



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB
Faculdade de Tecnologias e Ciências Sociais
Aplicadas - FATECS

TEÓFILO GUSTAVO VIEIRA

MATRÍCULA: 2125981/2

**A INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA X ESTRUTURA NA OBRA
CASE STUDY HOUSE #21 (BAILEY HOUSE) DO ARQUITETO PIERRE
KOENIG**

Brasília

2018

TEÓFILO GUSTAVO VIEIRA

**A INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA X ESTRUTURA NA OBRA
CASE STUDY HOUSE #21 (BAILEY HOUSE) DO ARQUITETO PIERRE
KOENIG**

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

Brasília

2018

TEÓFILO GUSTAVO VIEIRA

**A INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA X ESTRUTURA NA OBRA
CASE STUDY HOUSE #21 (BAILEY HOUSE) DO ARQUITETO PIERRE
KOENIG**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
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, dezembro de 2018.

Banca Examinadora

Arquiteto e Urbanista: Marcos Henrique Ritter de Gregorio, MSC
Orientador

Stefano Galimi, MSC
Examinador Interno, FATECS-UniCEUB

Prof.: Márcio Augusto Roma Buzar, D.Sc.
Examinador Externo, FAU-Unb

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido saúde e forças para que com muita garra ter alcançado esse sonho. Também a minha mãe, pai e irmãos, que sempre me apoiaram nos momentos difíceis.

Agradeço também ao professor Marcos Henrique Ritter, exemplo de mestre e amigo, pelo seu inestimável apoio e pela indispensável orientação que me deu para a realização deste trabalho.

Agradeço, também, aos professores e colegas do curso de Engenharia Civil e em especial ao Coordenador Jocinez Nogueira Lima, por todo apoio me oferecido neste último ano do curso.

Agradeço finalmente a todas pessoas, que de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da importância da interação entre arquitetura e engenharia no resultado estético da obra. O objeto deste estudo é o Case Study House #21, do arquiteto Pierre Koenig, um projeto de uma casa que tem a estrutura toda em aço com vigas em “T”. Um projeto minimalista que emprega o conceito do famoso arquiteto Ludwig Mies van der Rohe, “menos é mais”, amplamente colocado em prática por arquitetos renomados pelo mundo no século XX. O objetivo deste estudo de caso é recalcular a viga principal em questão utilizando as dimensões originais para concluir se o dimensionamento que foi feito conseguiu atingir a melhor simbiose entre arquitetura e estrutura, posteriormente, extrapolar as dimensões das vigas principais, para mais e para menos, com o propósito de checar o que mudaria na estética da casa. O resultado obtido revelará a importância da interação entre arquitetura e engenharia, visto que cada vez mais a exigência por obras com boa estética e estrutura e com o menor custo possível, tem aumentado nos últimos anos, levando a aproximação entre arquitetos e engenheiros visando uma melhor elaboração dos projetos arquitetônicos e estruturais resultando em maior compatibilização e melhor desempenho dos mesmos. Os tempos atuais exigem um melhor aproveitamento dos recursos em geral dentro de uma obra, sobretudo em função do mercado de trabalho cada vez mais competitivo. Destarte as empresas no ramo da construção civil devem se atualizar para poder oferecer um serviço de qualidade sem o uso exacerbado de matérias primas, para que desta forma consiga um melhor rendimento optando sempre por métodos ecologicamente sustentáveis.

Palavra-chave: modernismo. Aço. Arquitetura x engenharia. Minimalista.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the importance of the interaction between architecture and engineering in the aesthetic result of the work. The object of this study is Case Study House #21, by the architect Pierre Koenig, a project of a house that has the entire steel structure with I-beams. A minimalist design employing the concept of the famous architect Ludwig Mies van der Rohe, "less is more", widely practiced by architects renowned throughout the world in the 20th century. The objective of this case study is to recalculate main beam in question using the original dimensions to conclude if the sizing that was done managed to reach the best symbiosis between architecture and structure, later to extrapolate the dimensions of the main beams, for more and for less, with the purpose of checking what would change in the aesthetics of the house. The result obtained will reveal the importance of the interaction between architecture and engineering, since more and more the demand for works with good aesthetics and structure and with the lowest possible cost, has increased in the last years, taking the approach between architects and engineers aiming at a better elaboration of the architectural and structural projects resulting in grater compatibility and better performance of the same. The current times require a better use of resources in general within a work, especially in view of the increasingly competitive labor market. Therefore, companies in the construction industry must upgrade to be able to offer a quality service without the exacerbated use of raw materials, in order to achieve a better performance always choosing ecologically sustainable methods.

Key-word: modernism. Steel. Architecture x engineering. Minimalist.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Arquitetura x Engenharia	15
3.2. Arquitetura Moderna	19
3.2.1. Os Mestres Modernos	24
3.2.1.1. Le Corbusier	24
3.2.1.2. Ludwig Mies van der Rohe	27
3.2.1.3. Frank Lloyd Wright.....	29
3.2.2. Arquitetura Moderna no Brasil	31
3.3. Programa Case Study Houses	33
3.3.1. Case Study House #1 1945.....	35
3.3.2. Case Study House #4 1945, Casa Greenbelt.....	38
3.3.3. Case Study House #5 1945, Casa Loggia	41
4. PIERRE KOENIG	44
5. CASE STUDY HOUSE #21 1958, BAILEY HOUSE	50
6. DIMENSIONAMENTO	56
6.1. Carga Permanente	57
6.2. Carga Acidental.....	58
6.2.1. Vento	58
6.2.1.1. Determinação da Velocidade Básica do Vento.....	59
6.2.1.2. Determinação do Fator Topográfico	60
6.2.1.3. Determinação do Fator Rugosidade	60
6.2.1.4. Determinação do Fator Estatístico	62
6.2.2. Sobrecarga.....	63
6.3. Combinações de Cargas Solicitantes	63
6.4. Momento Fletor e Esforço Cortante.....	67
6.5. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)	71
6.6. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM).....	72
6.7. Verificação da Flambagem Lateral com Torção (FLT).....	73
6.8. Resistência ao Cisalhamento.....	76
6.9. Verificação da Flecha Máxima	77
7. DIMENSIONAMENTO PARA O VÃO 50% MAIOR.....	79

7.1. Carga Permanente	80
7.2. Carga Acidental.....	80
7.2.1. Vento	80
7.2.2. Sobrecarga.....	80
7.3. Combinações de Cargas Solicitantes	80
7.3.1. Combinação 01.....	81
7.3.2. Combinação 02.....	81
7.4. Momento Fletor e Esforço Cortante.....	81
7.5. Pré-dimensionamento.....	82
7.6. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)	84
7.7. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM).....	86
7.8. Verificação da Flambagem Lateral com Torção (FLT).....	87
7.9. Resistência ao Cisalhamento.....	90
7.10. Verificação da Flecha Máxima	90
8. DIMENSIONAMENTO PARA O VÃO 50% MENOR	92
8.1. Carga Permanente	93
8.2. Carga Acidental.....	93
8.2.1. Vento	93
8.2.2. Sobrecarga.....	93
8.3. Combinações de Cargas Solicitantes	94
8.3.1. Combinação 01.....	94
8.3.2. Combinação 02.....	94
8.4. Momento Fletor e Esforço Cortante.....	95
8.5. Pré-dimensionamento.....	95
8.6. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)	98
8.7. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM).....	99
8.8. Verificação da Flambagem Lateral com Torção (FLT).....	100
8.9. Resistência ao Cisalhamento.....	102
8.10. Verificação da Flecha Máxima	103
9. RESULTADOS.....	105
10. CONCLUSÕES	108
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Oscar Niemeyer, arquiteto brasileiro.	17
Figura 2 - Museu Nacional Honestino Guimarães, Brasília.	18
Figura 3: Bairro da Encarnação, Lisboa, Portugal, exemplo de cidade-jardim.	22
Figura 4: Escola de arquitetura Bauhaus, Alemanha.	23
Figura 5: Le Corbusier, arquiteto francês.	25
Figura 6: Residência Villa Savoye, França, Le Corbusier.	26
Figura 7: Unidades de Habitação de Berlim, Alemanha.	26
Figura 8: Mies Van der Rohe, arquiteto alemão.	27
Figura 9: Casa Farnsworth, Mies Van der Rohe.	28
Figura 10: Pavilhão Alemão na feira de Internacional de Barcelona, Mies Van der Rohe.	28
Figura 11: Frank Lloyd, arquiteto estadunidense.	29
Figura 12: Casa da Cascata, Frank Lloyd Wright.	30
Figura 13: Sede do Museu Solomn R. Guggenheim, Nova Iorque.	30
Figura 14: Lúcio Costa, arquiteto brasileiro, 1995.	31
Figura 15: Lúcio Costa e suas principais obras.	32
Figura 16: Case Study House #1, versão original, de autoria do arquiteto J. R. Davidson.	36
Figura 17 - Case Study House #1, versão atualizada, de autoria do arquiteto J. R. Davidson.	36
Figura 18: Planta baixa CSH #1, autoria do arquiteto J. R. Davidson.	37
Figura 19: Plano horizontal CSH #4, de autoria do arquiteto Ralph Rapson.	38

