

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

ANA LUIZA FORTES VIANA

MATRÍCULA: 21258973

**A interação Arquitetura x Estrutura na obra de Ludwig Mies van  
der Rohe. Estudo de caso: Crown Hall**

ANA LUIZA FORTES VIANA

**A interação Arquitetura x Estrutura na obra de Mies Van der  
Rohe. Estudo de caso: Crown Hall**

Trabalho de Curso (TC) apresentado  
como um dos requisitos para a conclusão  
do curso de Engenharia Civil do  
UniCEUB - Centro Universitário de  
Brasília.

Orientador: MSc Marcos Henrique Ritter  
de Gregorio

Brasília  
2017

ANA LUIZA FORTES VIANA

**A INTERAÇÃO ARQUITETURA X ESTRUTURA NA OBRA  
DE MIES VAN DER ROHE. ESTUDO DE CASO: CROWN  
HALL**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como  
um dos requisitos para a conclusão do curso  
de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro  
Universitário de Brasília

Orientador: MSc Marcos Henrique Ritter  
de Gregorio

Brasília, julho 2017 .

**Banca Examinadora**

---

Arquiteto e Urbanista:  
MSc Marcos Henrique Ritter de Gregorio.  
Orientador

---

Engenheiro Civil:  
Dsc. Marcio Augusto Roma Buzar  
Examinador externo

---

Arquiteto e Urbanista:  
MSc. Francisco Afonso de Castro Júnior  
Examinador interno

---

Arquiteto e Urbanista  
MSc. Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa  
Examinador externo

## RESUMO

A simbiose entre arquiteto e engenheiro é uma questão nos dias de hoje, tanto no meio acadêmico como no exercício da profissão. Os conteúdos ministrados durante a formação acadêmica, bem como a ausência de interação entre as disciplinas proporcionam o início de um distanciamento entre eles que hoje é indesejável. No mercado de trabalho essa distancia é ratificada, por meio das atividades que permeiam o projeto/obra. Ao analisar as inovações tecnológicas do mundo na área das construções, principalmente na Revolução Industrial destaca-se o uso do aço. Em decorrência das características intrínsecas desse material construíram-se obras que otimizaram a estrutura, possibilitando o verdadeiro encontro entre arquitetura e engenharia. Para exemplificar esse encontro, citamos vários exemplos nesse trabalho: Palácio de Cristal, estação Saint Pancras, Galeria das Máquinas, hospital Sarah Kubitschek, Sede da Caixa Central de Alocações Familiares e o Crown Hall. Por fim, ao analisarmos as obras citadas, verificamos que a interação entre a forma (arquitetura) e a função (engenharia) possibilitou o uso de materiais que trouxeram eficiência para a estrutura. Dessa forma, temos uma arquitetura melhor, uma engenharia melhor, capazes de dar uma resposta para a complexidade urbana contemporânea.

**Palavras-chaves:** Simbiose entre arquitetura e engenharia. Crown Hall, Mies van der Rohe. História do aço. Estruturas em aço.



## ABSTRACT

The symbiosis between an architect and engineer is a quarrel that goes on to this day, both in the academic and professional fields. The content that is provided during the professional's formation, as well as the absence of interaction between the two fields of study provides a detachment between them, which it's undesired today. Such distance is ratified when either is put into practice, due to the fact that both fields must work together in a project. By analyzing the technological innovations of the world in the area of construction, especially in the period of the Industrial Revolution, the use of steel takes the prize. In consequence of the intrinsic characteristics of steel, there are works that optimize structure, making the encounter between architecture and engineer possible. These are the names of some works that have become reality due to the use of both fields, all of which are mentioned in this thesis: Cristal Palace, Saint Pancras station, the Machine Gallery, Sarah Kubitschek hospital, Headquarters of the Caixa Central of Family Allocations, and the Crown Hall. Lastly, by analyzing the works mentioned, we can verify that the interaction between form (architecture) and function (engineering) made the use of materials that have brought efficiency to the structure possible. This way, we have a better architecture and engineering, both capable of answering the dilemma of contemporary urban complexity.

**Key-words:** symbiosis between an architect and engineer. Crown Hall, Mies van der Rohe. History of steel. Steel structures.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	11
2.2. <i>Objetivo Específico</i> .....	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1. <i>Breve Histórico da utilização do aço - Revolução Industrial</i> .....	12
3.2. <i>A Evolução do Aço na Construção (Engenharia)</i> .....	13
3.3. <i>A Evolução do Aço na Arquitetura</i> .....	17
3.4. <i>Vantagens e Desvantagens do Aço</i> .....	18
<b>4. LUDWIG MIES VAN DER ROHE .....</b>	<b>20</b>
<b>5. BAUHAUS.....</b>	<b>23</b>
<b>6. ARQUITETURA x ENGENHARIA.....</b>	<b>27</b>
<b>7. ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>33</b>
7.1. <i>Sede da Caixa Central de Alocações Familiares, Paris</i> .....	33
7.2. <i>- Crown Hall, Chicago</i> .....	37
7.2.1. <i>O dimensionamento</i> .....	43
7.2.1.2. <i>Verificação da flambagem local da alma (FLA)</i> .....	51
7.2.1.3. <i>Verificação da flambagem local da mesa (FLM)</i> .....	52
7.2.1.4. <i>Verificação da flambagem lateral com torção (FLT)</i> .....	53
7.2.1.5. <i>Resistência ao cisalhamento</i> .....	55
7.2.1.6. <i>Verificação da flecha máxima</i> .....	56
<b>8. CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Palácio de Cristal, Londres 1851. Vista	14
Figura 2 - Palácio de Cristal. Interior. As barras de ferro forjado em X nos tramos superiores fornecem o contraventamento diagonal.	15
Figura 3 - Estação Saint Pancras, Londres, 1863 – 1865. Cobrindo todos os trilhos da estação, o vão livre deste telhado de metal e vidro é de 71,3 metros.	16
Figura 4 - Fachada principal da Galeria da Máquinas, Paris, 1889.	17
Figura 5 - Ludwig Mies van der Rohe	20
Figura 6 - Escola Bauhaus, em Weimar, architect: Henry van de Velde.	23
Figura 7 - Mestres da Bauhaus no telhado do edifício Bauhaus em Dessau: Albers, Hinnerk Scheper, Georg Muche, László Moholy-Nagy, Herbert Bayer, Joost Schmidt, Walter Gropius, Marcel Breuer, Wassily Kandinsky, Paul Klee, Lyonel Feininger, Gunta Stölzl.	24
Figura 8 - Símbolo do ‘the new bauhaus’, artista: László Moholy-Nagy, 1937.	26
Figura 9 - Sheds do Sarah de Brasília	30
Figura 10 - Estrutura do Sarah de Brasília (Viga Vierendeel)	31
Figura 11 - Hospital Sarah fachada lateral.	32
Figura 12 - Edifício principal da Sede da Caixa de Alocação Familiares em Paris	34
Figura 13 - Diagrama do momento fletor	34
Figura 14 - Ilustração das vigas de aço da estrutura com maior altura no vão central.	35
Figura 15 - Planta estrutural do pavimento tipo e marcação da vida.	36
Figura 16 - Crown Hall, Chicago (fachada norte)	38
Figura 17 - Salão principal.	38
Figura 18 - Esquema estrutural do Crown Hall	40
Figura 19 - Viga Girder.	41
Figura 20 - Fachada principal do Crown Hall	42
Figura 21 - Indicação da viga a ser analisada	43
Figura 22 - Área de influência da vigota inteira	45
Figura 23 - Área de influência do trecho em análise da vigota	45
Figura 24 - Viga girder	46
Figura 25 - Perfil da viga	47
Figura 26 - Esquema estático	49
Figura 27 - Momento fletor.	49
Figura 28 - Diagrama cortante	49

Figura 29 - Planta baixa dos perfis .....	62
---	----

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Ações NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.....	36
Tabela 2 - Perfis Soldados - Serie VS.....	61

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial, a arte estrutural (é quando a engenharia estrutural utiliza, também, a liberdade de criação da arquitetura.) em aço tornou-se um exemplo do ponto de encontro entre o arquiteto e o engenheiro. A interação/trabalho com harmonia, equilíbrio e comunicação contínua, desses dois profissionais, são essenciais para o sucesso de uma edificação, durante todo o processo construtivo, ou seja, desde a concepção do projeto até a finalização da obra.

Levando em consideração as características intrínsecas dos conteúdos ministrados durante as graduações, os arquitetos entram em contato com questões humanas, estéticas e sociais enquanto os engenheiros lidam com física, matemática e cálculo estrutural. E depois, com a entrada no mercado de trabalho, esse hiato fica ainda maior, pois soma-se à formação acadêmica as visões abstratas de um e objetiva do outro a respeito do empreendimento.

As interações, as sobreposições múltiplas e os arranjos variados entre essas duas áreas de conhecimento (arquitetura e engenharia) são essenciais para abolir qualquer vestígio de hierarquia entre elas. O que deve determinar a ordem de importância (hierarquia) é a necessidade naquele momento específico do projeto, flexibilizando para se atingir o objetivo da interação/trabalho: economicidade/eficiência/bem-estar, para todas as fases do empreendimento, ou seja, projeto, construção, e uso/manutenção.

O foco desse trabalho é a intenção de demonstrar, por meio de exemplos, como essa simbiose entre o arquiteto e o engenheiro não só é possível como é a melhor escolha para qualquer edificação. De acordo com o engenheiro João Del Nero, “ a engenharia estrutural tem uma liberdade de criação que se assemelha à arquitetura” SABAAG (1987). E como os pontos de semelhança são primordiais para o desenvolvimento de qualquer relação duradoura, a obra em aço de Ludwig Mies van der Rohe foi escolhida como estudo de caso, pois comprova a excelência do resultado do uso da liberdade criadora, proporcionado pela interação entre forma (arquiteto) e função (engenheiro).

Outro exemplo dessa soma de habilidades e conhecimentos, por partes desses profissionais, para atingir o melhor resultado para um empreendimento, foi o trabalho desenvolvido pelo arquiteto brasileiro, Lelé. Nas suas obras, além de ter como ferramenta as duas áreas de conhecimento em questão, foi além, e criou espaços que proporcionam experiências que melhoram a qualidade de vida das pessoas que os utilizam.

Dessa forma, uma visão completa, sistêmica e ao mesmo tempo objetiva e analítica sobre a criação/construção/uso dos espaços de convivência, bem como a utilização das

tecnologias disponíveis, pelos arquitetos e engenheiros, realizando entre eles trocas e parcerias, serão capazes de criar soluções para espaços que são atemporais, comprovando assim, a eficácia dos ensinamentos da escola Bauhaus, Arte na Engenharia, ou seja, o uso da interdisciplinaridade, ao projetar um edifício, para alcançar um equilíbrio ideal.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. *Objetivo Geral*

A presente pesquisa tem como objetivo identificar/exemplificar situações em que a arquitetura e a engenharia se apresentam harmonicamente, e provar que é possível atingir a simbiose entre arquitetura e engenharia sem comprometer os objetivos almejados pelos profissionais envolvidos.

### 2.2. *Objetivo Específico*

- Adotar a Revolução Industrial como ponto de partida para a utilização do aço nas grandes estruturas, bem como demonstrar esse uso nos dias de hoje;
- Apresentar a escola de arquitetura alemã “Bauhaus” e o Arquiteto Ludwig Mies van der Rohe;
- Elaborar uma breve análise sobre a divergência entre engenheiros e arquitetos, abordando possíveis causas/efeitos desse desentendimento;
- Verificar o dimensionamento da viga principal da obra “Crown Hall”, de autoria do arquiteto Ludwig Mies Van Der Rohe;
- Confirmar que a escolha das características desta viga advém da interação simbiótica entre arquitetura e estrutura.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### *3.1. Breve Histórico da utilização do aço - Revolução Industrial*

A Revolução Industrial foi a transição para novos processos de manufatura entre os séculos XVIII e XIX. Essa época é caracterizada por grandes mudanças na indústria e no desenvolvimento da sociedade. A principal mudança foi a transição de técnicas artesanais para a produção por máquinas, o que causou um grande êxodo da população rural para as cidades.

Além do crescimento urbano, o processo de industrialização resultou na evolução tecnológica e no surgimento de novos produtos manufaturados, como por exemplo, novos produtos químicos, novos processos de produção do ferro, maior eficiência da energia da água, o uso crescente da energia à vapor, a substituição da madeira por ferro fundido na construção, e, também, a substituição da madeira por biocombustíveis e pelo carvão. Esses novos produtos tornaram possíveis a construção de melhores estradas, bem como ferrovias, grandes fábricas e edifícios, pontes, viadutos, entre outros.

Em consequência do crescimento urbano e desenvolvimento da sociedade, foi necessário a construção de edifícios maiores e mais altos, pontes com maiores vãos e estações de trem mais extensas. Foi uma época em que a engenharia e a arquitetura surgiram como expoente máximo do progresso, destacando-se entre outras profissões. Os engenheiros direcionavam seus estudos para cálculos cada vez mais elaborados, para novas formas de execução e emprego de materiais, antes desconhecidos. Os arquitetos, por sua vez, focavam suas criações com o objetivo de obter o melhor e mais eficiente aproveitamento dos espaços, sem abrir mão de acrescentar beleza ao conjunto da obra VIEIRA (2016).

Dois momentos marcaram esse período de transformações. O primeiro é mostrado pelas mudanças que ocorreram na economia, no processo de produção e avanços na tecnologia. A produção do ferro, que até então era uma técnica manual, passa a ser um processo de produção em larga escala com a criação de novas obras, porém, o ferro ainda com um custo elevado, obriga os profissionais de engenharia a criarem formas que, como consequência, trouxessem a redução dos gastos com a matéria prima. O segundo momento, no final do século XIX, é destacado principalmente pela redução do preço do ferro e pela criação de um novo material: o concreto armado (concreto e aço). Nesse momento, as estruturas passam a ser visualmente mais simplificadas, diferente do primeiro momento da Revolução, onde as estruturas de ferro eram visualmente mais complexas BILLINGTON (1983).

A Revolução Industrial, na engenharia, foi caracterizada, então, pela importante descoberta e uso do ferro nas construções, que possibilitava estruturas mais simplificadas e leves, reduzindo as cargas nas fundações. O ferro também possibilitou obras mais rápidas e com maior facilidade em sua execução. Portanto, esse material foi de grande importância para o avanço na indústria e na tecnologia.

