aos fatores acima, a busca por processos e sistemas industrializados, foi o que definiu a se eleger para objeto da pesquisa, a análise de edifícios multiandares estruturados em pilar e viga em perfil de aço ou em estrutura mista aço-concreto.

A pesquisa consistiu de estudos de casos descritivos. Foram analisados quatro edifícios: três pertencentes ao setor do mercado imobiliário de edifícios corporativos da categoria "Triple A" e um pertencente ao setor hospitalar.

A pesquisa busca identificar as práticas de Projeto Simultâneo nos empreendimentos estudados. No Projeto Simultâneo é dada ênfase às questões de gestão do processo de projeto e a busca pela colaboração e paralelismo na atuação dos agentes, bem como na concepção integrada das diferentes dimensões do empreendimento [3].

A pesquisa pretende aprofundar as questões do planejamento do empreendimento, que vão da concepção do produto à execução.



Foi verificado os papéis dos vários agentes do empreendimento e em especial dos agentes da cadeia produtiva da estrutura metálica. Pelas características de processo altamente industrializado da estrutura metálica, o fabricante da estrutura vai atuar com maior impacto no projeto do produto, além evidentemente da atuação no canteiro de obras.

O trabalho incluiu pesquisas de campo, como visitas aos canteiros e entrevistas com representantes de três empreendimentos estudados. Dos entrevistados, dois tiveram a função de coordenadores de projeto do escritório de arquitetura, outro tinha a função de gerente da obra e outro representava o fabricante da estrutura metálica. Foi realizada análise de vários documentos dos empreendimentos como apresentações de projeto ou documentos de referência da obra.

As informações de um dos empreendimentos foram obtidas em participação em evento privado na cidade do Rio de Janeiro que contou com longa apresentação sobre o empreendimento realizada pelo diretor de obras da empresa incorporadora /construtora do edifício que foi fonte na obtenção de dados como produtividade da obra, planejamento, gestão da produção, entre outros.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Apresentação dos agentes envolvidos nos estudos de caso**

Para dar parâmetros da complexidade e das dificuldades de realização e construção dos empreendimentos estudados, foram caracterizadas as informações básicas que definem o padrão do produto no mercado, as informações do porte do edifício, como número de andares e área construída e as informações referentes às estruturas metálicas, como peso da estrutura, se existe ou não núcleo em concreto, qual o tipo de proteção a incêndio utilizado, tipo de laje adotado e previsão/duração de obra. As informações básicas dos empreendimentos estudados encontram-se em anexo (Anexo A).

Os escritórios de projeto, envolvidos nos estudos de caso, são escritórios que tem reconhecido mérito em projetos de arquitetura e vasta experiência em projetos de edifícios corporativos e hospitalares.

Quanto às empresas incorporadoras/construtoras, se tratam de empresas de referência no mercado, seja pela adoção de processos construtivos inovadores, pela atuação em vários mercados, como imobiliário e industrial, e por trazer novos modelos de negócios, entre eles, os chamados “turn-key” e “built to suit.”

Em relação à fabricação da estrutura metálica, as duas empresas envolvidas nos empreendimentos estão entre os maiores fabricantes de estruturas metálicas do Brasil com experiência nos mercados industrial, estruturas pesadas, como prédios de processos, pontes, além do segmento imobiliário, de distribuição e de múltiplos andares.

Nota-se que dada a especificidade da estrutura metálica e mais ainda, da estrutura mista, os fabricantes da estrutura metálica foram os responsáveis pela também pela execução da estrutura de concreto.

Os quatro empreendimentos estudados obtiveram ou pretenderem obter a certificação com base na norma LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) C&S (for Core & Shell) e os três empreendimentos de utilização corporativa são ou serão classificados ou pretendem classificação na categoria Triple A.



### 3.2 Sistema Construtivo em Estrutura Mista

O sistema construtivo, utilizado em três dos edifícios estudados, é o sistema misto aço concreto. Cabe destacar que sistema misto é aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista. A definição de sistemas mistos ressalta a diferença entre eles e sistemas de concreto armado que, apesar de essencialmente mistos, não incluem perfis de aço. Nos sistemas mistos, em geral, a viga trabalha em conjunto com a laje, chamada de viga mista. Em relação à construção em concreto, a viga metálica é muito mais leve do que uma viga pré-moldada de concreto e de montagem muito mais simples do que a execução de uma viga de concreto moldada in loco [4].

A estrutura mista é competitiva para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela significativa redução do peso total da estrutura. A proteção ao fogo é um fator que influi no custo da obra e afeta a decisão por estruturas de concreto, mista ou aço. Em relação a proteção ao fogo e a corrosão, o preenchimento ou o revestimento em concreto do pilar são soluções que reduzem o custo da proteção da estrutura, tornando ainda mais competitiva a estrutura mista. As estruturas mistas foram normatizadas em 1986 pela NBR 8.800: “Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios”, que aborda o dimensionamento e a execução somente dos elementos mistos submetidos à flexão (vigas mistas). A NBR 14.323 “Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio” trata do dimensionamento dos pilares mistos tanto em temperatura ambiente como em situação de incêndio [5].

### 3.3 Gestão do empreendimento e responsabilidades dos agentes nos empreendimentos em estrutura metálica

Em função dos empreendimentos estudados adotarem a estrutura metálica buscou-se identificar os papéis dos agentes juntamente com o novo entrante no processo que é o fabricante de estruturas. Essa entrada modifica a relação entre os agentes de projeto e de construção participantes do empreendimento. Pelas características de processo altamente industrializado da estrutura metálica, o fabricante da estrutura vai atuar com maior impacto no projeto do produto, além evidentemente, da atuação no canteiro de obras. Procurou-se explicitar através do fluxograma abaixo (Fig. 1) os principais estágios da gestão do empreendimento a partir da decisão da utilização da estrutura metálica.

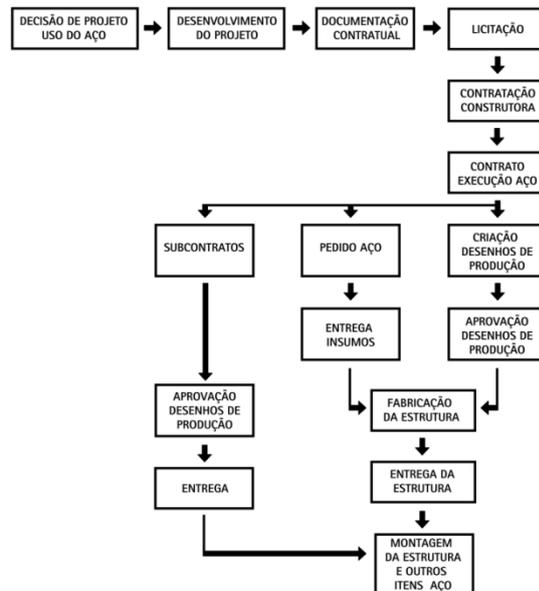


Fig. 1 – Estágios da gestão do empreendimento em estrutura metálica. Adaptado de “*Stages of steel project management*” [6]

O fluxograma mostra como vários agentes têm responsabilidades na aquisição de produtos, serviços e trabalhos relacionados à fabricação e montagem da estrutura metálica. A escolha do sistema construtivo é feita pelo empreendedor/ investidor baseado em informações que virão de diferentes fontes, mas principalmente do consultor ou projetista estrutural e também do arquiteto.

O Fabricante da Estrutura Metálica nos casos estudados foi contratado pelo empreendedor para executar e fornecer os elementos estruturais em aço. Em alguns dos projetos estudados o fornecedor de estrutura metálica ficou responsável integralmente pelo desenvolvimento da estrutura, que incluía aço e concreto. Nos casos de estrutura mista, pode haver um segundo Engenheiro de Estrutura contratado para dimensionar a estrutura de concreto e deverá trabalhar em conjunto com as definições do engenheiro de estrutura metálica.

Equipes de montadores e fabricantes de outros itens em aço serão contratados pela empresa fabricante de estrutura metálica para montar a estrutura e produzir elementos como conectores, lajes *steel deck*, entre outros elementos complementares à estrutura principal.

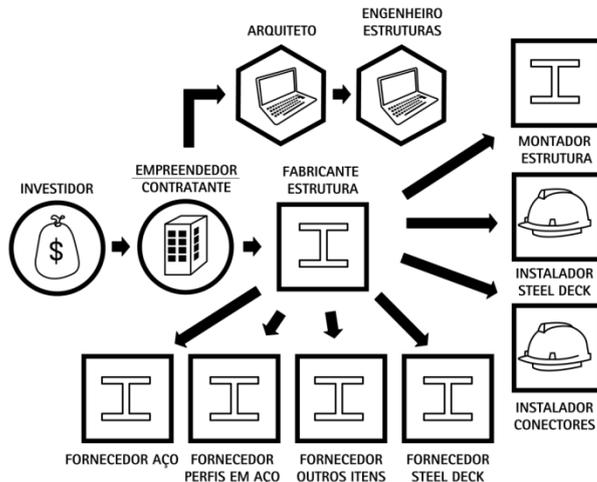


Fig. 2 – Linhas de responsabilidade num empreendimento em aço. Adaptado de “Lines of responsibility on a steel project” [6].

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

### 4.1 Papel dos agentes nos estudos de caso

Detalhando o papel dos agentes e o encontrado nos estudos de caso, verifica-se em relação ao empreendimento 1 que a incorporadora/construtora contratou um consultor, profissional do mercado com grande experiência profissional e notória distinção acadêmica para estudar alternativas dos sistemas construtivos a serem empregados. O consultor a partir do estudo preliminar do arquiteto avaliou os processos e sistemas construtivos em concreto e aço até a definição do sistema em estrutura mista.

Depois da decisão tomada pela incorporadora do edifício para que ele fosse construído em estrutura metálica é que houve a contratação do fabricante de estrutura e foi dada continuidade ao projeto de arquitetura a partir do Estudo Preliminar (EP), sendo contemporaneamente iniciado o projeto estrutural. Ressalta-se que o projeto foi desenvolvido até a fase de EP com a concepção estrutural em concreto.

Nota-se que nesse empreendimento não houve a contratação de um projetista estrutural por parte do incorporador e o fabricante ficou responsável integralmente pelo desenvolvimento do projeto estrutural, uma vez que o desenvolvimento desse projeto seria feito em função do seu processo de fabricação. O fabricante de estrutura também ficou responsável pelo desenvolvimento do projeto da parte estrutural em concreto, uma vez que o projeto estrutural é em estrutura mista. O fabricante subcontratou escritórios de projeto estrutural em concreto



para a estrutura mista e houve a contratação de um terceiro escritório de projeto estrutural para o desenvolvimento da estrutura de concreto dos subsolos. A execução da estrutura em concreto também ficou no escopo do fabricante de estrutura.

Dada a complexidade do projeto, foi realizado testes do edifício em túnel de vento e houve a contratação de um escritório de projeto com experiência internacional para colaboração no projeto de estrutura.

No empreendimento 2, segundo o diretor de obras da empresa incorporadora/construtora do, a empresa queria dar início a utilização da estrutura metálica em razão de que estão ocorrendo e ainda se intensificarão mudanças na mão de obra da Construção Civil: poderá haver falta de carpinteiros, pedreiros, entre outros ofícios do canteiro. A empresa viu como oportunidades a utilização de um sistema construtivo ainda pouco usado no mercado imobiliário, porém utilizado pela empresa em outros segmentos de mercado; a geração da imagem de inovação para a empresa; o desenvolvimento de novas parcerias com a indústria da construção civil e a consolidação do domínio da técnica construtiva com a utilização da estrutura metálica em larga escala e ainda o aprendizado e a capacitação da equipe em novo processo construtivo por meio da educação pelo trabalho. Faziam parte do escopo do projeto: a não existência de pilares internos, somente na borda, sobrecarga de 500 Kg/m<sup>2</sup>, flexibilidade de junção dos escritórios na horizontal e na vertical.

A obra também partiu de algumas premissas: aumentar a produtividade em relação à montagem dos pilares, execução rápida, menor custo de taxa de armação, área de forma e volume de concreto. Ainda em relação ao empreendimento 2, segundo o diretor de obras da empresa, as razões que levaram a se optar pela estrutura metálica foram: a mitigação dos problemas com a falta de MDO; a redução do efetivo da obra e a consequente redução das despesas indiretas; a maior assertividade do custo orçado e por consequência o maior grau de controle do orçamento; a localização da obra em ZMRC e a limitação do horário do recebimento de materiais; a redução do prazo de obra e a possibilidade de reduzir o prazo total da entrega da obra proporcionando a antecipação do recebível e favorecer a certificação LEED com a menor geração de resíduos.

No empreendimento 3, a solução da estrutura metálica foi considerada em função da localização do canteiro, que se situava em avenida de alto tráfego em São Paulo, em local que impossibilitava o estacionamento de caminhões na avenida, o que dificultaria a entrada de materiais. Aliado a isto, a ocupação do prédio no terreno dificultava as operações de canteiro, com pouquíssimo espaço para as operações de descarga dos insumos. Além disso, na época da construção havia problemas para a contratação de mão-de-obra e se previa falta de alguns insumos básicos.



No empreendimento 4, a construção do edifício de 19 andares foi realizada sobre edifício de 8 andares existente e em utilização. O prédio existente é usado para laboratórios e estacionamento de veículos dos usuários do hospital. Já era prevista a expansão do hospital sobre esse prédio de 8 andares e, foi escolhida a estrutura metálica para que a expansão pudesse contar com um maior número de andares. Mesmo assim, ocorreram reforços nas fundações do prédio existente para receber a nova edificação - tubulões e pilares foram reforçados. A localização do empreendimento era em zona de máxima restrição para a circulação de caminhões. A situação era agravada pelo fato de estar ao lado de alas do hospital em uso e as condições para descarga dos materiais era bastante complexa, uma vez que os caminhões carregados com as estruturas metálicas deveriam ser descarregados em laje do edifício existente. Foram verificadas as cargas de dimensionamento da laje para analisar se ela poderia receber essas cargas altas.

#### **4.2 Novas Práticas de Produto/ Arquitetura**

Foram identificadas novas práticas em termos de produto nos empreendimentos estudados. Em relação à arquitetura verificou-se diferenciação na planta por andares. Nota-se nos quatro empreendimentos maior complexidade da planta com relação à nova dinâmica das circulações verticais (diferentes paradas de baterias de elevadores) e as circulações geradas para acesso aos terraços e passarelas.

As mudanças de plantas refletem-se na fachada e na volumetria do edifício. As soluções adotadas de alas unidas por passarelas muda o paradigma do edifício retangular com repetição de planta. A solução arquitetônica traz novos desafios a fachada que contará com maior variedade de módulos para o fechamento de fachada, além de terraços que representam novos desafios em relação à construtibilidade desses elementos.

#### **4.3 Integração Projeto com Execução**

No empreendimento 1, o Estudo Preliminar (EP) da arquitetura apresentava uma planta com um núcleo central onde estavam localizados os sanitários e as circulações verticais: elevadores, escadas e áreas técnicas. A planta do edifício na fase de EP era um polígono não ortogonal e o núcleo, que era um polígono regular, um retângulo, estava centralizado em relação ao polígono da planta. Desse modo, as paredes do polígono não eram paralelas às paredes do núcleo.

O desenvolvimento do projeto alterou a forma do núcleo tornando paralelas as paredes das faces maiores do polígono com as paredes do núcleo, e para isso o núcleo deixou de ser um retângulo, se tornando também um polígono irregular. Com a nova solução, e o conseqüente acréscimo de área do núcleo, foram incorporadas as áreas técnicas ao núcleo.



Essa mudança foi realizada para que o paralelismo da parede do núcleo e da parede do limite do andar tornassem do mesmo comprimento as vigas que ligariam o núcleo às vigas de borda. Essa mudança simplificou a fabricação de um grande número de vigas, uma vez que o prédio se constitui de 2 alas de mais de 30 andares. O novo núcleo proposto funciona para o edifício como um tubo rígido sendo que suas paredes de concreto têm mais de 30 cm de espessura para responder as exigências de rigidez da estrutura. A arquitetura havia definido desde o estudo preliminar que as passarelas seriam em estrutura metálica visando à facilidade de execução. No entanto era necessário definir com o projetista estrutural qual seria a solução adotada, vigas contraventadas em cada um dos dois andares da passarela ou um contraventamento que vencesse a altura dos dois pisos. Por razões arquitetônicas foi decidido se contraventar os dois pisos. As passarelas são o único ponto que a estrutura metálica do edifício fica aparente e por isso a razão da escolha de um contraventamento único para os dois andares.

Outro detalhe que exigiu um detalhamento acurado foi o apoio das passarelas na estrutura do edifício. As passarelas sofrem muitas vibrações no plano horizontal em função de cargas de vento. Não há possibilidades de deslocamento das passarelas na vertical, no entanto é necessário receber os reforços horizontais. Para isso foram previstos aparelhos de apoio similares aos utilizados em estruturas de pontes. Os aparelhos de apoio não estarão expostos no interior do prédio, mas foi previsto um sistema de revestimento tanto em fachada como internamente que torne possível a movimentação no aparelho.

#### **4.4 Construtibilidade de elementos e planos de ataque**

Um dos empreendimentos prevê detalhes de fachada bastante complexos, mas que geram apelo estético de resultado positivo e impactante no edifício. Há vários terraços que avançam em relação à prumada do edifício. Para a execução das lajes desses terraços foi previsto uma bandeja que se apoia na viga de borda do edifício e a borda em balanço da laje é suportada por tirantes que serão utilizados até que a bandeja seja concretada e o concreto apresente rigidez estrutural para então ser possível retirar a bandeja e o tirante que será deslocado para o pavimento superior. Essa solução é bastante simples do ponto de vista da construtibilidade e evitou maiores impactos econômicos.

Outro aspecto ressaltado em relação à construtibilidade é o projeto de produção da alvenaria e sua interface com a estrutura metálica, bastante detalhado no empreendimento 2. Foram desenvolvidos detalhes de encontro da parede de alvenaria faceando os pilares, bem como a interface da alvenaria com a viga superior. Foram também desenvolvidos detalhes da alvenaria quando executada sobre viga metálica e o tratamento a essa interface.

Ainda no mesmo empreendimento é interessante notar o projeto do revestimento de fachada em pré-moldados de concreto e o plano de ataque para a execução das fachadas, que



pretendia realizar a fachada por andar, exigindo do fornecedor a entrega dos pré-moldados também por fechamento do andar e não por prumada da fachada.

#### **4.5 Ciclo de montagem e construção da estrutura**

No empreendimento 1, o ciclo de construção compreende a montagem de 6 andares em estrutura metálica que estão dimensionados somente para suportar o peso próprio dos perfis, pilares e vigas, e o peso das lajes. Uma vez o esqueleto da estrutura metálica montado dá-se início a concretagem dos pilares. O dimensionamento das cargas de utilização depende da concretagem dos pilares de concreto. O concreto “reveste” o perfil metálico, são preparadas a armação e formas e em seguida concretado o pilar, que terá a sua aparência final idêntica a de um pilar de concreto moldado in loco. O ciclo de montagem da estrutura de 6 andares para posterior montagem da estrutura de concreto traz maior velocidade a obra, uma vez que o pilar é concretado a partir de uma laje e em área coberta pela laje superior. Há duas frentes de trabalho agindo simultaneamente no edifício com a defasagem de 6 andares.

No empreendimento 2, em relação ao ciclo de produção a execução do núcleo de concreto estava 6 pavimentos a frente da montagem da estrutura metálica, que era montada de três em três pavimentos. A instalação da laje *steel deck* considerando os três pavimentos se dava primeiro no mais pavimento mais alto pavimento e depois os dois andares abaixo. A armação e concretagem dos pilares ocorria de baixo para cima, assim como a concretagem da laje. Esse ciclo de serviços se repetia de 3 em 3 pavimentos e após a concretagem dos pilares se iniciava a aplicação da proteção passiva. A montagem da estrutura ocorreu em 21 semanas.

No empreendimento 3, a cada 4 dias foi montada a estrutura de um andar, cuja área era de aproximadamente 1.500 m<sup>2</sup>. O núcleo de concreto estava a frente da estrutura, mas em algumas situações e semanas, a estrutura metálica ficou parada para esperar o núcleo de concreto avançar.

#### **4.6 Gestão da informação**

A grande quantidade de informações envolvida no processo de gestão do empreendimento faz com que seja necessário haver um sistema de gestão para que não ocorra perda de informação. A gestão dos arquivos de desenhos e documentos e as versões atualizadas foram feitas através do sistema SADP e do Construmanager. O empreendimento 4 tinha grande complexidade na gestão de informações e foram gerados mais de 9.500 documentos entre memoriais e desenhos.

#### **4.7 Medição de produção**

Em todos os empreendimentos nota-se a forte preocupação na medição de produção. Os ciclos de produção são controlados e medidos. A produção da estrutura é controlada em relação à montagem da parte metálica e em relação a concretagem dos pilares. Esse ciclo é



objeto de forte controle como ficou demonstrada na documentação encontrada tanto em visita a obra como em relação aos relatos dos agentes. Em um dos empreendimentos havia planilha com controle de parafusos.

No empreendimento 2, foram identificados vários controles de produção, seja em relação a serviços na obra, na aquisição dos suprimentos ou em relação a mão-de-obra com informações detalhadas sobre a produtividade de serviços e os comparativos de homem/hora. Em relação a laje *steel deck* a produtividade prevista era de 5.000 a 6.000 m<sup>2</sup>/mês e foi realizado 5.300 m<sup>2</sup>/mês para a instalação da chapa metálica e conectores/dia. Em relação à estrutura metálica a produtividade prevista era de 20 a 25 vigas/dia e a realizada 23 vigas/dia e quanto a produtividade de aplicação da proteção passiva foi de 500 m<sup>2</sup>/dia.

#### 4.8 Retroalimentação

A medição da produção é um instrumento de retroalimentação para o empreendimento em curso e para os próximos empreendimentos. A retroalimentação foi verificada em várias fases do processo de projeto e execução nas interfaces projeto do produto-projeto da produção e nas interfaces execução projeto, o que denota práticas de projeto simultâneo do empreendimento [1].

A arquitetura do empreendimento 2 não concebeu o edifício para ser realizado em estrutura em aço e por isso o núcleo de escadas e elevadores não era centralizado na planta. Mesmo assim, a obra foi considerada piloto para a empresa construtora e com as lições aprendidas nessa obra, poderá haver mais benefícios em relação ao uso da estrutura metálica nas próximas obras.

### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função do exposto na pesquisa, conclui-se que houve desenvolvimento integrado nas diferentes dimensões do empreendimento, tendo existido práticas de projeto simultâneo: integração entre equipes das várias disciplinas desde o início dos processos; utilização de novas tecnologias para gestão do processo e valorização das parcerias entre agentes.

A escolha do sistema construtivo adotado trouxe junto uma série de novos processos que tiveram que ser incorporados e geraram impactos em relação à gestão do projeto e do empreendimento. Além das práticas acima citadas, ressalta-se a valorização do projeto, a estrutura organizacional e interatividade nas equipes de projeto, a tecnologia da informação, a coordenação de projetos e os projetos para produção.

A integração dessas práticas identificadas como projeto simultâneo resultaram em redução de prazos de obra, introdução de inovações e alta qualidade dos produtos.



## REFERÊNCIAS

- [1] FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**, 2002. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 351 p.
- [2] CHALITA, A. C. C.; SABBATINI, F. H. **Estrutura de um projeto para produção de alvenarias de vedação com enfoque na construtibilidade e aumento de eficiência na produção**: EPUSP, 2011. 21p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/572)
- [3] FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. **Por um processo de projeto simultâneo**. Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Anais, Porto Alegre, 2002. P 1-5.
- [4] QUEIROZ, G e PIMENTA, R. J. - **Estruturas Mistas** ABECE Informa Julho / Agosto 2009.
- [5] ALVA, G.M.S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. Dissertação de Mestrado. Escola Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.
- [6] MROZOWSKI, T.; SYAL, M.; KAKAKHEL, S. A. - **Construction management of Steel Construction. Project Management Module**. American Institute of Steel Construction, Inc., 1999. 38 p.
- ABNT NBR 8.800: 2008. **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios**.
- ABNT NBR 14323: 1999. **Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio**.



## ANEXO A

### Empreendimento 1

#### Características do Empreendimento

Edifício corporativo - categoria Triple A - classificação LEED

2 alas de 33 andares + heliporto

área construída: 173 mil m<sup>2</sup>

#### Características da Estrutura Metálica

Estrutura mista

volume de aço utilizado: 6.000t

previsão para montagem da estrutura: 9 meses

100% ligações aparafusadas

proteção passiva de incêndio: argamassa projetada

escadas em estrutura metálica

lajes em steel deck

core em concreto

### Empreendimento 2

#### Características do Empreendimento

Edifício corporativo - categoria Triple A - classificação LEED Silver

15 andares (5 pavimentos de garagem em **sobressolo** + 10 pavimentos de escritórios)

área construída: 23 mil m<sup>2</sup>

#### Características da Estrutura Metálica

Estrutura mista

volume de aço utilizado: sem informação

previsão para montagem da estrutura: 21 meses

100% ligações aparafusadas

proteção passiva de incêndio: argamassa projetada

escadas em estrutura metálica

lajes em steel deck

core em concreto



### Empreendimento 3

#### Características do Empreendimento

Edifício Corporativo – Classificação Triple A Certificação LEED Silver

Duas alas com 20 e 17 pavimentos (4 subsolos)

área construída: 61.790 m<sup>2</sup>

Área de laje tipo: 1.500 m<sup>2</sup> – área de laje Sub-solo : 6.000 m<sup>2</sup>

#### Características da Estrutura Metálica

Estrutura pilar misto

volume de aço utilizado: 2.000 t

100% ligações aparafusadas

proteção passiva de incêndio: argamassa projetada

escadas em estrutura metálica

lajes em steel deck

core em concreto (escadas não estão embutidas no core)

### Empreendimento 4

#### Características do Empreendimento

Uso hospitalar – Certificação LEED Gold

19 andares (construído sobre edifício de 8 andares em utilização) + heliponto

área construída: 75 mil m<sup>2</sup> (um dos edifícios)

#### Características da Estrutura Metálica

Estrutura pilar e viga em aço

(único dos empreendimentos estudados que não é estrutura mista)

volume de aço utilizado: 3.600 t

previsão para realização da obra: 40 meses

100% ligações aparafusadas

proteção passiva de incêndio: argamassa projetada

escadas em estrutura metálica

lajes em steel deck – 47 mil m<sup>2</sup>

core em concreto

Tema: Estruturas de Aço e Mistas de Aço e Concreto

## MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES COM ESTRUTURAS DE AÇO EM PRESIDENTE PRUDENTE\*

Thais da Silva Santos<sup>1</sup>  
Nayra Yumi Tsutsumoto<sup>2</sup>  
Cesar Fabiano Fioriti<sup>3</sup>

### Resumo

Este trabalho teve como objetivo detectar visualmente as manifestações patológicas presentes e as mais frequentes em duas edificações com as estruturas de aço, situadas no município de Presidente Prudente. Os objetos do estudo se referem a uma edificação comercial de múltiplos pavimentos, e uma edificação para fins religiosos de pavimento único. Como parte desta proposta incluiu-se o levantamento de campo com registro fotográfico das manifestações patológicas e apresentação dos aspectos gerais e as causas prováveis das anomalias detectadas nas estruturas de aço. Em seguida, uma análise sobre os resultados obtidos. Nesta análise observou-se a predominância da corrosão, apresentando-se em diferentes níveis de gravidade. Logo, os problemas como um todo se incorporaram ao cenário patológico das corrosões, ligações soldadas, ligações parafusadas, erro de projeto, assim como erro no sistema de montagem. Além disso, são apresentadas ações para o aumento da qualidade nas edificações com estruturas de aço. Desta forma, buscou-se contribuir para a melhoria da qualidade das construções metálicas, através da exposição de anomalias encontradas no ambiente construtivo, procurando respostas a partir dos aspectos gerais e causas dos problemas identificados.