Figura 20 - Perspectiva CSH #4, vista aérea.	39
Figura 21: Perspectiva CSH #4, vista fachada.	40
Figura 22: Perspectiva CSH #4. Vista interna da cozinha.....	40
Figura 23: Planta baixa CSH #5.	42
Figura 24: Maquete CSH #5.....	43
Figura 25: Pierre Koenig, 2002.	44
Figura 26: Pierre Koenig, 1952.	45
Figura 27: Planta baixa Case Study House #22.....	46
Figura 28: Vista aérea Case Study House #22.	47
Figura 29: Vista frontal Schwartz House.	48
Figura 30: Vista frontal Koenig House nº 2.	48
Figura 31: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA.	50
Figura 32: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA	51
Figura 33: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA.	51
Figura 34: Perspectiva aérea Case Study House #21.	52
Figura 35: planta baixa Case Study House #21.....	53
Figura 36: Perspectiva aérea Case Study House #21.	54
Figura 37: Perspectiva Case Study house #21.....	55
Figura 38: Viga utilizada para estudo.....	56
Figura 39: Área de influência utilizada para análise.	57

Figura 40: Localização das estações meteorológicas (pontos pretos) e percentual das velocidades médias anuais.....	59
Figura 41: Fator Rugosidade $S2$	62
Figura 42: Determinação do fator estatístico $S3$ conforme os grupos de ocupação.....	62
Figura 43: Ações permanentes diretas consideradas separadamente.	64
Figura 44: Ações truncadas consideradas separadamente.....	65
Figura 45: Valores de combinação($\psi0$) e de redução ($\psi1$ e $\psi2$) para as ações variáveis.	65
Figura 46: Planta baixa da estrutura.	68
Figura 47: Tabela de perfis Continental Steel Pte Ltd.....	69
Figura 48: Viga estudada.....	69
Figura 49: Perfil que passa nos testes para o vão original.....	78
Figura 50: Área de influência para vão 50% maior.....	79
Figura 51: Viga selecionada para vão 50% maior.....	83
Figura 52: Comparação entre perfis para os vãos 6,54 m e 9,82 m.	91
Figura 53: Área de influência para o vão 50% menor.....	92
Figura 54: Perfil selecionado para vão 50% menor.....	96
Figura 55: Comparação entre perfis para os vãos 3,27 m e 6,55 m.	103
Figura 56: Simulação casa As Built, com vão de 6,55 m.....	105
Figura 57: Simulação da casa com o vão 9,82 m.	105
Figura 58: Simulação da casa com vão 3,27 m.	106
Figura 59: Comparação das três situações propostas.	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classes de relevo do terreno.	60
Tabela 2: Categorias de rugosidade do terreno.	60
Tabela 3: Classes de edifícios em função de suas dimensões.	61
Tabela 4: Cargas e coeficientes a serem combinados.....	66
Tabela 5: Cargas e coeficientes a serem combinados.....	80
Tabela 6: Cargas e coeficientes a serem combinados.....	93

Tabela 7: Comparação dos resultados do dimensionamento.....	104
---	-----

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população nos grandes centros urbanos na última década, acarretou um grande aumento da construção civil em um curto espaço de tempo. Esse fenômeno desencadeou uma enxurrada de novas obras, muitas das quais sem planejamento e supervisão de um profissional habilitado. São imóveis com ruins aspectos visuais e estruturais.

Acompanhando esse crescimento, houve grande procura por profissionais das áreas de arquitetura e engenharia e por consequência, um grande número de novos profissionais recém-formados entrou no mercado de trabalho. Porém, nas instituições de ensino, a distância entre esses dois cursos ainda é muito grande, o que vem prejudicando a concepção de novos empreendimentos, onde a interação entre arquitetura e estrutura é praticamente nula.

Ainda no século XX, com a evolução industrial, onde começou a produção de matérias primas em grande escala, surgiu o movimento modernista, que privilegiava a simplicidade, priorizando formas simples e geométricas, livres de muitas ornamentações. Esse movimento prezava pelo perfeito casamento entre arquitetura e estrutura. Grandes arquitetos deste movimento juntamente com engenheiros estruturais produziram projetos que prezava pelo uso do mínimo possível, garantindo um resultado com ótimo design e estrutura eficiente.

Porém, com o surgimento de novas tecnologias e o uso consciente de recursos naturais, há uma crescente demanda por novas construções sustentáveis, exigindo uma maior aproximação entre arquitetos e engenheiros, que resulta em obras com melhor planejamento diminuindo assim, os impactos ambientais e os custos.

No Movimento Moderno surgiu o conceito minimalista, que, desde então, tem adquirido muitos adeptos. Como o nome sugere, o minimalismo utiliza apenas o suficiente para um bom desempenho estrutural, tendo obras com a estrutura concebidas no limite de tolerância. Muitas delas inclusive, abaixo da segurança utilizada hoje.

O conceito minimalista vem sendo amplamente utilizado nos dias atuais, não só na construção civil, mas também em todos os ramos da civilização, tendo em vista o iminente esgotamento dos recursos naturais. Com o avanço da tecnologia, as técnicas de construção vêm inovando nos materiais utilizados, favorecendo o uso consciente de insumos nas novas obras.

No final da segunda guerra mundial, surgiu, dentro do conceito minimalista, o programa Case Study Houses, organizado pela revista *Art & Architecture*, voltado para o desenvolvimento de projetos de baixo custo. Na ocasião foram criados 36 projetos com arquitetura simples, que tinha por objetivo ser o mais barato possível para atender famílias de classe média-baixa. Esse programa funcionou entre os anos de 1945 e 1966 tendo participado dele, vários arquitetos renomados da época.

Dentre esses projetos, está a Case Study House #21, que será o objeto de estudo deste trabalho. Será, portanto, analisada a estrutura da casa, através de cálculos estruturais, tendo como objetivo, comprovar que o arquiteto que a desenvolveu, Pierre Koenig, utilizou os esforços limites aceitáveis e se esse dimensionamento se adequaria nas normas atuais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a melhor harmonia entre arquitetura e engenharia e atestar que é possível atingir a simbiose entre as duas áreas, sem comprometer o desempenho, a estética e o custo do projeto, chegando assim a um resultado satisfatório.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Fazer uma breve análise da importância da interação entre arquitetura e engenharia.
- ✓ Apresentar o Movimento Moderno e seus principais arquitetos.
- ✓ Apresentar o programa Case Study Houses.
- ✓ Verificar o dimensionamento de uma viga principal da Case Study House #21 de autoria do arquiteto Pierre Koenig.
- ✓ Confirmar que a escolha das características da estrutura advém da simbiose entre arquitetura e estrutura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Arquitetura x Engenharia

A concepção de um projeto para a construção de um novo imóvel envolve um número grande de informações relacionadas ao custo, ao prazo, à qualidade dentre outros. Esse momento deve ter um bom gerenciamento a fim de minimizar os custos e o desperdício de materiais. É de suma importância nessa etapa do empreendimento, o trabalho conjunto entre profissionais de arquitetura e engenharia, com o intuito de planejar os melhores aspectos para um melhor sucesso na etapa de construção.

Segundo Castro Junior (2014) “Integrar significa tornar algo inteiro ou completo, adaptando, combinando e incorporando partes, parcelas e frações com o objetivo de se alcançar um produto ou um resultado o mais cabal e homogêneo possível”. (CASTRO JUNIOR, Francisco de, 2014 p 33). O professor Francisco Castro Junior, conseguiu traduzir nestas palavras a importância da interação entre engenheiro e arquiteto, só assim é conseguido um bom sucesso no planejamento e execução de novos projetos.

Dentre os diversos projetos de uma nova obra, a interface entre arquitetura e estrutura requer maior atenção, pois a estrutura representa a maior percentagem de gastos na execução, cerca de 19% a 26% do custo total da obra (GOLDMAN, 1986) e os erros cometidos na execução são os mais difíceis de serem corrigidos. Por outro lado, os custos do projeto variam em média de 1,6% a 2,7% do custo total da obra (GOLDMAN, 1986), portanto, é mais vantajoso, do ponto de vista econômico, corrigir um projeto que a estrutura executada.

“A falta de norma técnica e bibliografia sobre integração de projetos de arquitetura e estrutura mostra a defasagem das publicações nacionais em relação aos novos processos de projetar e construir, empregados pelo subsetor de edificações. [...] A integração entre projetos de arquitetura e estrutura ocorre ao longe de várias etapas, sendo um assunto muito extenso ainda não abordado com a importância devida.” (CORRÊA, et al., 2001 p. 5).

O problema é agravado pela tradicional e recorrente desconfiança que o arquiteto possui no fato de que toda a base científica em que se baseia a engenharia – entenda-se as leis naturais

– pode engessar os trabalhos do projetista, impedindo, muitas vezes, que a criatividade possa transparecer-se naturalmente. (ENGEL, 2001).

Uma das principais causas do despreparo dos profissionais das áreas de arquitetura e engenharia é a distância das estruturas disciplinares para a formação dos profissionais. As autoridades acadêmicas têm-se preocupado mais com os aspectos de especialização de seus cursos do que no relacionamento com os demais. Dessa forma, profissionais de arquitetura formam sem o conhecimento nas disciplinas estruturais e engenheiros sem o conhecimento nas disciplinas arquitetônicas.