### *3.2. A Evolução do Aço na Construção (Engenharia)*

Em 1850, na Inglaterra, o príncipe Albert criou a primeira feira mundial de produtos industriais: Exposição Internacional. Foram criados então, comitês executivos e arquitetônicos para elaborar projetos para o pavilhão da referida exposição. No entanto, nenhum projeto foi considerado satisfatório, pois todos os projetos apresentados exigiram muito tempo para serem construídos. Para resolver este impasse, Joseph Paxton (1801-1865), um horticultor e construtor de estufas, sugeriu o seguinte projeto como solução: uma estufa superdimensionada, para ser montada com colunas e vigas modulares de ferro fundido e fechada por uma parede de vidros padronizados. Sua proposta foi aprovada e, em nove meses, todas as peças haviam sido manufaturadas e transportadas para o Hyde Park em Londres, onde seria montado o edifício LELAND ROTH (1993).

No primeiro dia de maio de 1851, o pavilhão foi inaugurado e recebeu o nome de Palácio de Cristal. Paxton utilizou tudo que os ingleses haviam aprendido com a tecnologia do metal na construção de estações de trem, ferrovias e estufas, nas duas décadas anteriores, mas suas inovações produziram grandes mudanças na área da construção, na pré-fabricação de peças padronizadas, e na organização sistemática do processo construtivo.

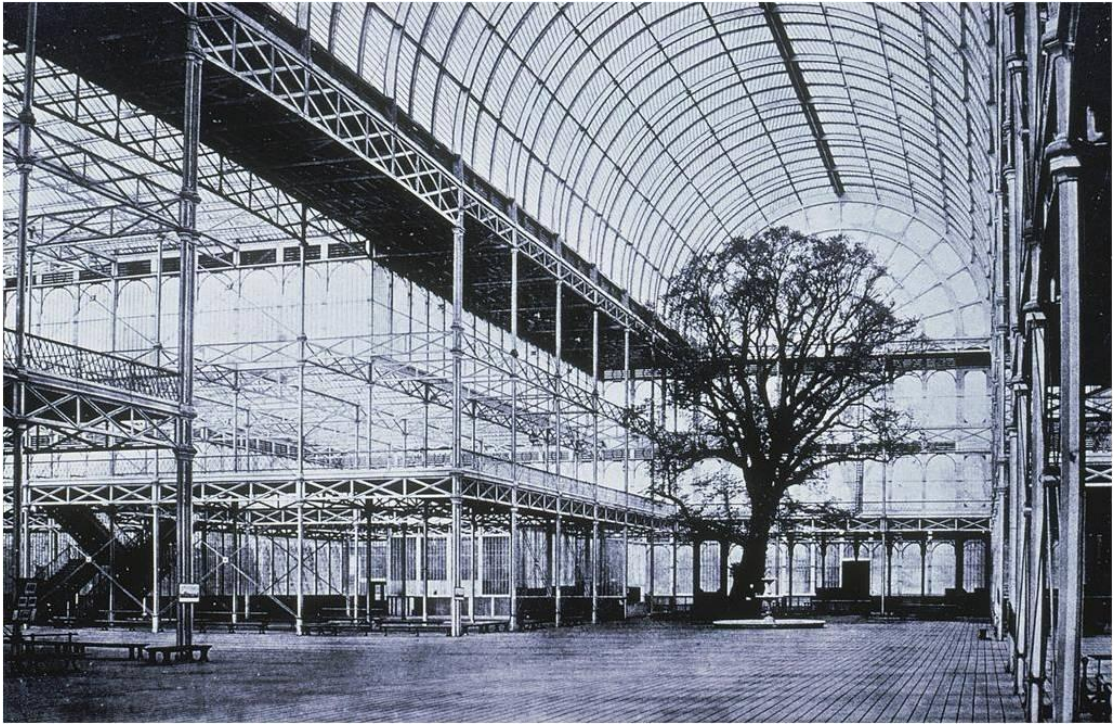
Figura 1 - Palácio de Cristal, Londres 1851. Vista  
Vista



Fonte: <<http://morielnn.blogspot.com.br/2012/04/normal-0-21-microsoftinternetexplorer4.html>> Acesso em 29 de maio 2017

O Palácio de Cristal ocupa uma área de 563 por 124 metros, com colunas de ferro fundido colocadas a 14,6 metros de distância umas das outras. O volume fechado da estrutura ultrapassava muito a massa da construção. Por isso, Paxton introduziu o contraventamento com barras diagonais de ferro forjado nas partes superiores da estrutura para resistir as forças laterais do vento LELAND ROTH (1993). Outra particularidade da Obra é o uso da cor azul para pintar as barras de ferro com o objetivo de se confundirem com a cor do céu, tornando assim o edifício totalmente transparente. A outra grande vantagem é a possibilidade de desmontá-lo. Quando a exposição terminou, o Palácio de Cristal foi desmontado e transportado para Sydenham. E lá foi erguido novamente, porém maior, e com a finalidade de funcionar como o centro cultural para Londres. Entretanto, em 1936, o edifício foi destruído por um incêndio.

Figura 2 - Palácio de Cristal. Interior. As barras de ferro forjado em X nos tramos superiores fornecem o contraventamento diagonal.



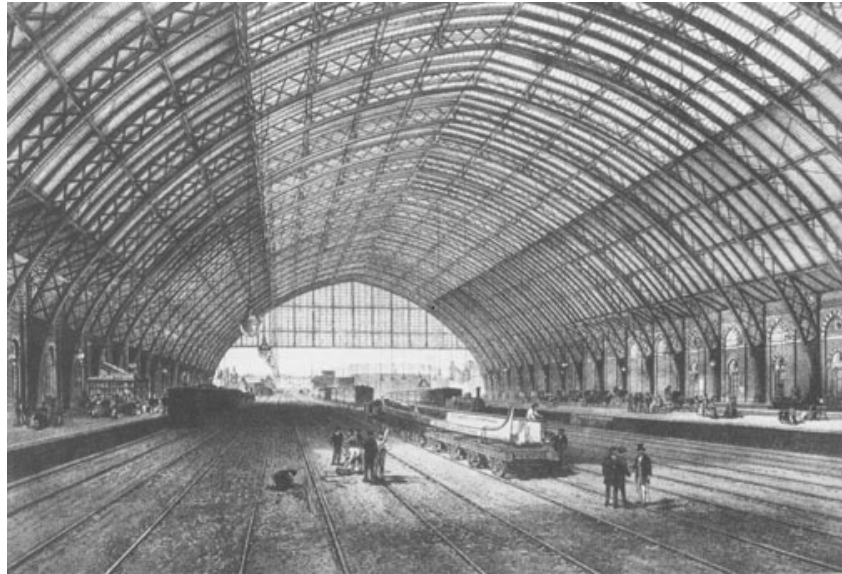
Fonte: <<https://br.pinterest.com/pin/19632948347696667/>> Acesso em 29 de maio 2017

Outra obra de expressão, durante a evolução do aço, foi a construção da estação ferroviária para atender a demanda do crescimento da malha ferroviária e do uso dos trens no dia a dia. As funcionalidades e necessidades operacionais da estação ferroviária criavam desafios. Para solucionar esses desafios, eram necessários dois tipos de edifícios; o primeiro, para rotundas de locomotiva; e o segundo, para áreas de embarque e desembarque de passageiros LELAND ROTH (1993). Os trilhos e as plataformas precisavam ser cobertos e tinham que ser resistentes ao fogo produzido pelas brasas das chaminés das locomotivas. Dessa forma, para atender a essas demandas e com o avanço da tecnologia da construção em ferro, surgiu a resposta: treliças extremamente leves feitas em ferro forjado. A grande vantagem de usar o ferro como material estrutural é obter o maior esforço possível com a menor quantidade de material. Com essa nova possibilidade do uso de treliças leves, construiu-se a estação Saint Pancras, Londres, (1863-1865). O arco do galpão que cobre um vão de 71.3 metros e se eleva a 30.5 metros, com perfil levemente pontiagudo totalizando 210 metros de comprimento LELAND ROTH (1993).



A estação de trem atingiu seu ápice com amplo galpão de metal arqueado construído em Saint Pancras (Londres, 1863-1865) pela Midland Railway Company, projetado pelos engenheiros W.H Barlow e R.M. Ordish. Barlow, que era engenheiro da Midland Railway Company, havia ajudado Paxton no projeto do Palácio de Cristal LELAND ROTH (1993).

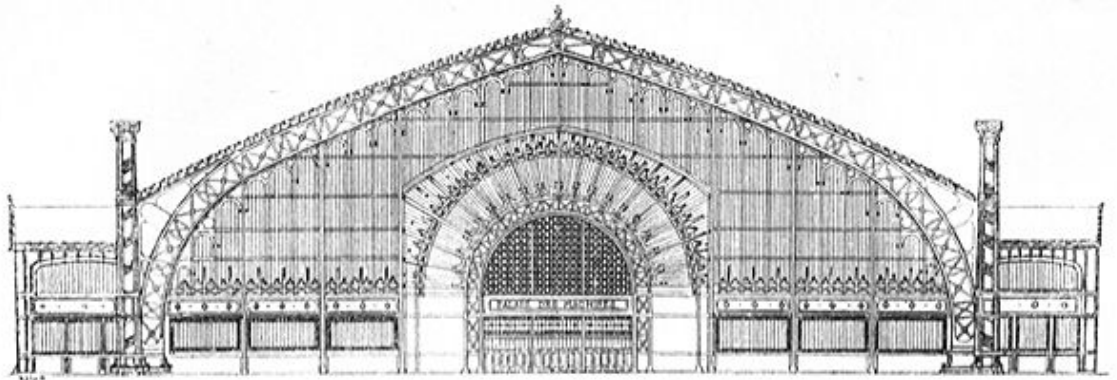
Figura 3 - Estação Saint Pancras, Londres, 1863 – 1865. Cobrindo todos os trilhos da estação, o vão livre deste telhado de metal e vidro é de 71,3 metros.



Fonte: < <https://br.pinterest.com/pin/251779435388242516/> > Acesso em: 29 de maio 2017

A terceira obra a ser mencionada é a Galeria das Máquinas, projetado em 1886 pelo arquiteto Ferdinand Dutert, em colaboração com os engenheiros Contamin, Pierron e Charton. Era uma enorme abóboda de perfil pontiagudo, com 249 metros de comprimento, um vão livre de 115 metros, sustentado por vinte treliças transversais, e elevando-se a 43.5 metros LELAND ROTH (1993). A Galeria foi construída para receber as exposições industriais da Exposição Internacional de Paris, 1889. Uma peculiaridade desse projeto foi a ideia usada para solucionar as forças da natureza que agiam sobre a estrutura. Com as variações climáticas, o ferro forjado e o aço da estrutura se contraíam e expandiam, causando fragilidades na segurança do Palácio. Para resolver esse problema, usaram-se treliças articuladas em suas bases e na coroa, de modo que podiam se dobrar e flexionar nesses pontos sem se romper LELAND ROTH (1993). Outro detalhe da estrutura é a aparência frágil devido à escolha de materiais leves e translúcidos. Em vista disso, os arcos em treliças se apoiavam sobre pinos de grandes charneiras (dobradiças) e os empuxos laterais eram absorvidos por barras tracionadas colocadas sob o piso LELAND ROTH (1993).

Figura 4 - Fachada principal da Galeria da Máquinas, Paris, 1889.



Fonte: < [http://wikivisually.com/lang-es/wiki/Galer%C3%ADa\\_de\\_las\\_M%C3%A1quinas](http://wikivisually.com/lang-es/wiki/Galer%C3%ADa_de_las_M%C3%A1quinas)> Acesso em: 29 de maio 2017

### 3.3. A Evolução do Aço na Arquitetura

Segundo LELAND ROTH (1993), William Le Baron Jenney (1832-1907) foi um dos primeiros arquitetos a fazer uso de estruturas metálicas em prédios de escritórios em Chicago. Quando começou a construir o edifício Home Insurance em Chicago, a princípio as paredes externas seriam erguidas com pilares de tijolo maciço, mas por causa de uma greve dos pedreiros a obra foi interrompida. Com o desejo de terminar o empreendimento o mais breve possível, Jenney decidiu fazer não apenas o esqueleto do prédio, mas também as paredes externas em aço. Quando os pedreiros voltaram a obra, o esqueleto metálico já estava montado e protegido por um revestimento de alvenaria. A alvenaria já não estava mais sustentando seu próprio peso.

Nos cinco anos que se seguiram, a maioria dos arquitetos de Chicago já haviam utilizado estruturas metálicas nas suas obras. No começo, utilizou-se o ferro fundido e forjado, e só mais tarde, com o avanço da tecnologia, o aço para resolver duas questões difíceis: reduzir o peso total das edificações pelo menos pela metade, diminuindo assim, o recalque do solo mole de Chicago; retirar as paredes estruturantes do piso térreo e da área do subsolo LELAND ROTH (1993).

Além da celeridade no processo construtivo e da redução do peso total dos edifícios, diversos fatores colaboraram para a introdução/permanência do aço na arquitetura, entre eles cabe destacar: a necessidade de grandes vãos e a verticalização dos edifícios devido a crescente urbanização das cidades e das demandas que a revolução industrial provocou.

### 3.4. *Vantagens e Desvantagens do Aço*

O aço tem sido cada vez mais utilizado na construção civil por ser um material que possibilita soluções arrojadas e eficientes para diferentes tipos de obra. Em vista disso, os processos de fabricação de estruturas metálicas tem se aperfeiçoado, e a qualidade do material é garantida através das certificações ISO 9001 e ISO 14001. Dessa forma, o uso do aço surge como uma opção viável para a construção de pontes, residências, edifícios, viadutos, estações de trem e de metrô, entre outras.

O aço oferece varias vantagens em sua utilização:

- **Redução do tempo de obra:** Pode-se reduzir em até 40% do tempo de execução quando comparado aos processos convencionais. Como são usadas peças pré-fabricadas, diminui o uso de forma e escoramentos e é possível trabalhar em diversos serviços ao mesmo tempo. Além do canteiro de obras manter-se organizado.
- **Diminuição de cargas nas fundações:** a estrutura metálica por ser mais leve pode reduzir em até 30% o valor destinado para as fundações.
- **Redução no desperdício dos materiais:** por ser um sistema industrializado, isso permite uma diminuição considerável no desperdício de materiais na obra.
- **Organização no canteiro de obra:** em construções de estruturas metálicas não há a necessidade de grandes depósitos de brita, areia, cimento, ferragens, e madeira, pois o material é pré-fabricado. Dessa forma, há uma maior organização e limpeza do canteiro, e também uma redução significativa nos entulhos e acidentes envolvendo trabalhadores.
- **Garantia e qualidade do material:** por ser uma estrutura pré-fabricada, sua produção ocorre sob um rígido controle existente, durante, todo o processo industrial, com utilização de uma mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior.