**Palavras-chave:** Estruturas em aço; Manifestações patológicas; Edificações.

## PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN BUILDINGS WITH STEEL STRUCTURES IN PRESIDENTE PRUDENTE

### Abstract

This study aimed to visually detect the pathological manifestations and frequently present in two buildings with steel structures, located in the municipality of Presidente Prudente. The objects of the study refer to a commercial building with multiple floors, and a building for religious purposes only pavement. As part of this proposal was included in the field survey photographic record of the pathological manifestations and presentation of general aspects and likely causes of the deficiencies in structural steel. Then an analysis of the results obtained. In this analysis we observed the predominance of corrosion, performing at different levels of severity. Therefore, the problems as a whole is incorporated with pathologic stage of

---

\* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



corrosion, welded connections, bolted connections, design error, and error in the mounting system. Moreover, actions to increase the quality in buildings with steel structures are presented. Thus, we sought to contribute to improving the quality of metal constructions, by exposing the anomalies found in the constructive environment, seeking answers from the general aspects and causes of the problems identified.

**Keywords:** Steel structures; Pathological manifestations; Buildings.

<sup>1</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista FAPESP de Iniciação Científica, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Arquiteta, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Professor Assistente Doutor, Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que se torna interessante notar a reação das pessoas ao se depararem com uma edificação estruturada em aço. As pessoas estão tão acostumadas a ver estruturas de concreto que, quando se deparam com um edifício de aço, ou mesmo de qualquer outro sistema estrutural, desviam sua atenção, muitas vezes, para observar a edificação. É da natureza do homem observar fatos estranhos ao seu cotidiano e o contraste que um sistema construtivo diferente, particularmente a estrutura metálica, causa em um ambiente urbano.

Deixando de lado questões estéticas e psicológicas, a causa das manifestações patológicas, de acordo com Helene [1], está relacionada aos vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias nas estruturas, como agentes atmosféricos, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, variação de umidade, cargas excessivas, etc.

Segundo Souza e Ripper [2], a patologia pode ser vista como a deterioração dos materiais que compõe o sistema estrutural e cada material reage, de forma particular, aos agentes externos e internos, sendo a velocidade de deterioração diferente um do outro.

Cada edificação, em virtude de suas características, possui uma resistência “própria” frente aos mais variados agentes agressivos. A predisposição da estrutura, ou de uma de suas partes, para apresentar problemas patológicos pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida na fase de uso. Em razão destas incertezas, não é possível prever qual será a reação da edificação quando submetida ao agente agressivo, muito menos estabelecer um controle sobre este (SALMON e JOHNSON [3]; SILVA [4]).

Por outro lado, ao determinar os diversos tipos de origens, pode-se realizar um trabalho de prevenção através de um bom planejamento e manutenção da estrutura, salvaguardando sua integridade e, concomitantemente, proporcionando seu uso (THOMAZ [5]; HELENE [1]).

Conforme Castro [6] e Panossian [7], no geral, as manifestações patológicas nas estruturas de aço são resultantes da má concepção de projeto, erros de cálculo, escolha inadequada dos perfisados ou definição equivocada das espessuras das chapas, ou ainda, do uso de tipos de aço com resistências diferentes das consideradas no projeto. Muitas vezes, esses fatores comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura e estão relacionados com o descuido, cobiça ou economia.

Diante disto, este trabalho teve como objetivo detectar, visualmente, as principais manifestações patológicas presentes e as mais frequentes em duas edificações com as estruturas de aço, situadas no município de Presidente Prudente, onde, através da inspeção visual são apresentados os aspectos gerais e as causas prováveis das anomalias identificadas nos sistemas estruturais dos edifícios objetos de estudo de caso. Tais objetos de estudo de caso se referem a uma edificação comercial de múltiplos pavimentos, e uma edificação para fins religiosos de pavimento único, ambas em fase de construção. Salienta-se, contudo, que não fez parte do objetivo, entrar no mérito da qualificação e da atuação dos profissionais, assim como das empresas que participaram dos projetos e execução destas obras, sendo o único foco a identificação das manifestações patológicas vistas sob a ótica da sintomatologia.

## 2 METODOLOGIA

Na apresentação de qualquer assunto do conhecimento humano, o método do estudo de caso é altamente rico sob o ponto de vista didático. Dessa forma, o estudo de caso foi a alternativa

expositiva escolhida neste trabalho para apresentar o equacionamento das soluções dos conflitos que o envolvem.

Serão relatados os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho de campo e seus desdobramentos. A metodologia foi constituída basicamente de 4 etapas, onde são apresentadas, esquematicamente, na Figura 1.

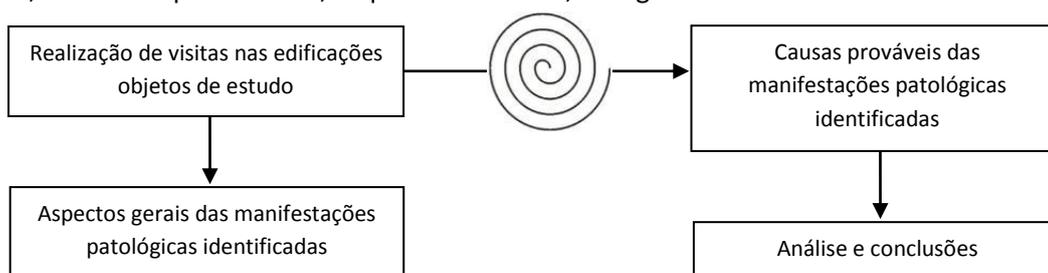


Figura 1: Esquema das etapas executadas no desenvolvimento do trabalho.

Conforme as etapas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, foi possível percorrer um caminho curto e simplificado, visto que não foram utilizadas etapas de exames adicionais e de execução das terapias, mesmo porque não é objetivo deste trabalho realizar exames laboratoriais sobre as propriedades físicas e químicas dos materiais constituintes dos estudos de caso.

Assim:

- 1ª Etapa: Essa trajetória foi iniciada com a vistoria dos locais e o levantamento do histórico dos edifícios. A vistoria consistiu na verificação dos efeitos das anomalias existentes utilizando os sentidos da visão, do olfato, da audição e do tato. Realização de visitas in loco nos edifícios, com o objetivo de identificar e fotografar as manifestações patológicas existentes nos sistemas estruturais de aço;
- 2ª Etapa: Descrição dos aspectos gerais das manifestações patológicas encontradas nos sistemas estruturais das edificações objetos de estudo de caso;
- 3ª Etapa: Formulação das hipóteses de diagnósticos das causas prováveis das anomalias durante a etapa de vistoria do local dos estudos de caso. As formulações das hipóteses foram baseadas na semelhança dos casos encontrados com aqueles citados pelos autores referenciados neste trabalho;
- 4ª Etapa: Com o diagnóstico mais provável definido, foram formuladas a análise e conclusões do trabalho.

Algumas limitações foram encontradas no desenvolvimento desse trabalho, merecendo destaque as informações incompletas referentes as etapas de execução das construções, a impossibilidade de obtenção de amostras através de processo destrutivo e a inexistência de projetos complementares.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Escolhas das edificações

O critério de escolha dos edifícios objetos de estudo partiu do quesito estrutural, ou seja, a definição do aço como material constituinte do sistema estrutural e estar em fase de construção. Pois nestas condições seria possível identificar e analisar, a partir das visitas a



campo e fotografias digitais, as eventuais manifestações patológicas, bem como evidenciar as mais frequentes.

A primeira estrutura analisada, que doravante será denominada de Edificação A, trata-se da ampliação de uma edificação já consolidada, de caráter religioso, cujo entorno há o predomínio de construções residenciais unifamiliares.

A segunda edificação, denominada de Edificação B, esta inserida em uma área de intenso fluxo de pedestres e automóveis em função de se consolidar em uma das principais vias do município, predominando o caráter comercial e de serviço. Segundo informações obtidas in loco, a mesma abrigará atividade comercial.

Conforme esperado, os dois edifícios objetos de estudo se encontram em fase de construção, em um bairro cujo zoneamento da área, segundo a Lei de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo de Presidente Prudente (PMPP, [8]), é o ZR2, ou seja, zona residencial de média densidade populacional e ocupação horizontal e vertical de até dois pavimentos.

Apesar das edificações estudadas estarem na ZR2, a Edificação B se apresenta com quatro pavimentos, não estando de acordo com a lei de zoneamento regida pelo município. Possivelmente ao ser implantada a lei em 2008, os edifícios estudados, assim como tantos outros adjacentes, já se consolidavam no cenário urbano antes mesmo desta classificação das áreas em zonas, ou seja, aprovação anterior a lei. Outra hipótese seria a ilegalidade que se encontra largamente pela cidade, isso, porém, demandaria análise dos processos.

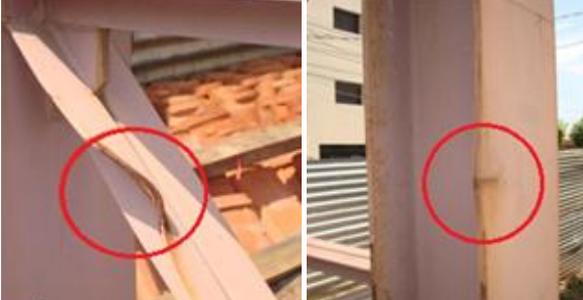
Contudo, a predisposição da estrutura, ou de uma de suas partes, para apresentar problemas patológicos pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida na fase de uso.

### **3.2 Edificação A**

Nesta edificação, segundo informações obtidas in loco, foi utilizado o aço ASTM A-36, onde as peças estruturais mais deterioradas são as de perfis de seções “I”, “U” e cantoneiras. Mesmo sendo uma edificação em fase de construção, toda a estrutura (composta por pilares e treliças) se encontra exposta as intempéries.

A seguir, é apresentado o estudo de caso, elencando-se o registro das anomalias encontradas – ver Tabela 1 que segue. Com base nos dados de campo, são identificadas as manifestações patológicas mais evidentes, provenientes ora de corrosão, ora de falha de projeto, do processo de execução e, até mesmo, da manutenção adotada.

Tabela 1: Manifestações patológicas identificadas na Edificação A.

Manifestações patológicas	Imagens obtidas in loco
Corrosão uniforme	
Falha de concordância em emendas	
Falha no gabarito de furação	
Parafuso com erro de posicionamento	
Falha na geometria dos perfis	



### 3.3 Edificação B

Segundo informações obtidas in loco, também esta sendo utilizado nessa edificação o aço ASTM A-36, onde as peças estruturais mais deterioradas são as de perfis de seções “I” e circulares. Trata-se de uma edificação dotada de pilares e vigas de aço, com lajes maciças de concreto armado, e fechamento de alvenaria de blocos cerâmicos.

Tudo leva a crer que boa parte das anomalias, conforme se apurou in loco, foi proveniente do reaproveitamento do material estrutural de outras edificações estruturadas em aço. Porém, isto não significa que a reutilização do material não possa acontecer, mas cuidados com a retirada, transporte e manutenção das estruturas de uma edificação para posterior aplicação em outra devem ser feitos para que problemas futuros sejam evitados.

Assim, o registro das manifestações patológicas encontradas é apresentado na Tabela 2. Com base nos dados de campo, assim como na Edificação A, as anomalias mais evidentes foram provenientes de corrosão, falha de projeto, do processo de execução e da manutenção adotada.

Tabela 2: Manifestações patológicas identificadas na Edificação B.

Manifestações patológicas	Imagens obtidas in loco	
Corrosão uniforme		
Corrosão por pontos		
Falha de concordância em emendas		
Falha na geometria dos perfis		



### 3.4 Aspectos gerais e causas prováveis das manifestações patológicas identificadas

Pode-se relacionar o levantamento dos aspectos gerais e as causas prováveis (Tabela 3) a partir dos dados de campo e das imagens apresentados.

Tabela 3: Aspectos gerais e causas prováveis das manifestações patológicas identificadas nas duas edificações.

Manifestações patológicas	Aspectos gerais	Causas prováveis
Corrosão uniforme / Corrosão por pontos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manchas superficiais de cor marrom-avermelhada;</li> <li>• Perda de massa uniforme nos perfis (corrosão uniforme);</li> <li>• Perda de massa nos perfis (corrosão por pontos);</li> <li>• Diminuição da seção transversal dos perfis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposição do aço ao ambiente;</li> <li>• Disposição inadequada dos perfis possibilitando o acúmulo de água e poeira;</li> <li>• Proteção com película deficiente ou inadequada dos perfis;</li> <li>• Falta de manutenção/limpeza adequada antes da utilização dos perfis;</li> <li>• Permanência de respingos de solda e/ou fluxo de solda que geralmente contém sais;</li> <li>• Deposição de material nocivo ao aço.</li> </ul>
Falha de concordância em emendas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descontinuidade da ligação nos perfis;</li> <li>• Saliências nas ligações;</li> <li>• Imprecisões geométricas dos perfis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de usinagem nas ligações;</li> <li>• Falta de detalhamento de projeto;</li> <li>• Erro de montagem;</li> <li>• Emprego de perfis com seções diferentes.</li> </ul>
Falha no gabarito de furação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Furos sem a presença de parafusos;</li> <li>• Furos irregulares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falha no posicionamento do gabarito dos furos;</li> <li>• Erro de projeto;</li> <li>• Falta de detalhamento de projeto.</li> </ul>
Parafuso com erro de posicionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionamento incorreto de parafuso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erro de montagem;</li> <li>• Falha na execução da base de concreto;</li> <li>• Falta de “chumbador” na base de concreto;</li> <li>• Falta de detalhamento de projeto.</li> </ul>
Falha na geometria dos perfis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amassamento e/ou avaria dos perfis;</li> <li>• Irregularidade geométrica dos perfis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falha durante o transporte dos perfis;</li> <li>• Erro de projeto;</li> <li>• Defeitos nos perfis;</li> <li>• Mau dimensionamento dos perfis;</li> <li>• Falta de detalhamento de projeto;</li> <li>• Falha durante a montagem da estrutura.</li> </ul>



### 3.5 Análise

A análise foi conduzida no sentido de identificar e examinar as eventuais manifestações patológicas presentes nos dois edifícios estudados de caso. As falhas localizadas ou globais das duas edificações podem levar a perda da peça ou ao colapso ao atingir alguns dos estados limites de resistência, ou ainda, estado limite de utilização, provocando perdas humanas ou perdas econômicas importantes.

A partir do levantamento de campo realizado, pode-se perceber que a manifestação patológica que predominou nas duas edificações com estruturas de aço foi a corrosão. Presente em partes da estrutura da Edificação A e na maioria das peças inspecionadas na estrutura da Edificação B, associada a outras manifestações, os danos causados pela corrosão podem conduzir ao mau desempenho dos sistemas estruturais em questão. As vistorias realizadas constataram que não se executa nenhum tipo de manutenção preventiva das estruturas de aço dos dois edifícios estudados.

Evidentemente, a exposição do aço ao ambiente (intempéries) é agente acelerador da corrosão nas estruturas analisadas. Além disso, a visível disposição inadequada dos perfis possibilitando o acúmulo de água e resíduos sólidos – exemplo da poeira – e a falta de cuidados que visam a proteção da superfície tratada compromete, constantemente, a vida útil destes elementos, colocando em risco a utilização do sistema, não atendendo ao fim o qual se destina. Os aspectos patológicos observados, como o aparecimento de manchas de cor marrom-avermelhada, a perda de massa e a diminuição da seção transversal dos perfis provocada pela corrosão, foram os mais evidentes na inspeção visual. Segundo Gonçalves et al. [9], a diminuição da seção transversal dos elementos estruturais é o principal problema causado pela corrosão.

A corrosão uniforme se encontra em ambas as edificações, porém, somente na Edificação B houve a ocorrência de corrosão por pontos, sendo esta a mais grave entre as corrosões levando a perfuração da peça. Conforme Silva [4], a corrosão por pontos é também conhecida como corrosão puntiforme, e leva a cavidades em áreas determinadas produzindo furos, sendo este tipo de corrosão altamente destrutiva.

Temos em seguida manifestações relacionadas a falha de concordância em emendas soldadas, que contribuem com a falta de fusão das partes adjacentes das peças. Logo, as manifestações patológicas relacionadas às ligações parafusadas, encontradas somente na Edificação A, se referem a falha no gabarito de furação e parafuso da base com erro de posicionamento. Essas anomalias apontadas comprometem o desempenho das peças por elas afetadas, além de também afetar sua estética, porém há a possibilidade de empregar um plano de reparo e/ou reforço para que esses problemas possam ser minimizados.

Constatamos em seguida problemas relacionados a falha na geometria dos perfis. Na Edificação B também foram observados erros envolvendo nervuras de enrijecimento, as quais se apresentam ausentes em alguns pontos das vigas. Em alguns casos em que há a presença destas nervuras, pode-se observar que, a partir de sua geometria, não preenchem todo o espaço compreendido entre as mesas superior e inferior do perfil. Cabe, neste caso, avaliar com maiores detalhes, se estas estão devidamente dimensionadas e espaçadas conforme os requisitos das normas regulamentadoras. Outro problema de caráter geométrico presente nesta edificação aponta para as imperfeições no alinhamento e corte dos elementos estruturais, onde se percebeu vigas exageradamente danificadas pelo excesso de curvatura ao



longo do seu eixo longitudinal em razão do seu mau dimensionamento, ou ainda devido à utilização incorreta de peças oriundas de reaproveitamento de outras obras.

A partir do levantamento de campo foi possível observar que os problemas patológicos se manifestaram em menor quantidade na Edificação A, não prejudicando seu desempenho até o momento. Porém, ao que tudo indica, caso não haja medida de prevenção aos problemas já detectados, os mesmos irão se agravar com o passar do tempo. Além da possibilidade de surgir novas manifestações, prejudicando o funcionamento estrutural e acarretando um custo maior de manutenção posterior.

Entretanto, a Edificação B apresenta pontos críticos de ações patológicas por toda a estrutura, comprometendo seu desempenho estrutural e funcional como um todo. Boa parte das anomalias pode ter sido proveniente do reaproveitamento de material estrutural em aço de outras edificações, o qual, provavelmente, já se encontrava em fase de degradação. Além disso, a Edificação B não possui projeto estrutural (somente arquitetônico), ficando a critério de o construtor posicionar e definir quais peças são necessárias na execução da estrutura da obra. Tais considerações podem justificar o acúmulo de problemas patológicos em uma mesma edificação, pois as peças que constituem uma obra são projetadas, dimensionadas e detalhadas para um único fim (a utilização final da edificação), e não foi possível saber se a hipotética obra que serviu de fornecimento para essa construção teria a mesma finalidade, mesmas ações de utilização, e se a mesma foi totalmente construída.

### 3.6 Ações para o aumento de qualidade nas edificações com estruturas de aço

São apresentados alguns cuidados que visam evitar ou minimizar a ocorrência das anomalias constatadas:

- a) avaliar se a proposta do projeto contempla as normas vigentes, se o escritório tem conhecimento técnico no porte da obra e se já executou projetos anteriores, se cumpre prazos e se pode arcar com falhas e atrasos possíveis na entrega do projeto, e não se fixar somente no preço;
- b) analisar previamente a habilidade tecnológica do fornecedor, capacidade de equipamentos, organização e adequação pessoal;
- c) para escolha do fornecedor, não se fixar apenas no preço e sim na qualidade e importância das obras anteriores realizadas (também é prudente inspecionar suas instalações industriais);
- d) cuidar da orientação e eficiência da manutenção, verificando se contemplam garantias pós-entrega dos serviços;
- e) observar os testes de proteção superficial e das soldas;
- f) certificar-se da existência e presença do engenheiro e acompanhamento da produção e montagem.

Além das ações apresentadas, temos outros tipos de verificações de caráter geral. Aqui entra a necessidade de se conhecer também as restrições impostas pela NBR 8800 [10], que estabelece no anexo C valores máximos recomendados para deformações horizontais e verticais das edificações. A necessidade de se fazer esta verificação se deve ao fato de evitar a transmissão de esforços oriundos da estrutura para os demais componentes construtivos. Esforços estes que quando absorvidos por tais elementos provocam a sua degradação por não estarem preparados para tal condição de trabalho.

Também a NBR 6118 [11] estabelece limites para deformações de elementos submetidos à flexão em edifícios. Este estudo é importante porque lajes, escadas e reservatórios são muitas



vezes executados em concreto armado, e assim como nos edifícios de aço, a ocorrência destas deformações podem causar trincas prejudiciais ao desempenho do edifício.

Não há regras nem métodos sistemáticos que permitam determinar as causas das manifestações patológicas. Cada caso é um problema particular e deve ser objeto de um diagnóstico particular. A própria experiência e intuição do projetista servem como referência. Problemas patológicos ocorridos em outras edificações podem ser facilmente evitados, mesmo que não exista nenhuma referência sobre determinado assunto.

O sucesso de uma obra em estrutura de aço inicia-se na sua concepção e no desenvolver de seu projeto. Em cada etapa de uma obra, pode-se verificar a existência de ocorrências de falhas, porém a etapa de projeto ainda é a maior fonte delas. Em geral, as falhas no projeto (cálculo, detalhamento, plantas executivas e construtivas, e as plantas de montagem) são as principais responsáveis pelos danos localizados e pela degradação precoce de uma estrutura. Assim, ações de gerenciamento das etapas de projeto são fundamentais para o aumento de qualidade nas edificações com estruturas de aço.

#### **4 CONCLUSÃO**

A partir da análise de campo e das fotografias digitais, observa-se que as estruturas das edificações objetos de estudo de caso se encontram bastante prejudicadas, apresentando pontos críticos ao longo das mesmas que podem vir, com o passar dos anos, a comprometer seu bom desempenho estrutural.

Nas análises dos casos, observou-se a predominância da corrosão, podendo vir a motivar os mesmos problemas funcionais. Tal anomalia está associada a causas, como o não cuidado das peças diante das intempéries e concomitantemente, a ausência de manutenção e prevenção das peças já em fase de corrosão.

Dos grupos patológicos identificados nas análises, quase todos estão presente nas edificações estudadas, porém, cada um se manifesta de maneira diferente, atingindo diferentes peças, consequentemente ocasionando problemas variáveis. Logo, os problemas como um todo se incorporam ao cenário patológico das corrosões, ligações soldadas, ligações parafusadas, erro de projeto, assim como erro no sistema de montagem.

Dessa forma, constatou-se que nem todas as anomalias se manifestam igualmente nas edificações, por mais que elas sejam compostas pelo mesmo material estrutural, no caso o aço. Sua ocorrência depende de fatores internos, como o de produção, fabricação e montagem, aliados a fatores externos, chuva, sol e poeira. Consequentemente, as condições em que a obra está sendo executada e o tipo de material metálico que está sendo utilizado, contribui para a manifestação desses problemas patológicos.

O fator que mais contribuiu com os problemas na Edificação A foi a falta de prevenção, manutenção e reparo das anomalias detectadas. A falta de cuidado com a estrutura de aço pode vir a provocar outras tantas manifestações que associadas, causaram com o tempo graves problemas. O mesmo ocorre na Edificação B, em função das várias manifestações patológicas, associadas ao reaproveitamento de maneira inadequada de peças metálicas de outras construções, que possivelmente já estavam em fase de degradação, levam ao comprometimento das estruturas.

Também são apresentados alguns cuidados que visam evitar ou mesmo minimizar a ocorrência das manifestações patológicas constatadas no trabalho. E diante disso, o estudo sobre as edificações com estruturas de aço buscou contribuir para a melhoria da qualidade das



construções metálicas, através da exposição de anomalias encontradas no ambiente construtivo, procurando respostas a partir da identificação dos aspectos gerais e das causas dos problemas patológicos.

### **Agradecimentos**

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, processo 2012/16541-8, pela concessão da bolsa de iniciação científica a autora<sup>1</sup>.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Helene, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 231f. Tese (Livre Docência). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- 2 Souza, V. C. M. de; Ripper, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Ed. Pini, 1998.
- 3 Salmon, C. G.; Johnson, J. E. Steel structures – design and behaviour – emphasizing load and resistance factor design. 3. ed. Madison: Harpercollinspublisher inc, 1990.
- 4 Silva, P. F. da. Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálicas. Belo Horizonte: [s.n.], p. 293-326, 1981.
- 5 Thomaz, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Ed. Pini, 1992.
- 6 Castro, E. M. C. de. Patologia dos edifícios em estrutura metálica. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- 7 Panossian, Z. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: [s.n.], 2 v., 1993.
- 8 Prefeitura Municipal de Presidente Prudente – PMPP. Lei de zoneamento de uso e ocupação do solo. Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Habitação. Planta geral, 2008.
- 9 Golçalves, R. M.; Sáles, J. J.; Nimir, W. A. Alguns aspectos da deterioração e inspeção de pontes metálicas. In: Seminário Uso do Aço na Construção, 4, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP, 1989. p. 199-212.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.



Tema: Projeto – Arquitetura e Engenharia

## POSSIBILIDADES DE LAYOUT COM ESTRUTURAS DE AÇO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS VERTICAIS DE MÉDIO PADRÃO DE PRESIDENTE PRUDENTE\*

Nayra Yumi Tsutsumoto<sup>1</sup>

Thais da Silva Santos<sup>2</sup>

Cesar Fabiano Fioriti<sup>3</sup>

### Resumo

Neste trabalho serão apresentadas novas possibilidades de layout com as estruturas de aço em dois edifícios residenciais verticais de médio padrão de Presidente Prudente (estudo de caso). Diante das novas possibilidades de layout apresentadas, pôde-se verificar um melhor aproveitamento da parte estrutural dos edifícios, pois o lançamento da estrutura de aço, em cada edifício, visou à redução no número de pilares e de vigas, se comparado com a estrutura original em concreto armado. Além disso, foi constatado um melhor aproveitamento dos ambientes criados nos apartamentos. Assim, é essencial que a concepção com as estruturas de aço consiga, assim como os projetos estruturados em concreto armado, abranger variedade formal, de cores e de elementos compositivos. Pois na sua concepção, o projeto deve possuir algumas particularidades importantes para melhor aproveitamento estrutural e comercial como, por exemplo, varandas, volumetria e a estrutura de transição nos andares inferiores.

**Palavras-chave:** Projeto; Layout; Estruturas de aço; Edifícios residenciais.

### POSSIBILITIES OF LAYOUT WITH STEEL STRUCTURES IN RESIDENTIAL VERTICAL MEDIUM STANDARD OF PRESIDENTE PRUDENTE

#### Abstract

In this work new layout possibilities with steel structures will be presented in two vertical residential buildings of medium standard of Presidente Prudente (case study). Faced with the new layout possibilities presented, it could be seen better use of structural parts of buildings, for the launch of the steel structure, in each building, aimed at reducing the number of pillars and beams, compared with the original structure reinforced concrete. Furthermore, it was found a better use of the environments created in the apartments. It is therefore essential that the design with steel structures can, as structured in concrete projects encompass formal variety, color and compositional elements. For in its design, the project must have some important particularities for better structural and commercial use such as balconies, volume and structure transition on the lower floors.

**Keywords:** Project; Layout; Steel structures; Residential buildings.

<sup>1</sup> Arquiteta, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista FAPESP de Iniciação Científica, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Professor Assistente Doutor, Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

\* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

No processo de criação do projeto arquitetônico, as ideias iniciais e os principais direcionamentos das decisões tomadas surgem a partir dos anseios do cliente; da análise do local onde a edificação será implantada, considerando o terreno e o entorno; do programa de necessidades; da legislação vigente e da disposição de investimentos. As soluções técnicas, principalmente a estrutural, devem surgir simultaneamente a esse processo inicial como um instrumento viabilizador da obra. A concepção formal e a estrutural possuem uma relação intrínseca. Portanto, o arquiteto, como definidor da forma e da concepção estrutural, deve, ainda no processo de criação do projeto arquitetônico, determinar o tipo de estrutura que será utilizado (FILHO [1]).

De maneira geral, não é possível afirmar que o aço é melhor que o concreto armado, uma vez que cada método construtivo possui vantagens e desvantagens, e isso é definido pelo tipo de edificação, tempo previsto de execução, necessidades arquitetônicas e limitações projetuais (terreno e local de implantação, por exemplo). Desse modo, não pode ser feita uma comparação direta de custos apenas em relação as estruturas, é preciso levar em consideração a influência que o tipo de estrutura terá sobre todo o andamento do projeto e da obra.