O arquiteto e professor Francisco Castro Junior realizou um levantamento junto a algumas faculdades de arquitetura e urbanismo e engenharia civil do Distrito Federal e ficou constatado que esses cursos inter-relacionam-se insuficientemente. Segundo ele, “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”. Este levantamento demonstra a distância entre essas duas áreas e a necessidade de uma maior interação entre os dois cursos, visando diminuir os prejuízos nas construções (CASTRO JUNIOR, Francisco de, 2014 p 47).

Outros aspectos das obras muito prejudicados também pelo distanciamento entre engenheiros e arquitetos são os projetos de instalações. Quase que como via de regra hoje no Brasil é o cliente contratar apenas o arquiteto para fazer o projeto arquitetônico e após isso procurar um engenheiro para fazer o de estrutura e outro para fazer o de instalações. Nesse ciclo onde o edifício é projetado por vários profissionais diferentes e sem nenhum contato entre si acontece muita incompatibilidade, onde na maioria dos casos se torna necessário a alteração de algum dos projetos, provocando atrasos e aumento de custos.

Pensando nesses problemas, algumas instituições de ensino vêm alterando as grades curriculares de ambos os cursos de engenharia e arquitetura, com o intuito de integrar as disciplinas de “Desenho Arquitetônico” e “Projetos Estruturais” com o propósito de formar profissionais mais capacitados para o mercado de trabalho.

Uma dessas instituições é a Universidade de São Paulo por meio da Faculdade de Arquitetura e da Escola Politécnica, que desenvolveu um projeto em que os estudantes que possuem bom rendimento em ambas as faculdades poderiam obter dupla formação, desde que aumentasse seus estudos em dois anos.

Nesse sistema, os estudantes de Arquitetura estudariam o 5º e 6º ano matérias exclusivas do curso de engenharia, em contrapartida, os estudantes de Engenharia Civil, estudariam o 4º e 5º ano na Faculdade de Arquitetura, dedicando apenas a essa área.

Essas iniciativas colaboram de forma vantajosa para a formação dos profissionais e ampliam seus horizontes de trabalho, beneficiando também o mercado que teriam a opção de contratar apenas um profissional capaz de elaborar todos os projetos necessários para a concepção de um novo empreendimento, por consequência, diminuindo os custos, o prazo e os possíveis imprevistos no momento da construção.

O arquiteto brasileiro Oscar Niemeyer, dizia que valorizou muito o trabalho do engenheiro civil, projetando obras que mesclava a arquitetura com a estrutura, fazendo com que no momento em que a estrutura ficasse pronta a arquitetura já estaria presente (Oscar Niemeyer, em “A Vida é um Sopro”, Direção: Maciel, Fabiano – Europa Filmes, 2007) . Em Brasília, uma das cidades que mais recebeu suas obras, existem vários exemplos dessa interação, como o Museu Honestino Guimarães.

Figura 1: Oscar Niemeyer, arquiteto brasileiro.



Fonte: Série Grandes Arquitetos, Adriano Mello.

O Museu Nacional Honestino Guimarães, uma importante e bela obra localizada em Brasília, tem como característica o movimento modernista, com forma geométrica de uma parábola com o vértice para cima, tem a forma definida pela estrutura. Possui também uma rampa totalmente em balanço que sai do segundo pavimento e retorna ao pavimento inferior. É um exemplo esplêndido da perfeita interação entre arquitetura e estrutura.

Figura 2 - Museu Nacional Honestino Guimarães, Brasília.



Fonte: <<https://ilovetrip.com.br/brasil/distrito-federal/brasilia/top-7-museus-em-brasilia/>> Acessado em 16 de outubro de 2018.

Segundo Inojosa (2010), apesar de ter sido inaugurado em 15 de dezembro de 2006, o Museu Nacional já estava nos planos de Lúcio Costa para a Nova Capital, no entanto, sua construção foi adiada. Em 1970, foi desenvolvido o projeto do Conjunto Cultural de Brasília, que contava com o Teatro Nacional, uma biblioteca, salas de música, cinemas e o museu. O projeto inicial para o museu propunha um edifício de 180 metros de comprimento com dois balanços de 70 metros para cada lado, suspenso na cobertura através de tirantes (INOJOSA, 2010), e tinha potencial para se quebrar um recorde na história do concreto armado (SUSSEKIND *apud* INOJOSA, 2010).

Ainda segundo Inojosa (2010), com arquitetura impactante, o museu se expressa pela própria cúpula, que tem 28 metros de altura e contrasta com a paisagem da esplanada e com elementos que se destacam dela, como a rampa em balanço que a circunda. O teto da cúpula é um grande “céu de concreto” para esse espaço que ainda abriga o mezanino em formato orgânico, cheio de curvas, para o qual se tem acesso por uma grande rampa, pela rampa externas

e por elevadores. Esse mezanino está totalmente suspenso por tirantes na estrutura da própria cúpula, e por isso mantém o espaço do salão totalmente livre, sem pilares (INOJOSA, et al, 2010, pg. 83).

“Eu valorizei muito o trabalho do engenheiro. E lá em Brasília, quando uma estrutura se concluía a arquitetura já estava presente. (...) Arquitetura e Estrutura como coisas que nascem juntas devem enriquecer. (Oscar Niemeyer, em “A vida é um sopro, Direção Maciel, Fabiano – Europa Filmes, 2007).”

Ainda segundo Niemeyer, “em grande parte de nosso ambiente, a estrutura é escondida ou indistinta. Painéis de fachada ou painéis de vidro espelhado escondem estruturas localizadas no perímetro do edifício (CHARLESON 2009)”. Esse trecho dito por Niemeyer traduz de forma objetiva os edifícios que ainda são construídos, com arquitetura pobre e estrutura totalmente ofuscada por painéis em fachadas, como ele mesmo cita.

Portanto, a interação entre os profissionais de arquitetura e engenharia é de fundamental importância para conseguir obter um resultado agradável visualmente e eficaz estruturalmente e para o melhor aproveitamento desta interação é necessário um maior esforço por parte das faculdades para mesclar as disciplinas dos dois cursos a fim de chegar a um resultado benéfico economicamente e ecologicamente.

3.2. Arquitetura Moderna

A arquitetura moderna é um produto da civilização ocidental. Começou a tomar forma durante o fim do século XVIII com as revoluções democrática e industrial que produziram a era moderna. Como toda arquitetura, a moderna tentou criar um ambiente especial para a vida humana e compor uma imagem dos pensamentos e ações dos seres humanos como eles mesmos desejavam parecer. Nessas duas tentativas fundamentais, o homem moderno enfrentou dificuldades psíquicas sem paralelo no Ocidente desde o colapso de Roma. O modo de vida antigo. Cristão, pré-industrial, pré-democrático, foi progressivamente se rompendo à sua volta, de modo que o homem obteve um lugar jamais ocupado por um ser humano antes (SCULLY JR, 1961).

Segundo o historiador Leonardo Benevolo (2001), não é possível fixar a origem do Movimento Moderno em um só lugar ou em um único ambiente cultural. Para ele o que se pode constatar com segurança e a coerência dos diversos resultados que se tem a partir de 1927,

quando é possível determinar uma linha de trabalho conjunto de pessoas e grupos de diversas nações (BENEVOLO, 2001).

A arquitetura moderna foi concebida em uma época de tremenda convulsão na cultura ocidental, incluindo uma guerra mundial e a revolução na Rússia, bem como avanços na arte e na ciência que transformaram fundamentalmente nossa maneira de ver, entre outras coisas, o tempo e o espaço. Nos primeiros 15 anos do século XX, em função do tremendo progresso na tecnologia e da necessidade de consciente de criar uma arte moderna, os projetistas lutaram para acompanhar as novas formas de ver, analisar e entender.

Depois da Primeira Guerra Mundial, a questão dominante passou a ser a necessidade desesperada de habitação. Enquanto competiam com os tradicionalistas, os modernistas mais extremistas se aproximaram da Nova Objetividade, afirmando que as obras modernas eram mais eficientes e efetivas em custo (FAZIO, 2001), o que alguns casos, era verdade. No entanto, a tentativa de fazer com que a arquitetura parecesse – ou realmente se tornasse – mecânica e de torna-la funcional, expressando tal funcionalidade, gerou, segundo muitos, uma arquitetura redutivista, carente de caráter, simbolismo e até mesmo “habitualidade” (FAZIO, 2001). Ainda assim, independentemente da avaliação final, nos resta admirar o zelo e a convicção que os modernistas dedicaram à tarefa.

Um dos princípios básicos do modernismo era renovar a arquitetura de modo a rejeitar toda a arquitetura anterior ao movimento, fato posteriormente questionado pelos pós-modernistas. Considera-se genericamente que tenham existido duas grandes vertentes do movimento moderno: o *International Style*, de origem europeia e a Arquitetura Orgânica de origem americana.

Apesar de ser um momento multifacetado da produção arquitetônica internacional, o Modernismo manifestou alguns princípios que foram seguidos por vários arquitetos, das mais variadas escolas e tendências. A primeira e mais clara característica é a rejeição por parte dos modernos do repertório formal do passado e a aversão deles à ideia de estilo. Conjuntamente às vanguardas artísticas que manifestavam-se no período de gênese do moderno, nas décadas de 1920 e 1930, havia no ar um sentimento de construção que levaria à criação e ao estudo de espaços abstratos, geométricos e mínimos.