Apesar dessas vantagens, ainda existem algumas desvantagens no uso do material. O custo ainda é muito elevado, e para determinadas obras, o aço pode custar mais caro do que uma estrutura convencional. Por serem peças pré-fabricadas as estruturas metálicas exigem mão-de-obra mais especializada e qualificada, tanto na fabricação quanto na execução. Há também uma certa limitação de mercado para determinados tipos de perfis e algumas regiões no Brasil, que não tem costume de utilizar esse tipo de estrutura. Outra desvantagem é a

impossibilidade de utilizar apenas o aço para a construção de lajes. Nesse caso o material terá que ser associado ao concreto PINHEIRO (2001).



#### 4. LUDWIG MIES VAN DER ROHE

“No design is possible until the materials with which you design are completely understood.”

Figura 5 - Ludwig Mies van der Rohe



Fonte: <[http://architectuul.com/architects/view\\_image/ludwig-mies-van-der-rohe/5913](http://architectuul.com/architects/view_image/ludwig-mies-van-der-rohe/5913)> Acesso em 29 Maio 2017

Ludwig Mies van der Rohe nasceu na Alemanha, em 27 de Março de 1886, e morreu em 17 de Agosto de 1969. Mies é reconhecido como um dos arquitetos mais influentes no movimento modernista, criador de alguns dos edifícios mais emblemáticos do mundo, entre eles, o Edifício Seagram, Galeria Nacional de Berlim, Lake Shore Drive Apartments, Farnsworth House, e o Crown Hall CARTER (1974).

Mies cresceu em uma família de pedreiros/construtores, e deles herdou o sentido do trabalho manual na construção de edifícios. Em 1905, mudou-se para Berlim e entrou no escritório do arquiteto Bruno Paul. Três anos depois, transferiu-se para o escritório de Peter Behrens, no qual, após a saída de Gropius, tornou-se o assistente principal de Behrens. Mies herdou o conceito do arquiteto/artista como um agente do gosto da época, e da arquitetura

como expressão do poder técnico. Além disso, aprendeu com Behrens sua apreciação pelo detalhe e pela precisão LELAND ROTH (1993).

Nos anos 1913-1914, Mies construiu diversas residências com estilo quase neoclássicas, mas por conta da guerra sua carreira foi interrompida. Com o término da guerra Mies entrou no Novembergruppe (um grupo de pressão dedicado à revitalização das artes na Alemanha) e, com três outros jovens idealistas, publicou uma revista - G, dedicada a promover uma nova arquitetura LELAND ROTH (1993). Na G, Mies publicou diversas declarações de seus princípios, como por exemplo, “a arquitetura é o desejo da época concebido em termos espaciais” e “crie forma a partir da natureza da tarefa com os meios de nossa época” LELAND ROTH (1993).

Os projetos pós-guerra de Mies eram extremamente inspiradores, como se evidenciou na exposição de 1919. Entre eles haviam dois arranha-céus de forma livre e completamente cobertos de vidro, mas também um projeto para um prédio de escritórios horizontal e de concreto. Na visão de Mies, a conexão entre arquitetura e indústria era semelhante à de Gropius: “Vejo na industrialização o problema central de construir na nossa época. Se conseguirmos realizar essa industrialização na arquitetura, os problemas sociais, econômicos, técnicos e também artísticos serão prontamente resolvidos” LELAND ROTH (1993).

Em 1930, Mies se tornou diretor da Bauhaus. Porém, três anos depois decidiu fechar a escola como gesto contra os Nazistas CARTER (1974). Alguns anos depois Mies recebeu seu primeiro convite feito pelo arquiteto, John Holabird para mudar-se para a America, e se tornar diretor do Departamento de Arquitetura de Chicago, no Armour Institute. No entanto, Mies recusou o convite, pois não queria sair da Alemanha.

Mais tarde, Mies recebeu outro convite, para visitar a America, mas dessa vez feito pela Mrs. Stanley B. Resor, esposa do presidente, da Walter Thompson companhia de marketing, para inspecionar um terreno em Jackson Hole, Wyoming, onde o casal pretendia construir uma casa. O projeto foi concluído após Mies se estabelecer em Chicago, em 1938. Já estabelecido retomou sua conversa com John Holabird e o presidente Heald, do Armour Institute sobre a proposta anteriormente recusada, mas dessa vez impôs certas condições: total liberdade na reorganização da escola e a inclusão de dois ex-associados, dois professores da Bauhaus, Ludwig Hilberseimer e Walter Peterhans.

No mesmo ano, Mies foi formalmente nomeado Diretor de Arquitetura no Armour Institute (em 1940 Armour Institute e juntou-se com o Lewis Institute para formar Illinois Institute of Technology), uma posição que manteve por 20 anos. Em 1958, começou a se

dedicar somente à prática arquitetônica aposentando-se do ensino. Enquanto foi associado ao I.I.T. Mies planejou um novo campus e, posteriormente, projetou muitos de seus edifícios CARTER (1974).

Nos últimos vinte anos de sua vida, Mies desenvolveu e construiu sua visão de uma arquitetura "skin and bones" que refletiu seu objetivo de proporcionar ao indivíduo um lugar para se realizar na era moderna. Mies procurou criar espaços livres e abertos, que possibilitasse o uso múltiplo para qualquer necessidade do homem moderno criando uma presença mínima tanto para quem vê de fora como para quem está dentro. As características de suas obras são a simplicidade, os detalhes e a elegância da arquitetura. Ele morreu em 17 de Agosto de 1969, deixando varias obras inspiradoras para arquitetos e estudantes de todo o mundo.

## 5. BAUHAUS

Fundada em 1919 pelo arquiteto alemão Walter Gropius (1883-1969), na cidade de Weimar, a Bauhaus teve como seu principal objetivo revolucionar o pensamento, o exercício artístico e criativo, com um olhar internacional. Gropius desenvolveu um currículo baseado em artesanato, que resultaria em artesãos e designers capazes de criar objetos úteis e bonitos apropriados, para este novo estilo de vida WINTON (2016). Os jovens artisticamente dotados que ingressaram no curso deveriam juntar arte, arquitetura e artesanato para um equilíbrio ideal, e, ao projetar um edifício, expressar a síntese dessas artes.

A escola começou, pelo menos nas primeiras fases da Bauhaus, com o curso preliminar: os alunos da Bauhaus foram ensinados a trabalhar com materiais baseados em métodos educacionais inovadores e experimentais, tendo como professores os artistas visuais, Paul Klee(1879-1940), Wassily Kandinsky (1866-1944) e Josef Albers (1888-1976), dentre outros. E arquitetos extremamente conceituados, como Walter Gropius (O fundador da Bauhaus), Ludwig Mies van der Rohe, Paul Klee, Wassily Kandinsky e Oskar Shlemmer (1888-1943), entre outros.

Figura 6 - Escola Bauhaus, em Weimar, architect: Henry van de Velde



Fonte: < <https://www.bauhaus100.de/en/past/phases/weimar/> > Acesso em: 29 de Maio, 2017

Figura 7 - Mestres da Bauhaus no telhado do edifício Bauhaus em Dessau: Albers, Hinnerk Scheper, Georg Muche, László Moholy-Nagy, Herbert Bayer, Joost Schmidt, Walter Gropius, Marcel Breuer, Wassily Kandinsky, Paul Klee, Lyonel Feininger, Gunta Stölzl



Fonte: < <https://www.bauhaus100.de/en/past/overview/whatwasthebauhaus.html> > Acesso em: 29 de maio 2017.

Após a introdução na teoria da Bauhaus, os alunos entravam em oficinas especializadas, que incluíam trabalhos em metalurgia, carpintaria, tecelagem, cerâmica, artes gráficas, artesanato com vidro e pintura em muros. Embora o objetivo inicial de Gropius tenha sido uma unificação das artes através da construção, aspectos dessa abordagem provaram ser financeiramente inviável. Ao manter a ênfase no artesanato, ele reposicionou os objetivos da Bauhaus em 1923, enfatizando a importância de projetar para a produção em massa. Foi nesse momento que a escola adotou o slogan "Arte na Indústria" WINTON (2016).

Devido a problemas financeiros de origem política, em 1925 a Bauhaus deixou Weimar, e se mudou para a prospera cidade industrial de Dessau. A escolha da cidade de Dessau foi crucial pois possibilitou a construção do edifício de Walter Gropius, que continha muitas características da arquitetura modernista, incluindo a construção de armação de aço, uma parede de cortina de vidro e um plano assimétrico, ao longo do qual Gropius distribuiu estúdio, sala de aula e espaço administrativo para máxima eficiência e lógica espacial WINTON (2016). Hoje, o edifício conhecido como um ícone do modernismo.

O que é muito mais importante do que esta economia estrutural e sua ênfase funcional é a conquista intelectual que possibilitou uma nova visão espacial. Pois, enquanto a construção é apenas uma questão de métodos e materiais, a arquitetura implica o domínio do espaço. Basta pensar em tudo que a técnica moderna contribuiu para a fase decisiva no renascimento da arquitetura e a rapidez do seu desenvolvimento! Nossos recursos técnicos novos promoveram a desintegração de massas sólidas de alvenaria em cais delgados, com consequentes economias de longo alcance em massa, espaço, peso e transporte. Novas substâncias sintéticas - aço, concreto, vidro - estão substituindo ativamente as matérias-primas tradicionais de construção. A sua rigidez e a sua densidade molecular permitiram erguer estruturas amplamente abertas e todas transparentes para as quais a habilidade das eras anteriores era manifestamente inadequada. Esta enorme economia em volume estrutural foi uma revolução arquitetônica em si mesma. Uma das conquistas notáveis da nova técnica de construção foi a abolição da função de separação da parede. Em vez de fazer as paredes o elemento de suporte, como em uma casa construída em tijolos, nossa nova construção de espaços envia toda a carga da estrutura para estrutura de aço ou concreto (GROPIUS, 1965).

Em 1928, Gropius demitiu-se como diretor da Bauhaus, sucedido por Hannes Meyer (1889-1954). Meyer manteve a ênfase no design produtivo em massa e eliminou partes do currículo que ele sentia ser de natureza extremamente formal. Além disso, destacou a função social de arquitetura e design, favorecendo a preocupação com o bem público e não o luxo privado. Publicidade e fotografia continuaram a ganhar destaque sob sua liderança (AG/GB 2016).

Sob a pressão de um governo cada vez mais de direita, Meyer renunciou ao cargo de diretor da Bauhaus em 1930. Ele foi substituído pelo arquiteto Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969). Mies novamente reconfigurou o currículo, com uma maior ênfase na arquitetura. Lily Reich (1885-1947), que colaborou com Mies em várias das suas comissões privadas, assumiu o controle do novo departamento de design de interiores. Outros departamentos incluíam tecelagem, fotografia, artes plásticas e construção WINTON (2016).

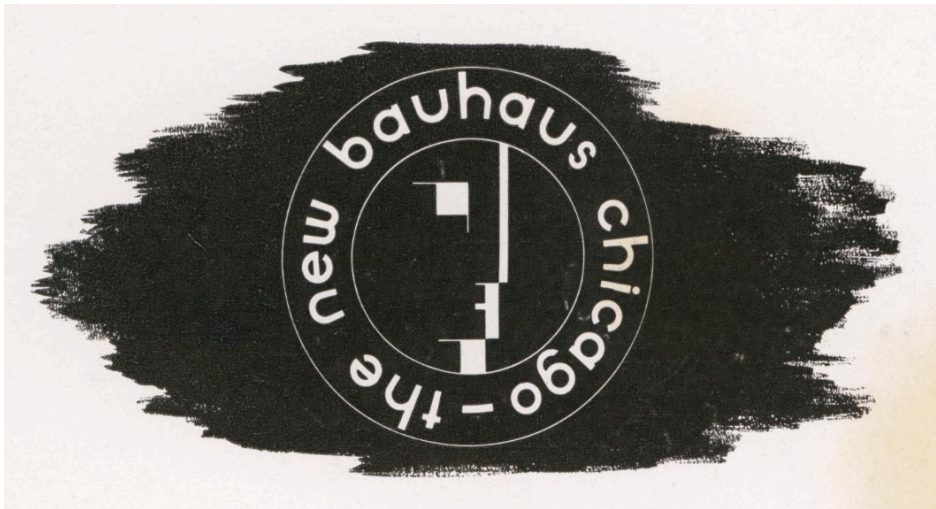
Com a situação política cada vez mais instável na Alemanha, somada com a perigosa situação financeira da Bauhaus, Mies mudou a escola para Berlim em 1930, onde operava em escala reduzida WINTON (2016). E finalmente em 1933, fechou a Bauhaus.

Durante os anos turbulentos da Segunda Guerra Mundial, muitos arquitetos, artistas e professores da Bauhaus emigraram para os Estados Unidos, onde seu trabalho e suas filosofias de ensino influenciaram as gerações de jovens arquitetos e designers WINTON (2016). Marcel Breuer e Walter Gropius ensinaram em Harvard. Josef Albers e sua esposa Anni Albers ensinaram no Black Mountain College, e mais tarde Josef ensinou em Yale.



Moholy-Nagy estabeleceu a Nova Bauhaus em Chicago, em 1937. Mies van der Rohe projetou o campus e ensinou no Illinois Institute of Technology (AG/GB 2016).

Figura 8 - Símbolo do 'the new bauhaus', artista: László Moholy-Nagy, 1937.



Fonte: < <https://www.bauhaus100.de/en/past/overview/whatwasthebauhaus.html> > Acesso em: 29 de maio 2017

## 6. ARQUITETURA x ENGENHARIA

A palavra integração (ato ou efeito de integrar) é o foco desse trabalho, pois a integração entre engenharia e arquitetura, na elaboração e execução de um projeto de construção civil, que tem como finalidade atender aos requisitos de beleza, funcionalidade e economicidade, possibilita a simbiose almejada.

No caso prático, na atuação da engenharia e arquitetura, podemos exemplificar assim: se não houver união direta e frequente entre as duas profissões em um determinado projeto, com certeza ocorrerá desperdício de tempo e de recurso. Entretanto, nos dias de hoje, o resultado dessa prática é um movimento recorrente de arquitetos e engenheiros, verificando e ajustando os projetos, na tentativa infrutífera dessa associação, sem obter o resultado pretendido: a simbiose CASTRO JUNIOR (2014).

O problema é agravado pela tradicional e recorrente desconfiança do arquiteto sobre a base científica da engenharia, ou seja, as leis naturais, nas quais a engenharia se baseia, podem causar um engessamento do trabalho do projetista, impedindo, muitas vezes, que a criatividade possa aparecer naturalmente ENGEL (2001).

Arquitetura e engenharia trabalharam em sintonia durante a maior parte do tempo, dado que, na antiguidade, os mestres projetistas, protagonistas da Renascença, eram profissionais generalistas, sabedores da arte, da arquitetura e da engenharia. Nos séculos XV e XVI, a consolidação no método era o modelo de produção científica da época, e conseqüentemente, da própria ciência moderna, fortalecendo o princípio do estudo das partes como ferramenta de compreensão do todo, abrindo caminho para novos ramos da ciência, especializações e profissões ALFONSO (2004).