Algumas características do aço devem ser consideradas na hora da elaboração de projetos, de maneira a obter o melhor aproveitamento de suas vantagens, como a possibilidade de vencer grandes vãos; a utilização de peças mais leves e mais esbeltas; a obtenção de dimensões menores de pilares e de vigas, bem como a possibilidade de variação da espessura das chapas que constituem os perfis, que por sua vez permite um maior aproveitamento dos espaços; e ainda, uma maior rapidez e racionalização na execução da obra.

O projeto arquitetônico pode condicionar o uso da estrutura de aço de dois meios diferentes que também podem se interpor. O primeiro é basicamente criado para atender as necessidades específicas do projeto, cujos espaços propostos possuem uma repetição dimensional e a estrutura passa a ser um instrumento para agilizar a construção. O segundo está ligado ao estilo, a uma forma de expressão diferenciada a partir da estrutura; além de espaços com dimensões padronizadas, o projeto possui espaços com formas diferenciadas cuja estrutura é executada com elementos especiais (BANDEIRA [2]; REBELLO [3]).

De maneira paralela, um dos fatores com grande apelo comercial no mercado imobiliário é a alternativa de planta oferecida nos projetos de obra de arquitetura. Em alguns casos, costuma-se encontrar pelo menos três opções de layout de planta baixa nos projetos, permitindo ao usuário escolher, de acordo com sua necessidade, a solução mais adequada ao seu cotidiano e estilo de vida (LEAL [4]).

Geralmente, as opções de layout de plantas são mais encontradas em apartamentos de 60, 70 e 80m<sup>2</sup> de área construída, visto que as áreas dos ambientes internos são pequenas e a diversidade de interesses dos usuários, que normalmente procuram esse tipo de apartamento, é grande. Essas plantas, em virtude da limitação de área e da necessidade de espaços mais flexíveis, proporcionam uma maior quantidade de opções de layouts internos.

Nas plantas com áreas maiores, acima de 200m<sup>2</sup> de área construída, não são encontradas muitas opções de layout, haja vista que os espaços normalmente exigidos pelos clientes já estão contemplados no projeto. Vale lembrar que é importante que a estrutura preveja os vãos necessários para atender as várias opções de layout, bem como a localização das áreas molhadas, pois tais áreas além de impor maior rigidez na estrutura, também influenciam no layout dos ambientes.



De acordo com Bandeira [2], a estrutura de aço possui algumas características e especificidades que devem ser conhecidas desde o início do processo de criação do arquiteto, para que este tome decisões corretas e saiba explorar melhor o material. A alta resistência à compressão e à tração do aço proporciona a utilização de peças estruturais esbeltas para a absorção das cargas. Sendo assim, toda a estrutura é consideravelmente leve e deformável, se comparada a uma estrutura convencional em concreto armado. Dessa maneira, a estabilização do sistema estrutural que utiliza o aço deve prever algumas peças estruturais especiais.

Ao se ter conhecimento de um sistema construtivo com estruturas de aço que, quando utilizado de maneira correta, oferece vantagens em relação ao sistema construtivo tradicional com estruturas em concreto armado, tais como, rapidez e obras limpas, observa-se que os projetos realizados com as estruturas em concreto armado são quase sempre simples, com as fachadas sem rebuscamentos e plantas rígidas e simétricas.

No município de Presidente Prudente, onde os projetos possuem variedade formal, de cores e elementos compositivos, é essencial que a concepção com as estruturas em aço consiga, também, abranger essas características. Só assim ela conseguirá ganhar maior espaço no mercado imobiliário, outro motivo considerado importante é o fato de que a utilização de estruturas metálicas vem crescendo no Brasil, e conhecer a sua utilização adequada será de grande utilidade profissional. Assim, neste trabalho serão apresentadas novas possibilidades de layout com estruturas de aço em dois edifícios residenciais verticais de médio padrão de Presidente Prudente (estudo de caso).

## 2 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi atingido por intermédio de uma abordagem qualitativa dos edifícios residenciais estudados. Pode-se entender pesquisa qualitativa como aquela em que o objeto de estudo é analisado observando suas características e relações com o entorno. Essa abordagem foi realizada através de estudos de casos, observando o meio em que o objeto estudado está inserido, suas particularidades de projetos e sua viabilidade construtiva com as estruturas de aço.

Diante disso, a metodologia foi constituída basicamente de quatro etapas, apresentadas a seguir:

1ª Etapa: Seleção de dois edifícios residenciais de médio padrão executados com as estruturas em concreto armado. O requisito para a escolha dos edifícios, além de serem enquadrados como de médio padrão, é que os mesmos estejam localizados no perímetro urbano do município de Presidente Prudente.

2ª Etapa: Realização de visitas in loco para registrar, através de fotos, suas principais características. Nesta etapa também foi observado o entorno em que esses edifícios residenciais estão inseridos, além de suas edificações adjacentes.

3ª Etapa: Análise das plantas dos edifícios escolhidos, que foram reproduzidas ou obtidas por meio digital. Nesta etapa foram verificadas as estruturas em concreto armado dos edifícios residenciais selecionados, para que a partir daí, pudessem ser propostas as estruturas de aço.

4ª Etapa: Apresentação de novas possibilidades de layout com as estruturas de aço para os dois edifícios selecionados em Presidente Prudente. Pois na sua concepção, o projeto deve possuir algumas particularidades importantes para melhor aproveitamento estrutural e comercial como, por exemplo, varandas, volumetria e estrutura de transição nos andares inferiores.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Escolhas dos edifícios

Os edifícios residenciais Comendador Francisco Navarro Dias e Casemiro Bôscoli se encontram inseridos na malha urbana, de modo que se localizam próximos as principais vias estruturais do município de Presidente Prudente, portanto, estes são os edifícios selecionados para o trabalho em questão. Outro critério para tal seleção foi o fato desses edifícios se enquadrarem no padrão dos demais prédios existentes no município, além de se encontrarem próximo ao centro, ao Parque do Povo e ao principal eixo da cidade, a Av. Manoel Goulart e a Av. Washington Luis (Figura 1).

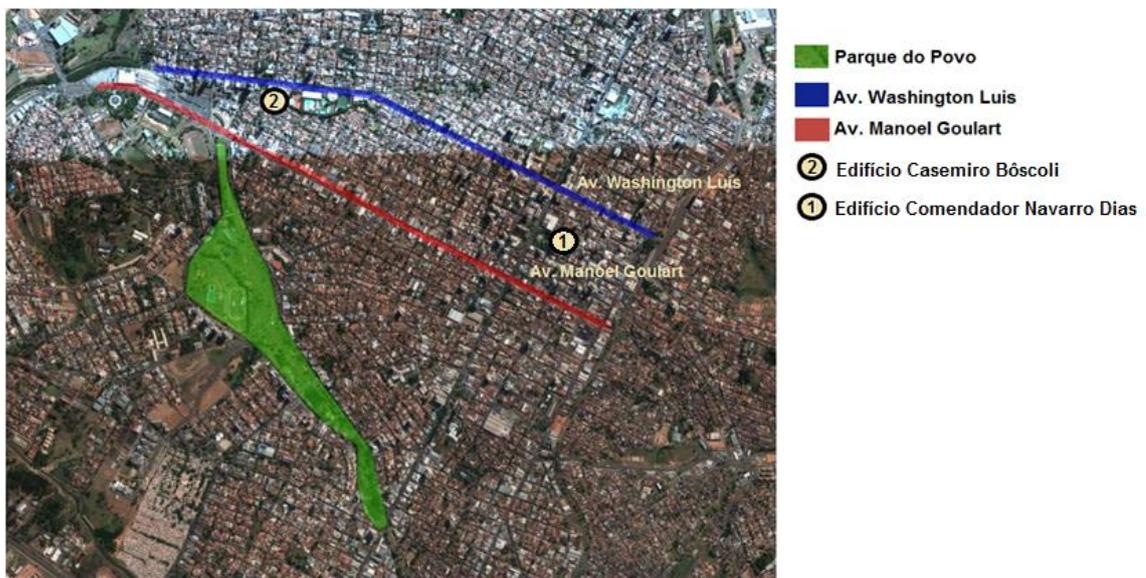


Figura 1: Os dois edifícios e sua localização em Presidente Prudente.

#### 3.2 Edifício Residencial Comendador Francisco Navarro Dias

O Residencial Navarro, localizado na Rua Siqueira Campos, nº 690, está inserido em uma área de ZCS1 – Zona de Comércio e Serviço Central, de ocupação vertical segundo o Plano Diretor de Presidente Prudente (PMPP [5]). Na ZCS1 a área mínima do lote deve ser de 500m<sup>2</sup>, deve apresentar uma frente mínima de 19m, onde o coeficiente de aproveitamento é 4, numa escala de 0 a 6, com taxa de ocupação de 80%, e gabarito de altura máxima livre. O edifício objeto de estudo está em um lote com aproximadamente 30m de fachada e 1500m<sup>2</sup> de área. Na ZCS1 são permitidos vários tipos de uso, desde o uso residencial unifamiliar, multifamiliar, horizontal e vertical, além do uso comercial.

O edifício em questão está localizado na área central de Presidente Prudente, região conhecida como quadrilátero central, formado pelas quatro principais avenidas, Washington Luís, Manoel Goulart, Avenida Brasil e Coronel Marcondes. Esse quadrilátero é uma das principais áreas do município, de importância regional. Encontra-se próximo a Praça Nove de Julho e a Praça Monsenhor Sarrion, onde se localiza a Catedral São Sebastião, ponto histórico da cidade. A principal característica é a presença significativa de diversos comércios e serviços, como lojas, supermercados, bancos entre outros serviços. Encontram-se nessa área condomínios residenciais verticais, com média de 15 a 20 andares,



de médio e alto padrão. O Residencial Navarro (Figura 2), com 20 andares e pavimentos-tipo com 4 apartamentos por andar, integra-se entre muitos outros prédios com gabaritos semelhantes (Figura 3).



Figura 2: Fachada principal do Edifício Residencial Comendador Francisco Navarro Dias.



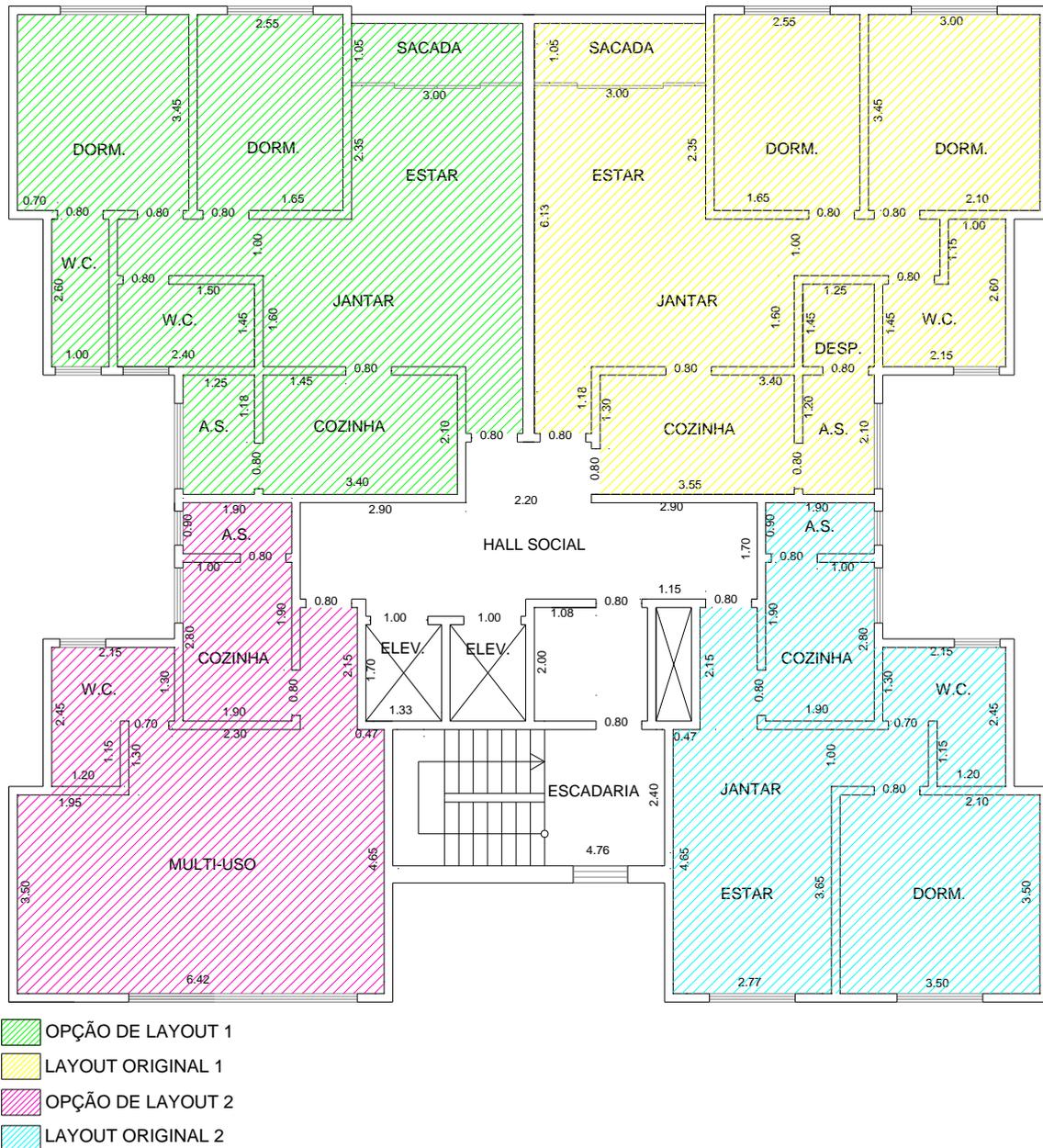


Figura 4: Novas possibilidades de layout com a estrutura de aço – Residencial Navarro.

A opção de layout 1 (hachura de cor verde) permitiu a introdução de uma suíte, com a eliminação da despensa e com a diminuição do banheiro social, porém com a área resultante da diminuição do banheiro social e a retirada da despensa, a mesma pode dar lugar a um novo banheiro social, possibilitando a viabilidade de se ter uma suíte e um dormitório. A entrada do apartamento pela cozinha foi eliminada, e a entrada do hall social para a sala ficou mantida. Em suma, o novo layout apresenta uma planta baixa com uma suíte, um dormitório, um banheiro social, sala de estar e jantar, sacada, cozinha e área de serviço.

Com a opção de layout 2 (hachura de cor rosa) foi obtido um espaço multiuso, para tanto a parede de vedação entre o dormitório e a sala de estar e jantar foi eliminada. Com o novo espaço, as duas



janelas dos antigos cômodos deram lugar a uma grande janela panorâmica, de modo tal que a vista foi valorizada e o conforto dos usuários não foi prejudicado; a nova janela está disposta de maneira que quando o morador estiver pernoitando, o mesmo não sofrerá com o excesso de insolação e de iluminação. O espaço multiuso é um espaço versátil com múltiplas funcionalidades, podendo ser utilizado como sala íntima, de descanso, home theater, copa, escritório ou um ambiente agradável para sentar e conversar, por exemplo. Sendo assim, cada morador pode adequar o espaço multiuso conforme suas próprias necessidades. O novo layout apresentado conta, portanto, com um banheiro, uma área de serviço, cozinha, e um espaço multiuso.

### 3.2.2 Lançamento da estrutura de aço a partir das novas possibilidades de layout

A planta de localização dos pilares e das vigas do edifício Residencial Navarro, em concreto armado, foi elaborada mediante os dados obtidos por meio de visitas in loco (Figura 5).

O lançamento da estrutura de aço foi desenvolvido levando-se em consideração a nova disposição dos cômodos dos apartamentos e visando a redução no número de pilares e de vigas, se comparados com a estrutura original em concreto armado, e ainda, um melhor aproveitamento estrutural e comercial dos apartamentos do edifício (Figura 6). Para a estrutura de aço, pilares e vigas, foi proposta a utilização do perfil “I” soldado, facilitando as ligações entre os elementos bem como sua manutenção, e a utilização de lajes alveolares pré-moldadas de concreto.

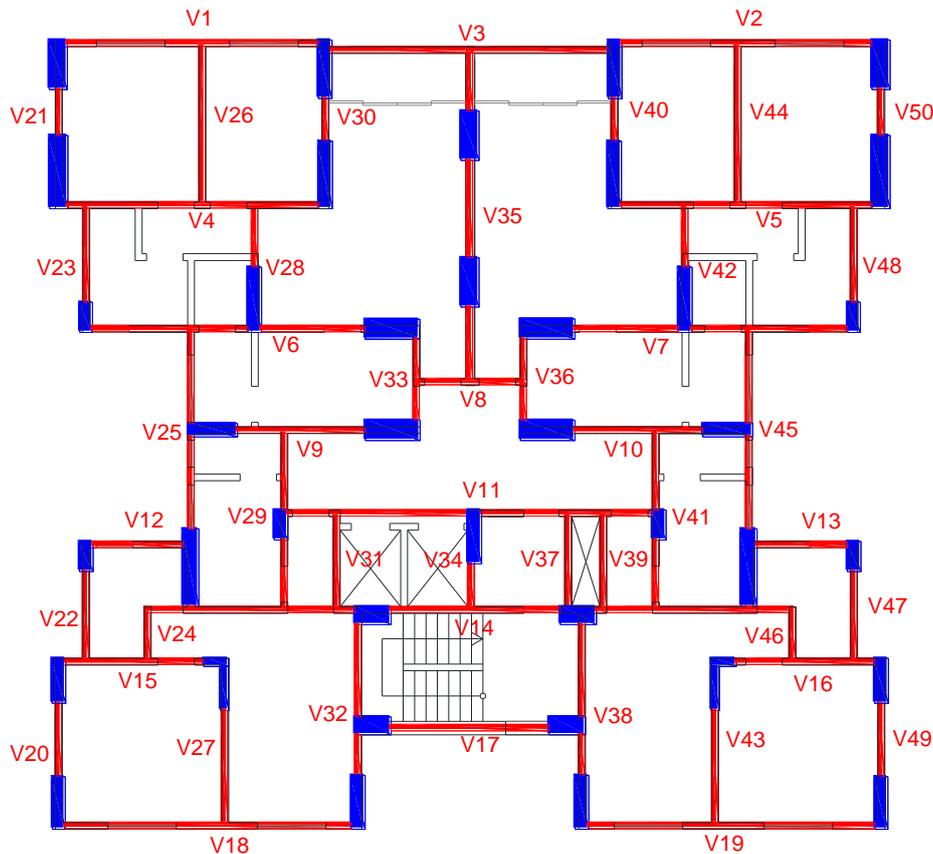


Figura 5: Localização dos pilares e das vigas em concreto armado – Residencial Navarro.

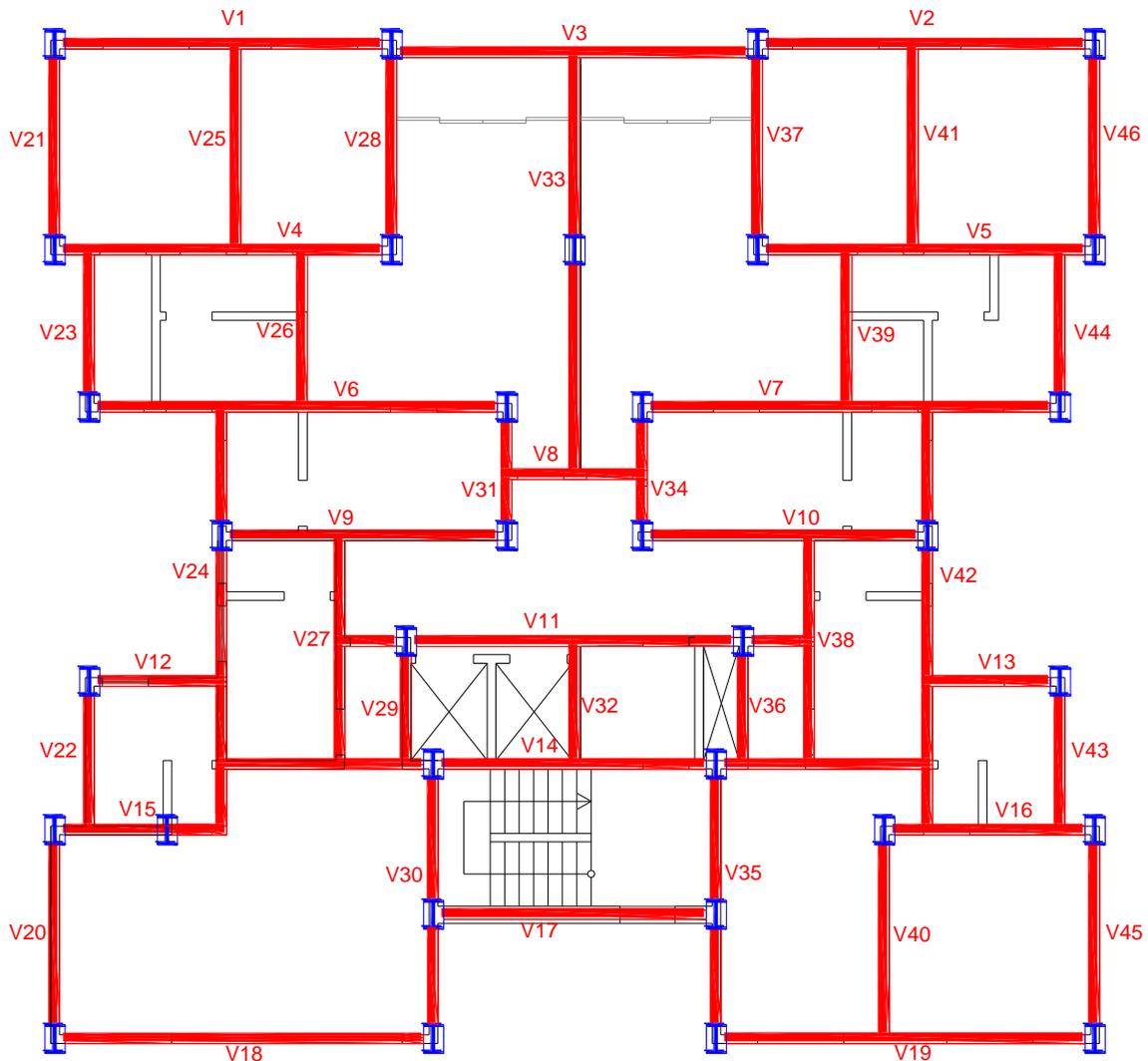


Figura 6: Localização dos pilares e das vigas em aço – Residencial Navarro.

Com o lançamento da estrutura de aço a partir das novas possibilidades de layouts 1 e 2, verificou-se que no caso do layout 1 (hachura de cor verde) o número de pilares e de vigas foi mantido. Em se tratando do layout 2 (hachura de cor rosa), o número de pilares foi mantido, mas foi reduzida uma viga. Desse modo, a estrutura de aço apresenta no total 33 pilares e 46 vigas, ao passo que a estrutura em concreto armado do edifício Navarro conta com 39 pilares e 50 vigas.

### 3.3 Edifício Residencial Casemiro Bôscoli

O edifício Residencial Bôscoli está localizado na Avenida Washington Luís, nº 2491, via arterial de Presidente Prudente, conhecida por apresentar vários consultórios médicos e edificações de arquitetura modernista. Inserido também em uma ZCS1 – Zona de Comércio e Serviço Central, de acordo com o Plano Diretor de Presidente Prudente (PMPP [5]). O edifício em estudo está situado em um lote com fachada de 40m, em uma área de aproximadamente 1600m<sup>2</sup>. Possui 17 andares, com pavimentos tipo dotados de 4 apartamentos por andar, cada um com uma área de 75m<sup>2</sup>.



O Residencial Bôscoli (Figuras 7 e 8) está localizado próximo a pontos referenciais importantes do município, como o Prudenshopping, um dos principais pontos de compra do oeste paulista, e da Universidade Estadual Paulista – UNESP, que conta com aproximadamente 3000 estudantes. Diferentemente do Residencial Navarro, que se integra com os demais prédios de sua vizinhança, o Residencial Bôscoli, se destaca na paisagem da cidade, já que é o único prédio de alto gabarito na área. Há somente outro prédio nos arredores, o Centro Médico, porém com gabarito inferior. Há algumas quadras de distância do edifício objeto de estudo localizam-se o Parque do Povo (parque de importância regional) e o Tênis Clube (um dos clubes mais tradicionais do município).



Figura 7: Fachada principal do Edifício Residencial Casemiro Bôscoli.

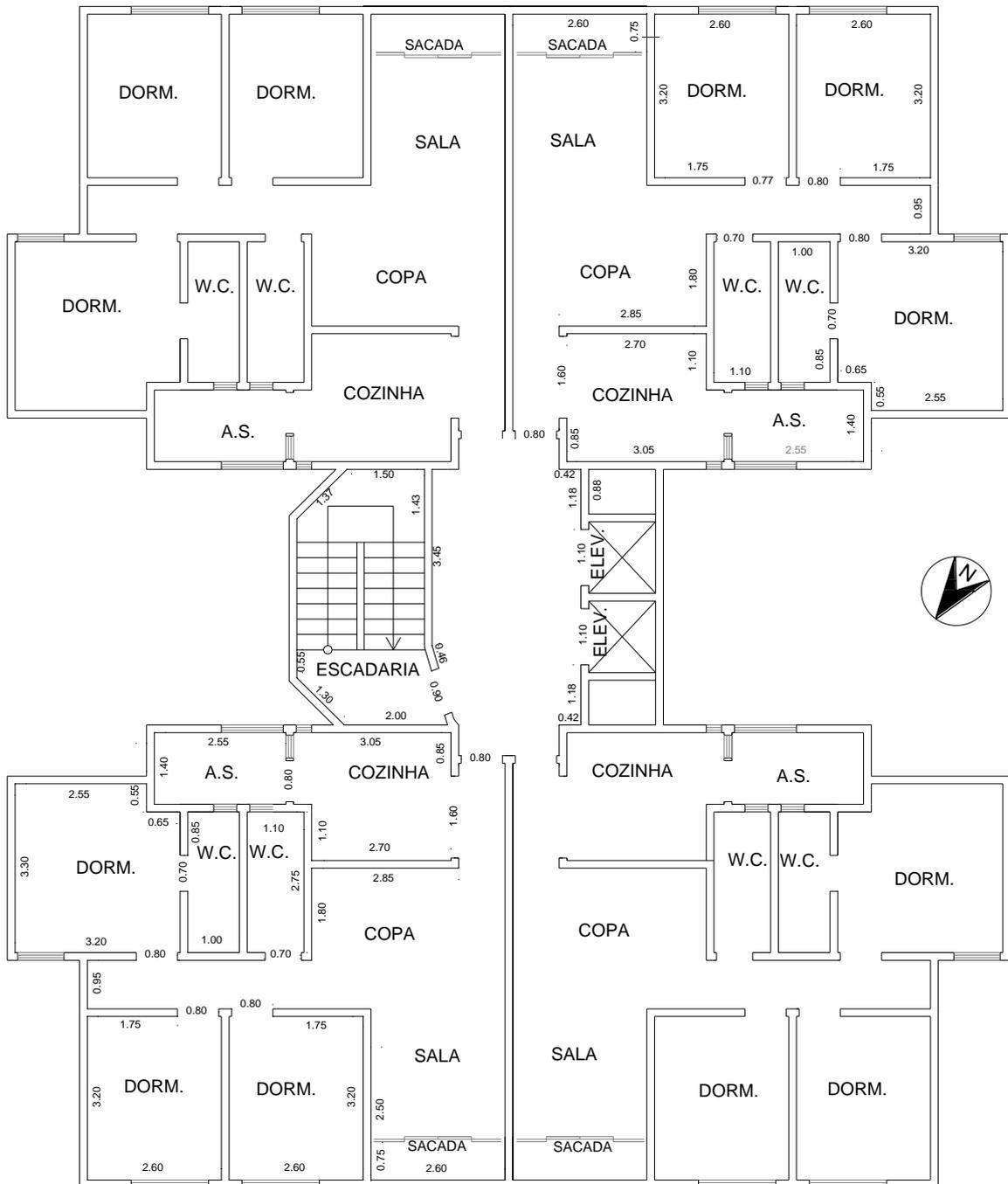


Figura 8: Planta do pavimento-tipo – Residencial Bôscoli.