Os modernos viam no ornamento, um elemento típico dos etilos históricos, um inimigo a ser combatido: “produzir uma arquitetura sem ornamentos”, tornou-se um desafio constante! Outra característica importante eram as ideias de industrialização, economia e a recém-descoberta noção do *design*. Acreditava-se que o arquiteto era um profissional responsável pela correta e socialmente justa construção do ambiente habitado pelo homem, carregando um fardo pesado. Os edifícios deveriam ser econômicos, limpos e úteis. Neste sentido, duas máximas permearam o período do moderno: “Menos é mais” frase cunhada pelo arquiteto Mies Van der Rohe e “A forma segue a função”, do arquiteto Louis Sullivan. Estas sentenças sintetizam bem a ideia moderna, ainda que em vários momentos tenham sido confrontados.

É possível traçar três principais linhas evolutivas nas quais pode-se encontrar a gênese da Arquitetura Moderna. O que une as três linhas é o fato de que elas terminam naquilo que é chamado de Movimento Moderna na Arquitetura, considerado o clímax de uma trajetória histórica que desembocou na arquitetura realizada na maior parte do século XX.

A primeira destas origens é a que leva em consideração que a ideologia arquitetônica moderna está absolutamente ligada ao projeto da modernidade e, em particular, à visão de mundo iluminista. Esta linha localiza o momento de gênese na arquitetura realizada com as inovações tecnológicas obtidas com a Revolução Industrial e com as diversas propostas urbanísticas e sociais realizadas por teóricos como os socialistas utópicos e os partidos das cidades-jardins. Segundo esta interpretação, o problema estético aqui é secundário: o moderno tem muito mais a ver com uma causa social que com uma estética.

Figura 3: Bairro da Encarnação, Lisboa, Portugal, exemplo de cidade-jardim.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>> acessado em 15 de novembro de 2018.

A segunda linha leva em consideração as alterações que se deram nos diversos momentos do século XIX com relação à definição e teorização da arte e de seu papel na sociedade. Esta interpretação dá especial destaque ao movimento *Arts & Crafts* e ao *Art Nouveau* de uma forma geral, consideradas visões de mundo que, ainda que presas às formas e conceitos do passado, de alguma forma propunham novos caminhos para a estética do futuro.

Uma terceira linha, normalmente a mais comumente entendida como sendo a base do modernismo, é a que afirma que a arquitetura moderna surge justamente com a gênese do movimento moderno, sendo as interpretações anteriores apenas consequências desta forma de pensamento. A Arquitetura Moderna surge, portanto, com as profundas transformações estéticas propostas pelas vanguardas artísticas das décadas de 10 e 20, em especial o Cubismo, o Abstracionismo - com destaque aos estudos realizados pela Bauhaus, pelo De Stijl e pela vanguarda russa - e o Construtivismo.

A Bauhaus, ou como é conhecida, “*Staatliches Bauhaus*” (Casa estatal de construção), é uma escola de *design*, artes plásticas e arquitetura de vanguarda que funcionou entre 1919 e 1933 na Alemanha. A Bauhaus foi uma das maiores e mais importantes expressões do que é chamado Modernismo no *design* e arquitetura, sendo uma das primeiras escolas de design do mundo. Um de seus principais objetivos era unir artes, artesanatos e tecnologia. A máquina era valorizada, e a produção industrial e o desenho de produtos tinham lugar de destaque.

Figura 4: Escola de arquitetura Bauhaus, Alemanha.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

O *Arts & Craft* (Artes e Ofícios), foi um movimento estético surgido na Inglaterra em meados do século XIX. Entre outras ideias, defendia o fim da distinção entre o artesão e o artista. Durou relativamente pouco tempo, mas influenciou o movimento francês da *Art Nouveau* e é considerado por diversos historiadores como uma das raízes do modernismo do design gráfico, desenho industrial e arquitetura. Era relacionado com o movimento *Arts & Crafts* e teve grande destaque durante as últimas décadas do século XIX e primeiras décadas do século XX. Caracteriza-se pelas formas orgânicas, escapismo para a natureza e valorização do trabalho artesanal.

3.2.1. Os Mestres do Modernismo

Três arquitetos do século XX são por vezes chamados de mestres da arquitetura moderna; os dois primeiros certamente se encaixam no perfil do herói que combate os filisteus em nome da arte. Eles são Frank Lloyd Wright, Le Corbusier e Ludwig Mies van der Rohe. Walter Gropius é adicionado no grupo com frequência, embora suas contribuições mais significativas tenham sido feitas no campo do ensino da arquitetura. Nenhum desses arquitetos desenvolveu suas ideias no vácuo – todos foram influenciados por arquitetos anteriores, pelo uso de novos materiais de construções e por outros movimentos artísticos (FAZIO, 2001).

Seria muito difícil, por exemplo, imaginar Wright sem a influência de Richardson, Sullivan e do movimento Artes e Ofícios. Por meio do *Portfólios de Wasmuth*, sua obra influenciou o movimento holandês De Stijl, que acabou afetando Gropius e a Bauhaus. Tanto Mies como Le Corbusier admitiram estar em dúvida com Wright e, em alguns aspectos, seguiram seus projetos. Além de se inspirar em Wright, Mies se voltou para Schinkel por meio dos olhos de seu mestre, Peter Behrens, enquanto Le Corbusier está associado aos avanços da construção em concreto por August Perret e às ideias de planejamento urbano propostas por Tony Garnier.

3.2.1.1. Le Corbusier

Le Corbusier é também considerado juntamente com Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto e Mies Van der Rohe, um dos mais importantes arquitetos do século XX. Le Corbusier defendia que, “por lei, todos os edifícios deveriam ser brancos”, criticando qualquer esforço artificial de ornamentação. A sua influência estendeu-se ao urbanismo, onde defendia que a cidade do futuro, na sua perspectiva, deveria consistir em grandes blocos de apartamentos assentados sobre pilotis, deixando o terreno fluir sob a construção, formando algo semelhante a parques de estacionamento. Entre as contribuições de Le Corbusier à formulação de uma nova linguagem arquitetônica para o século XX, encontra-se cinco pontos, tais como:

Construção sobre pilotis, ao tornar as construções suspensas, cria-se uma inédita relação “interno-externo” entre observador e morador;

Terraço-jardim – com o avanço técnico do concreto-armado, seria possível aproveitar a última laje da edificação para espaço de lazer;

Planta livre da estrutura – o uso de sistemas viga-pilar em grelhas ortogonais geraria a flexibilidade necessária para a melhor definição espacial interna possível;

Fachada livre da estrutura – os pilares devem ser projetados internamente às construções, criando recuos nas lajes de forma a tornar o projeto das aberturas mais flexível;

Criação da janela em fita – à uma certa altura, de um ponto ao outro da fachada, de acordo com a melhor orientação solar.

Figura 5: Le Corbusier, arquiteto francês.



Fonte: Série Grandes Arquitetos, Adriano Mello.

Suas principais obras são a Villa Savoye, na qual aplicou seus cinco pontos, e as Unidades de Habitação em Berlim, onde estabeleceu a prática da construção modular, possibilitando ao arquiteto estudar as proporções humanas aplicadas ao projeto e edificações.

Figura 6: Residência Villa Savoye, França, Le Corbusier.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

Figura 7: Unidades de Habitação de Berlim, Alemanha.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

3.2.1.2. Ludwig Mies van der Rohe

Figura 8: Mies Van der Rohe, arquiteto alemão.



Fonte: Série Grandes Arquitetos, Adriano Mello.

Mies van der Rohe (1886-1969) era filho de um canteiro e adquiriu experiência prática em construção com seu pai; mais tarde, trabalhou como aprendiz no escritório do desenhista de móveis Bruno Paul. Entre 1908 e 1911, Mies trabalhou na firma de Peter Behrens. Seus primeiros projetos como arquiteto independente revelam a influência de Karl Friedrich Schinkel, como mostra a casa projetada da senhora Kroller Muller (1912) – um volume retangular simétrico com colunata clássica desadornada ao longo da fachada principal (FAZIO 2001).

Mies Van der Rohe procurou sempre uma abordagem racional que pudesse guiar o processo de projeto arquitetônico. Sua concepção dos espaços arquitetônicos envolvia uma profunda depuração da forma, voltada sempre às necessidades impostas pelo lugar, segundo o preceito do minimalismo, *Less is more* (menos é mais). Atuou como professor da Bauhaus e um dos formadores do que ficou conhecido por *International Style*, onde deixou a marca de uma arquitetura que prima pela clareza e aparente simplicidade. Os edifícios da sua maturidade criativa fazem uso de materiais representativos da era industrial, como o aço e o vidro, presentes na maioria das obras modernas. Grandes referências de sua arquitetura são a Casa Farnsworth e o Pavilhão Alemão da Feira Mundial de Barcelona.

Figura 9: Casa Farnsworth, Mies Van der Rohe.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

Figura 10: Pavilhão Alemão na feira de Internacional de Barcelona, Mies Van der Rohe.