Na época da Revolução Industrial, a engenharia teve um papel predominante, haja vista que a construção das fábricas, estações de trem, entre outros, necessitavam de agilidade, praticidade, sem se preocupar com a estética. Com o processo de desenvolvimento da construção civil nessa época, a engenharia seguiu um caminho mais técnico e objetivo em contraposição à arquitetura que teve seu foco voltado para a estética e inovação visual, criando um hiato entre as duas profissões.

O final do século XIX foi marcante pela mudança radical de paradigmas arquitetônicos. De tal forma que não fazia mais sentido edificações pomposas, grandiosas e ornamentais num mundo em que encontrava-se mais voltado à produção, ao fortalecimento do capitalismo e ao



crescimento veloz das cidades CASTRO JUNIOR (2014). Na década de 70 o papel do arquiteto teve maior destaque em razão das duas guerras mundiais, o que colaborou para a utilização da arquitetura com foco na humanização da reconstrução das cidades.

O ensino brasileiro hoje demonstra claramente que existe um distanciamento na formação do profissional de arquitetura e de engenharia. De acordo com CASTRO JUNIOR (2014), as grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo possuem, em média 8,92% das disciplinas voltadas ao estudo de sistemas estruturais, materiais e cálculo estrutural ao passo, que na engenharia apenas 4,39% representam disciplinas relacionadas à concepção arquitetônica, história da arquitetura e estudos dos espaços edificados.

A estrutura curricular do curso de arquitetura torna o respectivo escopo acadêmico mais englobante e complexo, uma vez que exige do arquiteto certo domínio em todas as áreas: das ciências formais (puras) às ciências factuais (aplicadas) CASTRO JUNIOR (2014). As disciplinas de cálculo estrutural e de prática da construção são ministradas por engenheiros e como o conteúdo passado é complexo, confuso e pouco prático afastam o interesse do estudante pela engenharia. As matérias são tratadas de forma rígida e monótona, em desalinho com os padrões e processos criativos que norteiam todas as atividades realizadas pelo jovem arquiteto ENGEL (2001).

No caso do curso de engenharia, que tem como foco a objetividade e praticidade do projeto, sem muita preocupação com a beleza e arte do produto. Assim verificamos que grande parcela dos docentes do curso de engenharia não se preocupam em fortalecer temas como a arte e a sensibilidade por, serem oposto à estrutura de ordenamento do raciocínio objetivo do engenheiro.

Diante de todo o exposto, verificamos que existe uma grande diferença na abordagem prática, pelos docentes, entre os cursos de engenharia e arquitetura. Cabe ressaltar ainda que a própria estrutura curricular do curso de engenharia e de arquitetura são muito distantes, fazendo com que o engenheiro perca o interesse em abordar a parte artística do projeto enquanto que o arquiteto prioriza tal ponto. Portanto, fica explícito a dificuldade para que os formandos possam interagir amigavelmente.

Apesar da diferença na abordagem prática entre os cursos, temos um exemplo de um grande arquiteto que se preocupava em criar uma interação da arquitetura com a estrutura. O arquiteto João Filgueiras Lima, nascido no Rio de Janeiro em 1932, mais conhecido como Lelé. Ele teve sua carreira iniciada em 1955 quando se formou na Universidade do Brasil – que hoje é chamada de Universidade Federal do Rio de Janeiro, no curso de Arquitetura e

Urbanismo MARQUES (2015). Durante o curso, ainda como estudante, Lelé se aproximou de um de seus mestres, o arquiteto e pintor Aldary Henrique Toledo. Este último costumava organizar reuniões regulares com artistas e intelectuais da época, tais como, Oscar Niemeyer, Carlos Leão, Cândido Portinari e Darcy Ribeiro, em sua casa. Por ser amigo do arquiteto Aldary Henrique Toledo, Lelé frequentava essas reuniões e acabou fazendo amizade com esse seleto grupo de intelectuais.

Em 1957, Lelé foi convidado por Toledo, para trabalhar no Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Bancários (IAPB). Ele foi responsável pela construção das casas dos associados. Algum tempo depois Lelé foi convocado para trabalhar como engenheiro na construção de Brasília e ficou encarregado pelas obras da Super Quadra Sul, SQS 108, projetado por Niemeyer. Após obter sucesso na construção, Lelé juntamente com Toledo e Luigi Pratesi (Dois grandes arquitetos que também trabalharam no IAPB), projetaram e construíram dois blocos na SQS 109, com 133 metros de comprimento e 15 metros de largura GUERRA e MARQUES (2015).

Lelé, em 1962, foi chamado para fazer parte da concepção do projeto e construção dos principais edifícios do campus da Universidade de Brasília (UnB), por Darcy Ribeiro e Oscar Niemeyer. A partir desse período ele começa seus estudos com a industrialização e a racionalização da arquitetura. Em sua primeira viagem para o leste europeu, Lelé visitou as fábricas e as edificações feitas por peças pré-fabricadas de concreto. Na década de 1950 era comum o uso desse sistema de peças de concreto pré-fabricadas com esquadrias, portas, sistema hidráulico e elétrico já incorporados feita pela companhia Raymond Camus. Após um trabalho intensivo na construção de Brasília, utilizando sistemas construtivos simples para resolver questões particulares, como por exemplo, abrigos para operários, espaços de reunião, e outras instalações provisórias, tornou-se um especialista em tecnologia pré-fabricada e na eficiência no uso dos canteiros de obra.

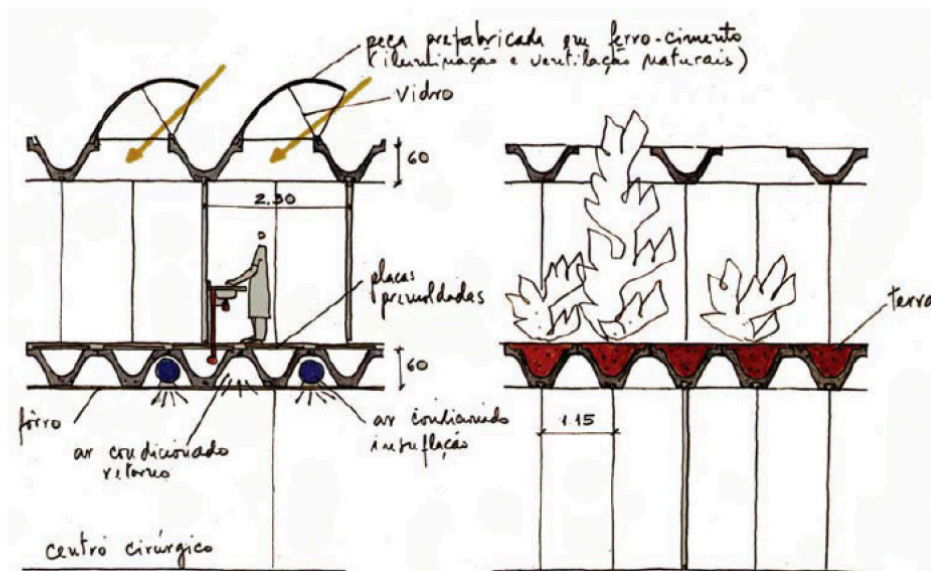
Durante sua trajetória como construtor e arquiteto, propôs novos métodos e técnicas de pré-fabricação de elementos construtivos inovadores no país. Outras formas de construção também foram exploradas por Lelé, como por exemplo, a argamassa armada, uma espécie de cimento com armadura homogênea que pode ser utilizada em componentes e peças leves em diversas fases da obra, e o aço FRAJNDLICH (2014).

Três aspectos importantes caracterizaram sua obra: a escolha de trabalhar para o Estado, que resultou em projetos de secretarias, monumentos e sistemas de drenagem em diversas partes do País; o aperfeiçoamento de técnicas construtivas, que possibilitou o

desenvolvimento de modos econômicos e de fácil manipulação dos materiais construtivos; e a última, a área hospitalar, que permitiu a construção de uma série de edifícios feitos com componentes pré-fabricados e produzidos em uma fábrica própria, com preocupação com o conforto térmico e ventilação. O exemplo máximo da obra de Lelé é a rede Sarah de Hospitais.

Na concepção da Rede Sarah de Hospitais, Lelé priorizou dois aspectos: iluminação e conforto térmico, por meio de sistemas eficientes de iluminação e ventilação natural LUKIANTCHUKI (2010).

Figura 9 - Sheds do Sarah de Brasília



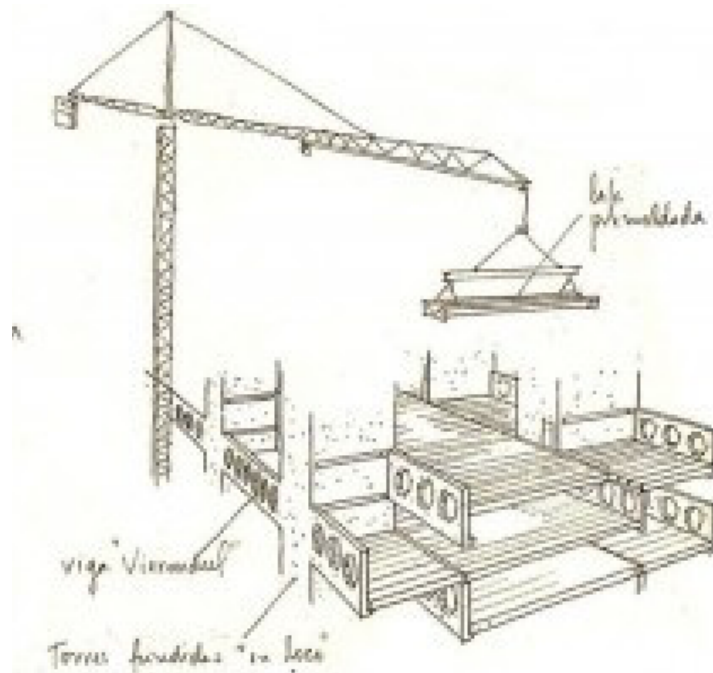
Fonte: LUKIANTCHUKI (2010).

Na questão estrutural dos hospitais Sarah Kubitschek, particularmente em Brasília destaca-se o uso da viga vierendeeel, como parte da arquitetura. Duas razões fundamentaram a necessidade do uso da referida viga: verticalização de parte do edifício e sustentação de grandes vãos. A estrutura da vierendeeel é composta por barras conectadas entre si através de nós, da mesma forma como ocorre no caso das treliças. Porém, diferentemente das treliças, na viga vierendeeel não há a necessidade de formação de triângulos SIQUEIRA E FIORITI (2012).

Dessa forma, na viga vierendeeel, haverá a necessidade de ligações rígidas entre as barras através de nós de pórticos, que transmitem momentos fletores e cisalhamento entre os

elementos, além de esforços de compressão ou tração. Pode-se resumir uma viga vierendeel, elencando as seguintes características: a) associação de vários quadros rígidos (pórticos fechados); b) funciona como um pórtico (fechado), onde as barras estarão sujeitas as tensões de tração e compressão (como nas treliças) e flexão e cisalhamento (como nas vigas). Por possuir essas características citadas acima, nesse tipo de viga, as cargas podem ser aplicadas em qualquer parte da viga que continuarão a surgir os mesmos esforços SIQUEIRA E FIORITI (2012).

Figura 10 - Estrutura do Sarah de Brasília (Viga Vierendeel)



Fonte: < <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4913> > Acesso em: 29 de maio 2017

Figura 11 - Hospital Sarah fachada lateral



Fonte: < <http://cadernoteca.polignu.org/wiki/Arquivo:BRAS-RIO.jpg> > Acesso em: 29 de maio 2017.

## 7. ESTUDOS DE CASO

No estudo de caso, iremos abordar duas construções famosas: Sede da Caixa Central de Alocações Familiares, e o Crown Hall, salientando o aspecto inovador da arquitetura dessas obras com o objetivo de realizar uma análise estrutural, e tentar compreender a decisão do arquiteto pela forma projetada, no Crown Hall. Ambos os projetos utilizaram estrutura metálica e sinalizaram com clareza a incorporação da estrutura na concepção arquitetônica. Como a primeira obra citada já foi estudada no trabalho de Castro Junior (2014), abordarmos, nesse estudo de caso, o Crown Hall.

### *7.1. Sede da Caixa Central de Alocações Familiares, Paris*

O prédio da Sede da Caixa Central de Alocações Familiares situado em Paris é um órgão estatal fundado em 1946. A edificação foi projetada em 1953, pelos arquitetos Raymond Lopez (1904 - 1966) e Marcel Réby, com o objetivo de centralizar os serviços públicos espalhados pela capital francesa. O aglomerado de órgãos estatais é um conjunto de blocos de edifícios, sendo a sede administrativa o edifício principal.

A edificação da Sede da Caixa Central de Alocações Familiares é composta de 10 pavimentos acima do nível do solo. O sistema estrutural escolhido, pelos profissionais responsáveis pelo projeto, utiliza elementos (vigas e pilares) em aço. Os pilares encontram-se afastados das extremidades, e as vigas estão apoiadas nesses pilares em balanço.

Para proporcionar a vedação externa da construção, adotou-se um sistema de grades de alumínio, nas quais seriam assentados os painéis de revestimento da fachada. Esses materiais adotados possibilitaram maior leveza a edificação. Dessa forma, o revestimento da fachada era constituído de material translúcido, extra leve, de fibra de vidro e poliéster reforçado. E assim, garantindo ao edifício o título de primeira edificação, com utilização em larga escala de material plástico nas fachadas.

Durante a escolha do revestimento da fachada, teve-se o cuidado de escolher sistemas de vedações que fossem capazes de ocultar a estrutura. Dessa forma, manteve-se o mistério do funcionamento do sistema estrutural, para leigos no assunto. A Figura 12 ilustra uma das fachadas da edificação apresentada, demonstrando que os sistemas estruturais não estão implícitos, e sim ocultos pelo revestimento das fachadas.

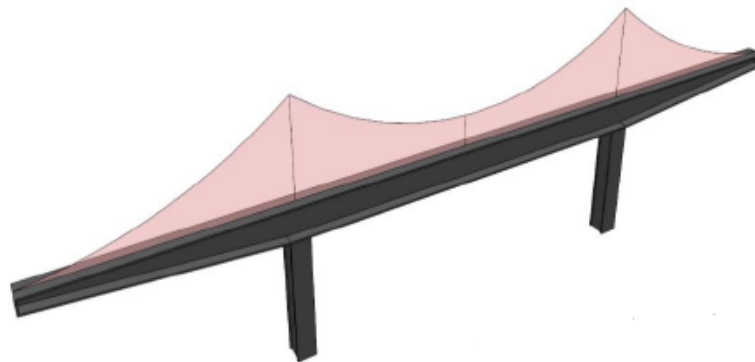
Figura 12 - Edifício principal da Sede da Caixa de Alocação Familiares em Paris



Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014 pg. 129.