### 3.3.1 Apresentação de novas possibilidades de layout com a estrutura em aço



Foram apresentadas novas possibilidades de layout com a estrutura em aço para o edifício Residencial Bôscoli visando-se a variedade formal, de cores e elementos compositivos (Figura 9).

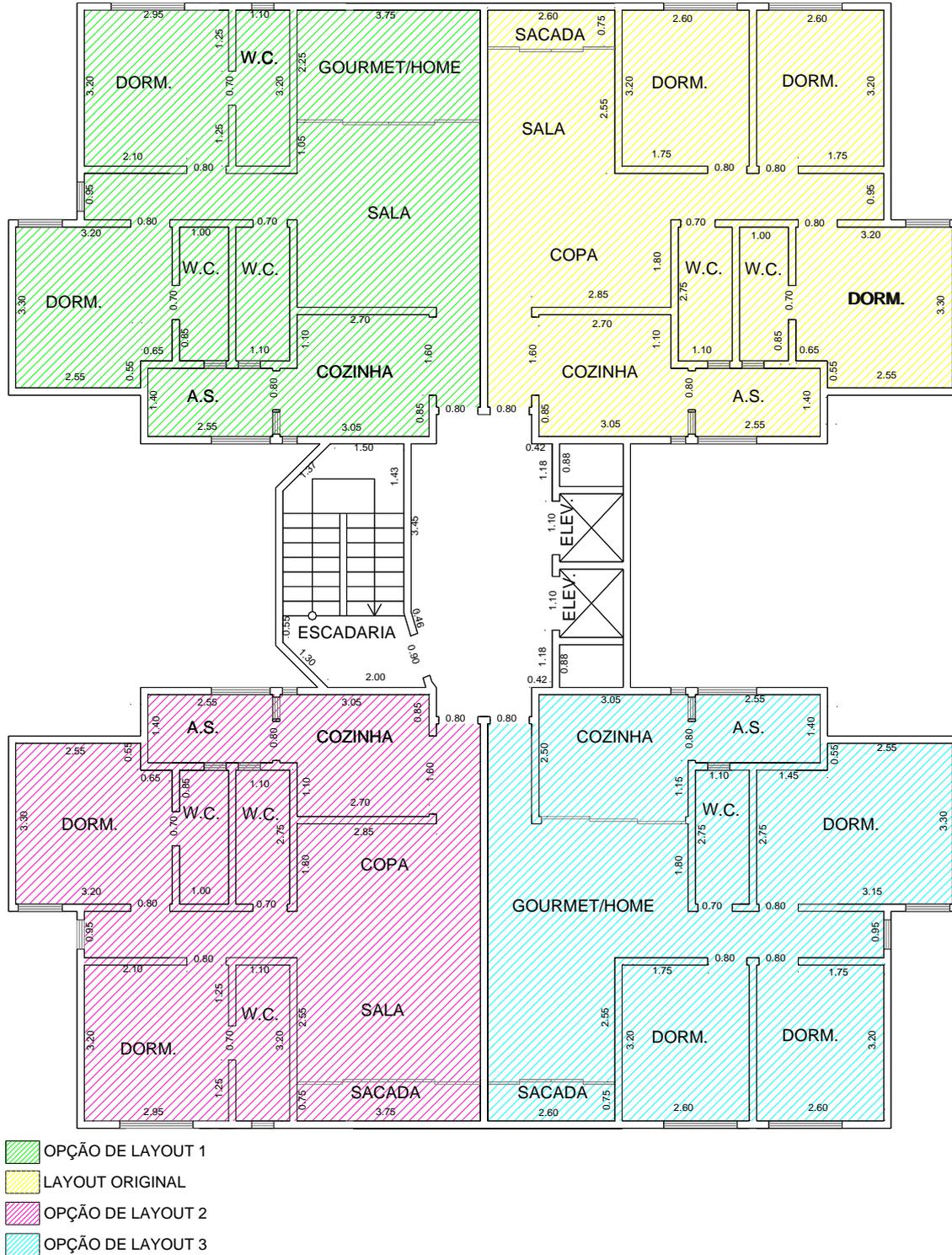


Figura 9: Novas possibilidades de layout com a estrutura em aço – Residencial Bôscoli.



Com a opção de layout 1 (hachura de cor verde) os dois dormitórios do apartamento deram lugar a uma suíte e a um espaço gourmet/home na sacada, a sala também aumentou de tamanho. Uma abertura no final do corredor que dá para os quartos foi inserida com o intuito de melhorar a iluminação do ambiente e também para dar uma maior amplitude ao apartamento. O conceito de espaço gourmet em condomínios verticais tem dominado o mercado imobiliário, uma vez que esses ambientes proporcionam aos moradores de apartamentos o mesmo conforto de quem mora em casa, e pode usufruir de uma área de lazer ao ar livre com home theater, copa, e até mesmo uma churrasqueira. O novo layout conta com duas suítes, um banheiro social, cozinha, área de serviço, sala e um espaço gourmet/home na sacada.

A opção de layout 2 (hachura de cor rosa) – ao eliminar os dois dormitórios – possibilitou a obtenção de duas suítes, bem como o aumento da área da sala de estar do apartamento e o aumento do comprimento da sacada. Com isso foi obtida uma grande sala de estar e jantar, que permite maior convivência entre os moradores e uma maior área para receber amigos e visitantes; além da manutenção da privacidade, que foi obtida com a criação das duas suítes. A fim de se obter uma melhor iluminação e uma maior amplitude no apartamento, foi obtida uma abertura no final do corredor que dá acesso às suítes. O novo layout apresenta, portanto, duas suítes, um banheiro social, cozinha, área de serviço e uma grande área com copa, sala e sacada integradas.

Na opção de layout 3 (hachura de cor azul) a suíte foi eliminada dando lugar a um dormitório maior e a cozinha pôde ter seu “dente” eliminado e sua área aumentada. Foi feita uma abertura no final do corredor de acesso aos dormitórios melhorando a iluminação dos ambientes e possibilitando uma sensação de amplitude ao apartamento. Os dois dormitórios foram mantidos e a copa e a sala foram substituídas por um espaço gourmet/home, separado da cozinha apenas por uma porta de correr de vidro. Sendo assim, o novo layout possui três dormitórios, um banheiro social, cozinha, área de serviço, um espaço gourmet/home e sacada. O espaço gourmet/home é a grande tendência nos novos empreendimentos diante da possibilidade de proporcionar um espaço de lazer agradável e aconchegante que permite reunir a família e os amigos em um único local. Espaços de convivência são fundamentais diante da nova rotina que se cria na sociedade contemporânea, em que o tempo acaba por ditar as relações sociais entre os indivíduos.

### **3.3.2 Lançamento da estrutura de aço a partir das novas possibilidades de layout**

A planta de localização dos pilares e das vigas, em concreto armado, do edifício Residencial Bôscoli, também foi elaborada mediante os dados obtidos nas visitas de campo (Figura 10).

No lançamento da estrutura de aço (Figura 11), também foi proposta a utilização do perfil “I” soldado, assim como a utilização de lajes alveolares pré-moldadas de concreto.

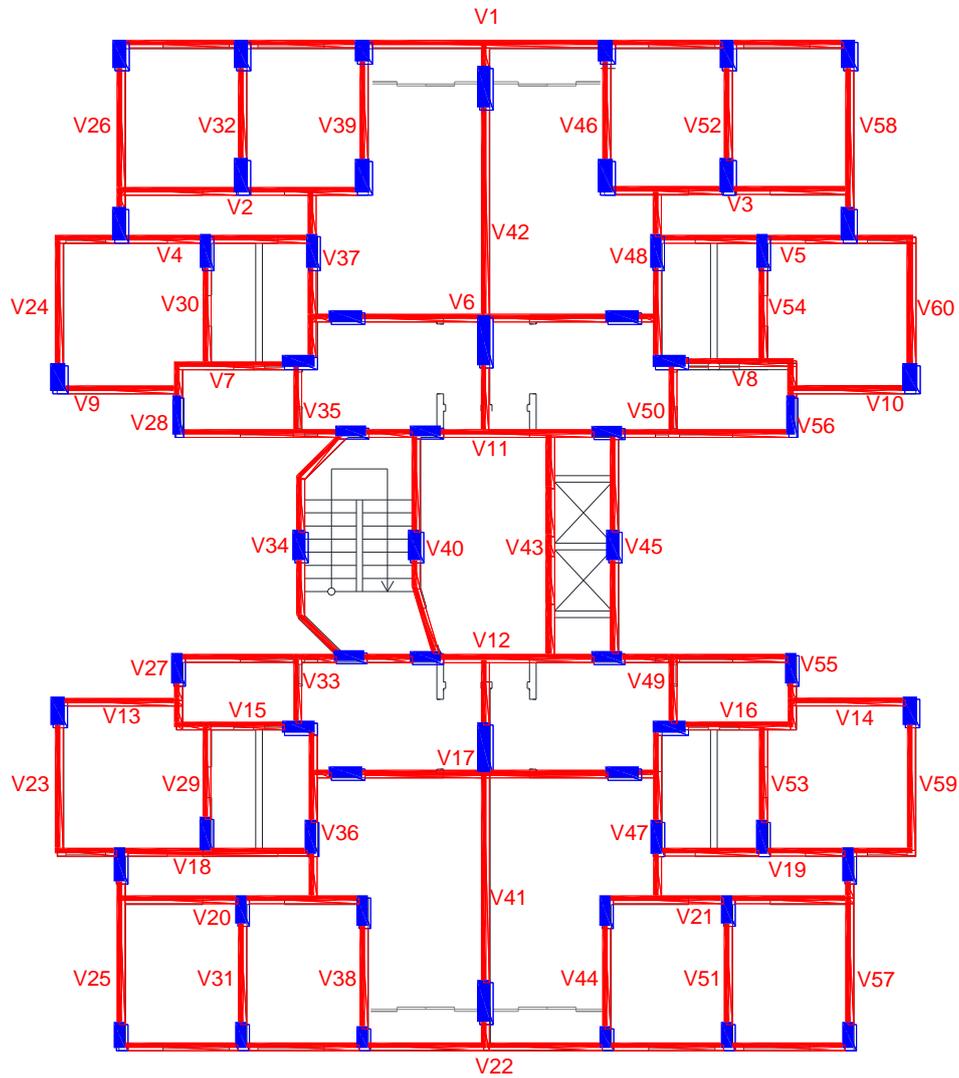


Figura 10: Localização dos pilares e das vigas em concreto armado – Residencial Bôscoli.

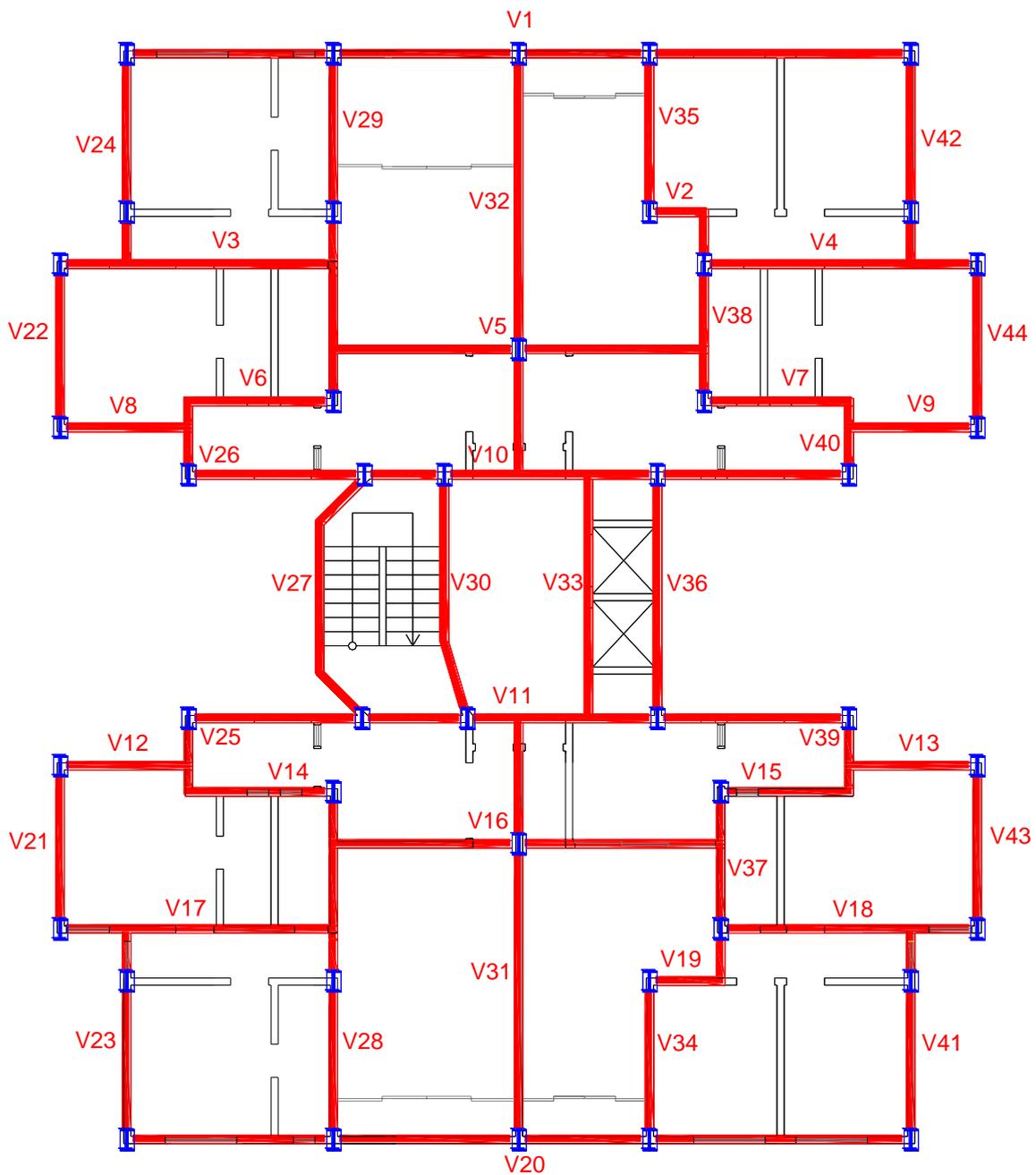


Figura 11: Localização dos pilares e das vigas em aço – Residencial Bôscoli.

Com o lançamento da estrutura de aço a partir das novas possibilidades de layout 1, 2 e 3; pode-se verificar que com layout 1 (hachura de cor verde) houve uma redução de duas vigas e um pilar. No



caso do layout 2 (hachura de cor rosa) também houve a redução de duas vigas e um pilar. Em se tratando do layout 3 (hachura de cor azul), o número de pilares e de vigas foi mantido. Desta maneira, a estrutura de aço apresenta no total 44 pilares e 44 vigas, enquanto que a estrutura de concreto armado do edifício Bôscoli apresenta 61 pilares e 60 vigas. Ressalta-se que, além de se reduzir o número de pilares e de vigas foi obtido um melhor aproveitamento dos apartamentos do edifício.

#### 4 CONCLUSÃO

Um dos fatores com grande apelo comercial no mercado imobiliário é a alternativa de planta oferecida nos projetos de obra de arquitetura. As diversas opções de layout de planta baixa nos projetos permitem ao usuário escolher, de acordo com sua necessidade, a solução mais adequada ao seu cotidiano e estilo de vida. Os edifícios residenciais Comendador Francisco Navarro Dias e Casemiro Bôscoli se encontram inseridos na malha urbana, de modo que se localizam próximos as vias estruturais do município de Presidente Prudente, portanto, estes foram os edifícios selecionados para o trabalho em questão.

O novo layout do edifício Residencial Navarro permitiu a criação de um espaço multiuso, um espaço versátil com múltiplas funcionalidades, permitindo que cada morador possa adequar o espaço multiuso conforme suas próprias necessidades. O layout apresentado para o edifício Residencial Bôscoli possibilitou a introdução de um espaço gourmet, onde a criação desse novo espaço de convivência os moradores adquirem uma maior e agradável área para receber amigos e visitantes.

No que diz respeito à estrutura de aço obtida em função da nova disposição dos cômodos dos apartamentos e visando a redução no número de pilares e de vigas, de maneira geral, enfatiza-se que o edifício Residencial Navarro apresenta 39 pilares e 50 vigas em concreto armado, enquanto que o mesmo edifício com a estrutura de aço apresenta 33 pilares e 46 vigas. O edifício Residencial Bôscoli também teria o número de vigas e de pilares reduzidos se estivesse estruturado em aço, pois possui 61 pilares e 60 vigas em concreto armado, e apresentaria somente 44 pilares e 44 vigas com as estruturas de aço.

Portanto, é essencial que a concepção com as estruturas de aço consiga, assim como os projetos estruturados em concreto armado no município de Presidente Prudente, abranger variedade formal, de cores e elementos compositivos. Para que, desse modo, a estrutura de aço ganhe maior espaço no mercado imobiliário. Além disso, a utilização de estruturas metálicas vem crescendo em todo o Brasil, e conhecer a sua utilização adequada será de fundamental importância profissional.

#### Agradecimentos

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, processo 2011/07971-6, pela concessão da bolsa de iniciação científica a autora<sup>1</sup>.

#### REFERÊNCIAS

1 Filho, J. S. C. Construir, habitar, pensar, hoje. Artigo elaborado originalmente para publicação e apresentação em mesa redonda do Seminário Arquitetura e Conceito, promovido



pelo Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2003.

2 Bandeira, A. A. de C. Análise do uso de estruturas de aço em edificações habitacionais de interesse social. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2008.

3 Rebello, Y. C. P. Bases para projeto estrutural. São Paulo: Editora Ziguarte, 286p., 2007.

4 Leal, U. Arquitetura de sistemas. Entrevista com o Arquiteto Roberto Candusso. São Paulo: Revista Técnica, abril de 2003.

5 Prefeitura Municipal de Presidente Prudente – PMPP. Plano diretor de desenvolvimento urbano de Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2008.



Tema: projeto - arquitetura e engenharia

## PROCESSO ITERATIVO DE DESIGN PARAMÉTRICO E ANÁLISE ESTRUTURAL APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURA PARA TORRE DE ENERGIA EÓLICA \*

Marina Ferreira Borges<sup>1</sup>

Ricardo Hallal Fakury<sup>2</sup>

Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo<sup>3</sup>

### Resumo

Este trabalho propõe-se a estudar o processo de design paramétrico integrado à análise e dimensionamento estrutural. Esse modelo de aplicação é chamado de Modelo Performativo, onde a forma é gerada com base em critérios de desempenho. Nesta metodologia, a forma é o resultado de um trabalho colaborativo entre arquitetos e engenheiros. Para tanto, utilizam-se as ferramentas digitais como facilitadoras do fluxo de informações entre os projetistas através de softwares de modelagem paramétrica e análise pelo Método dos Elementos Finitos. Para investigação do Modelo Performativo, propõe-se o desenvolvimento de uma estrutura conceitual de uma torre treliçada de energia eólica com o objetivo de otimizações quantitativa e qualitativa da estrutura. Será feita a modelagem paramétrica utilizando o software *Rhinoceros*, o plugin para criação de algoritmos *Grasshoper* e o *plugin* de análise estrutural *Scan&Solve*, escolhas feitas sob o critério da interoperabilidade.

**Palavras-chave:** Modelo Performativo; Modelagem paramétrica; Análise por Elementos Finitos; Torre Eólica Treliçada.

### ITERATIVE PROCESS OF PARAMETRIC DESIGN AND STRUCTURAL PROJECT APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF WIND TOWER

### Abstract

This article proposes to study the process of parametric design integrated analysis and structural design. This application model is called Performative Model; the form is generated based on performance criteria. In this methodology, the shape is the result of a collaborative work between architects and engineers. The digital tools facilitate the information flow between designers using parametric model and Finite Element Analysis. To research the method of Performative Model is proposed the development of a conceptual framework of Lattice Wind Tower with the aim of a quantitative and qualitative structure optimization. Therefore, the parametric modeling will be done using *Rhinoceros* software, the plugin for creating algorithms *Grasshoper* and structural analysis plugin *Scan & Solve*, choices made under the criterion of interoperability.

**Keywords:** Performative Model; Parametric Model; Finite Element Analysis; Lattice Wind Tower.

<sup>1</sup>Arquiteta e Urbanista e Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Engenheiro Civil, Dr., Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>Engenheiro Civil, Gerente de Tubos Estruturais da Vallourec Tubos do Brasil S. A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias digitais tem possibilitado mudanças significativas nos processos de projeto de Arquitetura, Engenharia e na indústria da construção. A tecnologia CAD (*Computer Aided Design*) permitiu o desenvolvimento de técnicas de representação 2D e 3D em ambiente digital e a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) significou o acréscimo de informações aos modelos através de relações paramétricas. Até então as tecnologias CAD e BIM continuam associadas a um processo tradicional de projeto, onde existe uma sequência de decisões que envolvem síntese da forma arquitetônica e posterior avaliação, no caso do projeto de estruturas, através de análise estrutural. Numa abordagem contemporânea para o desenvolvimento do projeto de estruturas, a sequência de decisões de projeto parte da estrutura e do material, para posteriormente ser definida a forma. Esta abordagem foi denominada por Oxman e Oxman [1] como *Novo Estruturalismo*, onde o desenvolvimento de estruturas complexas só é possível com a reversão no modo de pensar o processo de geração da forma. Desta maneira, a participação do engenheiro estrutural deixa de ser somente na fase de avaliação e aparece nos primeiros estágios de geração da forma, criando um processo de pesquisa e produção do conhecimento comum entre arquitetos e engenheiros.

Para tanto, será investigada a metodologia abordada por Kolarevic [2] com Modelo Performativo baseado na otimização da forma, onde serão aplicadas ferramentas de design paramétrico ou generativo, cuja elaboração e manipulação têm como plataforma as ferramentas digitais. O Modelo Performativo se caracteriza pela colaboração entre arquitetos e engenheiros estruturais desde o princípio do processo. Para exploração e representação do projeto é utilizada a modelagem paramétrica; e na transmissão do modelo para a análise, o critério da interoperabilidade (capacidade de troca de dados entre aplicativos computacionais) é fundamental para facilitar a iteratividade. O processo de análise estrutural é incorporado na metodologia de concepção, onde a participação do engenheiro se inicia desde os primeiros passos de geração da forma. Nesta abordagem, que tem como base de desenvolvimento o desempenho, as estratégias qualitativas e quantitativas são racionalizadas, e a relação entre material, estrutura e forma resulta em uma estética intrinsecamente relacionada com os princípios éticos de economia e eficiência [3].

A literatura fornece exemplos de processos de projetos baseados em Modelos Performativos tais como o desenvolvimento da cobertura de vidro do *British Museum* em Londres e a concepção do *Melbourne Stadium* na Austrália.

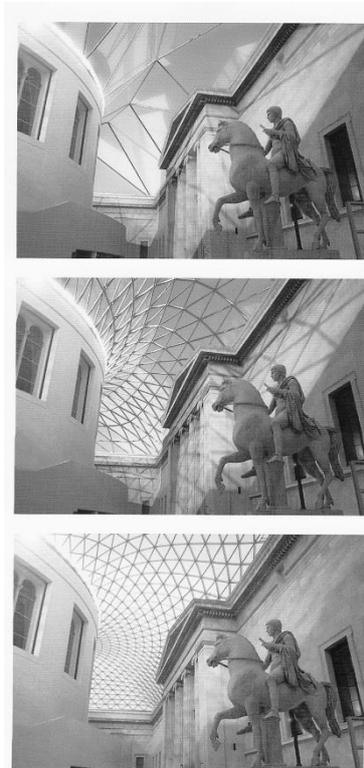
A cobertura de vidro do *British Museum* em Londres [4] foi concebida pelo escritório de arquitetura Foster + Partners. Sua definição geométrica consistiu de duas partes: a primeira, na definição da forma da superfície; e a segunda, no desenvolvimento do padrão da estrutura metálica sobre a superfície. Para a concepção da forma, foi necessária a criação de uma fórmula matemática que garantisse a singularidade da curvatura da superfície no contorno, já que a cobertura seria executada em um edifício histórico existente.

A segunda parte foi a geração de um padrão da estrutura metálica sobre a superfície, que produziu uma triangulação das faces. O grid triangular foi escolhido por causa da sua eficiência



estrutural, e porque evita a necessidade de produzir painéis de vidro curvos. O grid foi “relaxado” na superfície para remover discontinuidades na curvatura geodésica, movendo cada nó para um ponto na superfície igual à média ponderada dos seus vizinhos.

**Figura 1:** Simulações computacionais de subdivisão da cobertura



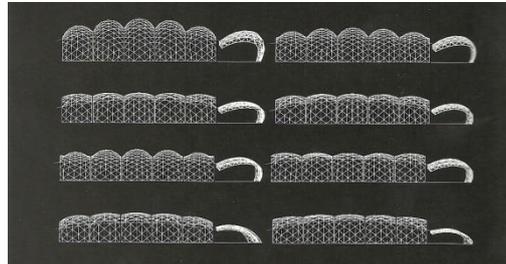
Fonte: BURRY, 2010

Durante o processo de divisão de cada face da malha para um número de faces menores, foi se ajustando as coordenadas dos vértices criados e uma representação de malha mais fina foi produzida (Fig. 1). Uma vez encontrada a forma, foram aplicados algoritmos de otimização, o que permitiu manipular a malha original de controle e testar geometricamente diferentes opções do grid estrutural em termos de critérios de desempenho e eficiência estrutural, conforto termo-acústico e economia.

Na concepção do *Melbourne Stadium* na Austrália, foi feita a combinação de parâmetros de sustentabilidade e considerações funcionais e estruturais. A estrutura da cobertura é uma cúpula geodésica em parte esférica, concebida com base em uma rede de grandes círculos que se cruzam para formar os elementos triangulares estáveis de uma malha estrutural (Fig. 2).



**Figura 2:** variantes paramétricas na secção da cúpula e a curva sobre o qual se situam as cúpulas



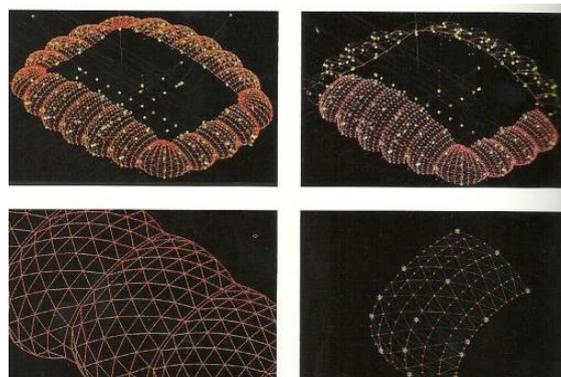
Fonte: BURRY, 2010

A forma da cobertura tira partido das eficiências estruturais inerentes de uma cúpula para criar um conjunto surpreendentemente leve de aço. O refinamento da proposta inicial foi desenvolvido por arquitetos e engenheiros do escritório Arup, determinada por critérios estéticos e econômicos. A forma ótima da estrutura encontrada deveria satisfazer a todos os critérios, incluindo o estudo de iluminação e a facilidade de fabricação das peças.

A modelagem geométrica flexível foi acompanhada de análise estrutural e rotinas de otimização atribuídas às peças de aço da estrutura em resposta à análise iterativa. A cada peça de aço foi atribuída uma dimensão de seção ideal, o que foi posteriormente revisto dentro do processo automatizado computacional para o tamanho mais próximo em conformidade com os perfis disponíveis comercialmente.

A transferência de informação a partir dos modelos geométricos para a análise estrutural e processo de otimização, puderam ser automatizados de tal maneira que se tornou possível investigar diversas formas de concepção e diferentes configurações em um curto período de tempo. A equipe podia alterar a forma e observar os efeitos de diferentes curvaturas, da quantidade de aço utilizado e a eficiência de toda a estrutura. As ferramentas permitiram a alteração da forma, e a análise poderia ser visualizada através da geometria e da cor na tela, promovendo a comunicação rápida entre engenheiros e arquitetos (Fig. 3).