Fonte: <<http://larissacarbonearquitetura.blogspot.com/2014/05/pavilhao-barcelona-85-anos.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

3.2.1.3. Frank Lloyd Wright

Frank Lloyd Wright é considerado um dos mais importantes arquitetos do século XX. Foi a figura chave da arquitetura orgânica, um desdobramento da Arquitetura Moderna que se contrapõe ao *International Style* europeu. Trabalhou no início de sua carreira com Louis Sullivan, um dos pioneiros em arranha-céus da Escola de Chicago. Wright defendia que o projeto deve ser individual, de acordo com sua localização e finalidade. Também influenciou os rumos da Arquitetura Moderna, suas ideias e obras. Seus principais trabalhos foram a Casa da Cascata, também conhecida por Casa Kaufmann, e a Sede do Museu Solomon R. Guggenheim, em Nova Iorque.

Figura 11: Frank Lloyd, arquiteto estadunidense.



Fonte: Série Grandes Arquitetos, Adriano Mello.

Figura 12: Casa da Cascata, Frank Lloyd Wright.



Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

Figura 13: Sede do Museu Solomon R. Guggenheim, Nova Iorque.



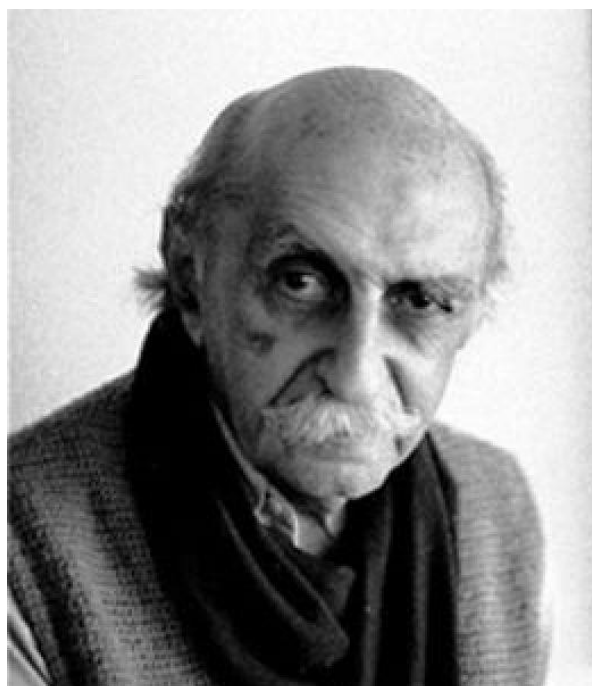
Fonte: <<http://arquitetofala.blogspot.com/2011/12/arquitetura-moderna.html>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

3.2.2. Arquitetura Moderna no Brasil

A história da Arquitetura Moderna no Brasil, é a história de um punhado de jovens e de um conjunto de obras realizado com rapidez inacreditável. Em poucos anos, uma ideia que teve apenas o tempo de lançar suas raízes, em São Paulo e no Rio de Janeiro, floresceu e alcançou uma maturidade paradoxal. Não demandou sequer, como se poderia supor, o tempo de uma geração, mas apenas os poucos anos de passagem de uma turma pela escola de arquitetura.

Em seu ensaio sobre arquitetura brasileira, Lúcio Costa, cujo papel nessa história jamais será suficientemente louvado, ao analisar o período que vai de 1930 a 1940 e que antecede a construção do Ministério da Educação e Saúde, assinala com propriedade que “a arquitetura jamais passou, noutra igual espaço de tempo, por tamanha transformação”.

Figura 14: Lúcio Costa, arquiteto brasileiro, 1995.



Fonte: <<http://www.eniopadilha.com.br/artigo/9600/lcio-costa>>, acessado em 15 de novembro de 2018.

Lúcio Costa, trouxe uma arquitetura mais próxima da realidade brasileira, a única que, ao responder diretamente às exigências do clima e dos materiais, assim como as necessidades do povo, poderia servir de base e de ponto de partida uma interpretação construtiva das

necessidades arquitetônicas do Brasil no pós-guerra, ou seja, um país ainda em formação, em busca de uma nova identidade, de um novo reconhecimento à nível internacional.

Examinando mais de perto as características da Arquitetura Moderna brasileira dos dias atuais, convém assinalar dois fatores que contribuíram decisivamente para a sua formação. O primeiro foi a pesquisa sobre os problemas da insolação. O segundo fator foi o desenvolvimento de uma técnica avançada de uso do concreto armado, que resultou não só em estruturas mais leves e elegantes, mas também em uma economia significativa, em comparação com o custo da construção em outros países. Esses dois fatores estão associados diretamente às duas características mais salientes da arquitetura moderna no Brasil: o emprego de grandes superfícies de vidro, protegidas, quando necessário, por *brise-soleil*, e o uso de estruturas livres, apoiadas sobre pilotis, com o térreo aberto quando possível. Essas duas características mostram também a marcante influência de Le Corbusier.

A vinda de Le Corbusier para o Brasil foi de extrema importância como influência para o desenvolvimento da Arquitetura Moderna no país. Ao passar pelo Rio de Janeiro foi convidado a participar do projeto do Ministério da Educação e Saúde, que se tornou um dos principais edifícios da Arquitetura Moderna brasileira. Também influenciou na concepção do MASP (Museu de Artes de São Paulo) e da Cidade Universitária de São Paulo (USP), e na construção de Brasília – DF, (Plano Piloto), da qual lamentou não participar.

Figura 15: Lúcio Costa e suas principais obras.



Fonte: Série Grandes Arquitetos, Adriano Mello.

3.3. Programa Case Study Houses

O programa *Case Study Houses* (CSH), desenvolvido pela revista *Art & Architecture*, sob a direção de John Entenza, foi lançado em janeiro de 1945, em um contexto muito particular e muito favorável dos Estados Unidos no período pós-guerra, com o propósito de desenvolver projetos residenciais unifamiliares destinadas à classe média, partindo do princípio da possibilidade de produção em série. Um dos principais requisitos era o baixo custo e emprego de novas tecnologias.

A revista serviu como veículo para a divulgação desses projetos, que adotariam materiais doados pela indústria. Antes do início do programa, Entenza já havia patrocinado concursos na revista para projetos de casas pequenas para o período pós-guerra, antecipando o interesse dos arquitetos pelo tema e o surgimento de novas ideias.

O sucesso e longevidade do programa é devido à sua simplicidade. O único objetivo declarado é o desenvolvimento de um ambiente de bem-estar sem qualquer preconceito ideológico. Os arquitetos são encorajados a experimentar novas formas e novos materiais. A abordagem inclui projetos paisagísticos, além de móveis e renomados ambientes de designers. Durante os primeiros três anos do programa, seis casas estão totalmente concluídas, mobiliadas e ajardinadas e abertas ao público.

Nos anos 50, após treze casas concluídas, o programa continua à taxa de uma casa por ano. Arquitetos selecionados são geralmente jovens e pouco conhecidos fora do sul da Califórnia. Koenig e Ellwood, autores de cinco projetos, têm apenas trinta anos quando são convidados a projetar uma *Case Study House*. Muitos arquitetos do final do programa foram inspirados nas primeiras publicações da revista (SMITH, 2009).

Nos primeiros anos do programa, o espírito especulativo determinou muitas escolhas dos arquitetos e projetos do editor. Alguns dos primeiros projetos não chegaram a ser construídos, por faltarem clientes ou terrenos reais. Algumas casas construídas foram adicionadas ao programa depois de terem sido projetadas, para garantir sua continuidade.

Tendo em vista o panorama americano, só foi possível empregar materiais industriais e sistemas de construção que suportassem a linguagem do programa a partir de 1949. Com base

no sucesso da fase inicial, em função da prosperidade econômica e dos avanços tecnológicos da época, seriam realizados estudos de caso em Los Angeles, Long Beach, Thousand Oaks e La Jolla para clientes entusiastas da arquitetura e do design moderno.

Durante esse período poucos projetos não foram construídos e o programa chegou a propor urbanizações de bairros de moradias e apartamentos. De acordo com Smith (2009), as *cases* mais famosas são as casas de Charles e Ray Eames, Craig Ellwood, Pierre Koenig e Raphael Soriano. Dentre os diversos estudos de caso do programa, estes se aproximaram mais do *International Style* europeu, um tipo de design comum na Europa. (SMITH, 2009).

No entanto, alguns dos projetos do programa empregavam materiais menos industrializados. Tratava-se de casas de estrutura de madeira de arquitetos como Thornton Abell, Julius Ralph Davidson, Richard Neutra, Rodney Walker e de empresas como Buff, Straub & Hensman e Kilingsworth, Brady & Smith. Embora menos inovadores do que as casas de estruturas de aço, estes projetos também utilizavam modulares padronizadas e foram igualmente concebidos como protótipos para a produção em massa.

O programa durou de 1945 a 1966, chegando ao final com trinta e seis projetos. Do total, apenas vinte e cinco foram construídos, muitos por falta de clientes outros por falta de espaço e ainda alguns por terem propostas de quebrar os limites domésticos provocou dúvidas sobre sua repercussão, que poderia provocar a rejeição pela maioria das famílias da época.

“Seis excelentes projetos iniciais, não executados porque eles quebravam nitidamente com a tradição, ou teriam sido muito caros para construir, exercendo, no entanto, uma enorme influência no projeto futuro” (McCOY, 1962, p. 22, 2ª Ed.)