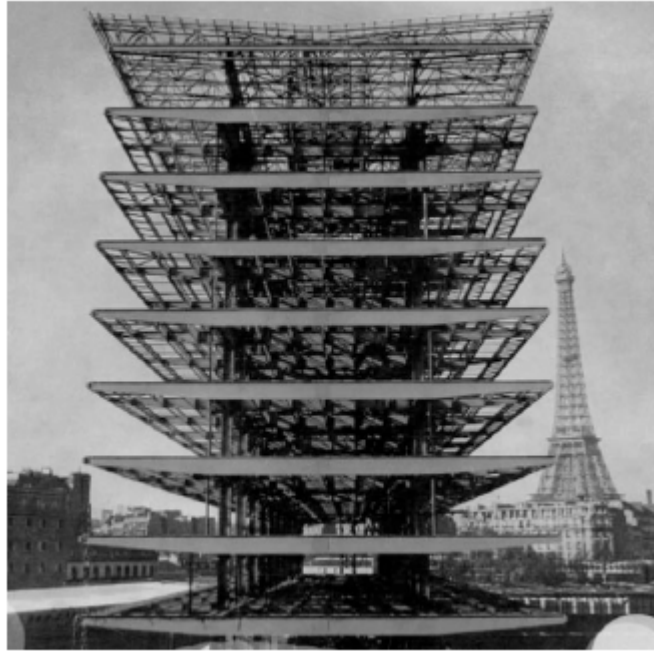
Além disso, de acordo com o diagrama de momento fletor, evidenciou-se que nos encontros entre os pilares e as vigas encontravam-se os maiores esforços. Dessa maneira, nas extremidades, os momentos são nulos. Conforme essa configuração, foi proposto a utilização de vigas com diferentes alturas, de maneira que o desenho das vigas acompanhasse o desenho do diagrama, como ilustrado na Figura 13. Com a variação das alturas das seções das vigas, houve um decréscimo no peso da estrutura, e conseqüentemente, redução no consumo de aço, além de conferir aos elementos estruturais um arranjo diferenciado e interessante, como observado na Figura 14 CASTRO JUNIOR (2014).

Figura 13 - Diagrama do momento fletor



Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014 pg. 131

Figura 14 - Ilustração das vigas de aço da estrutura com maior altura no vão central.



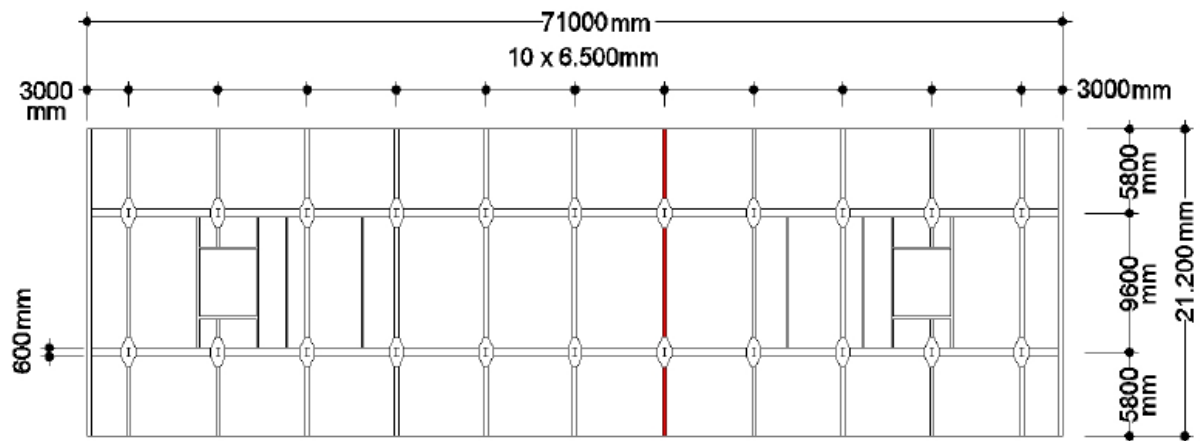
Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014 pg. 130

O edifício principal demonstra em todas as fachadas uma visualização da estrutura. Ao visualizar as fachadas, é possível conceber o ordenamento e funcionamento do sistema estrutural, e principalmente, o funcionamento dos espaços, objetivo da arquitetura. Este projeto é considerado marcante pelas inovações praticadas e pela importância histórica no incremento e fortalecimento da arquitetura moderna.

A planta estrutural do pavimento tipo constitui 71 metros de comprimento por 21,20 metros de largura, sendo constituído de 1.500 m<sup>2</sup> de área. A laje é constituída e sustentada por 13 repetições de viga em 08 pavimentos além do térreo, as vigas possuem perfil tipo I, constituídos de 21,20 metros de comprimento por 80 centímetros de altura, sendo a mesa (bf), de aproximadamente, 40 centímetros de largura. Os apoios são alocados afastados das extremidades da viga na direção do centro, sendo assim gera 02 balanços simétricos de 5,80 metros com um vão central de 9,60 metros. A marcação das vigas é demonstrada conforme demonstrado na figura 15:



Figura 15 - Planta estrutural do pavimento tipo e marcação da vida.



Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014 pg. 132

Considerou-se a norma NBR 6120 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, para realizar o cálculo das cargas nas lajes. Conforme especificado em norma na seguinte tabela:

Tabela 1 - Ações NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.

Ações Permanentes (Peso Próprio)	
g1 Laje (15cm)	375 kgf/m <sup>2</sup>
g2 Peso Estrutura Metálica	50 kgf/m <sup>2</sup>
g3 Peso Divisórias Internas	45kgf/m <sup>2</sup>
g4 Peso Revestimento	100kgf/m <sup>2</sup>
Total	570kgf/m <sup>2</sup>
Carga Acidental	
q1 Escritório	200kgf/m <sup>2</sup>
q Total	200kgf/m <sup>2</sup>

P Total	770kgf/ m <sup>2</sup>
Largura (Faixa) de Influência	
Laje	6,50m
TOTAL (Carga Uniforme Distribuída)	5.005kg f/m

Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014 pg. 133

Para efeitos de cálculo, o valor a ser utilizado foi de aproximadamente 5.000kgf/m. Será considerado para a mesma altura de seção em toda extensão da viga de aço, descartando-se a redução da altura (projeto original) da seção dos apoios até as extremidades. A estrutura será isostática, constituindo-se de um vínculo articulado móvel e um vínculo articulado fixo, será utilizado os perfis metálicos Gerdau (laminados) e/ou Usiminas (soldados), para as análises de flecha, será utilizado apenas a maior flecha dos tramos, a resistência do aço para o projeto será 2.500kgf/cm<sup>2</sup>. (NBR 6120).

Sendo assim, foram considerados aspectos da NBR 6120 aplicados nesse projeto, utilizando um conjunto de elementos arquitetônicos e estruturais, sendo possível demonstrar nos projetos a utilização harmônica dos dois aspectos, ou seja, a questão estrutural e arquitetônica.

Dessa forma, como o estudo de caso citado acima ressaltou o sucesso na diminuição das cargas, material utilizado e, conseqüentemente, um ganho na leveza da estrutura tanto na parte da engenharia/estrutura quanto na forma/arquitetura, utilizou-se esse estudo como parâmetro para o início do desenvolvimento desse trabalho pois esse obteve-se esse resultado a partir de uma simbiose entre engenharia e arquitetura.

## 7.2 - *Crown Hall, Chicago*

Considerada como uma das obras-primas de Mies van de Rohe, o Crown Hall, que teve a sua construção iniciada em 1950 e concluída em 1956, é um dos edifícios mais significativos do movimento modernista do século XX para a arquitetura. Construído para compor o campus do Illinois Institute of Technology (I.I.T.) em Chicago, precisamente para ser a sede do Instituto da Arquitetura e Urbanismo bom como, o Departamento de Design. O

projeto do Crown Hall representa a primeira realização em grande escala do conceito de Mies, “clear-span/universal-space building,” (espaço sem obstruções/espaço universal).

Figura 16 - Crown Hall, Chicago (fachada norte)



Fonte: < <http://www.historiasztuki.com.pl/ilustracje/ARCHWSP/Crown-Hall.jpg> > Acesso em 15 de Junho 2017

O campus do I.I.T tem uma área de 120 acres ou 485.623,00 metros quadrados e é composto por 55 prédios, sendo 19 deles projetados por Mies. O Crown Hall, possui a dimensão de 36,5 metros x 67 metros (120ft x 220ft) e altura de 8,38 metros (27ft 5in). O prédio possui dois andares, sendo o primeiro com altura do pé direito de 3,65 metros (12ft) e o segundo chamado de salão principal com o pé direito de 5,48 metros (18ft) THOMPSON (2001).

Figura 17 - Salão principal



Fonte: < <https://www.flickr.com/photos/peterjsieger/7686846508> > Acesso em 15 de Junho 2017

A estrutura é composta por concreto armado, aço e vidro. A primeira parte da estrutura que fica em contato com o solo foi feita de concreto armado para receber a segunda parte, que compõe a fachada e sustenta o edifício, utilizando aço e vidro.

Além de ser usado na estrutura que apoia a parte metálica, também utilizou-se o concreto armado, na laje que divide os dois pavimentos, nos degraus das entradas norte e sul e no telhado.

A parte metálica (pintada de preto) é formada por 13 pilares de aço, localizados no menor vão da parte externa do edifício; e na outra extremidade é formada por 23 pilares de aço, sendo quatro deles mais robustos, pois sustentam quatro vigas de aço maiores que as outras. Por sua vez, essas quatro vigas suportam todo o peso do telhado distribuindo esta carga nas demais vigas que interligam a estrutura total. O espaçamento entre elas é de aproximadamente 18 metros (60ft) e o telhado é composto por 11 cantoneiras de aço com espaçamento de aproximadamente 3 metros (10ft) entre si. Essas cantoneiras são soldadas nas vigas, que fazem a amarração dos pilares e contornam a estrutura, que sustenta as quatro vigas de aço expostas externamente, como mostra a figura a seguir:

Figura 18 - Esquema estrutural do Crown Hall

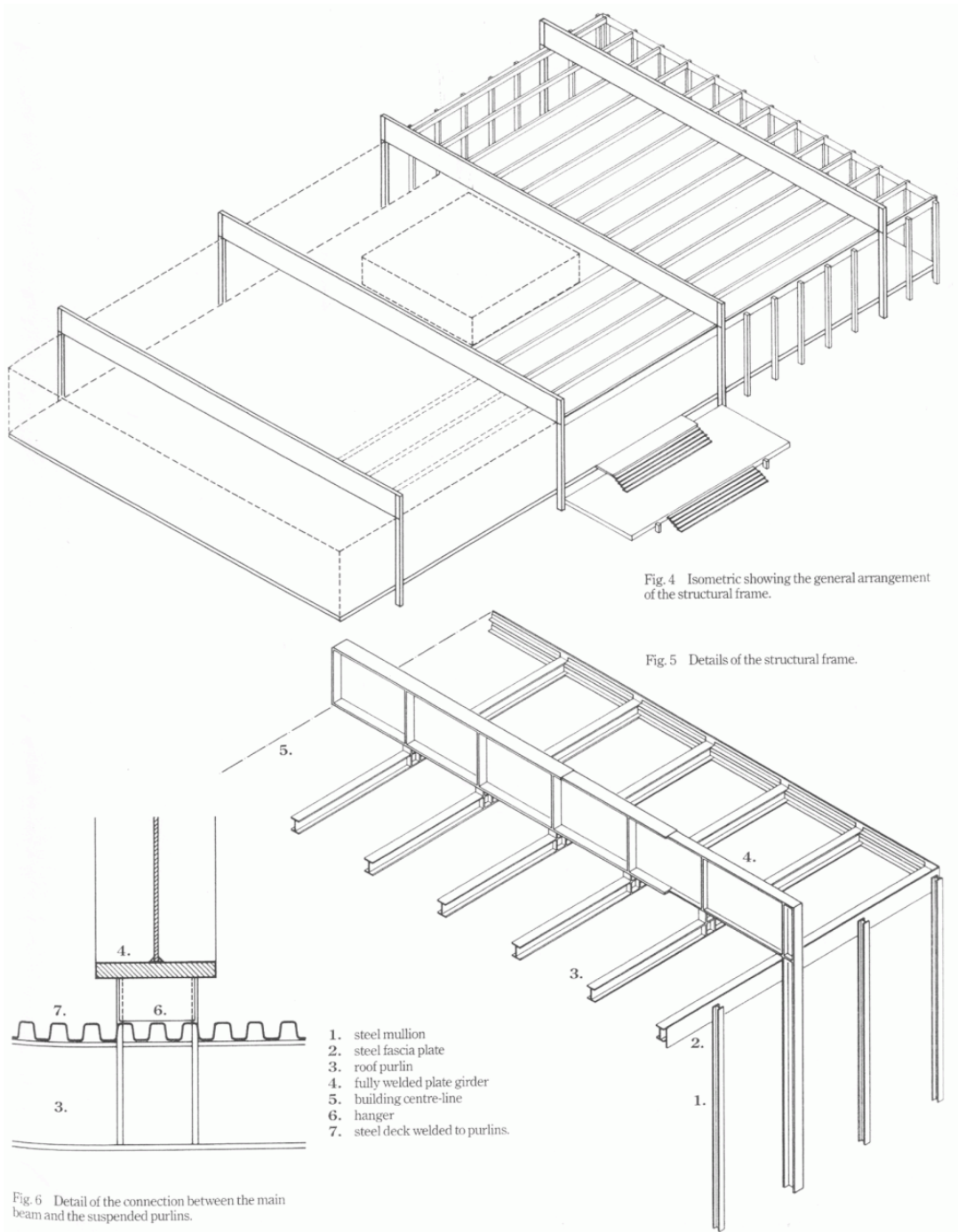


Fig. 4 Isometric showing the general arrangement of the structural frame.

Fig. 5 Details of the structural frame.

Fig. 6 Detail of the connection between the main beam and the suspended purlins.

Fonte: < <https://br.pinterest.com/pin/552465079276757396/> > Acesso em 15 de Junho 2017



Figura 19 - Viga Girder



Fonte: <[http://68.media.tumblr.com/fb4445815ba344ecf7f4e37700f215ac/tumblr\\_mmn7zk0SDv1rt3neao3\\_1280.jpg](http://68.media.tumblr.com/fb4445815ba344ecf7f4e37700f215ac/tumblr_mmn7zk0SDv1rt3neao3_1280.jpg)> Acesso em 15 de Junho 2017

O aço é usado tanto para suportar o prédio quanto para fixar o vidro e resultou em vigas e pilares muito esbeltos que tornam o prédio com aparência muito leve pois os vidros parecem não ter suporte, exemplificando a ideia de Mies na arquitetura que é “quase nada”.