**Figura 3:** alterações na curvade varredurada cobertura conforme desenvolvimento do projeto.



Fonte: BURRY, 2010

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Experimentação do modelo

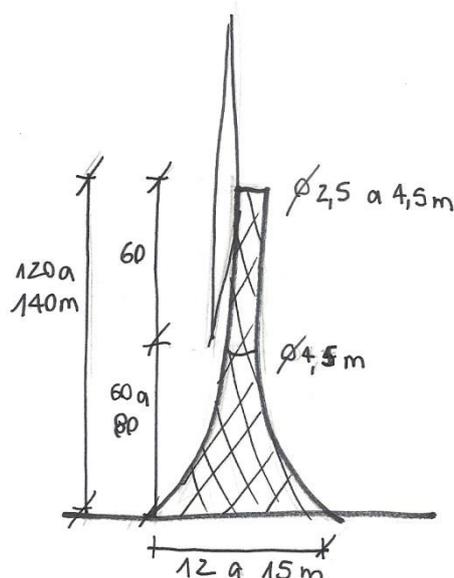
Como objeto de estudo e experimentação para aplicação da metodologia de Modelo Performativo, propõe-se a concepção da estrutura de uma torre treliçada de energia eólica. Para o desenvolvimento da forma serão aplicados os principais parâmetros que classificam estes modelos que são: geometria, forças usadas na geração da forma, técnicas, ferramentas, interoperabilidade e colaboração entre profissionais de arquitetura e engenharia.

#### 2.1.1 Geometria

O Modelo Performativo se inicia dentro de um espaço de restrições. Para a geração da forma da torre de energia eólica, as restrições geométricas seriam em função da altura, largura de base e topo, material e configuração da estrutura.

Esta estrutura conceitual (Fig. 4) tem como parâmetros de altura a necessidade de variar entre 120 a 140 metros, de tal forma a aproveitar a capacidade máxima do vento incidente nas turbinas. Como definição da base, tem-se a princípio uma variação de diâmetro de 12 a 15 metros. A 80 metros de altura, o diâmetro deve estar fixado em torno de 4,5 metros e a partir deste ponto, a estrutura deverá manter uma angulação de aproximadamente 90 graus em função do funcionamento das pás.

**Figura 4:** croqui com definições preliminares da geometria da torre

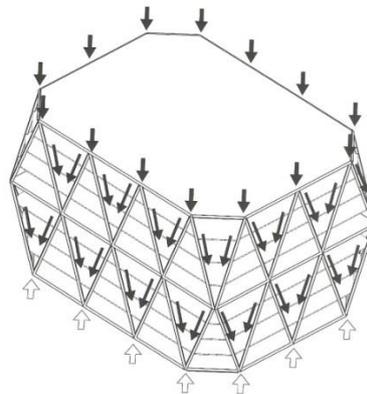


Fonte: Elaborado pelos autores

Optou-se por adotar da estrutura treliçada de aço, principalmente por causa de sua facilidade de transporte para locais de difícil acesso e montagem nesses locais, mas também devido à sua capacidade de responder a momento fletor em vários eixos, necessária em formas verticais onde forças laterais e cargas verticais excêntricas atuam simultaneamente (Fig. 5). A estrutura treliçada pode distribuir as cargas nas direções vertical e lateral (horizontal). São transmitidos

às barras forças axiais de tração e compressão [5]. Sendo assim, a estrutura se torna capaz de receber forças e transmiti-las aos apoios. Além disto, a treliça espacial permite a variação geométrica ao longo de um eixo vertical possibilitando inúmeras variações com relação ao design, aos perfis e conseqüentemente de resistência às solicitações. As variações podem ser nas seções horizontais e no dimensionamento dos perfis ao longo da seção vertical, atendendo à mudança de solicitação, no intuito de se otimizar a estrutura.

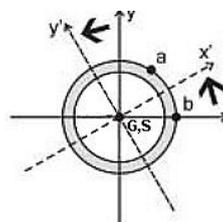
**Figura 5:** Distribuição de cargas em estrutura treliçada



Fonte: MOUSSAVI, 2009

Para as barras da estrutura, foram escolhidos perfis laminados tubulares circulares fabricados no Brasil pela Vallourec [6]. Isso se deve principalmente ao fato de a seção circular ter melhor capacidade resistente à instabilidade quando submetida à compressão, comparada às outras seções, tendo em vista ser axissimétrica e ter o centro geométrico (G) coincidindo com o centro de cisalhamento (S) (Fig. 6).

**Figura 6:** Coincidência do centro geométrico (G) e do centro de cisalhamento (S) e simetria radial das seções tubulares circulares



Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.1.2 Forças

A forma da torre tem aspectos quantitativos e qualitativos que guiam sua geração. O aspecto quantitativo são as forças atuantes, que, simplificada, se dividem em peso próprio da estrutura, forças devido ao equipamento (aerogeradore), incluindo o efeito do vento nas pás, e força de vento na estrutura. As forças devidas ao equipamento serão estimadas em função de sua potência, da ordem de 3 MW, e as forças de vento na estrutura serão determinadas, de modo simplificado, de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 6123:1988 [7]. Serão



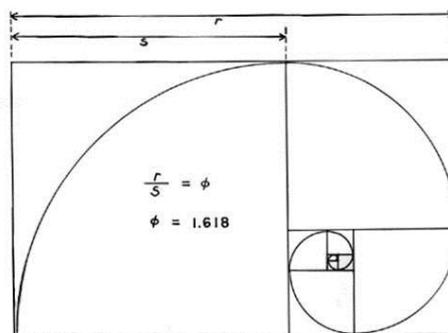
avaliados apenas as tensões atuantes, de modo que não ocorra colapso, e os estados deslocamentos máximos. O efeito de fadiga, e exigências relacionadas à frequência natural não será consideradas.

O aspecto qualitativo considerado é relativo à estética da torre. A princípio este não seria um dado parametrizável através de dados numéricos, mas através de um pensamento racionalista, pode-se recorrer à Geometria Descritiva utilizando medidas de proporção da Razão Áurea [8] e do estudo de superfícies regradas como o hiperboloide de uma folha.

### 2.1.2.1 Razão Áurea

A Razão Áurea (Fig. 7) é um princípio de proporção extraído da Sequência de Fibonacci, que é considerada a proporção do corpo humano. Desde a Antiguidade é usada na arte, tendo tido no Renascimento seu apogeu, tendo sido muito utilizada nas obras de Leonardo Da Vinci. No Modernismo, Le Corbusier baseou-se na proporção áurea para criação do *Modulor*, que teve sua aplicação em diversos edifícios emblemáticos do período.

Figura 7: Razão Áurea



Fonte: LIVIO, 2006

O número áureo é aproximado pela divisão do *n*ésimo termo da Série de Fibonacci (0, 1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,..., na qual cada número é a soma dos dois números imediatamente anteriores na própria série) pelo termo anterior. Isto resulta em um número constante de aproximadamente 1,618.

### 2.1.2.2 Hiperboloide de uma folha

Para disposição geométrica da forma da torre e distribuição de barras, foi adotada a geometria do hiperboloide de uma folha (Fig. 8). Esta superfície apresenta vantagens estruturais e tem sido utilizada em obras de engenharia e arquitetura desde o século XIX. Estas superfícies possuem uma característica favorável à estabilidade: em cada um de seus pontos há duas retas distintas que cruzam a superfície. Esta característica mantém a integridade estrutural com a redução do uso de materiais.

**Figura 8:** Hiperboloide de uma folha

Fonte: RODRIGUES, 2012

As aplicações dos hiperboloides de uma folha na arquitetura estão associadas às experimentações do engenheiro e arquiteto russo Vladimir Shukhov. Ao estudar o design de formas, ele deduziu matematicamente uma família de equações que correspondia a características dos hiperboloides. Estas superfícies duplamente regradas permitem a construção de malhas com vigas retilíneas, o que simplifica os trabalhos. Um exemplo de aplicação de hiperbolóides de uma folha por Shukhov é a Torre Shabolovka, uma torre de transmissão de energia com 160 metros de altura, construída em Moscou em 1920 [9].

A construção de outras torres configuradas em hiperboloide de uma folha também serviu como referência da pesquisa. A Torre de Kobe no Japão é também uma torre de transmissão e é utilizada como ponto de observação, além de representar um marco urbano na cidade de Kobe. A Torre de Canton também constitui um marco urbano para a cidade de mesmo nome na China. É uma torre de televisão multiuso e até a data de sua construção era considerada a torre mais alta do mundo. Seu projeto pode ser considerado um exemplo de Modelo Performativo, visto que a estrutura foi resultado de um processo colaborativo entre os arquitetos holandeses Mark Hemel e Barbara Kuit com o escritório de cálculo estrutural Arup. A forma foi desenvolvida com o auxílio de ferramentas digitais de design paramétrico, de tal maneira a se buscar a otimização da estrutura.

**Quadro 1:** Torres construídas com hiperboloide de uma folha

Torre Shabolovka	Torre de Kobe	Torre de Canton
País: Rússia	País: Japão	País: China
Ano de construção: 1920	Ano de construção: 1963	Ano de construção: 2009
Altura: 160 metros	Altura: 108 metros	Altura: 488 metros
		

Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.1.3 Técnicas

As técnicas utilizadas para geração da forma da torre serão a modelagem paramétrica e análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) através de ferramentas computacionais.

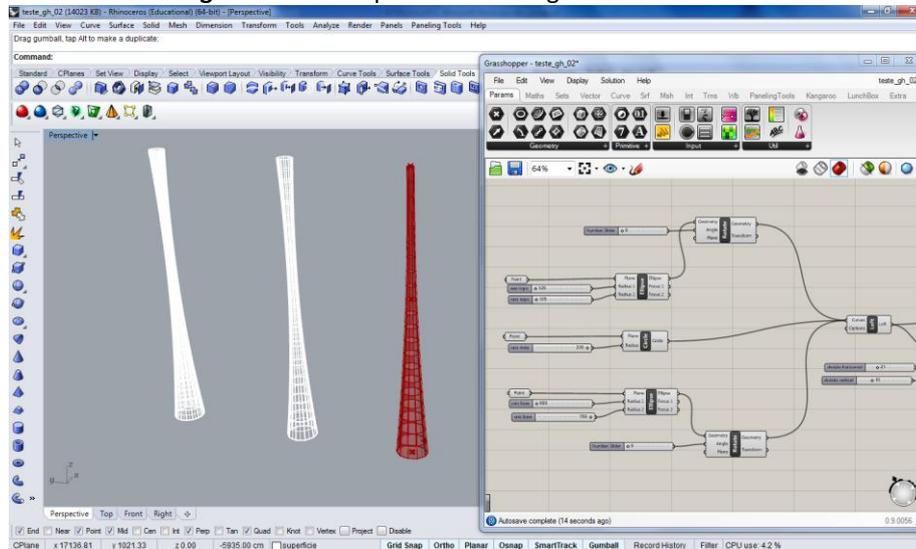
#### 2.1.3.1 Modelagem Paramétrica

Nos Modelos Performativos, a modelagem paramétrica é utilizada principalmente para representação e geração da forma, e está ligada aos mecanismos de otimização e geração. A modelagem paramétrica refere-se à automação de parâmetros baseada na geração de elementos. O método de geração das formas deve ser programado através de algoritmos e da definição das variáveis. Mudando os parâmetros, o design pode ser facilmente controlado e os elementos componíveis da forma são automaticamente redesenhados. A programação de elementos paramétricos pode ser influenciada por diversas variáveis envolvidas no projeto como aspectos estéticos, estruturais e ambientais. No modelo da torre os algoritmos estabeleceram restrições devidas à geometria e aos aspectos de força quantitativos e qualitativos.

##### 2.1.3.1.1 Aplicação da modelagem paramétrica no estudo da torre eólica

No estudo da torre de energia eólica, ter-se-ão duas etapas de geração e análise do modelo paramétrico. Na 1ª etapa, a estrutura será modelada como casca (Fig. 9) com geometria hiperboloide de espessura constante, onde serão testados diversos modelos, variando os diâmetros de base e topo, a espessura da casca e sua geometria. Como método de avaliação, estes modelos serão submetidos à análise pelo MEF. Após a avaliação de alguns modelos, será selecionada a forma que melhor atenda aos critérios estáticos e estéticos.

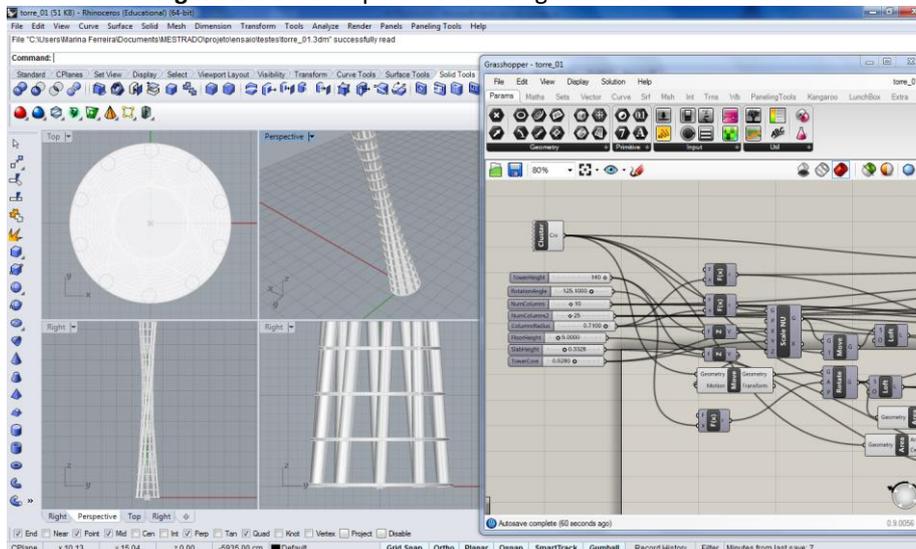
Figura 9: Modelo paramétrico de geometria da casca



Fonte: Elaborado pelos autores

Na 2ª etapa, após a definição da melhor forma em casca da estrutura, será feito o teste com barras (Fig. 10). Para isto, serão aplicadas as definições de barras, moduladas nos sentidos vertical, horizontal e inclinadas. Na vertical, foram definidos que seriam distribuídas de 8 a 16 colunas no perímetro do círculo da base, e estas barras seriam contínuas até o topo, com a mesma quantidade de barras no sentido oposto (princípio do hiperboloide). Na horizontal, a modulação das chapas de travamento da estrutura estaria a princípio com modulação constante, mas esta condição é uma predefinição que pode ser alterada em decorrência das solicitações das cargas e forças atuantes. Barras inclinadas (diagonais) podem ser necessárias para estabilizar adequadamente a estrutura.

Figura 10: Modelo paramétrico de geometria com barras.



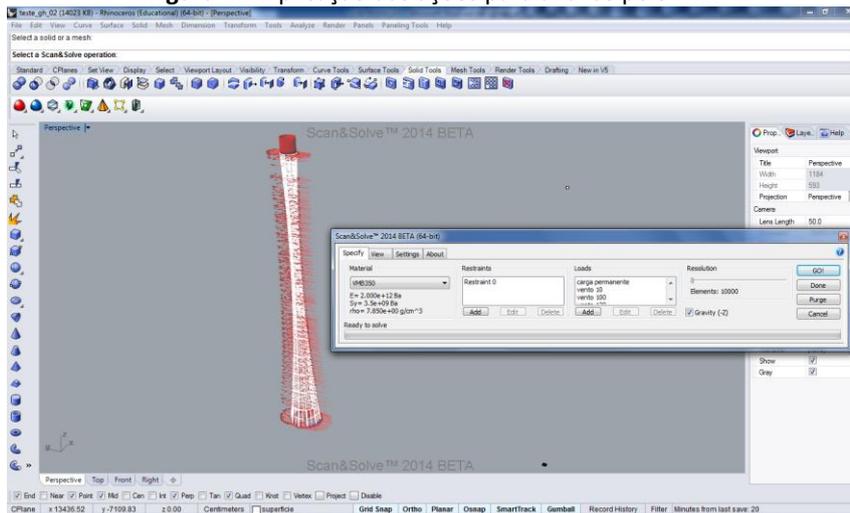
Fonte: Elaborado pelos autores



### 2.1.3.2 Análise por Elementos Finitos

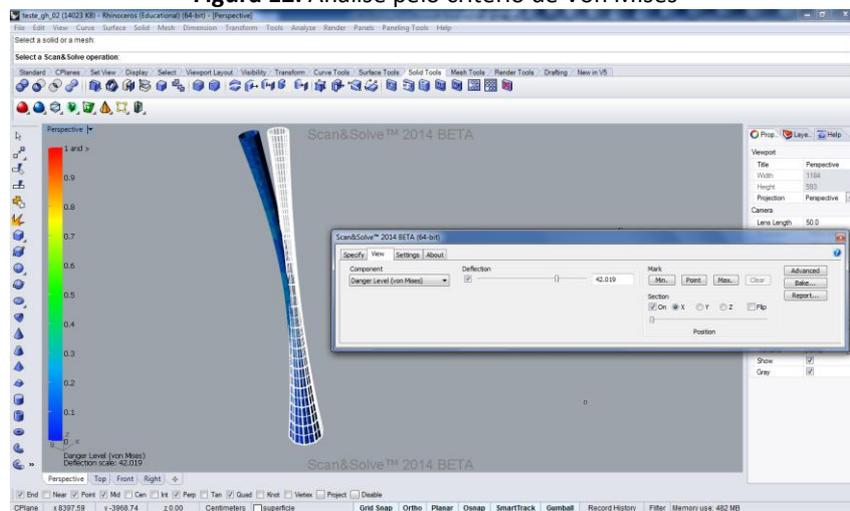
Para avaliação da forma, tanto na 1ª, quanto na 2ª etapa, os modelos serão analisados pelo MEF sob o critério de Von Mises. Para tal, serão aplicadas as mesmas forças de equipamentos, o peso próprio da estrutura e as forças de vento (figuras 11, 12 e 13). O aço estrutural de referência para a análise será o VMB-350, que possui resistências ao escoamento e à ruptura de 350 MPa e 485 MPa, respectivamente.

Figura 11: Aplicação das ações para análise pelo MEF



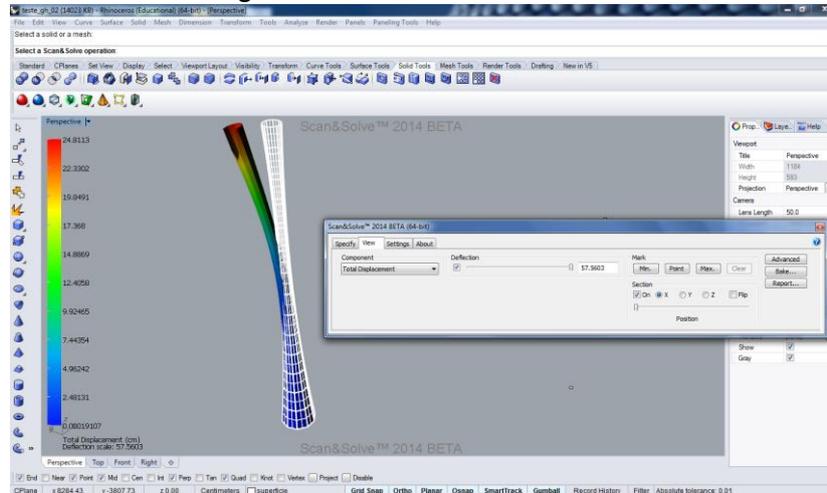
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 12: Análise pelo critério de Von Mises



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 13: Análise dos deslocamentos



Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.1.3.3 Ferramentas computacionais

Para a geração da estrutura tridimensional, foi escolhido o software *Rhinoceros*, por este possibilitar a modelagem tridimensional baseada na tecnologia *Nurbs*, que permite a construção de geometrias curvas e superfícies. O programa foi desenvolvido para ser um *plugin* do programa *AutoCad*, mas rapidamente tornou-se um aplicativo independente. Por suas possibilidades de modelagem, é um programa amplamente utilizado em design e engenharia mecânica.

A principal vantagem do *Rhinoceros* é a infinidade de *plugins* que estão sendo desenvolvidos para ele. O *plugin* mais popular para o desenvolvimento de design generativo é o *Grasshoper*, disponibilizado gratuitamente por seus desenvolvedores. Sua interface funciona através de diagramas, onde são desenvolvidos parâmetros, e estes resultam em formas na interface do *Rhinoceros*. Os parâmetros vão sendo modificados interativamente com a visualização dos modelos tridimensionais.

As figuras 09 e 10 mostram o desenvolvimento do modelo da torre no *Rhinoceros* juntamente com o *Grasshoper*. Na primeira tela, foram definidos no *Rhinoceros* pontos que determinam a geometria a ser seguida pela estrutura. À direita da tela, foram estabelecidos os parâmetros de geração da forma através do diagrama do *Grasshoper*. As telas seguintes mostram os testes de parâmetros e seus resultados na geometria da estrutura. Neste caso, os parâmetros eram referentes à curvatura da estrutura, ao espaçamento e seção transversal das barras.

Para a análise estrutural, será utilizado o *plugin Scan&Solve* para *Rhinoceros* (figuras 11, 12 e 13) que tem sua base de funcionamento nos sólidos tridimensionais gerados por este programa. O *Scan&Solve* pode ser aplicado em todos os problemas de MEF, incluindo transferência de calor, elasticidade, vibração natural, torção, etc. Para a análise, é necessário que se tenha um sólido modelado, onde primeiramente se seleciona o material, seleciona as restrições da estrutura, aplicam-se os carregamentos (ponto de aplicação no modelo e valores) e adota-se o critério de dimensionamento, que no caso será ao limite de tensões ao valor de Von Misses.



A vantagem de se utilizar os plug-ins *Grasshoper* e *Scan&Solve* é a interoperabilidade, tendo sua base de funcionamento no programa *Rhinoceros*, evitando que o sólido seja exportado para outro programa e haja a necessidade de readaptação da malha.

#### 2.1.3.4 Interoperabilidade

No processo de desenvolvimento da torre eólica serão testadas diversas geometrias, com diversas condições de contorno, e a variação de seções transversais de barras. A intenção é que o processo de concepção e análise seja iterativo e que se repitam várias vezes até encontrar dentre as diversas possibilidades uma solução que contemple de forma eficaz. Portanto, é imprescindível que haja interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas. Para tanto, a escolha do *Grasshoper* para a parametrização do modelo e do *Scan&Solve* para análise estrutural atendem este requisito devido à base do modelo estar sempre no mesmo ambiente, que seria o programa *Rhinoceros*.

#### 2.1.3.5 Colaboração

A colaboração entre projetistas é fundamental para um processo de Modelo Performativo. A forma passa a ser o resultado de um processo que envolve projetistas de várias especialidades, buscando otimização e desempenho. Desta maneira, a relação de autoria se modifica, não sendo mais o arquiteto o único autor da forma final. Mas ainda assim, o arquiteto mantém o controle conceitual das definições; o que ocorre é uma mudança de filosofia, onde a prioridade está relacionada ao conceito e não ao desenho de uma forma determinística.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Resultados

Até o momento, está sendo desenvolvida a 1ª etapa do trabalho de geração e análise da casca. Já foram detectadas algumas soluções com relação à geometria e a forma de análise. Após a definição da casca, será testado um novo algoritmo para teste de barras similar ao mostrado na figura 10. Espera-se encontrar uma forma ótima no final do processo, mas o principal resultado esperado está em se avaliar a eficiência e a importância do desenvolvimento de um Modelo Performativo na geração de estruturas complexas. A modelagem paramétrica permite a geração de uma infinidade de modelos, ampliando a gama de soluções da forma desenvolvida pelo projetista. Além disto, o processo de avaliação também é ampliado, visto que se podem avaliar várias formas através de análise por Elementos Finitos. A interoperabilidade entre os softwares utilizados tem sido fundamental no processo, devido à facilidade de se gerar e avaliar em um curto período de tempo.

Através da metodologia investigada, espera-se que o processo colaborativo entre engenheiros e arquitetos envolvidos neste projeto gere a melhor estrutura dentre as possibilidades, resultando em uma forma não só esteticamente interessante ou somente estaticamente eficiente, mas o resultado de uma combinação destes dois critérios.



### 3.2 Discussões

O Modelo Performativo é uma hipótese de desenvolvimento de projetos colaborativos entre arquitetos e engenheiros, tendo as ferramentas digitais como intermediárias do processo. Avanços tecnológicos propiciaram suporte para a geração deste tipo de modelo.

A modelagem paramétrica muda a cultura de geração da forma, uma vez que o conceito formulado pelo arquiteto é mais importante do que a tipologia. As ferramentas digitais exigem dos projetistas cada vez mais conhecimento de softwares e programação. Ao mesmo tempo em que se propõem a ser facilitadoras, também podem gerar entraves no projeto devido à dificuldade de se manipular alguns softwares. Estas dificuldades podem levar ao abandono do processo, mas uma vez superadas, levam a resultados mais eficientes.

Não se pode afirmar que os Modelos Performativos melhorem a solução arquitetônica, pois em muitos casos vistos na literatura pode-se notar que a forma final é muito próxima da forma desejada no início do processo.

Neste trabalho, foi feito um recorte para se estudar Modelos Performativos apenas com relação ao projeto estrutural, mas este processo baseado em desempenho pode ser ampliado para os mais diversos aspectos do projeto, podendo vislumbrar problemas de projeto e antecipar conflitos, encaminhando para soluções mais eficientes e que melhor atendam às questões de desempenho funcional [3].

### 4 CONCLUSÃO

O projeto performativo é colaborativo, interdisciplinar, multiprocessual e complexo. Esta abordagem de projeto exige uma mudança de cultura entre projetistas. No caso de aplicação ao desenvolvimento de uma forma estrutural, arquitetos e engenheiros devem trabalhar em um processo colaborativo, em que as informações de projeto devam ter seu fluxo facilitado para todos os envolvidos na tomada de decisões. A junção de diferentes disciplinas envolvidas no projeto apresenta melhorias no desempenho da estrutura gerada, o que impacta diretamente em questões relativas ao custo de construção. As tecnologias digitais baseadas em algoritmos propiciam uma facilidade de manipulação da forma da estrutura, o que dentro do processo de avaliação, cria métodos de previsão da forma que permitem a racionalização do conceito através de dados numéricos. Através dos modelos gerados, podem ser avaliados os aspectos de carga, o que permite uma extrapolação da forma, até se atingir os resultados desejados para uma otimização estrutural.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro em forma de fomento à pesquisa concedido pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) no ano de 2013.



## REFERÊNCIAS

- 1 OXMAN, R.; OXMAN, R. (Editores Convidados). **The New Structuralism: design, engineering and Architectural Technologies**. In: *Architectural Design*. Wiley, Londres, Jul./Aug. 2010.
- 2 KOLAREVIC, B. **Performative Architecture beyond instrumentality**. Nova Iorque: Spon Press; 2005.
- 3 ANDRADE, Max; RUSCHEL, Regina Coeli. **Projeto Performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual** [doutorado]. Campinas: Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP; 2012.
- 4 BURRY, Jane; BURRY, Mark. **The New Mathematics of Architecture**. Nova Iorque: Tames & Hudson, 2010.
- 5 MOUSSAVI, Farshid. **The Function of Form**. Nova Iorque: Universidade de Harvard, 2009.
- 6 V&M DO BRASIL. **Tubos Estruturais, Seção Circular, Quadrada e Retangular**. Catálogo disponível <[http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/2F0D885B9F9AC58983257A790050CFB2/\\$File/Catalogo%20de%20Tubos%20Estruturais%202012-2.pdf](http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/2F0D885B9F9AC58983257A790050CFB2/$File/Catalogo%20de%20Tubos%20Estruturais%202012-2.pdf)>. Acesso em: 28 de maio de 2014.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- 8 LIVIO, Mario; **Razão Áurea: A História de Fi, um Número Surpreendente**. São Paulo: Ed. Record, 2006.
- 9 RODRIGUES, J.S.; OLIVER, L; NÁPOLES, S. **Formas & Fórmulas**. Universidade de Lisboa, Catálogo de exposição (2012-2013). Lisboa: Museu Nacional de História Natural e da Ciência [s.n], 2012, 118p.