Elizabeth Smith, anos mais tarde (1989), destacou o número significativo de exemplares não construídos, especialmente na fase inicial, tal como McCOY já havia observado. Segundo Smith, “a maioria desses projetos não saiu do papel porque não tiveram auxílio de clientes ou terrenos reais”. Ou seja, os arquitetos tinham liberdade de desenvolver suas ideias sobre o uso de materiais, organização da planta ou outras características experimentais, mas sempre à espera de um cliente que possibilitasse o bom emprego dessas ideias.

Ao dar uma olhada nas conquistas do programa nos seus últimos onze anos, Entenza faz um balanço do *Case Study House*:

“Gostamos de pensar que essas casas foram responsáveis por um pensamento lúcido em termos de arquitetura doméstica. Embora seja verdade que nem todas têm sido a casa dos sonhos de todos os homens, elas tiveram, no entanto, uma influência ampla no uso adequado de novos materiais e na reutilização do antigo, e tentaram, com considerável sucesso, sugerir padrões vivos (John Entenza, revista *Arts & Architecture*, 1967)”.

A seguir será apresentado alguns desses projetos do programa que não saíram do papel e mostrar brevemente algumas características arquitetônicas.

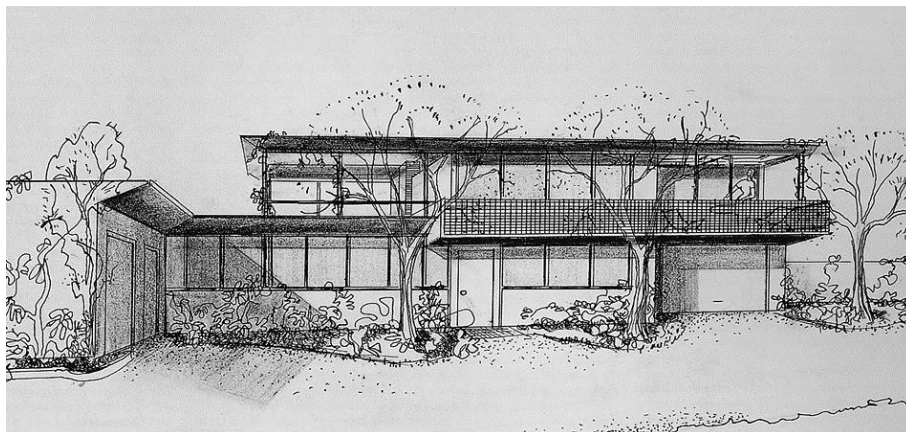
3.3.1. Case Study House #1 | 1945

Um mês após o anúncio do programa, John Entenza introduziu o projeto da primeira casa, de Julius Ralph Davidson, com o seguinte perfil de cliente:

“Somente é necessário inventar uma família típica americana, que, em sua maioria, é indicada pelo desejo de participar do mercado da construção pós-guerra. Deixe-nos pressupor Sr. e Sra. X, ambos profissionais com muito interesse em negócios, a família consiste em uma filha adolescente (que está na faculdade) e uma sogra, que ocasionalmente é hóspede da casa” (ARTS & ARCHITECTURE, fevereiro de 1945, *apud* FONINI, Pauline, 2015 p 84).

Inicialmente publicada em fevereiro de 1945, alguns meses antes do término da segunda guerra mundial, a CSH #1 foi uma síntese das intenções e dos recursos do início do programa, que ainda sofria as restrições do período de guerra. A primeira versão, não construída, estava situada em um lote em La Cañada (Los Angeles). Ela acabou sofrendo alterações significativas e, mais tarde, em 1948, foi construída em um local diferente, devido à necessidade de satisfazer uma família em Toluca Lake Avenue, North Hollywood.

Figura 16: Case Study House #1, versão original, de autoria do arquiteto J. R. Davidson.



Fonte: <<https://atomicredhead.com/2015/03/22/case-study-house-1/>>, acessado em 16 de outubro de 2018.

Davidson idealizou a proposta inicial para clientes hipotéticos com estrutura de dois pavimentos construída com materiais industriais simples. A ideia principal era o aproveitamento dos espaços, tendo em vista as ampliações futuras e a flexibilidade de usos internos e externos à casa. Aplicaram-se materiais como laje de concreto em sua cor natural, na sala de estar, cerâmica, nas áreas molhadas; paredes com placas de gesso e manta de isolamento, vidro ou contraplacado em sua cor natural. Forros com uso de lâmpadas fluorescente e acrílico. Também se previa a construção de outras duas casas para alugar adjacentes à casa principal (FONINI, 2015).

Figura 17 - Case Study House #1, versão atualizada, de autoria do arquiteto J. R. Davidson.

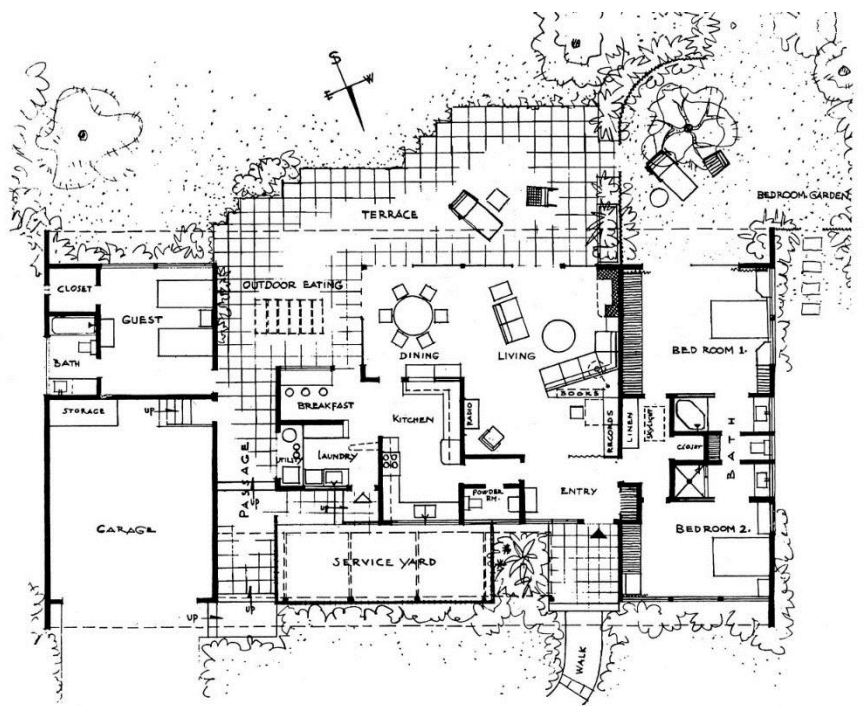


Fonte: <<https://www.laconservancy.org/locations/case-study-house-1/>>, acessado em 16 de outubro de 2018.

Entretanto, de acordo com Smith (1989) sob um ponto de vista contemporâneo, a casa apresentava uma característica um tanto tradicional (ver figura 18). A mesma autora cita Dolores

Hayden, que criticou a localização do *closet* do Sr. X próximo à cozinha, definindo claramente a convivência dos deveres da esposa, contrastando com seu papel profissional moderno. Um gesto satisfatório seria, talvez, separar a entrada do dormitório, o destinado à filha ou sogra, em um arranjo que sugere flexibilidade e adaptabilidade.

Figura 18: Planta baixa CSH #1, autoria do arquiteto J. R. Davidson.



Fonte: <<https://www.midcenturymoderngroovy.com/?p=7496>>, acessado em 16 de outubro de 2018

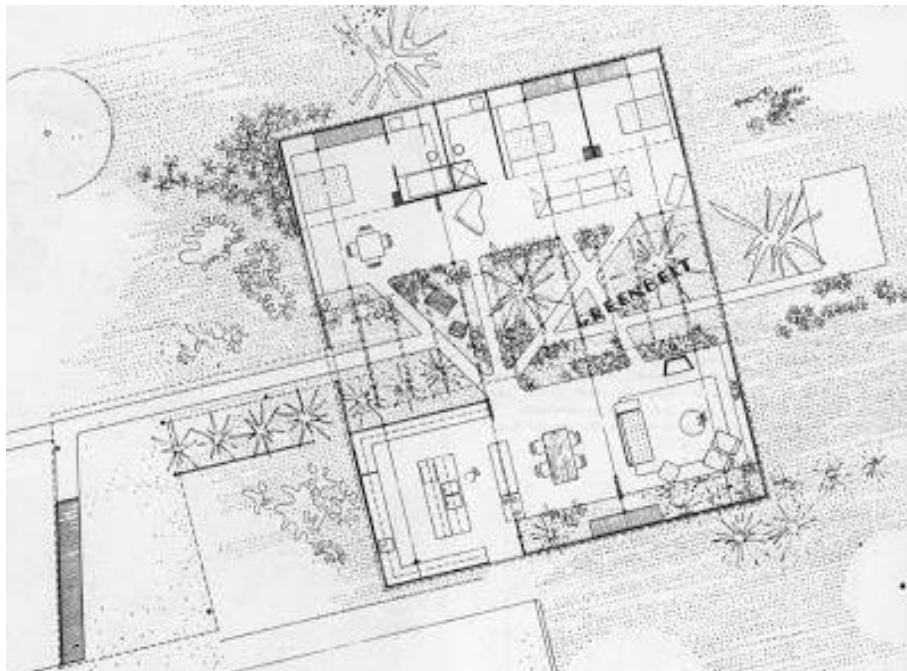
Essa estratégia foi implantada na segunda versão da CSH #1, a qual previa um acesso independente para esse dormitório. Além disso, foi adotado pavimento único com algumas alterações como a inserção da suíte próxima ao dormitório já existente no térreo, bem como a transferência do jardim de serviços para a frente da casa.