A fachada exterior é totalmente envidraçada, com o painel dividido em três camadas, superior, média e inferior. Na camada superior os vidros translúcidos de 2,95 metros (9ft, 7in) de largura por 3,53 metros (11ft, 6in) de altura que são separados entre si pelos pilares de aço que fazem parte da estrutura. A camada média (vidro jateado) inicia-se na base do piso principal e possui uma altura de 2,95 metros (7ft, 9in). Um perfil de aço horizontal separa esta camada da camada superior. Um segundo perfil vertical divide cada espaço da camada média em duas vidraças fixas. Vale ressaltar que, nesse nível, nas entradas principais (norte e sul), os

vidros são translúcidos e não jateados. Na base de cada vidro jateado, existe uma veneziana de aço, de aproximadamente 20 cm (8in) de altura, que fornece ventilação natural para o corredor principal. A camada inferior de vidro é uma janela basculante que se apoia na base do edifício criando luminosidade para o andar inferior. Essas janelas são de vidro jateado, 1,21 metros (4ft) de altura. Um perfil vertical, semelhante aos dos vidros da camada média, divide cada espaço THOMPSON (2001).

Figura 20 - Fachada principal do Crown Hall



Fonte: < <https://br.pinterest.com/explore/illinois-institute-of-technology/?lp=true> > Acesso em 15 de Junho 2017.

Vale ressaltar que o uso do vidro jateado tende a dissociar o prédio do chão quando visto do seu interior. Olhando para fora não se vê o chão o que dá a sensação de não estar na cidade, apenas se observa a natureza.

Uma entrada secundária na elevação norte está localizada no espaço central. Existem dois conjuntos de portas duplas de aço inoxidável que fornecem acesso ao piso principal muito semelhante a entrada da elevação sul. Essas duas entradas são independentes do edifício e por isso parecem flutuar.

No telhado, foi instalada a casa de máquinas no centro da cobertura, com 3,71 metros quadrados (40 pés quadrados) e aproximadamente 1,82 metros (6ft) de altura. A cobertura abriga equipamentos mecânicos, e foi projetada originalmente com vidraças translúcidas ao longo das fachadas norte e sul e com aberturas de ventilação nos lados leste e oeste THOMPSON (2001).

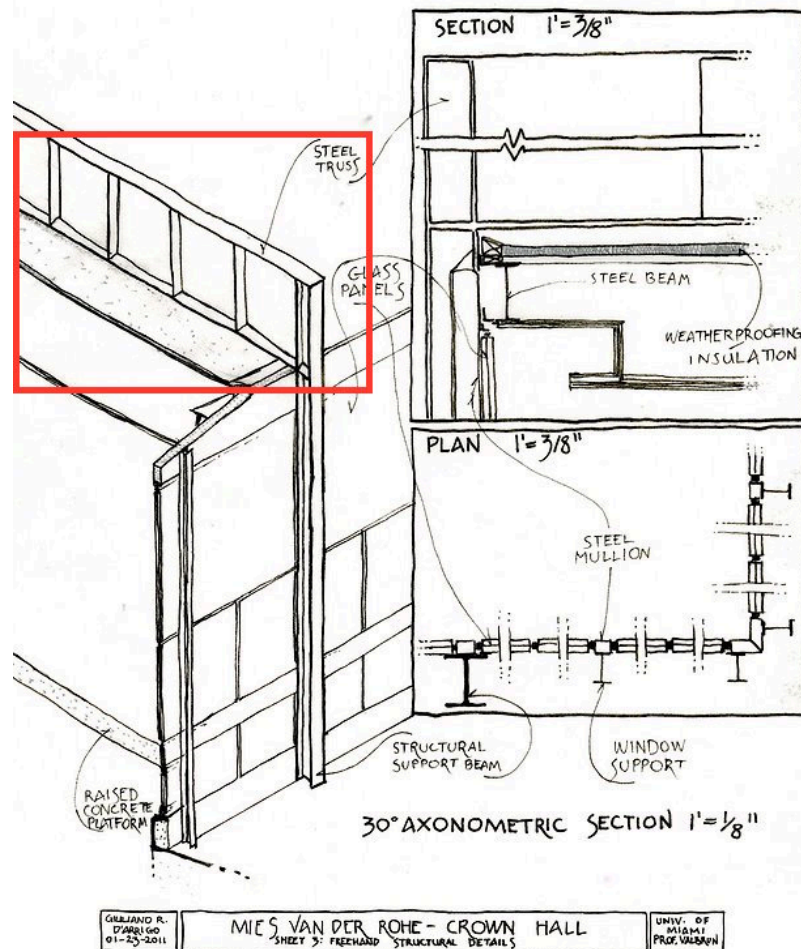
Dessa forma no Crown Hall, tanto os materiais utilizados quanto a forma escolhida expressam a filosofia de Mies van der Rohe que é o espaço universal.

### *7.2.1. O dimensionamento*

Para que e a relação entre estrutura e arquitetura, presente no Crown Hall, seja mais visível ao leitor, é necessário realizar um dimensionamento. Esse estudo leva em consideração uma das quatro vigas que sustentam o telhado do edifício vide figura 21. Primeiramente, faz-se o dimensionamento de acordo com as medidas reais do edifício, e em seguida, proposição acerca do tamanho do vão são feitas com o intuito de verificar se há maior aproveitamento da estrutura.

Figura 21 - Indicação da viga a ser analisada

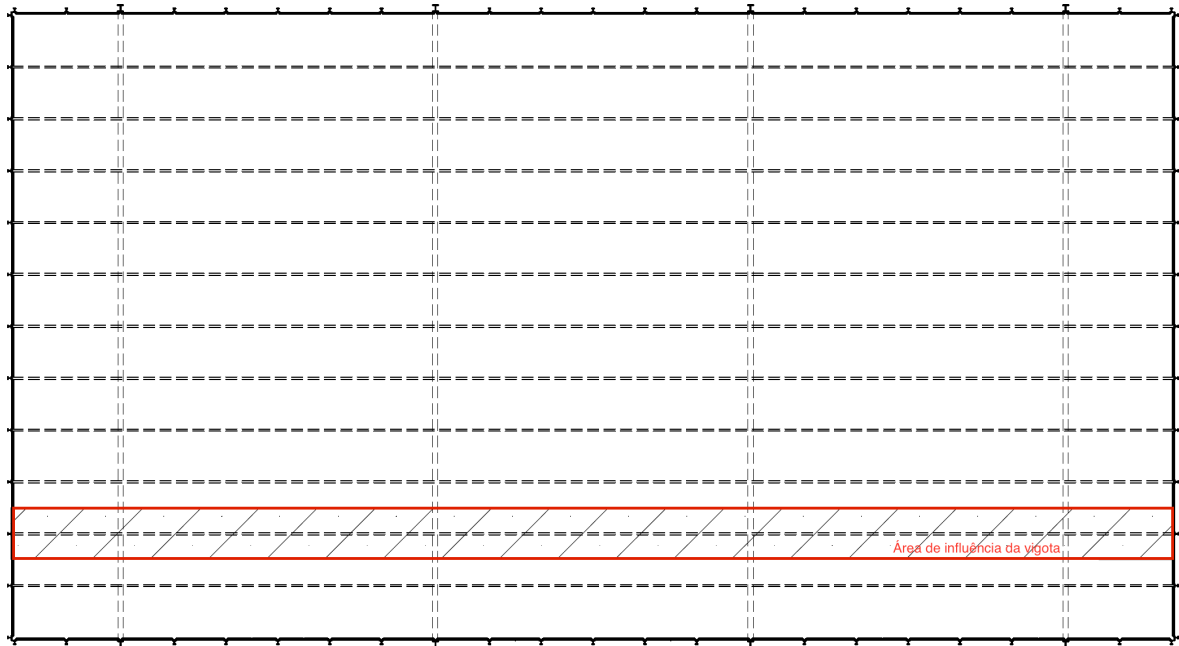




Fonte: < <https://br.pinterest.com/pin/426856870914506741/> > Acesso em 15 de Junho 2017.

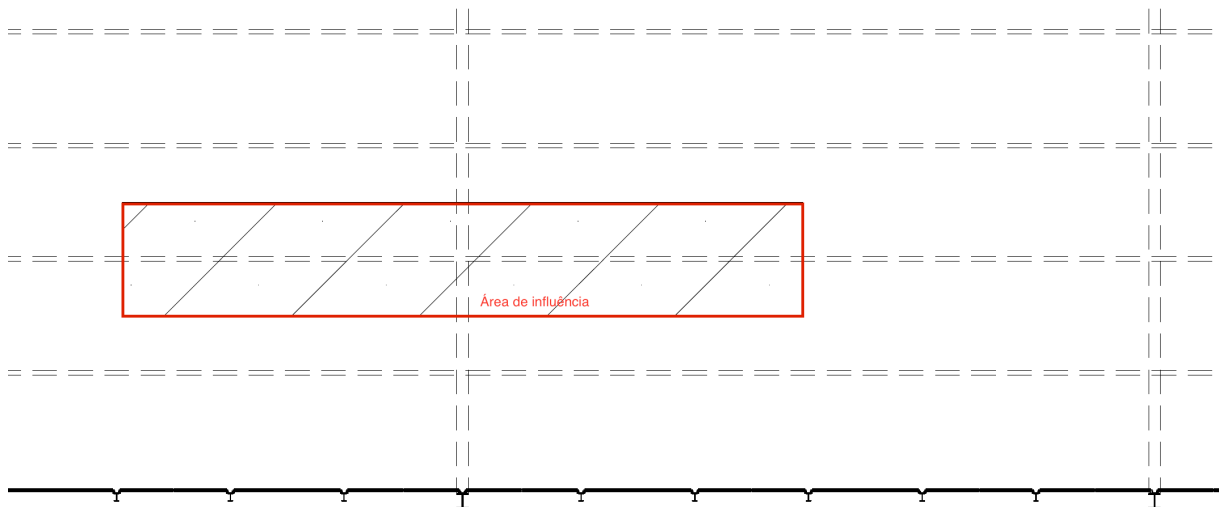
A figura abaixo demonstra o arranjo estrutural da laje de cobertura. Por meio dela, é possível obter a área de influência de cada uma das vigotas que se encontram acopladas na viga principal.

Figura 22 - Área de influência da vigota inteira



Fonte: feito no auto cad pela autora

Figura 23 - Área de influência do trecho em análise da vigota



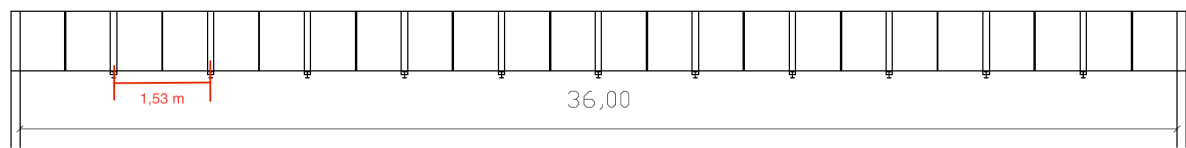
Fonte: feito no auto cad pela autora

Área de influencia  $\rightarrow 54,75 m^2$

A viga principal é chamada na bibliografia americana de “girder”. Este termo passará a ser usado para referenciá-la também neste trabalho. Devido a dificuldades em se obter, com precisão, qual foi o perfil utilizado na situação real, recorreu-se a comparações com escalas gráficas em bibliografias de arquitetura de modo a determinar a altura do perfil.

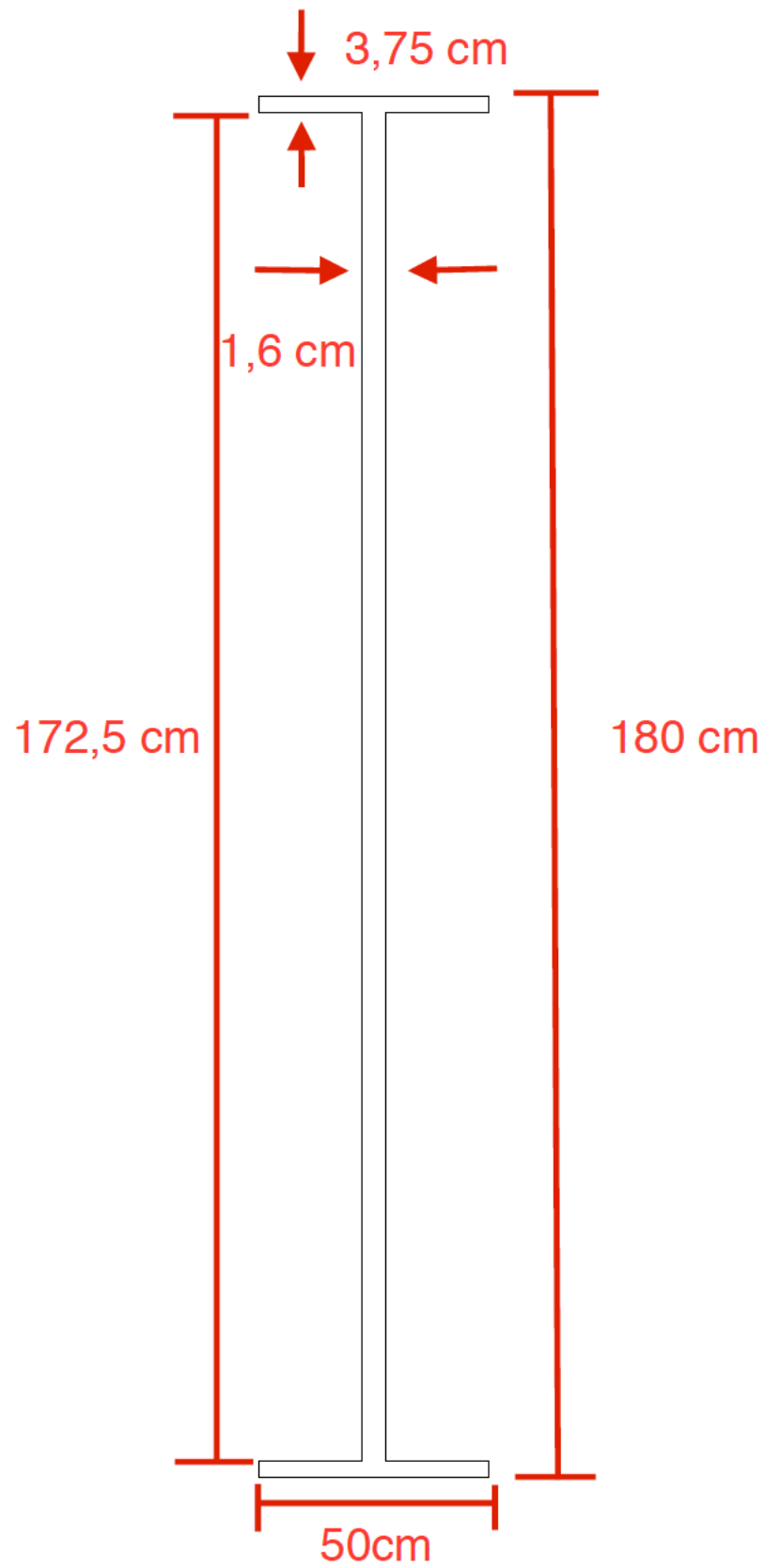
O valor obtido foi 1,74m. Observando-se a tabela de perfis disponível em PINHEIRO (2001), o perfil brasileiro de dimensões mais aproximadas foi o VS 1.800 x 511. Como a análise estrutural tange a questões mais qualitativas do que quantitativas, optou-se por utilizar este perfil, apesar da diferença dimensional da ordem de 3,3%. As dimensões e propriedades da viga girder seguem nas figuras abaixo:

Figura 24 - Viga girder



Fonte: feito no auto cad pela autora

Figura 25 - Perfil da viga



Fonte: feito no auto cad pela autora

Tendo conhecimento da área de influência da viga estudada, pode-se calcular os carregamentos.