Tema: Projeto de Estruturas de Aço

## **SUBSÍDIOS PARA O PROJETO ESTRUTURAL DE TORRES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA\***

Vanessa Vanin<sup>1</sup>

Zacarias Martin Chamberlain Pravia<sup>2</sup>

### **Resumo**

As torres de transmissão desenvolvem um papel de extrema importância na transmissão de energia, uma vez que elas dão o suporte às linhas de transmissão. São estruturas compostas de perfis cantoneira e demais elementos construtivos que, por serem uma estrutura leve e esbelta, têm na ação do vento o maior agente causador de esforços. A obtenção de subsídios que garantam o correto dimensionamento das torres de transmissão é necessária, a fim de eliminar o maior número de incertezas envolvidas em seu projeto, sendo este o objetivo principal do presente trabalho. Tomando por base a ABNT NBR 5422 – 1985, “projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica” (1), e a ABNT NBR 6123, “forças devidas ao vento em edificações” (2) que fornecem isopletras de vento para cada região do país e demais delineamentos para o projeto e a literatura existente sobre o tema foi desenvolvido um projeto da superestrutura de uma torre de transmissão, levando em conta as configurações dos modelos existentes e a metodologia de análise estrutural. A modelagem foi feita com o auxílio dos softwares SAP2000 para análise de estabilidade e MCalc4D para dimensionamento.

**Palavras-chave:** Torres de transmissão; Estruturas de aço; Projeto.

## **SUBSIDIES FOR STRUCTURAL DESIGN OF TRANSMISSION TOWERS**

### **Abstract**

The transmission towers develop a role of great importance in the transmission of energy, once they give support to the transmission lines. Trusses are structures composed of angle sections and other construction elements which, being a lightweight and slender structure, have in the wind its greatest internal force effect. Procedure to ensure the correct design of transmission towers is necessary in order to eliminate as many uncertainties involved in its project, this is the main objective of the present work. Based on the ABNT NBR 5422 - 1985, "Design of overhead transmission lines of electricity," and ABNT NBR 6123, "due to wind forces on buildings", that provide curves of wind for each region of the country and other guidelines for the project and the existing literature on the subject a project of the superstructure of a transmission tower, taking into account the settings of existing models and the methodology of structural analysis was developed. The modeling was done with the assistance of SAP2000 for stability analysis and MCalc4D for the design of elements and splices.

**Keywords:** Transmission towers; Steel structures; Design.

<sup>1</sup> Acadêmica de Engenharia Civil na Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor Engenharia Civil, Professor na Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma matriz energética diversificada, porém, por suas características geográficas e seus abundantes recursos hídricos, tem-se como principal meio de geração de energia as usinas hidrelétricas (68% da energia gerada no país), sendo, também, em menor escala, gerada por meio de usinas termoelétricas (21%), usinas nucleares (1,74%) e eólicas (0,62%). O restante é importado da Argentina, do Uruguai, do Paraguai e da Venezuela.

Tendo em vista que, geralmente, essas usinas são construídas afastadas de centros consumidores (cidades e indústrias), a energia elétrica tem de percorrer grandes distâncias e esse trajeto se dá por um complexo sistema de transmissão, composto basicamente por condutores de fase, cabos para-raios, sistema de aterramento e torres de transmissão.

As principais finalidades das torres de transmissão de energia elétrica consistem em dar sustentação às linhas de transmissão, bem como garantir seu espaçamento entre os cabos para-raios e os condutores de fase, sendo estruturas de suma importância para o funcionamento do sistema e que necessitam de um elevado grau de segurança, visto que seu colapso teria como consequência prejuízos econômicos e culturais, além de pôr em risco um número considerável de vidas.

A obtenção de subsídios para o dimensionamento de torres de transmissão de energia elétrica, de modo a reduzir o grau de incerteza em seu dimensionamento o possível, a fim de que o comportamento da estrutura seja adequado sem o superdimensionamento desta, levando em conta o fato de se tratar de estrutura esbelta e de baixo peso, onde, sabidamente, o maior agente causador de esforços é o vento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados, nesse trabalho, referências e normas técnicas como fonte de pesquisa para avaliar posteriormente os resultados do trabalho. Iniciou-se este trabalho pelo Estudo da influência do vento no dimensionamento de torres de transmissão, que foi realizada por meio de revisão bibliográfica e estudo da norma, onde se observou a influência exercida pelo vento no dimensionamento e quais problemas podem ocorrer após a execução de um projeto quando sua influência não é corretamente estimada.

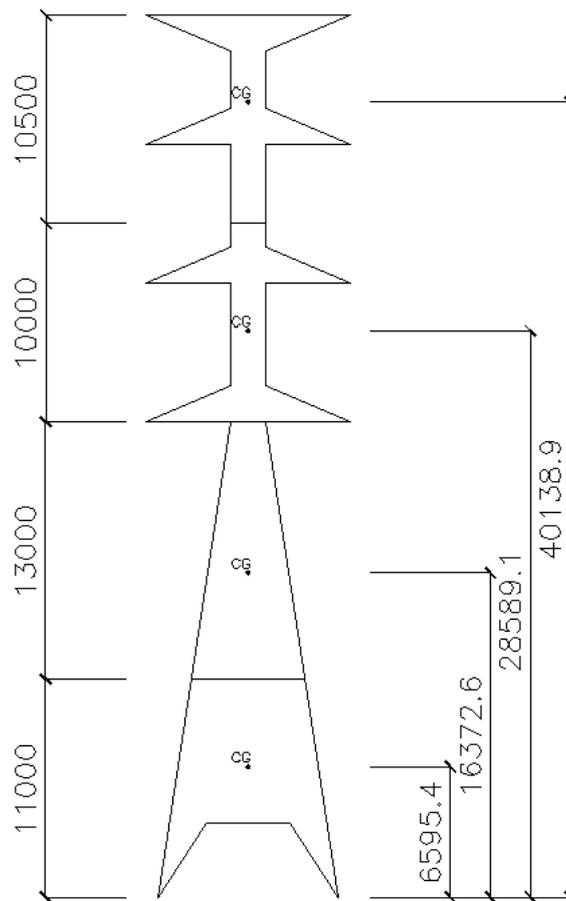
Foi realizado também um estudo das configurações de modelos de torres onde foram estudados os diversos modelos existentes de torres e suas configurações, assim como o método de análise da estrutura que se deu por meio do método de elementos finitos.

Por fim dimensionou-se uma torre de transmissão de energia, levando em conta todos os subsídios obtidos com o estudo da influência do vento e das configurações dos modelos existentes, utilizando-se de softwares de elementos finitos para realizar a modelagem desta.

## 2.1 CÁLCULO DO VENTO

O cálculo dos esforços impostos pelo vento na estrutura de uma torre de transmissão requer muita atenção, já que sua incidência causa grandes solicitações na estrutura, superiores ao causado, por exemplo, pelo peso próprio.

Figura 1: Divisão dos Trechos para o cálculo de vento (medidas em mm)



Tendo em vista a importância da correta estima das forças do vento, fez-se uso das normas ABNT NBR 6123 "Forças devidas ao vento em edificações" (2), e a ABNT NBR 5422 "Projetos de linhas aéreas de transmissão de energia" (1). Em ambos os casos, calculou-se o vento a 0°, 45° e 90°. Para tanto, é necessário compatibilizar os intervalos de integração para o mesmo tempo de exposição.

Dividiu-se a estrutura em quatro trechos e tomou-se o centro de gravidade desses trechos como referência de altura nos cálculos de vento conforme mostrado na Figura 1.



### 2.1.1 Cálculo do Vento segundo a ABNT NBR 6123

A ABNT NBR 6123 estabelece as diretrizes para o cálculo de forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

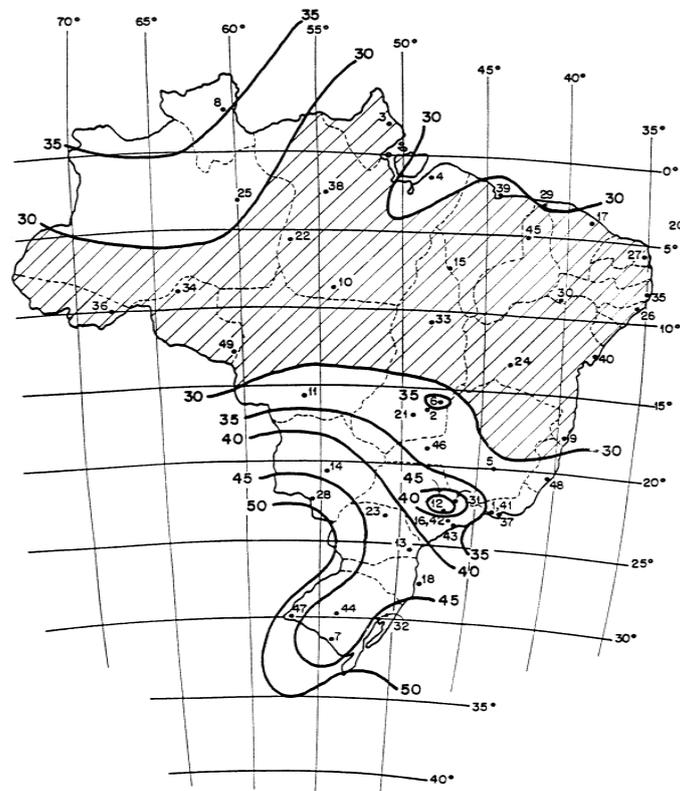
Buscando estimar a velocidade característica do vento  $V_k$  e a pressão dinâmica do vento  $q$ , apresenta-se o procedimento de cálculo.

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (m/s)(1)$$

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (N/m^2)(2)$$

A velocidade básica do vento  $V_0$  é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida, em média, uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno em campo aberto e plano. A figura 01 mostra o mapa das isopletas com as velocidades básicas no Brasil, com intervalo de 5 m/s.

Figura 2: Mapa das Isopletas da velocidade básica do vento no Brasil.



Fonte: ABNT NBR 6123

### 2.1.2 Cálculo do vento segundo a ABNT NBR 5422

Esta norma fixa as condições mínimas para o projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

Para a determinação da pressão dinâmica de referência  $q_0$  e das forças de vento sobre os cabos, isoladores e torre (suporte), é necessário o cálculo da velocidade de vento de projet  $V_p$ . Seu cálculo é obtido pela equação abaixo para uma altura  $H(m)$  acima do terreno:



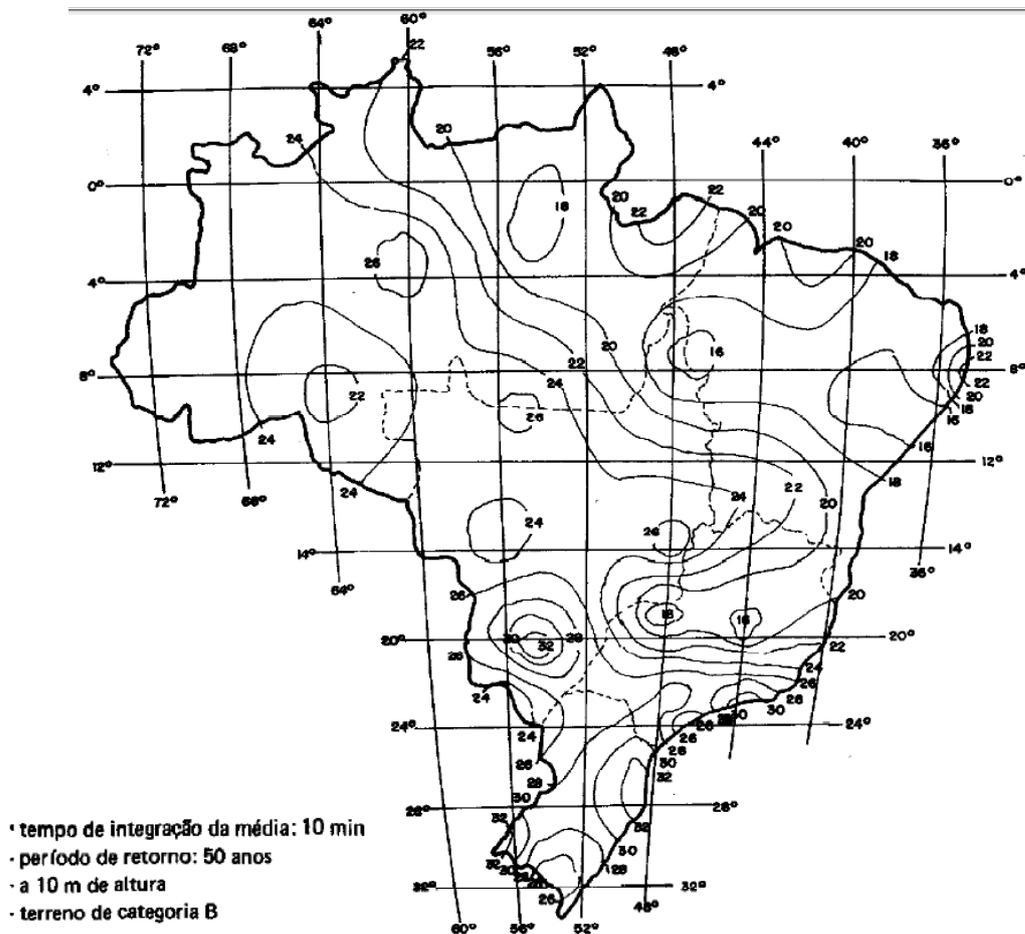
$$V_p = K_r K_d \left( \frac{H}{10} \right)^{\frac{1}{n}} V_b \quad (m/s) \quad (3)$$

Onde:

$V_b$  é a velocidade básica de vento;

$K_r$ ,  $K_d$  e  $n$  são fatores para ajuste de  $V_b$  em função da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo associado às dimensões da rajada a ser utilizada.

Figura 3: Mapa das Isopletas da Velocidade Básica do Vento



Fonte: ABNT NBR 5422

A velocidade básica é corrigida segundo as condições de projeto, a partir dos coeficientes  $K_r$ ,  $K_d$  e  $n$ .

### 2.1.3 Correção dos tempos de Integração

Foram corrigidos os valores dos tempos de integração para 10 minutos.

$$S_2 = b \times F_r \times \left( \frac{z}{10} \right)^p \quad (4)$$



b 1,00  
p 0,15  
Fr 0,69

Utilizando a equação acima e substituindo os valores na mesma, ficaremos com uma velocidade corrigida para 10 metros acima do solo de:

$$V_p(10 \text{ min}) = 0,69 V_0 \text{ (m/s)}(5)$$

Considerando  $S_3 = 1,10$

$$V_p(10 \text{ min}) = 0,69 \times 45 \text{ (m/s)}(6)$$

$$V_p(10 \text{ min}) = 34,5 \text{ (m/s)}(7)$$

Koeller (2012) utiliza a equação contrária para corrigir o tempo de integração para o vento da ABNT NBR 5422.

$V_b = 30 \text{ m/s}$ , com tempo de integração de 10 minutos para 3 segundos, teremos:

$$V_b(10 \text{ min}) = \frac{V_0}{0,69} \text{ (m/s)}(8)$$

$$V_b(10 \text{ min}) = 43,5 \text{ (m/s)}(9)$$

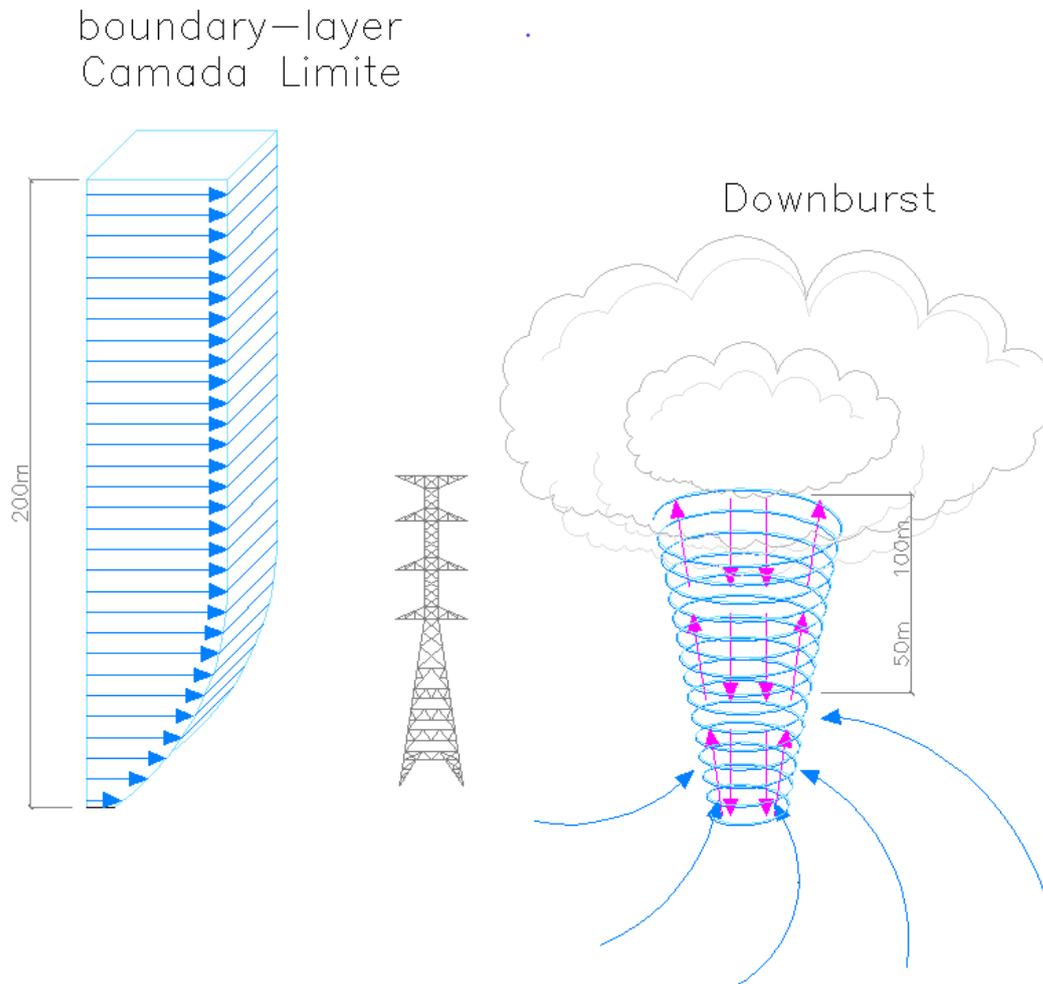
## 2.2 Ventos Downburts

A estimativa das ações dos ventos em torres de transmissão é feita utilizando o método da camada limite (ABNT NBR 5422 e ABNT NBR 6123), onde se assume que a velocidade do vento aumenta exponencialmente com a altura.

Porém, as ações impostas por ventos *downburts* podem superar e muito as consideradas pelo método da camada limite, o que expõe as torres de transmissão a solicitações não quantificadas, onde provavelmente será atingido o carregamento mais severo em sua vida útil.

Diferente do vento de camada limite, o vento downburst, geralmente, tem sua velocidade máxima atingida em algum ponto entre 50 m a 100 m de altura. Além disso, a velocidade do vento num downburst é uma função de localização no plano horizontal em relação à tempestade e varia com o tempo, bem como sendo dependentes da altura. A distribuição também é influenciada pela velocidade de translação da tempestade.

Figura 4: Diferença de comportamento entre ventos *downburst* e camada limite.



Perto do centro do Downburst, há uma componente de queda (negativo) significativa para o vento, o que reduz a força de um ponto ligeiramente. Existe uma região de velocidades de vento positivas para além deste ponto e a grandes distâncias radiais da velocidade do vento é 0. Isto é contrário aos ventos da camada limite, que se assume não ter nenhum componente média da velocidade do vento na direção vertical.

Considerando que uma camada limite de vento pode ser pensada como tendo uma velocidade média constante a uma dada altura ao longo de grandes áreas e por longos períodos de tempo, o campo de vento Downburst simulado está altamente localizado e mostra a variação na intensidade com diferentes proximidades da tempestade e com duração variável do evento.

## 2.3 CARGAS E COMBINAÇÕES

### 2.3.1 Cargas Permanentes

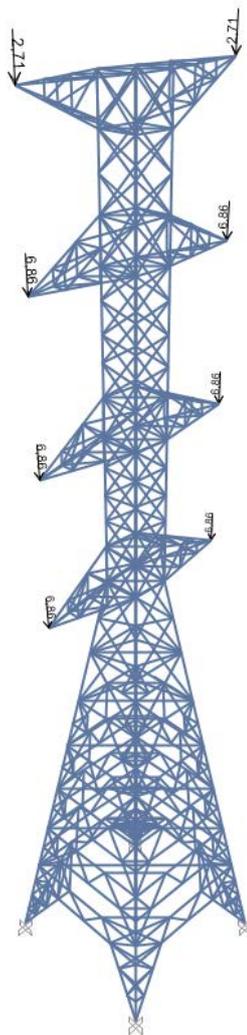
A carga permanente será devida ao peso próprio da estrutura e seus componentes, mais a protensão (Rodrigues apud Koeller 2012).



- Cabos Condutores: 5,86 kN.
- Cabos Para-raios: 1,71 kN.
- Isoladores: 1,0 kN.

O peso próprio da torre treliçada é calculado automaticamente pelo programa de elementos finitos SAP2000.

Figura 5: Carga permanente aplicada





### 2.3.2 Cargas devidas ao vento

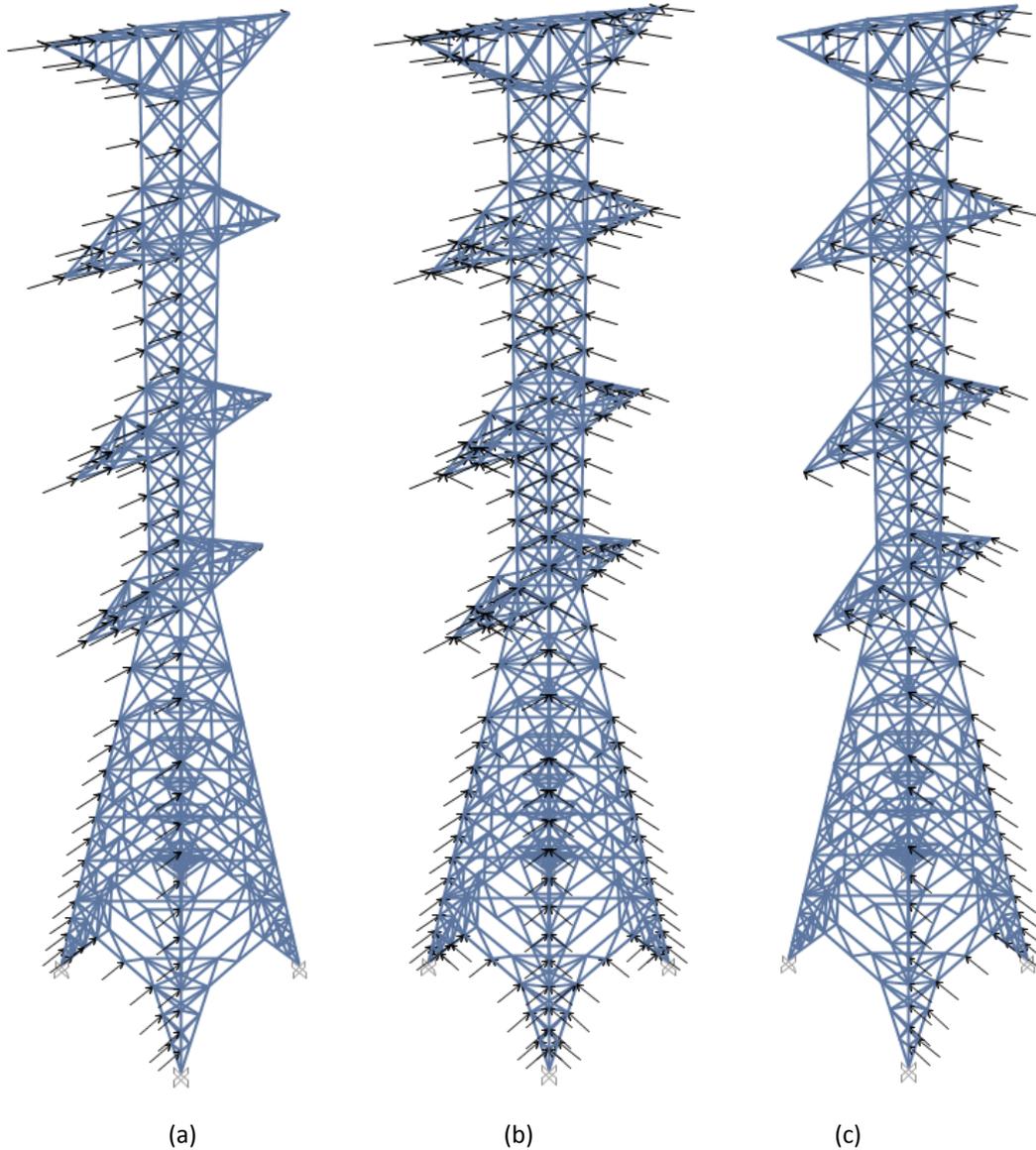
Tabela 1: Cargas devidas ao vento sem correção do tempo de integração

	Altura (m)	NBR 5422			NBR 6123		
		Força devida ao Vento (kN)			Força devida ao Vento (kN)		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°
Ação do Vento nos Cabos	24,00	4,01	2,01	4,01	15,57	7,78	15,57
	31,07	4,21	2,10	4,21	16,31	8,15	16,31
	38,07	4,36	2,18	4,36	16,92	8,46	16,92
	44,50	4,49	2,24	4,49	17,40	8,70	17,40
Ação do Vento nos Isoladores	24,00	3,39	3,39	3,39	0,14	0,14	0,14
	31,07	3,55	3,55	3,55	0,15	0,15	0,15
	38,07	3,68	3,68	3,68	0,16	0,16	0,16
	44,50	3,79	3,79	3,79	0,16	0,16	0,16
Ação do Vento no Suporte	6,60	0,04	0,56	0,04	8,48	5,26	8,48
	16,37	0,08	1,01	0,08	14,22	9,48	14,22
	28,59	0,04	0,26	0,04	4,97	2,34	4,97
	40,17	0,04	0,29	0,04	5,43	2,63	5,43

Tabela 2: Cargas devidas ao vento com correção do tempo de integração para 10 min

	Altura (m)	NBR 5422			NBR 6123		
		Força devida ao Vento (kN)			Força devida ao Vento (kN)		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°
Ação do Vento nos Cabos	24,00	4,21	2,11	4,21	4,56	3,23	4,56
	31,07	4,42	2,21	4,42	4,93	3,48	4,93
	38,07	4,58	2,29	4,58	2,00	3,70	2,00
	44,50	4,71	2,36	4,71	5,49	3,88	5,49
Ação do Vento nos Isoladores	24,00	7,11	7,11	7,11	0,08	0,06	0,08
	31,07	7,46	7,46	7,46	0,09	0,06	0,09
	38,07	7,74	7,74	7,74	0,10	0,07	0,10
	44,50	7,96	7,96	7,96	0,10	0,07	0,10
Ação do Vento no Suporte	6,60	0,08	1,17	0,08	4,25	1,87	4,25
	16,37	0,16	2,13	0,16	7,96	3,75	7,96
	28,59	0,09	0,55	0,09	2,98	0,99	2,98
	40,17	0,09	0,61	0,09	3,38	1,16	3,38

Figura 6: Carga devida à ação do vento a  $0^\circ$  (a),  $45^\circ$  (b) e  $90^\circ$  (c)



#### 2.4 COMBINAÇÕES

A ABNT NBR 8800 (3) define as combinações que devem ser empregadas no dimensionamento de estruturas de aço, levando em consideração a probabilidade que estas têm de atuarem simultaneamente na estrutura.

As combinações devem ser feitas de forma a prever a pior situação para a estrutura, a verificação dos estados-limites últimos e estados-limites de serviço e devem ser realizadas em função das combinações últimas e das combinações de serviço respectivamente.



### 2.4.1 Combinação última

Uma combinação última de serviço pode ser classificada em normal, especial, de construção e excepcional.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{Gi} F_{Gi,k}) + (\gamma_{Qi} F_{Qik}) + \sum_{j=2}^n (\gamma_{Qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (10)$$

Onde:  $F_{Gik}$  representa os valores característicos das ações permanentes e  $F_{Qi}$  é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação.