Essas mudanças foram implantadas em decorrência do aparecimento de uma família real: um casal com duas filhas já crescidas. Isso explica o acesso separado do dormitório de hóspedes em relação à casa principal. A família aprovou a provisão dos elaborados depósitos e *closets*, mas, segundo Smith (1989, p. 43), o banheiro compartilhado entre o dormitório do casal e o das crianças se tornou inconveniente para os padrões atuais, existindo a possibilidade de ser alterado.

3.3.2. Case Study House #4 | 1945, Casa Greenbelt

O *design* inovador desta construção foi considerado um dos mais incomuns de todo o programa *Case Study Houses*, que nunca chegou à fase de construção. O arquiteto Ralph Rapson, um dos únicos de fora da Califórnia, imaginou uma casa que incluísse a natureza de forma significativa no projeto, a denominada *Casa Greenbelt*. Essa proposta buscava refletir sobre a transformação radical dos padrões convencionais da vida familiar, os quais podem ser facilmente identificados nos esboços preparatórios do arquiteto, em que foram exploradas inúmeras alternativas de plantas e sistemas estruturais (FONINI, 2015).

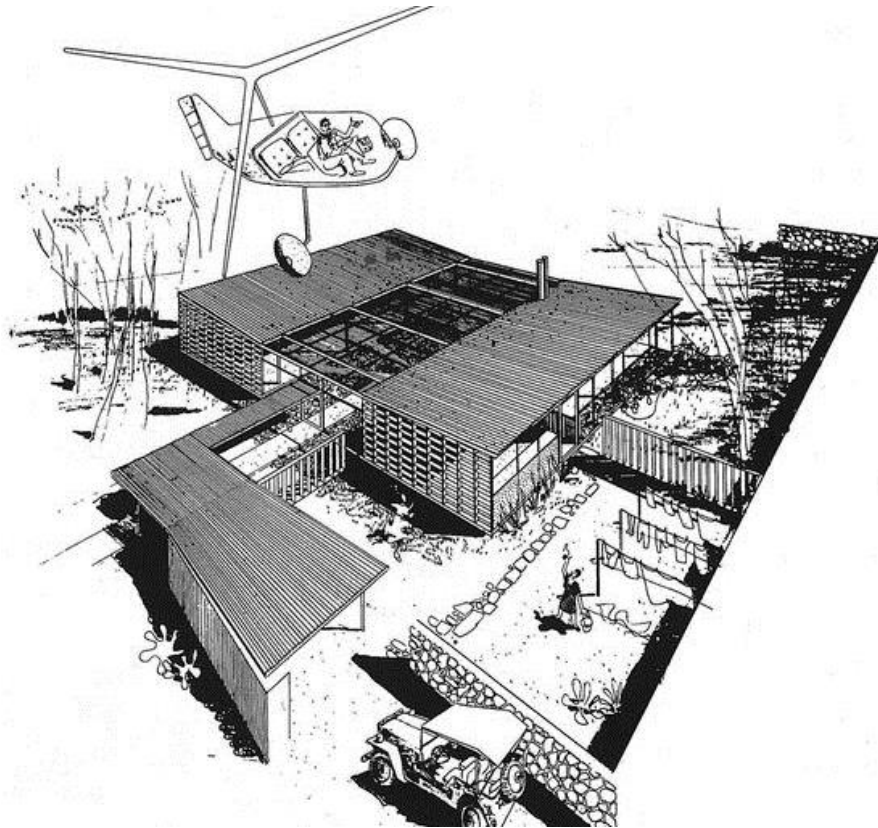
Figura 19: Plano horizontal CSH #4, de autoria do arquiteto Ralph Rapson.



Fonte: <<https://br.pinterest.com/pin/497929302537316791/?lp=true>>, acessado em 16 de outubro de 2018.

A ideia geradora era incorporar a natureza na vida doméstica, através de uma solução original para um sítio confinado à área urbana. A implantação de uma paisagem interna proporcionaria espaço de lazer para a família, que preferia atividades ao ar livre. Rapson partiu do princípio da separação de setores social e íntimo por meio de um cinturão verde, o qual representava, para ele, mais do que quatro paredes e um telhado, mais do que um conceito de espaço, mas um retorno ao modo simples de morar (SMITH, 2009).

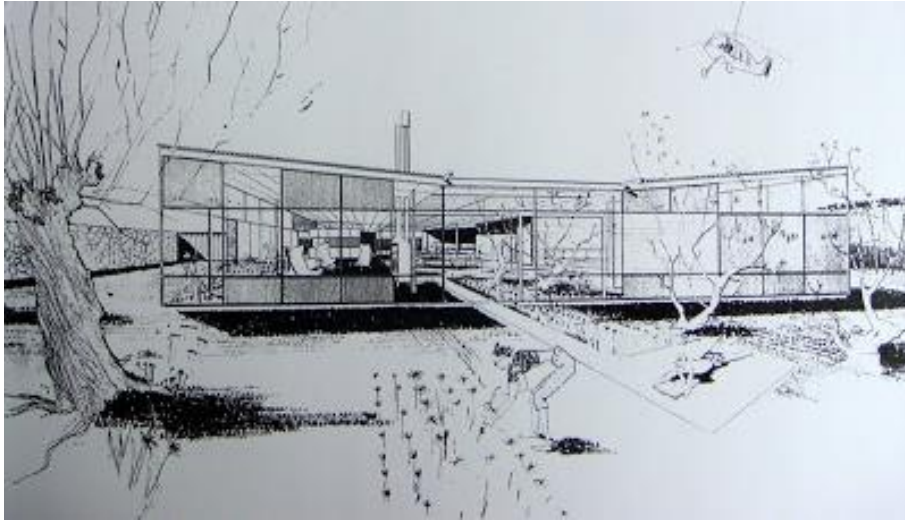
Figura 20 - Perspectiva CSH #4, vista aérea.



Fonte: SMITH, 2009.

Outro aspecto importante foi a intenção de provocar sensações no usuário, fundamental para a incorporação da natureza na vida cotidiana. Foram especificados materiais pré-fabricados, como estrutura de aço ou madeira, dependendo do uso. Um sistema de painéis seria aplicado nas fachadas, podendo ser fixos ou móveis, opacos ou translúcidos, intercalados com painéis de compensado ou placas de cimento (composta por amianto e cimento, muito utilizada na época).

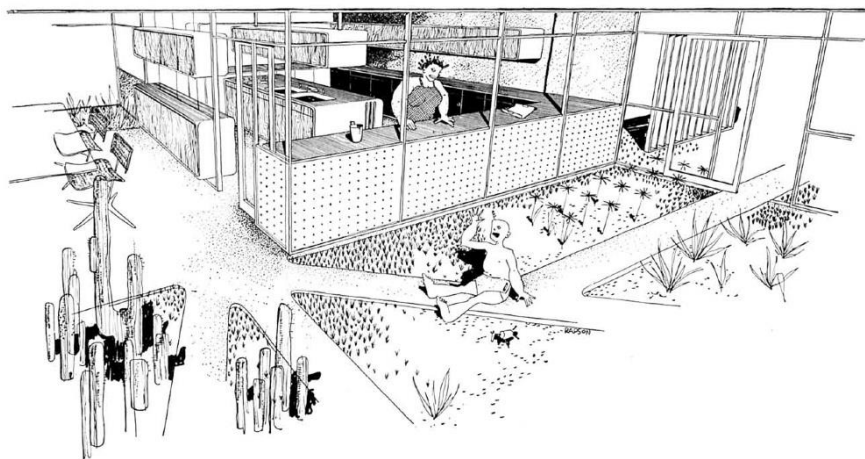
Figura 21: Perspectiva CSH #4, vista fachada.



Fonte: SMITH, 2009.

Essa estrutura simples, com uma planta aberta e sem paredes fixas em seu interior, proporcionava flexibilidade no uso. As divisões poderiam ser fechadas quando se desejasse privacidade, por exemplo, na área de dormitórios, cozinha, jantar e estar. A cozinha assumia importante papel, pois estava estrategicamente localizada próxima à garagem e à área de brincar das crianças, enquanto mantinha diálogo com outros ambientes internos.

Figura 22: Perspectiva CSH #4. Vista interna da cozinha.



Fonte: SMITH 2009.

No entanto, o arquiteto não foi adiante no detalhamento do projeto, pois nunca foi encontrado um cliente para construir tal casa. Seus desenhos em perspectiva e suas especificações talvez retomassem o significado de unidade entre arquitetura e os interiores.