**Carga permanente:**

Peso da laje steel deck  $\rightarrow 185 \text{ kgf}/\text{m}^2$

Peso próprio da laje  $\rightarrow 185 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 54,75 \text{ m}^2 = 10.128,8 \text{ kgf}$

Impermeabilização  $\rightarrow 10 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 54,75 \text{ m}^2 = 547,5 \text{ kgf}$

Peso próprio da vigota = 30,7 kgf/m (de acordo com tabela)

Peso da vigota  $\rightarrow 18,25 \text{ m} \times 30,7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} = 560,28 \text{ kgf}$  (distância retirada da área de influência)

Soma da carga permanente  $\rightarrow 11.236,53 \text{ kgf}/\text{m}$

**Carga acidental:**

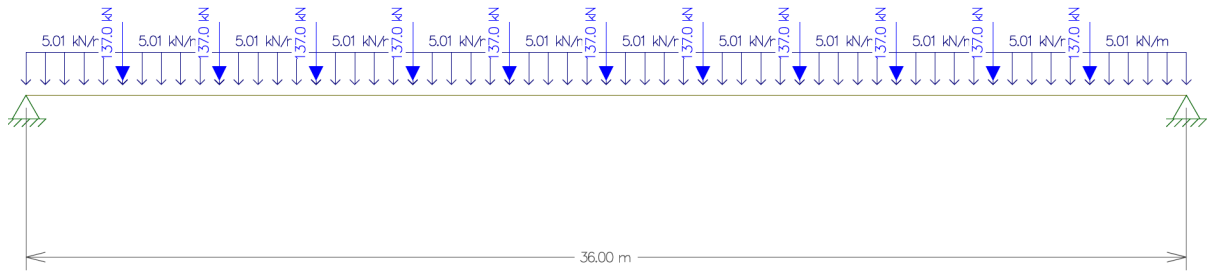
Carga acidental  $\rightarrow 50 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 54,75 \text{ m}^2 = 2.737,5 \text{ kgf}$

A soma de total dos valores  $\rightarrow 13.974,03 \text{ kgf}$  que equivale a 137,04 KN.

Este valor atuará como carga pontual na viga girder. A carga distribuída será o peso próprio da viga girder retirado da tabela (511 kgf/m que equivale a 5,01KN)

O esquema estático do arranjo estrutural está representando na figura 26:

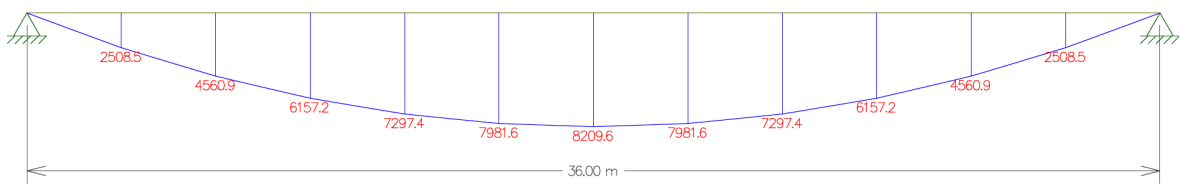
Figura 26 - Esquema estático



Fonte: feito no Ftool

O momento máximo foi encontrado através do Ftool.

Figura 27 - Momento fletor



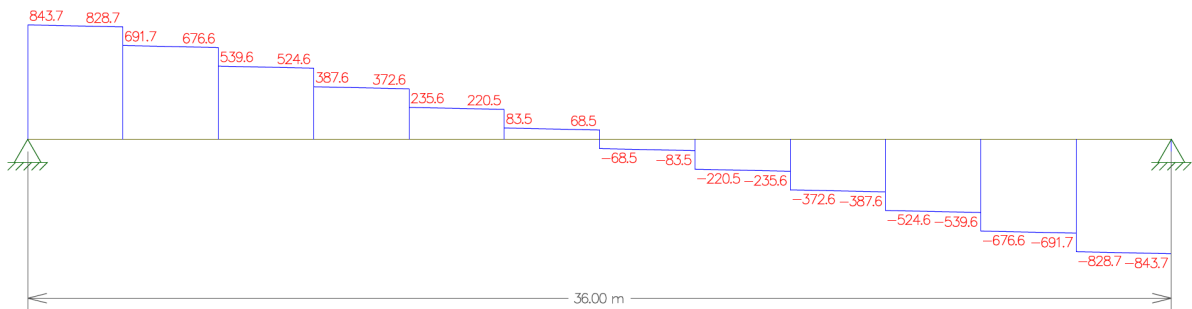
Fonte: feito no Ftool

Sendo esse valor  $\rightarrow 8.209,6 \text{ KNm}$

Aplicando o coeficiente de segurança de 1,3 encontramos o valor  $10.672,48 \text{ KNm}$

O esforço cortante também foi encontrado através do Ftool.

Figura 28 - Diagrama cortante



Fonte: feito no Ftool

Sendo esse valor  $\rightarrow 843,7 \text{ KNm}$

Para efeito de cálculo foram consideradas as seguintes propriedades de aço:

- Módulo de elasticidade ou módulo de Young (E);
- Tensão de escoamento ( $f_y$ );
- Tensão de ruptura ( $f_u$ );
- Tensão residual ( $f_r$ ).

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

$$f_r = 115 \text{ Mpa}$$

Segue abaixo os dados necessários para cálculo:

$$d = 180,0 \text{ cm}$$

$$I_x = 3.597.089 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 50,0 \text{ cm}$$

$$I_y = 78.184,0 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 3,75 \text{ cm}$$

$$r_x = 74,3 \text{ cm}$$

$$t_w = 3,81 \text{ cm}$$

$$r_y = 11,0 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 511,0 \text{ kg/m}$$

$$W_x = 39.968,0 \text{ cm}^3$$

$$h = 172,5 \text{ cm}$$

$$W_y = 3.127,0 \text{ cm}^3$$

$$A = 651,0 \text{ cm}^2$$

$$I_t = 1.999 \text{ cm}^4$$

Onde:

$d$  = altura;

$I_x$  = momento de inercia em x;

$b_f$  = largura;

$I_y$  = momento de inercia em y;

$t_f$  = espessura da mesa;

$r_x$  = raio de giração em x;

$t_w$  = espessura da alma;

$r_y$  = raio de giração em y;

peso = massa linear;

$W_x$  = modulo resistente elástico;

$h$  = altura da alma;

$W_y$  = modulo resistente elástico;

$A$  = área da seção;

$I_t$  = momento resistente à torção.

Em seguida, deve-se verificar a estabilidade do perfil para três estados limites, sendo eles:

- Verificação da flambagem local da alma (FLA);

- Verificação da flambagem local da mesa (FLM);
- Verificação da flambagem lateral com torção (FLT).

Além dos estados limite citados, deve-se também considerar:

- Resistência ao cisalhamento;
- Verificação da flecha máxima.

### 7.2.1.2. Verificação da flambagem local da alma (FLA)

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{tw} = \frac{172,5}{1,6} = 107,81$$

$$\lambda_{pa} = 3,5 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,5 \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 100,22$$

onde:

h – Altura da mesa;

tw – Espessura da alma.

Caso ( $\lambda_a \leq \lambda_{pa}$ ) → A viga é compacta quanto a alma

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zfy$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[ (bftf) \left( \frac{d}{2} - \frac{tf}{2} \right) + \left( tw \frac{h}{2} \right) \left( \frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[ (50 \times 3,75) \left( \frac{180}{2} - \frac{3,75}{2} \right) + \left( 1,6 \times \frac{172,5}{2} \right) \left( \frac{172,5/2}{2} \right) \right] = 44.494,38$$

$$Mn_a = 44.494,38 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237,34 \text{ KNm}$$



Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança  $\phi_b$ , com o valor de 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 11.237,34 \text{ KNm} \times 0,9 = 10.113,61 \text{ KNm} \approx 10.672,58 \text{ KNm}$$

Observa-se que, nesta análise, o momento resistente é ligeiramente menor que o momento solicitante (Momento resistente =  $8209,6 \times 1,3 = 10.672,58 \text{ KNm}$ )

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

### 7.2.1.3. Verificação da flambagem local da mesa (FLM)

Determinar:

$$\lambda_m = \frac{bf/2}{tf} = \frac{50/2}{3,75} = 6,66$$

Comparar com:

$$\lambda_{pm} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 10,88$$

Caso ( $\lambda_m \leq \lambda_{pm}$ )  $\rightarrow$  A viga é compacta quanto à mesa

Adotar:

$$Mn_m = Mp_l = Zfy$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[ (bftf) \left( \frac{d}{2} - \frac{tf}{2} \right) + \left( tw \frac{h}{2} \right) \left( \frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[ (50 \times 3,75) \left( \frac{180}{2} - \frac{3,75}{2} \right) + \left( 1,6 \times \frac{172,5}{2} \right) \left( \frac{172,5/2}{2} \right) \right] = 44.494,38$$

$$Mn_a = 44.494,38 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237,34 \text{ KNm}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança  $\phi_b$ , com valor de 0,9.

$$Mn_m = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_m = 11.237,34 \text{ KNm} \times 0,9 = 10.113,61 \text{ KNm} \approx 10.672,58 \text{ KNm}$$

#### 7.2.1.4. Verificação da flambagem lateral com torção (FLT)

Determinar:

$$\lambda L_t = \frac{L_b}{r_y}$$

Onde:

$L_b$  - Comprimento do trecho sem contenção lateral

$$\lambda L_t = \frac{153}{11} = 13,91$$

Para perfil com dois eixos de simetria, comparar com:

$$\lambda P_{lt} = 1,75 \times \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\lambda P_{lt} = 1,75 \times \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 50,11$$

$\lambda L_t > \lambda P_{lt}$  – a viga não possui elementos compactos

$$\lambda r_{lt} = \frac{0,707 C_b \beta_1}{M r_{Lt}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \beta_2}{C_b^2 \beta_1^2} M_{r_{Lt}}^2}}$$

$$L r_{lt} = \lambda r_{lt} r_y$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{I_t A_g}$$

$$G = 0,385 E$$

$$\beta_2 = \frac{\pi^2 E}{4 G} \frac{A_g (d - t_f)^2}{I_t}$$

$$\beta_2 = 6,415 \frac{A_g (d - t_f)^2}{I_t}$$

$$M_{r_{Lt}} = (fy - fr)W$$

Onde:

$M_r$  - Momento fletor correspondente ao início do escoamento, incluindo ou não o efeito de tensões residuais;

$W$  - Módulo resistente elástico;

$L_p$  - Valor limite do comprimento de um trecho sem contenção lateral, correspondente ao momento de plastificação;

$L_p$  - Valor do comprimento de um trecho sem contenção lateral, correspondente ao momento  $M_r$ ;

$\beta_1$  - Coeficiente;

$\beta_2$  - Coeficiente;

$G$  - Módulo de elasticidade transversal do aço;

$I_t$  - Momento de inércia à torção;

$A_g$  - Área bruta.

Portanto,

$$M_{r_{Lt}} = (250 - 115) \times 10^6 \times 39.968 \times 10^{-6} = 5.395.680 \text{ Nm}$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{0,385} \times 205 \times 10^9 \times \sqrt{1999 \times 10^{-8} \times 651 \times 10^{-4}} = 455.859.479$$

$$\beta_2 = 6,415 \times 651 \times 10^{-4} \times \frac{[(180 - 3,75) \times 10^{-2}]^2}{1999 \times 10^{-8}} = 64.896,77$$

$$\lambda_{r_{Lt}} = \frac{0,707 \times 1 \times 455.859.479}{5.395.680} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 64.896,77}{1^2 \times 455.859.479^2} \times 5.395.680^2}} = 159,27$$

Caso ( $\lambda_{lt} > \lambda_{r_{Lt}}$ )  $\rightarrow$  a viga com elementos compactos

Adotar:

$$Mn_m = Mp_l = Z_x f_y$$

$$Z = \sum A_i d_i = 2 \left[ (b f t f) \left( \frac{d}{2} - \frac{t f}{2} \right) + \left( t w \frac{h}{2} \right) \left( \frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[ (50 \times 3,75) \left( \frac{180}{2} - \frac{3,75}{2} \right) + \left( 1,6 \times \frac{172,5}{2} \right) \left( \frac{172,5}{2} \right) \right] = 44.494,38$$

$$Mn_a = 44.494,38 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237.343,75 \text{ Nm}$$

$$Mn_a = 11.237,34 \text{ KNm}$$

$$Mn_a = 11.237,34 \text{ KNm} \times 0,9 = 10.113,61 \text{ KNm} \approx 10.672,58 \text{ KNm}$$

#### 7.2.1.5. Resistência ao cisalhamento

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{172,5}{1,6} = 107,81$$

Comparar com,

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{KE}{f_y}}$$

$$\lambda_{rv} = 1,40 \sqrt{\frac{KE}{f_y}}$$

com enrijecedor,

$$K = 4 + \frac{5,34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Como existem enrijecedores e a distancia entre eles é 1,53m

$$K = 4 + \frac{5,34}{\left(\frac{153}{172,5}\right)^2} = 10,78$$

a – distância entre enrijecedores transversais.