- Combinações últimas normais:

$$F_d = (1,25 F_{Qik}) + (1,40 F_{Qik}) \quad (11)$$

- Combinações últimas especiais ou de construção:

$$F_d = (1,15 F_{Qik}) + (1,20 F_{Qik}) \quad (12)$$

- Combinações últimas excepcionais:

$$F_d = (1,10 F_{Qik}) + (1,00 F_{Qik}) \quad (13)$$

### 2.4.2 Combinação de serviço

As combinações de serviço são classificadas de acordo com sua permanência na estrutura em quase permanentes, frequentes e raras.

- Combinações quase permanentes de serviço:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (14)$$

$$F_{ser} = F_{Qik} \quad (15)$$

- Combinações frequentes de serviço:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Ql,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (16)$$

$$F_{ser} = F_{Qik} + 0,3 F_{Ql,k} \quad (17)$$

- Combinações raras de serviço:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Ql,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (18)$$

$$F_{ser} = F_{Qik} + F_{Ql,k} \quad (19)$$



## 2.5 CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA E ESTABILIDADE DE TORRES DE TRANSMISSÃO

A concepção geométrica de uma torre de transmissão está diretamente associada a sua estabilidade. Um procedimento a seguir para definir a concepção é avaliar a estabilidade do modelo, através da resolução do problema de autovalor, que fornece como resultado os modos de deformação e os valores associados à ação imposta no modelo ( $\lambda$  - parâmetro de carga crítica).

Certas magnitudes de carga  $P_{cr}$  ( $P_{cr} = \lambda.P$  carga crítica de flambagem) tornam a estrutura instável, devido a relações não lineares entre tensão axial e deslocamento, levando a mesma a sofrer deformações permanentes. Nestes casos, a análise linear elástica, que é normalmente empregada, não representa o real comportamento da estrutura, já que nela considera-se um estado de equilíbrio estático.

O perfil cantoneira é de uso comum no projeto e na construção de torres de transmissão, por suas ligações serem de fácil execução e por possuir boa resistência tanto à tração quanto à compressão. Esses perfis necessitam de contraventamentos secundários, a fim de diminuir o comprimento destravado e aumentar a resistência à flambagem dos elementos principais e dos contraventamentos primários.

As figuras 8 e 9 a diferença de comportamento entre as estruturas, sendo que a estrutura sem as devidas contenções laterais flambagem global para ações de pouca monta. Já, na estrutura corretamente contida lateralmente, o fator de carga crítica é superior e não é verificada flambagem global da estrutura.

Figura 7: Elementos de uma torre treliçada

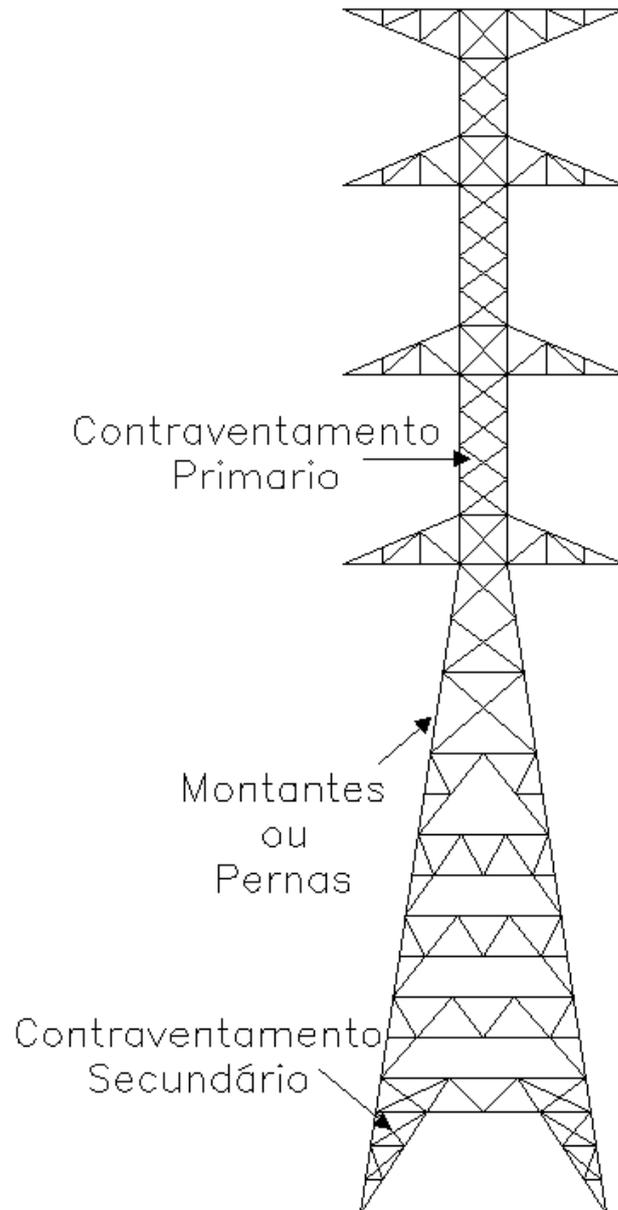


Figura 8: Estrutura sem contenções laterais bastantes

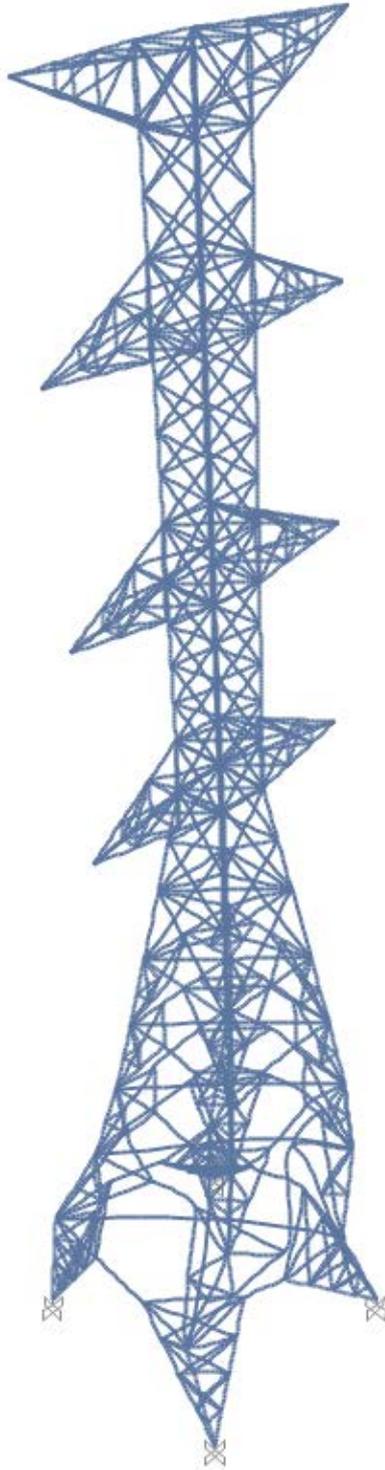
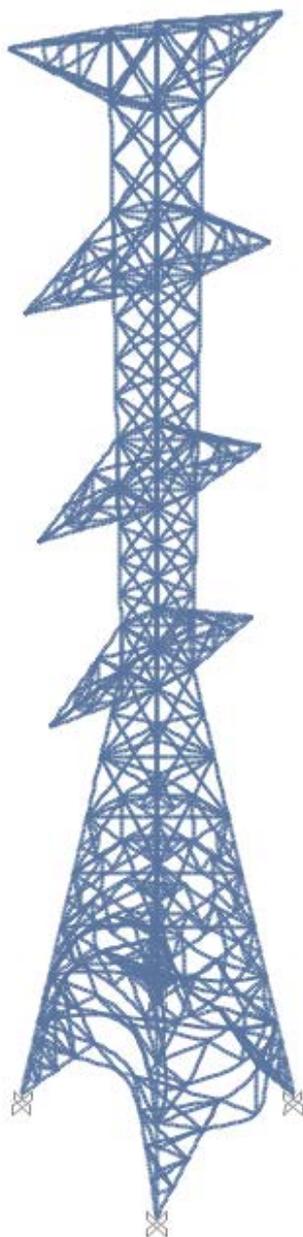


Figura 9: Estrutura com contenções laterais



A avaliação quanto à estabilidade da estrutura foi feita utilizando o programa de elementos finitos Sap2000. Ao todo, foram analisados 12 modos de flambagem e em todos houve aumento no fator de resistência ao carregamento na estrutura com contenções laterais.



O dimensionamento de uma torre de transmissão procede da mesma forma como em qualquer outra estrutura de aço, sendo esses dimensionados à tração, compressão e flexão.

### 2.6.1 Dimensionamento à Tração

Segundo Chamberlain (5), um elemento tracionado apresenta diferentes distribuições de tensões na sua seção devido à forma de fixação de suas extremidades. Nas seções abertas tracionadas, quando em regime elástico, elevadas concentrações de tensão são visualizadas nas bordas dos furos, porém, quando em regime plástico, a distribuição das tensões é uniforme, em razão da característica dúctil dos aços estruturais.

Assim, a força normal de tração resistente de cálculo,  $N_{t,Rd}$ , a ser considerada no dimensionamento, é o menor valor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limite de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir.

- Para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma} \quad (20)$$

- Para ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma} \quad (21)$$

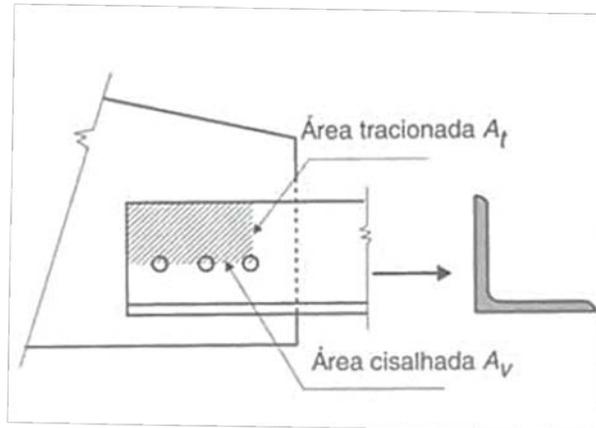
A esbeltez de uma barra é a relação entre o seu comprimento e o raio de giração transversal. Nas peças tracionadas, a esbeltez é limitada para que os efeitos de vibração sejam reduzidos, pois a esbeltez não é um fator fundamental, já que a natureza da tração proporciona retilidade. Na prática, aconselha-se seguir os seguintes limites de esbeltez.

- Peças principais:  $\lambda \leq 240$ ;
- Peças secundárias:  $\lambda \leq 300$ ;
- Peças compostas:  $\lambda \leq 240$ .

#### 2.6.1.1 Cisalhamento de bloco

Segundo Pfeil e Pfeil (16), no caso de perfis de chapas finas tracionadas, além da ruptura da seção líquida, o colapso por rasgamento ao longo de uma linha de conectores pode ser determinante no dimensionamento, conforme ilustrado na Figura 11: Colapso por cisalhamento de bloco.

Figura 11: Colapso por cisalhamento de bloco



Fonte: Pfeil e Pfeil (2008)

A resistência é calculada com a seguinte expressão:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{az}} (0,60 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \leq (0,60 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \quad (22)$$

Onde:

$0,60 f_u$  e  $0,60 f_y$  são respectivamente as tensões de ruptura e escoamento a cisalhamento do aço;

$A_{nv}$  e  $A_{gv}$  são respectivamente as áreas líquidas e brutas cisalhadas;

$A_{nt}$  é a área líquida tracionada;

$C_{ts}$  1,00 para tensão de tração uniforme.

### 2.6.2 Dimensionamento a Compressão

Elementos axialmente comprimidos apresentam distribuição constante de tensões quando solicitados. O colapso é caracterizado por instabilidade ou flambagem provocados pela Flexão. A instabilidade pode ocorrer entre as extremidades dos elementos, denominada flambagem global, ou se localizar em pontos específicos ao longo da barra, flambagem local. Essa última é caracterizada pelo aparecimento de deslocamentos transversais à chapa (elemento da seção), formando ondulações. A esbeltez da chapa é fato determinante do limite de resistência à flambagem.

A resistência de cálculo de elementos axialmente comprimidos, sujeitos à flambagem por flexão e flambagem local devem atender à seguinte condição.

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (23)$$

Onde:

$N_{c,Sd}$  é a força axial de compressão solicitante de cálculo;



$N_{c,Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo.

A força axial solicitante de cálculo ( $N_c, S_d$ ) é a resposta da análise estrutural considerando todos os possíveis estados-limite a que a estrutura poderá estar solicitada durante sua vida útil.

A força axial resistente à solicitação axial de compressão ( $N_c, R_d$ ), associada a estados-limite de instabilidade por flexão, torção ou flexo-torção, deve ser determinada pela equação que segue.

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma} \quad (24)$$

Onde:

$\gamma$  é o coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,10;

$\chi$  é o fator de resistência à compressão;

$Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local.

O fator de redução associado à resistência a compressão é determinado em função do valor do índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0$ . O índice de esbeltez reduzido é definido pela equação:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (25)$$

Onde:

$N_e$  é a força axial de flambagem elástica.

Com o índice de esbeltez definido, pode-se definir o fator de redução associado à resistência a compressão, que deve enquadrar-se em um dos casos abaixo:

- Para  $\lambda_0 \leq 1,5$

$$\chi = 0,658 \lambda_0^2 \quad (26)$$

- Para  $\lambda_0 > 1,5$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (27)$$

A força axial de inércia resistente de flambagem elástica é definida em verificação para as situações de flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia  $x$  da seção transversal, para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia  $y$  da seção transversal e para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal  $z$ .

- Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia  $x$  da seção transversal.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \quad (28)$$

- Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia  $y$  da seção transversal.

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (29)$$

- Para flambagem por flexão em relação ao eixo central longitudinal z.

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (30)$$

### 2.6.3 Dimensionamento à flexão

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e à força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (31)$$

Onde:

$M_{Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo;

$M_{Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo;

Devem ser verificados todos os estados-limites de serviço aplicáveis. O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser determinado de acordo com o Anexo G ou H.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi utilizado, para as análises lineares e para o dimensionamento da estrutura, o programa mCalc 3D da Stabile, a estrutura foi dividida em grupos para padronizar seu dimensionamento.

Figura 12: Deslocamento máximo no topo da torre de transmissão em mm

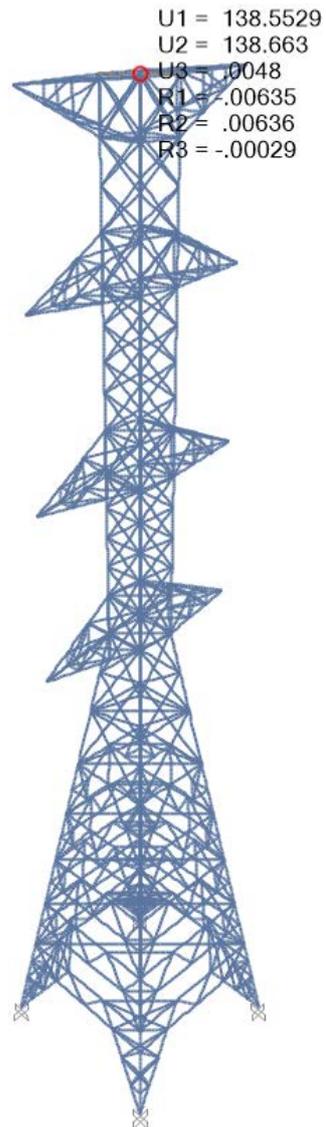


Figura 13: Diagramas dos esforços normais causados pelo carregamento do vento a  $0^\circ$  (a),  $45^\circ$  (b) e  $90^\circ$  (c)

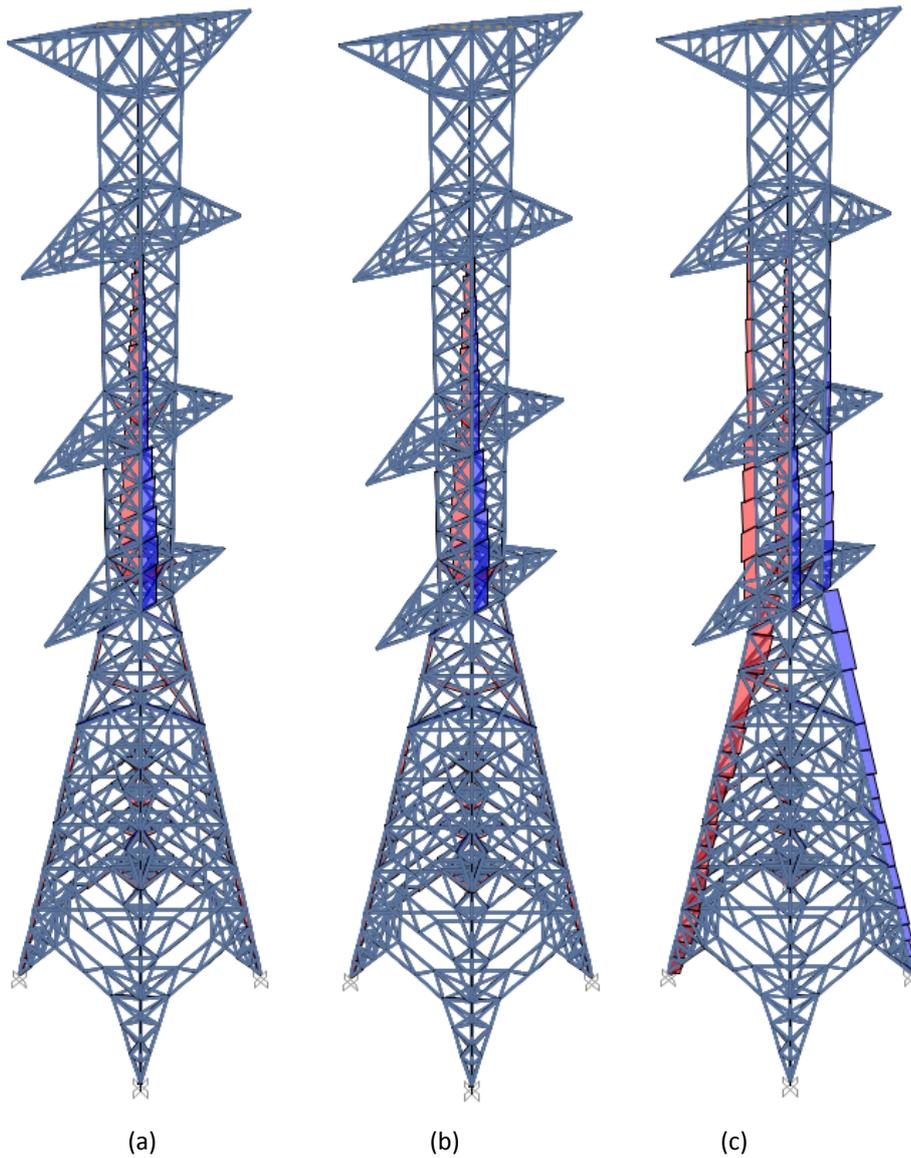


Figura 14: Grupos de elementos das torres de transmissão

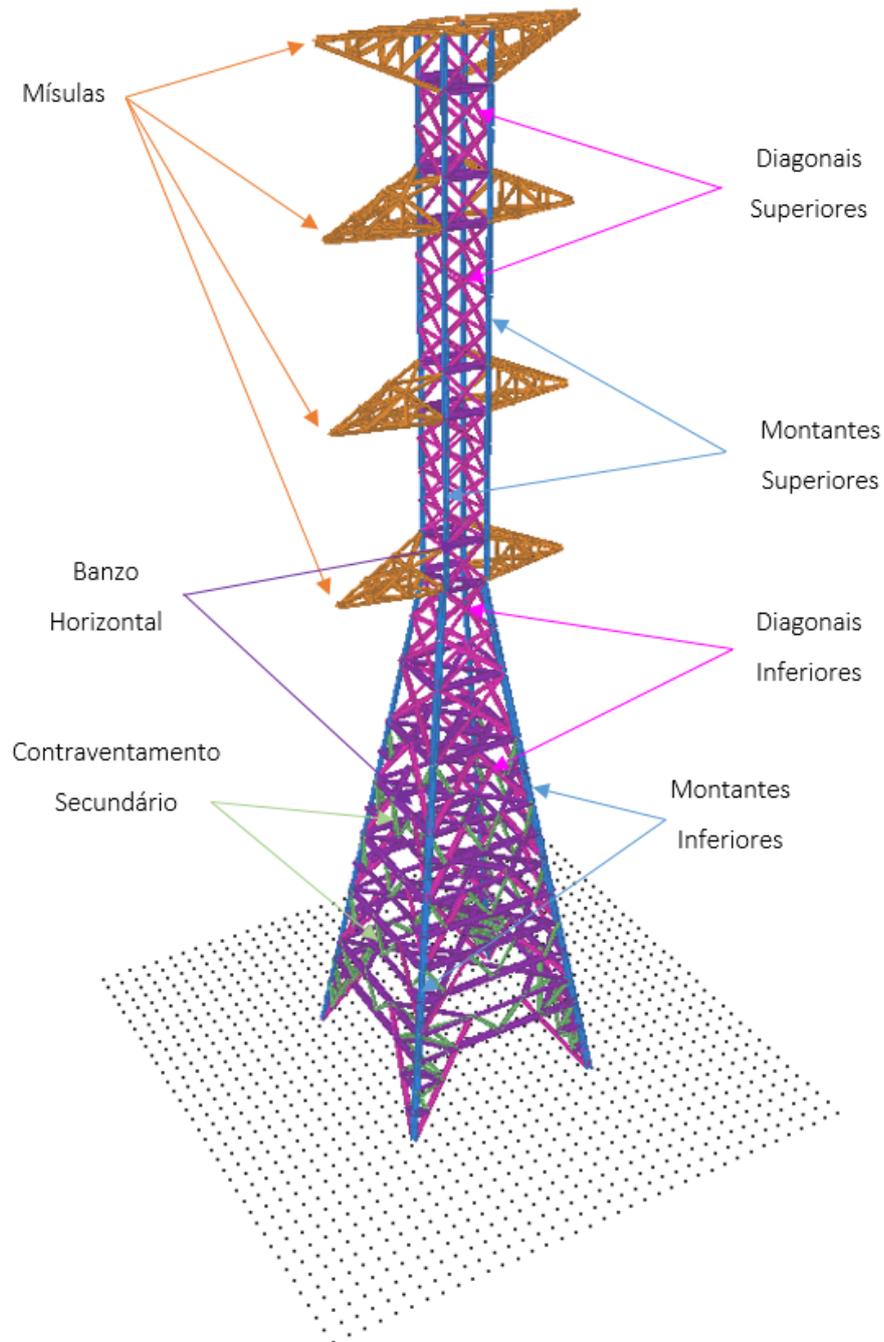


Tabela 3: Perfis de aço utilizados para cada grupo de elementos

Grupo	Perfil	Aço	L total (cm)	Peso(kgf)
Mísulas	LLAM 101.6 x 11.1	ASTM A36	39002.03	6536.64
Banzos Horizontais	LLAM 203 x 15.9	ASTM A36	50957.55	24801.04
Diagonais Inferiores	LLAM 152.4 x 14.3	ASTM A36	25830.47	8410.87
Diagonais Superiores	LLAM 101.6 x 9.5	ASTM A36	26054.39	3773.52
Contraventamento Secundário	LLAM 152.4 x 11.1	ASTM A36	21603.13	5536.94
Montantes Superiores	LLAM 203 x 17.3	ASTM A36	8404.45	4482.34
Montantes Inferiores	LLAM 203 x 25.4	ASTM A36	9609.17	7301.82

As ligações foram dimensionadas utilizando o programa mCalcLIG da Stabile.

Figura 15: Interface mCalcLIG.