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{10,78 \times 205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 101,54$$

$$\lambda_{rv} = 1,40 \sqrt{\frac{10,78 \times 205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 131,63$$

Para análise elástica:

$$V_{pl} = 0,6 A_w f_y$$

$$A_w = h \times t_w$$

$$A_w = 172,5 \times 1,6 = 276$$

$$V_{pl} = 0,6 \times (276) \times 250 \times 10^6 = 4.140.000 \text{ N}$$

$$V_{pl} = 4.140 \text{ KN}$$

Aplicando coeficiente de segurança 0,9

$$V_{pl} = 4.140 \text{ KN} \times 0,9 = 3.726 \text{ KN}$$

$$V_{pl} > 843,7 \times 1,3 = 1.096,81$$

A viga girder passa no teste de cortante.

#### 7.2.1.6. Verificação da flecha máxima

$$q = \frac{137 \text{ KN} \times 11}{36 \text{ m}} + 5,01 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = 46,87 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$q = 46,87 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{360} = \frac{3600}{360} \approx 10 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{(46,87)36^4}{205 \times 10^9 \times 3.597.089 \times 10^{-8}} = 1,4 \times 10^{-4} < 10 \text{ cm}$$

A viga girder passa no teste da flecha máxima.

Nesta análise, pode-se concluir que o perfil utilizado encontra-se “no limite” de suas propriedades mecânicas. Este resultado corrobora a hipótese de que a equipe de projetos chefiada por Mies van der Rohe efetuou o dimensionamento muito próximo dos requisitos mínimos possíveis, com a intenção de explorar toda a potencialidade do material e conferir o máximo de expressão de eficiência estrutural. Esta linha de trabalho está em perfeita consonância com o pensamento do arquiteto, sumarizado pela frase “menos é mais”. Contudo, uma série de insumos adicionais poderiam ter feito parte desta análise, caso a intenção fosse de âmbito quantitativo (e não qualitativo), tais como

- Diferença entre propriedades do aço utilizadas, tais como Módulo de elasticidade etc;
- Tipo de carregamento exigido pela norma Americana na década de 50 (cargas de vento, carregamento sísmico etc);
- Carga de neve;
- Tipo de combinação utilizada;
- Fatores de segurança utilizados;
- Diferença entre as tabelas de perfis do fabricante;
- Diferença no método de fabricação dos perfis;
- Considerações pessoais do projetista.

## 8. CONCLUSÃO

Ao longo da história da humanidade, as inovações tecnológicas foram grandes catalisadores de evolução arquitetônica. Dentre elas, o arco e a cúpula Romana tornaram possível vãos maiores, por meio de um sistema de transferência de cargas para os pilares; já durante a Revolução Industrial, o uso do aço permitiu a construção de uma arquitetura mais flexível, e capaz de retirar o conceito antigo de paredes estruturais, resultando em plantas livres.

Tanto as fórmulas matemáticas quanto as formas esculturais foram os motores da arquitetura que surgia nesse momento, trazendo uma concordância entre a matemática e as formas naturais. Dessa maneira surgia uma arquitetura/engenharia como um arranjo científico dos espaços e das formas submissas às funções e às localidades.

Nos dias atuais, existe um distanciamento entre arquitetos e engenheiros, provocado em primeiro plano, durante a formação acadêmica; e em segundo plano, pelo mercado de trabalho. Nesses dois ambientes os conceitos sobre projeto e obra estão separados, seccionados, sem interação. Dessa forma, cabe a cada profissional escolher um aprendizado multidisciplinar, flexível, abrangente e sistêmico. E se essa for a escolha desses profissionais, teremos um planejamento/execução/utilização/manutenção/perpetuação da obra em harmonia.

Um exemplo clássico dessa premissa foi o trabalho do arquiteto Mies van der Rohe, na obra Crown Hall, em Chicago na década de 50. Por esse motivo essa obra foi escolhida como foco desse trabalho. No Crown Hall, Mies utilizou uma interação entre arquitetura e estrutura, possibilitando harmonia espacial e beleza. Vale ressaltar que a solução escolhida por Mies, priorizava a utilização dos limites dos materiais empregados para atingir uma eficiência estrutural com melhor custo-benefício. Entretanto a abordagem desse trabalho foi qualitativa, ou seja, os aspectos quantitativos não foram contemporizados.

Assim, rejeita-se a hipótese de que a viga principal da estrutura foi escolhida de forma gratuita, apenas para atender desígnios de estética, sendo, na verdade uma tentativa de atender, simbioticamente, às necessidades estruturais bem como à expressão de arquitetura.

Todos os casos citados nesse trabalho servem de exemplo como a simbiose entre arquitetura e engenharia produzem sistemas construtivos eficientes, duradouros e confortáveis. Além disso, satisfazem exigências funcionais e estéticas, maximizando os elementos construtivos para chegar em uma síntese perfeita.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_ - **NBR 6120**. Cargas para cálculo de estrutura de edificações. 1980

\_\_\_\_\_ - **NBR 8800**. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008

ADDIS, Bill. **Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção** / Bill Addis ; Tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre : Bookman, 2009.

AL-HAJJ, Nour M. **S.R. Crown Hall: History of Achitecture II (section 13)** / Nour M. Al-Hajj - Lebanese American University, 2014.

BRANDIS, Andrea. **What exactly was the Bauhaus?**, 2016. Disponível em: <<https://www.bauhaus100.de/en/past/overview/whatwasthebauhaus.html>>. Acesso em 10 jun 2017.

CARTER, Peter. **Mies van der Rohe** / Peter Carter ; Phaidon Press Limited – New York, 1974.

CASTRO JÚNIOR, Francisco Afonso de. **Além de L sobre 10 : diretrizes para o lançamento estrutural arquitetônico** / Francisco Afonso de Castro Júnior - Brasília, 2014.

D. THOMPSON, Eric. **NPS Form 10-900 S.R. Crown Hall, National Historic Landmark Nomination** / Eric D. Thompson – Chicago, 2001.

FRAJNDLICH, Rafel. **Um panorama da vida e obra de João Filgueiras Lima, Lelé**, 2014. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/244/artigo318123-1.aspx>>. Acesso em: 12 maio 2017.

GROPIUS, Walter. **The New Architecture and the Bauhaus** / Walter Gropius ; Tradução do alemão P. Morton Shand – Grã Bretanha: M.I.T, 1965

GUERRA, Abilio. MARQUES, André. **The path of João Filgueiras Lima, Brazilian architect**, 2015. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/244/artigo318123-1.aspx>>. Acesso em: 12 abr 2017.

LUKIANCHUKI, Marieli Azoia. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro** / Marieli Azioa Lukiantchuki – São Carlos, 2010.



MIRANDA ALENCAR ROCHA, Cláudia Maria. **O ensino da arquitetura com aço no Brasil** / Cláudia Maria Miranda Alencar Rocha - Brasília, 2011.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: calculos, detalhes, exercícios e projetos** / Antonio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro –São Paulo: Blucher, 2001.

ROCHA. Bruno. **Arquitetura e Revolução Industrial**, 2014. Disponível em: <[http://www.territorios.org/teoria/H\\_C\\_engenharia.html](http://www.territorios.org/teoria/H_C_engenharia.html)>. Acesso em 04 maio 2017.

ROTH, M. Leland. **Entender a Arquitetura seus elementos, historia e significado** / Leland M. Roth ; Tradução Joana Canêdo – São Paulo : Gustavo Gili, 2017.

SIQUEIRA, Bárbara e FIORITI, Cesar Fabiano. **Modelos Intuitivos de Vigas Vierendeel para o Estudo do Desempenho Estrutural quando Sujeitas a Aplicação de Carregamentos** / Bárbara Siqueira e Cesar Fabiano Fioriti. Presidente Prudente, 2012.

SOUZA DA ROCHA VIEIRA, Patrícia Caroline. **Análise estrutural e arquitetônica das pontes de Robert Maillart com base no software Ansys** / Patrícia Caroline Souza da Rocha Vieira - Brasília, 2016.

WINTON, Alexandra. **The Bauhaus, 1919-1933**, 2016. Disponível em <[http://www.metmuseum.org/toah/hd/bauh/hd\\_bauh.htm](http://www.metmuseum.org/toah/hd/bauh/hd_bauh.htm)>. Acesso em: 10 jun 2017.

ANEXOS

Tabela 2 - Perfis Soldados - Serie VS

**Tabela F.1 — Perfis soldados - Série VS (continuação)**

PERFIL	Dimensões					A cm <sup>2</sup>	Eixo X-X				Eixo Y-Y				rT cm	iT cm <sup>4</sup>	ec mm	U m <sup>2</sup> /m	P kg/m
	d mm	b <sub>f</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	h mm		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>					
**1500x484	1500	500	44,0	12,5	1412	616,5	2625886	35012	65,3	38262	91690	3668	12,2	5555	13,6	2934	10	4,98	484,0
1600 x 328	1600	500	22,4	12,5	1555	418,4	1785655	22321	65,3	25227	46692	1868	10,6	2861	12,7	477	8	5,18	328,4
1600 x 348	1600	500	25,0	12,5	1550	443,8	1938424	24230	66,1	27195	52109	2084	10,8	3186	12,9	623	8	5,18	348,3
1600 x 398	1600	500	31,5	12,5	1537	507,1	2315887	28949	67,6	32086	65650	2626	11,4	3998	13,2	1144	8	5,18	398,1
1600 x 444	1600	500	37,5	12,5	1525	565,6	2658693	33234	68,6	36564	78150	3126	11,8	4747	13,3	1860	8	5,18	444,0
1700 x 338	1700	500	22,4	12,5	1655	430,9	2048493	24100	68,9	27351	46694	1868	10,4	2865	12,6	484	8	5,38	338,3
1700 x 358	1700	500	25,0	12,5	1650	456,3	2221576	26136	69,8	29445	52110	2084	10,7	3189	12,8	630	8	5,38	358,2
1700 x 408	1700	500	31,5	12,5	1637	519,6	2649532	31171	71,4	34653	65652	2626	11,2	4001	13,1	1151	8	5,38	407,9
1700 x 454	1700	500	37,5	12,5	1625	578,1	3038582	35748	72,5	39424	78151	3126	11,6	4751	13,3	1866	8	5,38	453,8
1800 x 348	1800	500	22,4	12,5	1755	443,4	2332876	25921	72,5	29536	46695	1868	10,3	2869	12,5	490	8	5,58	348,1
1800 x 368	1800	500	25,0	12,5	1750	468,8	2527539	28084	73,4	31758	52112	2084	10,5	3193	12,7	636	8	5,58	368,0
1800 x 418	1800	500	31,5	12,5	1737	532,1	3009158	33435	75,2	37283	65653	2626	11,1	4005	13,0	1157	8	5,58	417,7
1800 x 464	1800	500	37,5	12,5	1725	590,6	3447378	38304	76,4	42346	78153	3126	11,5	4755	13,2	1873	8	5,58	463,6
1800 x 416	1800	500	25,0	16,0	1750	530,0	2683854	29821	71,2	34437	52143	2086	9,92	3237	12,3	763	8	5,57	416,1
1800 x 465	1800	500	31,5	16,0	1737	592,9	3162016	35134	73,0	39923	65684	2627	10,5	4049	12,7	1283	8	5,57	465,4
1800 x 511	1800	500	37,5	16,0	1725	651,0	3597089	39968	74,3	44949	78184	3127	11,0	4798	12,9	1999	8	5,57	511,0
1900 x 429	1900	500	25,0	16,0	1850	546,0	3041613	32017	74,6	37127	52146	2086	9,77	3243	12,2	777	8	5,77	428,6
1900 x 478	1900	500	31,5	16,0	1837	608,9	3576198	37644	76,6	42927	65688	2628	10,4	4055	12,6	1297	8	5,77	478,0
1900 x 524	1900	500	37,5	16,0	1825	667,0	4062991	42768	78,0	48244	78187	3127	10,8	4804	12,9	2012	8	5,77	523,6
1900 x 573	1900	500	44,0	16,0	1812	729,9	4583175	48244	79,2	53965	91729	3669	11,2	5616	13,1	3093	10	5,77	573,0
2000 x 461	2000	550	25,0	16,0	1950	587,0	3670473	36705	79,1	42366	69389	2523	10,9	3906	13,5	843	8	6,17	460,8
2000 x 515	2000	550	31,5	16,0	1937	656,4	4326007	43260	81,2	49112	87413	3179	11,5	4888	13,9	1415	8	6,17	515,3
2000 x 566	2000	550	37,5	16,0	1925	720,5	4923357	49234	82,7	55299	104050	3784	12,0	5795	14,2	2202	8	6,17	563,6
2000 x 620	2000	550	44,0	16,0	1912	789,9	5562134	55621	83,9	61958	122074	4439	12,4	6777	14,4	3391	10	6,17	620,1
2200 x 486	2200	550	25,0	16,0	2150	619,0	4577565	41614	86,0	48396	69396	2524	10,6	3919	13,3	870	8	6,57	485,9
2200 x 540	2200	550	31,5	16,0	2137	688,4	5374959	48863	88,4	55836	87420	3179	11,3	4901	13,8	1442	8	6,57	540,4
2200 x 591	2200	550	37,5	16,0	2125	752,5	6102454	55477	90,1	62664	104057	3784	11,8	5808	14,1	2229	8	6,57	590,7
2200 x 645	2200	550	44,0	16,0	2112	821,9	6881357	62558	91,5	70017	122080	4439	12,2	6790	14,3	3418	10	6,57	645,2
2400 x 531	2400	600	25,0	16,0	2350	676,0	5961008	49675	93,9	57715	90080	3003	11,5	4650	14,5	949	8	7,17	530,7
2400 x 590	2400	600	31,5	16,0	2337	751,9	7003391	58362	96,5	66611	113480	3783	12,3	5820	15,0	1574	8	7,17	590,3
2400 x 645	2400	600	37,5	16,0	2325	822,0	7955353	66295	98,4	74779	135079	4503	12,8	6899	15,3	2432	8	7,17	645,3
2400 x 705	2400	600	44,0	16,0	2312	897,9	8975615	74797	100	83580	158479	5283	13,3	8068	15,6	3729	10	7,76	704,9
2500 x 640	2500	700	25,0	19,0	2450	815,5	7688574	61509	97,1	71824	143057	4087	13,2	6346	16,8	1295	8	7,76	640,2
2500 x 710	2500	700	31,5	19,0	2437	904,0	9010041	72080	99,8	82641	180214	5149	14,1	7937	17,4	2023	8	7,76	709,7
2500 x 774	2300	700	37,5	19,0	2425	985,8	10217407	81739	102	92574	214514	6129	14,8	9406	17,8	3024	8	7,76	773,8
2500 x 843	2500	700	44,0	19,0	2412	1074	11511972	92096	104	103279	251671	7191	15,3	10998	18,1	4537	10	7,76	843,3

\* Perfis normalizados pela ABNT. \*\* Perfis normalizados pela ABNT com alteração da espessura da mesa conforme padronização de chapas na Usiminas Mecânica.

Figura 29 - Planta baixa dos perfis