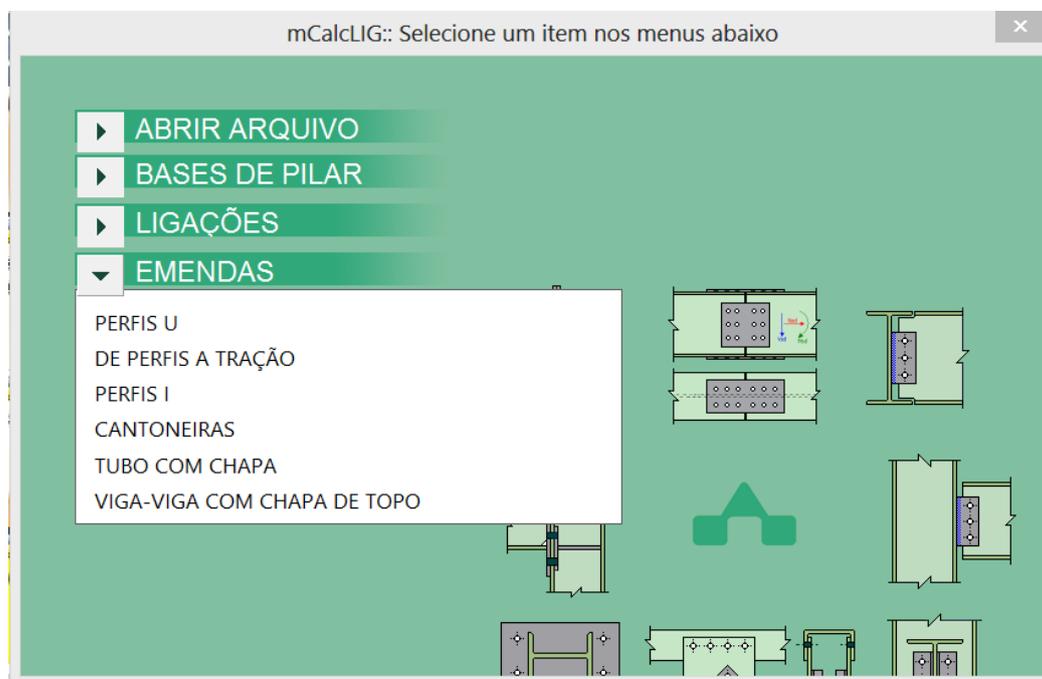


Figura 16: Interface do programa mCalcLIG

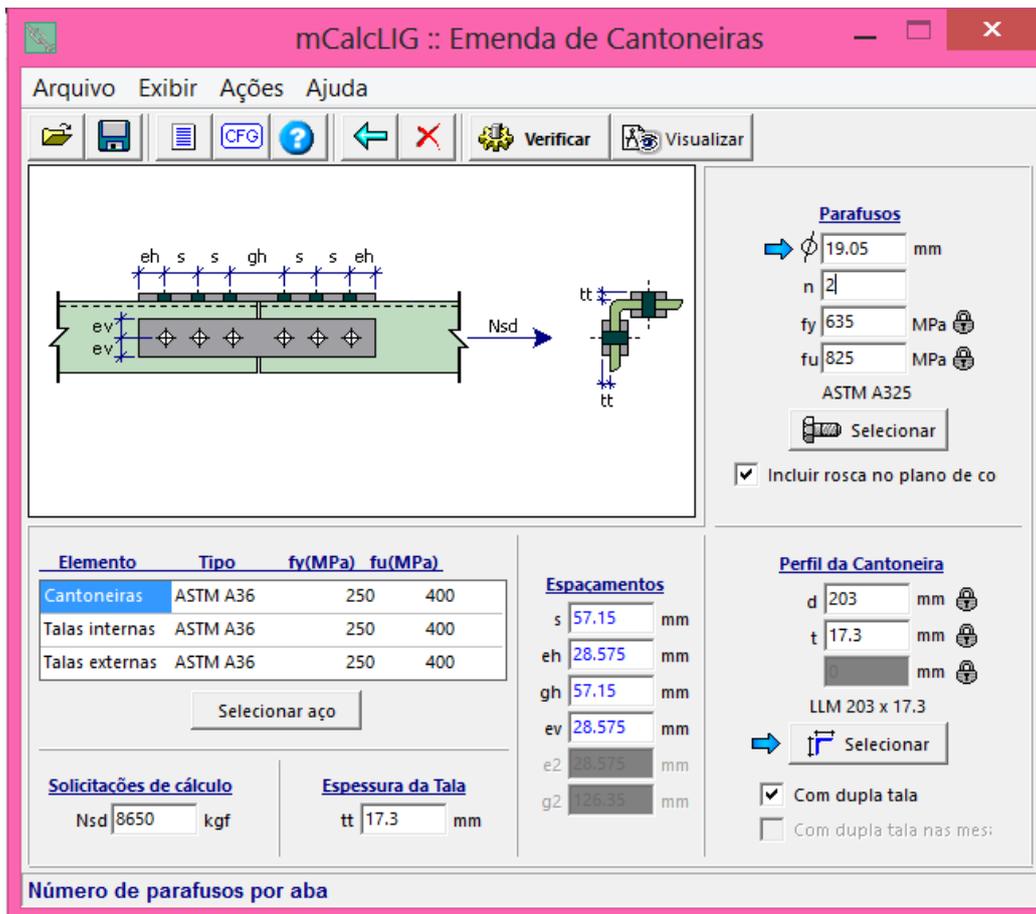
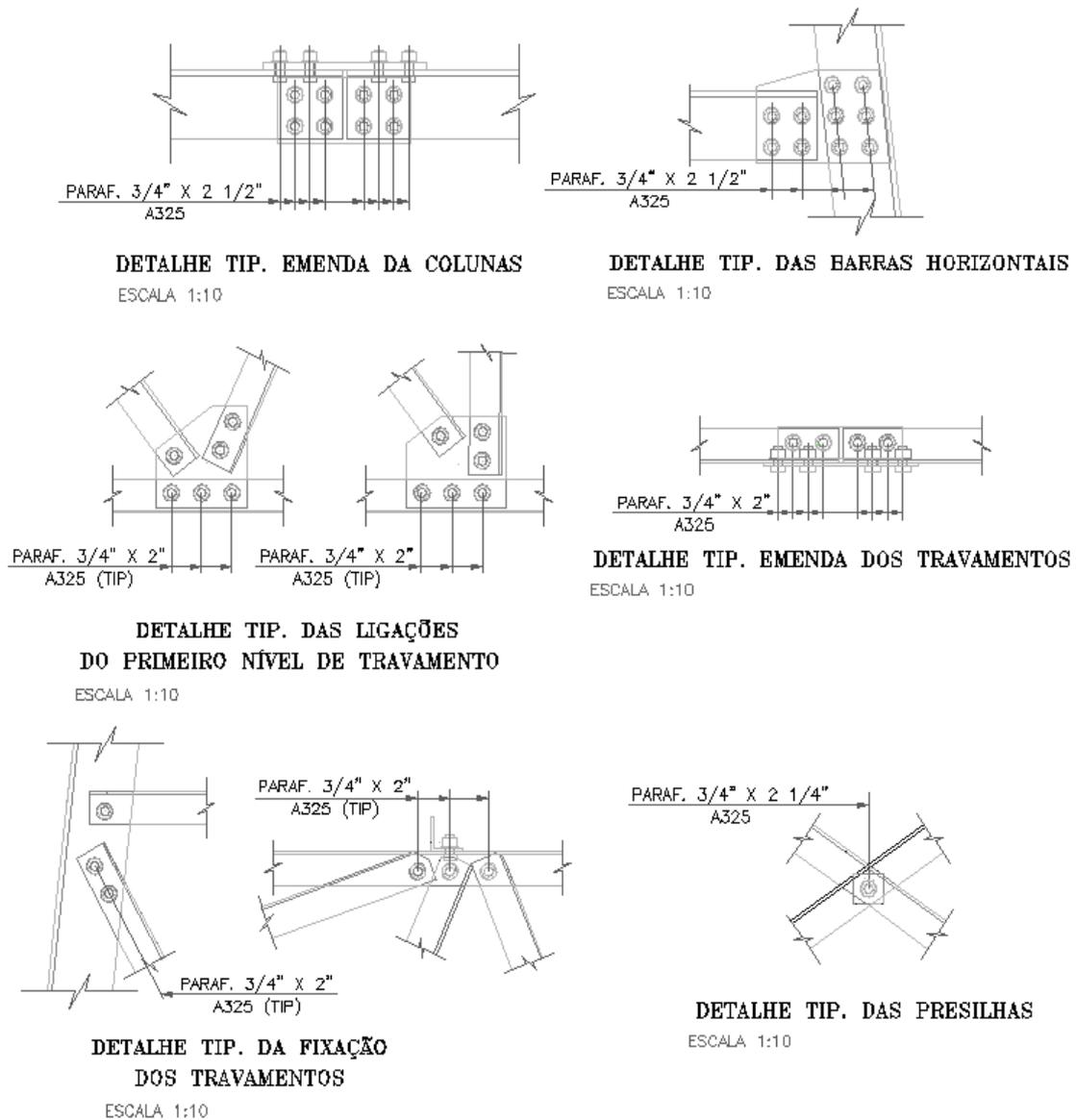


Figura 17: Ligações de perfis cantoneiras



#### 4 CONCLUSÃO

Ao finalizar este trabalho, é importante destacar dois aspectos no dimensionamento de uma torre de transmissão, sua concepção estrutural e a determinação da carga imposta pelo vento. Garantir a estabilidade da estrutura é o primeiro e mais importante passo, uma vez que, se ignorada essa etapa no projeto, a resistência da torre de transmissão pode sofrer grandes reduções devido a relações não lineares entre tensão axial de deslocamento.

Quanto à obtenção dos carregamentos impostos pelo vento, foi possível observar que, mesmo compatibilizando os períodos de integração das rajadas, as forças obtidas a partir do cálculo proposto pela ABNT NBR 5422 (1) são muito inferiores às obtidas a partir da ABNT NBR 6123 (2). Logo, ao utilizar os esforços obtidos pelo cálculo de vento da ABNT NBR 6123, a estrutura dimensionada apresenta maior segurança.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5422:1985 Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1985.
- 2 \_\_\_\_\_ NBR 6123:1988 Forças devidas ao vento em edificação. Rio de Janeiro, 1988.
- 3 \_\_\_\_\_ NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- 4 Internarional Standard. IEC 60826:2003 Design criteria of overhead transmission lines. Suíça, 2003.
- 5 CHAMBERLAIN PRAVIA, Zacarias M. et al. Projeto e cálculo de estruturas de aço: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- 6 \_\_\_\_\_ Internarrional Seminar on Modeling and Identificacion of Structures Subjected to Dynamic Excitation: Enphasis on Transmition Lines. Passo Fundo, Ed. Universidade de Passo Fundo, 2009.
- 7 Gabrielli, Tatianna V. Análise no Comportamento de Estruturas de Torres de Transmissão Tubulares Via Simulação Computacional. Ouro Preto, 2004.
- 8 Vélez, Marcelo L. S. Diseño de Una Torre de Transmisión Auto Soportada para Una Línea de 69kV. Quito, 2010.



- 11 Hatashita, Luiz Seiti. Análise de Confiabilidade de Torres de Transmissão de Energia Elétrica Quando Sujeitas a Ventos Fortes via Método Analítico FORM. Curitiba, 2007.
- 12 Koeller, William M. Verificação Estrutural de Torre LTEE Sob Ação de Vento. Rio de Janeiro, 2012.
- 13 Damasceno Neto, Wilson Torres. Estruturas de Torres sob Ação de Ventos Originados de Dowbursts. Rio de Janeiro, 2012.
- 14 Hernández Rosas, A. N; Padilla, F. M. Diseño De Torres De Transmisión Eléctrica. México DF, 2005.
- 15 Chay, M.T; Albermani, F. E Hawes H. Wind Loads On Transmission Line Structures In Simulated Downbursts. Gold Coast, Australia, 2006.
- 16 Pfeil, Walter. Pfeil, Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8.ed, Rio de Janeiro, 2009.



Tema: Projeto – Arquitetura e Engenharia

## **TORRE DE TRANSMISSÃO: NOVO DESIGN E OS DESAFIOS DA INSERÇÃO NO CONTEXTO URBANO \***

Karine Murta Elias<sup>1</sup>

Ricardo Hallal Fakury<sup>2</sup>

Carlos Roberto Gontijo<sup>3</sup>

Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo<sup>4</sup>

### **Resumo**

O Brasil possui grande extensão territorial e necessita que suas linhas de transmissão de energia cruzem diferentes partes do país. Embora essas linhas passem quase sempre por regiões rurais, algumas vezes existe a necessidade de sua instalação em áreas urbanas. Neste último caso, as torres de transmissão ainda seguem os projetos tradicionais, com estrutura treliçada, poluindo visualmente a paisagem, conflitando com o entorno e, ainda, gerando desvalorização dos locais onde estão instaladas. Uma alternativa algumas vezes empregada é a utilização de linhas de transmissão subterrâneas, mas sua implantação é extremamente dispendiosa. Com o intuito de apresentar uma nova solução para essa questão, que tende a agravar-se com o desenvolvimento do país, este trabalho propõe a concepção de um projeto diferenciado de torre, cuja estrutura, ao contrário das tradicionais, será constituída por perfis tubulares circulares de aço, que permitirá maior flexibilidade na forma e possibilitará à torre amenizar os impactos causados por ela.

**Palavras-chave:** Torres de transmissão; Projeto; Espaço urbano.

## **TOWER TRANSMISSION: NEW DESIGN AND THE CHALLENGES OF THE INCLUSION IN THE URBAN CONTEXT**

### **Abstract**

Brazil has a large territorial extension and requires that its power transmission lines cross different parts of the country. Although these lines most times pass only through rural regions, sometimes they need to cross in urban areas. In the latter case, the transmission towers still follow traditional designs, with lattice structure, polluting visually the landscape, conflicting with the surroundings and also generating devaluation of places where they are installed. An alternative which is employed sometimes is the use of underground transmission lines, but their deployment is much costlier. In order to present a new solution to this issue, which tends to get worse with the development of the country, this paper proposes to create a distinctive design of Tower, whose structure, unlikely the traditional, shall consist of circular tubular steel profiles, which will allow greater flexibility to its shape, mitigating the impacts it causes to the environment.

**Keywords:** Tower transmission; Project; Urban Space.

\* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



<sup>1</sup> Arquiteta e Urbanista, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Doutor, Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Mestre, Professor Aposentado do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Gerente de Tubos Estruturais da Vallourec Tubos do Brasil S.A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A ideia de propor um projeto específico para as torres de transmissão urbana surgiu com o intuito de amenizar o impacto visual nos locais por onde as linhas de transmissão precisam passar, evitando uma série de inconvenientes, inclusive conflitos com residentes da vizinhança e do entorno imediato. Deve-se destacar que muitos países desenvolvidos já investem nessa ideia, tentando melhorar a relação dos equipamentos da Linha de Transmissão (LT) com o meio ambiente urbano.

Essa nova proposta de modelo de torre para inserção no contexto urbano, visa a também evitar, sempre que possível, o emprego da LT subterrânea, intervenção a qual é extremamente dispendiosa, tornando-se assim viáveis novos projetos que visem diminuir os custos dessa intervenção. Além de a torre atender sua função em uma linha de transmissão de energia, tem-se como propósito também torna-la uma estrutura diferenciada, visualmente atraente aos olhos da população e promover uma relação mais harmônica com o entorno imediato.

### 1.2 Objetivos

O estudo para a criação da torre tem como objetivo principal a transformação da imagem de repulsão e de medo que as torres de transmissão de energia causam nas pessoas, por uma sensação visualmente mais confortável, gerando inclusive uma maior contextualidade das torres no meio ambiente urbano em específico. Amenizar os impactos socioeconômicos causados pela transmissão de energia no Brasil, propondo a utilização de perfis tubulares circulares de aço e um design desenvolvido de forma estratégica para ocupar as áreas urbanas, são pontos importantes do projeto.

### 1.3 Justificativa

O estudo de custos que envolvem um novo projeto é um parâmetro primordial para fundamentar uma boa proposta. Assim para se ter uma base sobre os gastos que uma concessionária de energia tem com a criação de uma LT de 138kV, voltagem usada com mais frequência em meios urbanos, foi feito um levantamento com dados de custo aproximados fornecidos pela CEMIG (Concessionária de Energia Elétrica de Minas Gerais).

- A linha de transmissão aérea tem um valor aproximado de R\$ 250.000,00/km, onde o custo das torres representa de 15 a 25% do custo total da linha. Sendo assim, tomando o percentual médio de 20%, chega-se a um custo de torre de R\$50.000,00/km. O custo com

fundações representa de 10 a 20% do custo total da linha. Com a média de 15%, obtém-se R\$37.500,00/km.

- A linha de transmissão subterrânea tem um custo bastante superior, atingindo R\$ 5.000.000,00/km. O valor total desse tipo de intervenção chega a ser 20 vezes mais caro que a implantação das linhas de transmissão aéreas, fazendo com que o projeto de uma nova torre se justifique.

Outro informativo de custos comparativos entre LT aérea em relação a subterrânea, está presente na Tabela 1, que mostra a variação dos valores de acordo com a tensão da linha, demonstrando que a intervenção aérea é mais econômica.

**Tabela 1:** Custos LT aérea x LT subterrânea. (LOPES [1], 2013).

Faixa de Tensão: De 110 a 219 kV	• Custo de 5 a 10 vezes mais elevado
Faixa de Tensão: De 220 a 362 kV	• Custo de 9 a 16 vezes mais elevado.
Faixa de Tensão: De 363 a 764 kV	• Custo de 15 a 25 vezes mais elevado.

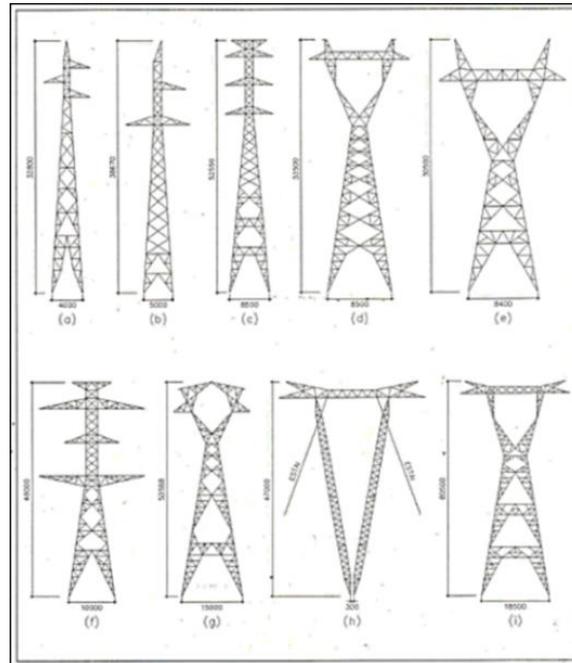
É justamente através desse diferencial de custo que o projeto visa trabalhar, tendo em vista que uma nova torre de forma não usual terá um custo mais elevado que os projetos padronizados, mas que seu valor total seja viável financeiramente para que possa substituir um método pelo outro nas áreas urbanas.

## 2 A TORRE DE TRANSMISSÃO

### 2.1 Generalidades

No geral as torres de transmissão de energia são estruturas cujas funções são fazer a sustentação mecânica dos cabos condutores e para-raios e de transmitir todos os esforços mecânicos à fundação, tornando assim possível a ligação aérea entre as centrais de distribuição de energia.

O design das torres segue na maioria dos casos uma forma padronizada, composta por uma estrutura treliçada de aço. Principalmente por questão de economia as estruturas são padronizadas em Famílias de Torres, que são compostas por subestruturas iguais ou similares como mostra a Figura 1.



**Figura 1:** Configurações de torres para 1 e 2 circuitos (GONTIJO [2], 1994).

## 2.2 Faixa de Passagem

Ao longo das linhas de transmissão existem áreas denominadas de faixa de segurança ou de passagem, as quais são tidas como locais que apresentam restrições e possuem algumas limitações para a finalidade de uso e ocupação, conforme estabelece a ABNT NBR 5422:1985 [3]. Em alguns casos as concessionárias de energia optam por valores acima do estipulado pela norma, para trabalharem acima da margem de segurança.

A delimitação da faixa é para garantir o desempenho da transmissão e a segurança das instalações e de terceiros. A princípio essa área pode variar de acordo com a classe de tensão da instalação e do próprio balanço e abaixamento dos cabos. Essa faixa também facilita a visita para inspeção, manutenção e reparos das linhas por técnicos das concessionárias.

As empresas apresentam uma preocupação redobrada quando existe a necessidade da passagem da linha pelos centros urbanos, local de maior densidade populacional e com inúmeros desafios urbanos e sociais que precisam de solução.

## 2.3 O Meio Ambiente Urbano e a Linha

A criação de novas linhas em áreas urbanas, principalmente as mais adensadas, é uma tarefa difícil, uma vez que as áreas disponíveis, principalmente nos grandes centros, são escassas, e as poucas disponíveis possuem preços elevados. Lembrando-se que, essas poucas áreas ainda precisam atender aos requisitos mínimos para serem destinadas as instalações da linha de transmissão e distribuição de energia.

Com a falta de espaço não somente para abrigar as linhas, mas também para acompanhar o crescimento das cidades, muitas áreas restritas para a passagem das linhas acabam sendo

ocupadas de forma irregular. Essas situações ocorrem muitas vezes devido ao crescimento acelerado das cidades, à falta de planejamento adequado e de uma estratégia mais eficaz para coibir tais situações de risco. As concessionárias contam com o auxílio da Prefeitura e do Ministério Público para fazer a desocupação da faixa, mas é um processo longo e demorado. A faixa é inadequada para ocupação, porque nela há uma zona de influência eletromagnética da linha, fazendo com que segundo ABNT-NBR 5422:1985 [3] não possa haver uma interação permanente.

Em muitos casos, linhas que outrora se localizavam em áreas afastadas, hoje fazem parte do cenário de muitos bairros e estão sujeitas a diversas situações do cotidiano, como mostra a Figura 2. Trata-se de situações que envolvem até a própria prefeitura, que utiliza a base da torre para promover obras públicas, e ambulantes, que usam a torre para expor suas mercadorias.



**Figura 2:** Cidade Industrial - Contagem/Minas Gerais.

### 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

#### 3.1 Projetos pelo Mundo

A proposta de desenvolver um novo projeto para as torres de transmissão de energia no Brasil visa não apenas à melhoria estética, mas tornar sua relação com a paisagem mais agradável, agregar valor ao ambiente, tornar uma referência e ser uma estrutura que possa ser contemplada e admirada pelas pessoas.

Para mostrar que esse tipo de proposta é possível, o escritório parisiense HugDuttonAssociés (HDA), foi o vencedor do concurso realizado em 2009 pela empresa Terna, que estava em busca de novas ideias para o formato das torres das LT's de energia. O projeto foi implantado na Itália e batizado de "Dancing with Nature", como mostra a Figura 3.



**Figura 3:** Projeto Dancing with Nature. **Fonte:** <http://www.dezeen.com>

Esse projeto teve seu conceito baseado nos traços de uma árvore, que deram origem a uma forma simples, flexível e leve, sem perder o caráter moderno e diferenciado.

Inúmeras competições como essa, para a criação de novos projetos de torres, foram e estão sendo realizadas em diferentes países. Por exemplo, em 2011 o Reino Unido fez uma competição nacional para eleger um novo projeto de torre, tendo como campeã a estrutura proposta pela empresa dinamarquesa de engenharia Bystrup, que criou uma torre em formato de “T”, de design simples, mas sofisticado, como mostra a Figura 4. Esse projeto foi criado para substituir as antigas torres padronizadas que foram implantadas durante a década de 20 na Europa. Na Figura 5, foram feitas duas maquetes, onde se evidencia a diferença da torre convencional para a torre vencedora do concurso.



**Figura 4:** Projeto T-Pylon. **Fonte:** <http://eandt.theiet.org>



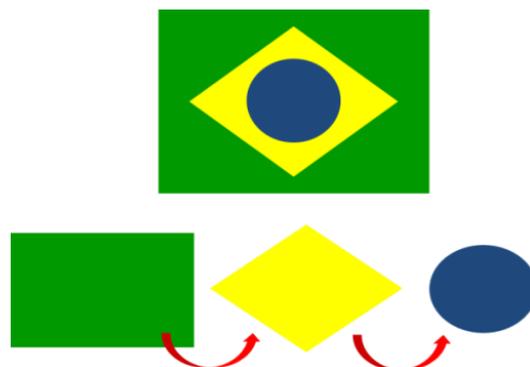
**Figura 5:** As antigas torres que foram implantadas durante os anos de 1920 e o Projeto T-Pylon. **Fonte:** <http://eandt.theiet.org>.

Esses concursos e competições mostram que existe a necessidade de que haja modificações graduais na paisagem e no ambiente em geral, à medida que evoluem as necessidades do homem e da própria cidade. Servem também para acabar com o paradigma de que a criação de um novo projeto não possa vir a servir para amenizar os impactos das LT's de energia em relação ao meio e à população, e ao mesmo tempo exercer as atividades às quais são destinadas.

### 3.2 A Concepção do Projeto

A ideia é efetuar um estudo apropriado da concepção de forma, de modo a se chegar a um formato de torre que carregue a essência brasileira e que, conseqüentemente, se identifique com as diversas regiões do Brasil.

Pensando nisso, e buscando um símbolo que fosse capaz de unir todas as diferenças existentes no nosso país em um só objeto, nada melhor do que partir de um ponto em comum entre todos os estados brasileiros. Esse, portanto é a bandeira do Brasil, Figura 6, que representa a nação e que pode ser trabalhado ao longo do processo de criação da torre.

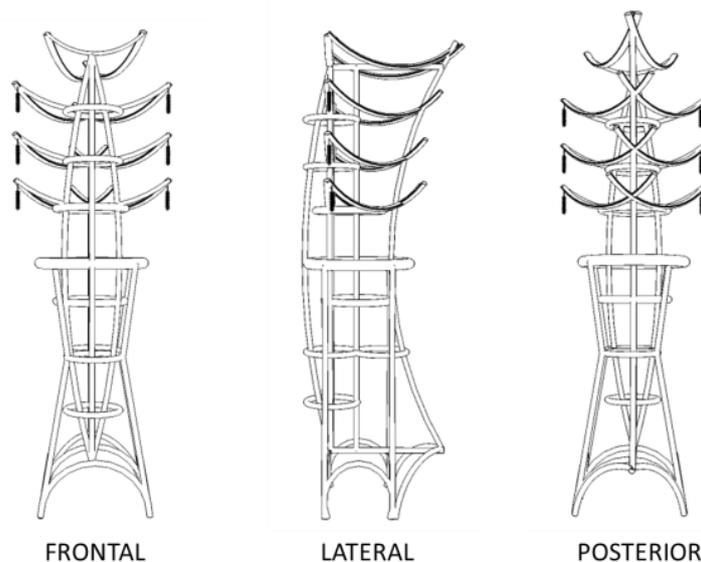


**Figura 6:** Bandeira do Brasil e suas formas geométricas.



No desenvolvimento do projeto, tentou-se utilizar o mínimo possível de traços, o que conseqüentemente na proposta final diminuirá o número de perfis utilizados, mas que seja em quantidade suficiente para chegarmos a uma forma expressiva. Esse conceito, parte do princípio de dar mais clareza ou até mesmo legibilidade a estrutura final. Tentando amenizar ao máximo os impactos que essas estruturas causam no ambiente.

Para a elaboração deste artigo uma proposta inicial foi concebida, fugindo da padronização das formas treliçadas e de forma mais sutil tentando suavizar sua relação com as pessoas e com o meio ambiente urbano, como se vê na Figura 7. Nessa proposta todos os perfis utilizados são tubulares circulares de aço.



**Figura 7:** Novo design para as torres de transmissão.

Para tanto a definição do modelo priorizou não somente a otimização da parte elétrica, o que ocorre atualmente no Brasil, mas também pensou em formas e meios de amenizar as limitações e restrições que são impostas aos espaços ocupados pelas LT's aéreas. Focou-se na transformação e ou adequação dessas áreas de tal maneira que se consiga criar uma função social além da qual ela se destina, melhorando assim a conexão com o meio urbano e visando a possibilidade da sua interação com a população dentro de limites aceitáveis.

### 3.3 A Escolha do Material

Pensando não só nos custos, mas na parte estética da torre, que é o foco principal, a estrutura de aço é ideal para atender todas as solicitações da proposta. Outro fator importante é a redução dos impactos gerados por esse material no ambiente e o fato dele proporcionar menor tempo de execução da obra. A durabilidade do aço, desempenho e maleabilidade também o tornam apto para esse tipo de projeto.

Para a confecção da torre serão utilizados os perfis tubulares circulares laminados da Vallourec Tubos do Brasil. Esses perfis, tendo em vista suas propriedades mecânicas, que conseguem



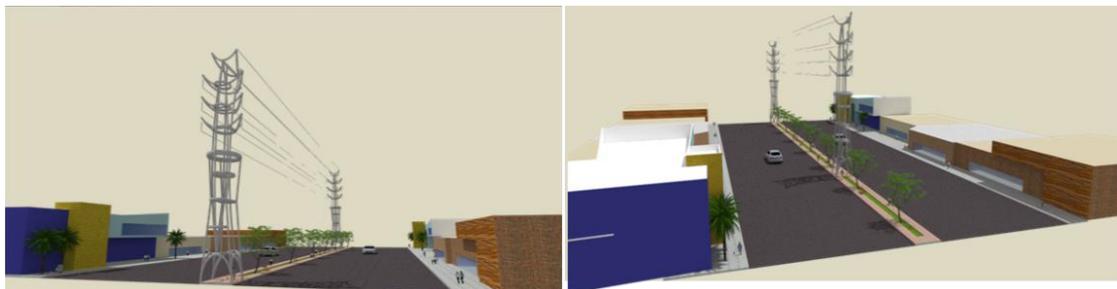
atender as necessidades do projeto, tornando a estrutura mais leve e acima de tudo consegue gerar um visual mais agradável.

#### 4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

O conceito idealizado é o de propor uma mudança na visão de mercado, que gere uma melhoria da qualidade dos espaços urbanos por onde passam as LT's. Esse seria um grande avanço na área de transmissão no Brasil, uma conquista para sociedade e um ganho para o ambiente.

No caso em estudo, mostra-se que o objeto, ou seja, a torre de transmissão de energia, pode abrigar mais do que simplesmente a função a qual se destina, trazendo o homem para participar dela, de forma coerente com o programa principal e suas limitações.

O processo de dimensionamento da torre seguirá as normas específicas tanto para o cálculo de estruturas metálicas (4) quanto para o da LT [(3) e (5)]. O projeto tentará mostrar que mesmo com restrições a estrutura final pode ser elegante, bonita e integrar sem agressividade a paisagem urbana, como mostra a Figura 8.



**Figura 8:** Inserção do novo modelo da torre de transmissão no contexto urbano.

#### 3 RESULTADOS E CONTINUIDADE

A união do crescimento das cidades e o aumento da demanda energética fazem com que, muitas vezes, haja uma disputa entre a população e as linhas de transmissão de energia por espaço nas áreas urbanas. Outra situação recorrente é a de que o projeto das torres instaladas no ambiente urbano em muitos casos é o mesmo empregado em ambientes rurais, causando a desvalorização dos locais por onde passam.

O Brasil enfrenta muitos problemas sociais, como, a questão habitacional, e também a falta de espaço nas grandes cidades. Isso faz com que os parâmetros utilizados hoje em nosso país, que possuem grandes restrições e limitações para as faixas de passagem da LT, possam ser repensados levando em conta esses problemas e tentando prever melhorias não somente na parte elétrica da LT, mas também para os espaços a elas destinados.

Por fim os empreendimentos não podem estar acima das questões sociais, mas sempre buscar formas e meios de beneficiar todas as partes envolvidas. O desenvolvimento de estudos e de novas soluções para as torres de transmissão de energia para áreas urbanas se enquadra nesse contexto, tentando propor alternativas aos desafios urbanos e sociais que exigem soluções.



## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro em forma de fomento à pesquisa concedido pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) durante o ano de 2013. Agradecem também ao apoio, interesse e disponibilidade do Carlos Kleber da Costa Arruda, professor do CEFET-RJ; Danilo Campos Lopes, gerente de gestão da Expansão de Subestações e Linhas da Distribuição da CEMIG; Daniela Batista Lima Barbosa, professora da PUC-MG; Ivan José da Silva Lopes, Professor no departamento de engenharia elétrica da UFMG e Claudenir Janderlino Souza, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] LOPES, J. C. R.. Transmissão Subterrânea no Brasil. International Workshop (Cigré-Brasil). 2013.
- [2] GONTIJO, C. R.. Cálculo de torres para linhas de transmissão. 1994.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR -5422: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia. p.52, 1985.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR -8800: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. p.237, 2008.
- [5] International Electrotechnical Commission – IEC-60826: Design Criteria of Overhead Transmission Lines. p.243, 2003.