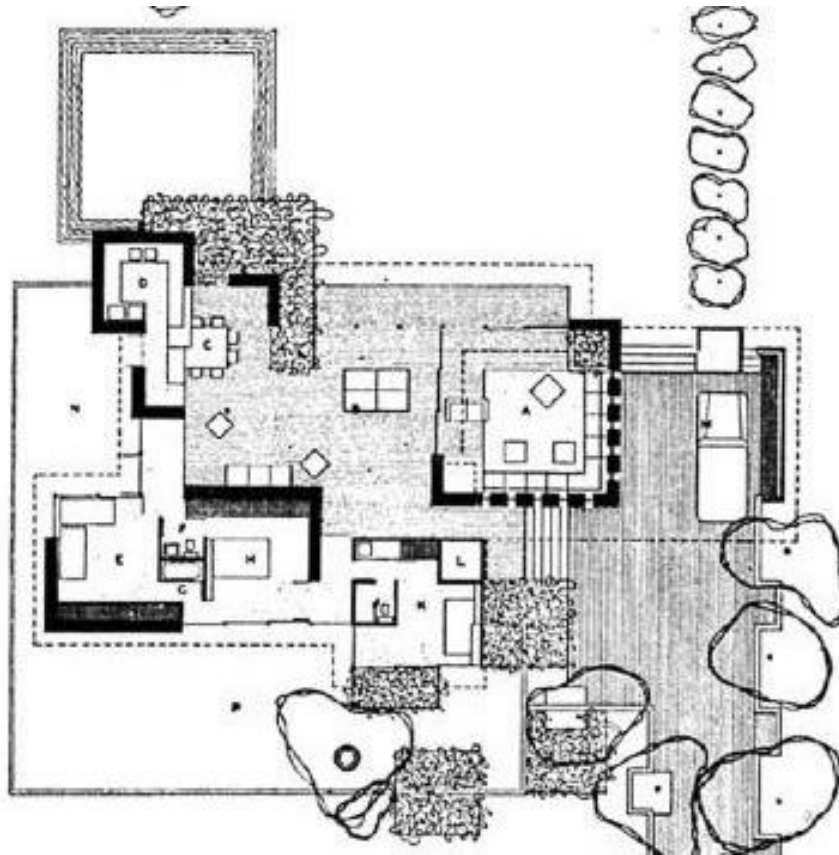
Apesar de não ter sido construída, essa *Case* foi reproduzida em tamanho real na exposição *Blueprints for Modern Living* no museu de Arte Contemporânea de Los Angeles, entre 1989 e 1990, que teve Elizabeth Smith como curadora. O objetivo era familiarizar o público leigo com os valores então vigentes e os estilos da época, através de réplicas das primeiras e últimas casas da série, equipadas com acessórios da época, embalagens e eletrodomésticos (FONINI, 2015).

3.3.3. Case Study House #5 | 1945, Casa Loggia

Na CSH #5, chamada *Loggia House*, se utilizou do conceito de espaço dentro de outro espaço. Isto provocou a possibilidade e a esperança de se ter uma casa introspectiva na metrópole, conforme o arquiteto Whitney R. Smith narrou na publicação de *Arts & Architecture*. A concepção engloba uma série de quatro salas separadas por um jardim ou ‘ilhas de estar sob o mesmo teto’ conforme descrito pelo arquiteto.

A *Loggia House* propôs uma reorganização da forma tradicional de projetar. Em contraste com a maioria das outras *Case Studies*, incorporou, na parte interna da casa, o modo de viver ao ar livre. Os ambientes poderiam ser integrados ou isolados, através de portas de vidro de correr, que transformavam a *Loggia* central em uma grande sala. Dessa forma, surgiram, no desenho da planta, gradações de acesso.

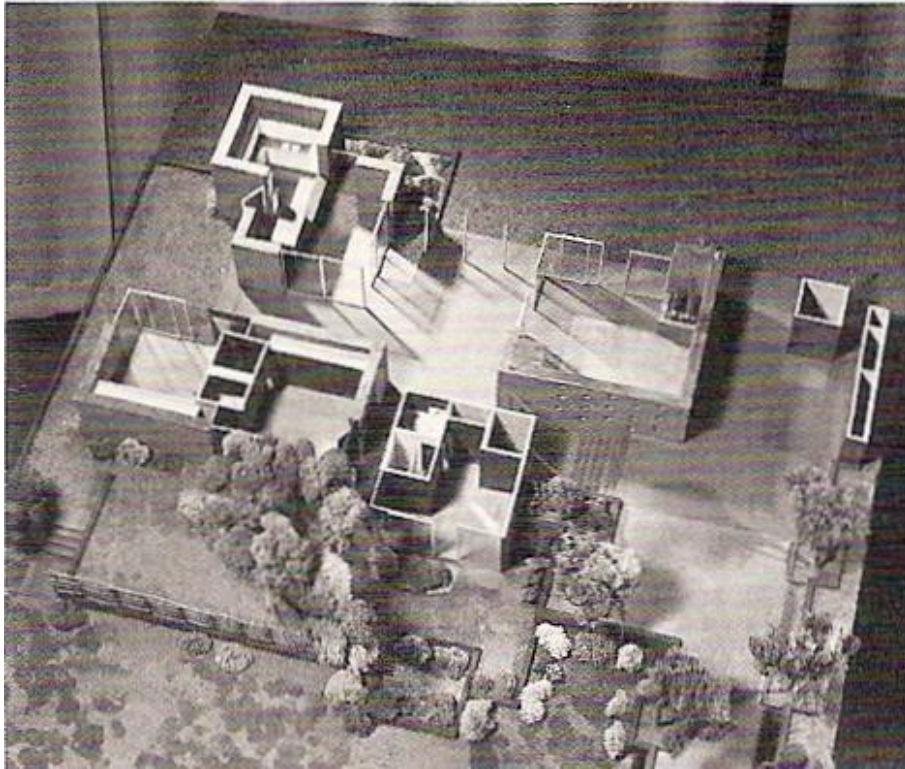
Figura 23: Planta baixa CSH #5.



Fonte: ARTS & ARCHITECTURE, set 1945.

A estrutura planejada para este projeto não construído era tijolo de adobe em conjunto com sistemas de aço. A opção por adoba deveu-se ao significado histórico indígena, em contraste com a incorporação de materiais industriais. Além disso, o adobe poderia enriquecer o projeto através de sua forma, cor e textura. O material especificado para o piso era pedra, em consonância com as áreas externas.

Figura 24: Maquete CSH #5.



Fonte: ARTS & ARCHITECTURE, set 1945.

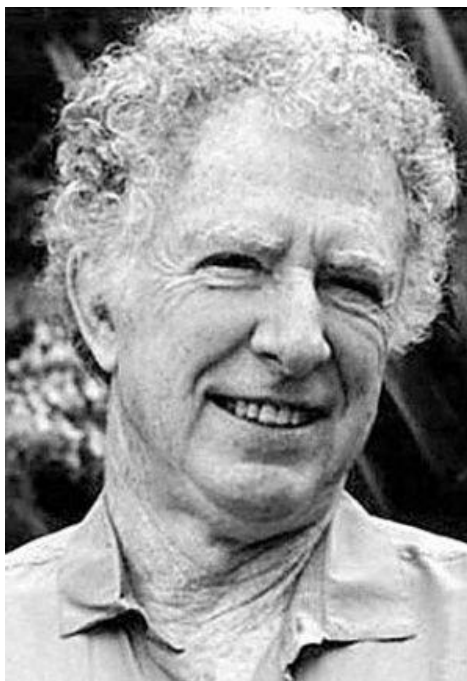
A casa nunca saiu da fase preliminar de projeto e foi descrita, em uma publicação, como o estudo de caso que apresentava características mais próximas da casa californiana. Em função desta reestruturação da casa tradicional, a CSH #5 representa uma das contribuições visionárias do programa em sua fase inicial.

Estas são algumas das casas que não chegou a ser construídas, porém, contribuiu de forma significativa para a arquitetura mundial. Com projetos inovadores, alguns polêmicos para a época, ajudou em novas ideias para a época e para os dias atuais. O programa *Case Study Houses*, teve muita importância para as cidades onde foram construídas alguns de seus projetos e algumas dessas casas foram reconhecidas como patrimônios locais e são alvo de visitas de pessoas de todas as partes do mundo.

4. PIERRE KOENIG

Pierre Koenig é um dos arquitetos mais conhecidos do Modernismo da Califórnia. Ele projetou uma das casas mais icônicas e fotografadas do mundo, a *Stahl House (Case Study House #22)* em Hollywood Hills. No entanto, ele e seu trabalho foram muito além daquela única casa, ajudando a definir a arquitetura moderna como a conhecemos.

Figura 25: Pierre Koenig, 2002.



Fonte: <<https://es.wikiarquitectura.com/arquitecto/Koenig-Pierre>>, acessado em 20 de outubro de 2018

Nascido em San Francisco em 1925, Koenig mudou-se para Los Angeles com sua família em 1939. Ele começou a frequentar a Escola de Engenharia da Universidade de Utah em 1943, depois deixou a escola para servir no Exército dos EUA durante a Segunda Guerra Mundial.

Após o seu turno de serviço, ele frequentou o Pasadena City College por dois anos e, finalmente, ganhou seu diploma de arquitetura na Universidade do Sul da Califórnia (USC) em 1952. Ele estagiou nos escritórios dos grandes arquitetos modernos Raphael Soriano e Edward Fickett antes de estabelecer sua própria prática.

Após receber seu diploma de arquiteto, em 1952, Koenig trabalhou de forma independente e para várias outras práticas arquitetônicas. Na verdade, Koenig havia começado a projetar e construir casas enquanto ainda era estudante. Quando um instrutor de estúdio da USC rejeitou seu projeto para uma casa de aço, questionando a aplicabilidade do aço à arquitetura residencial, Koenig decidiu provar que ele estava errado. Sua resposta, a Koenig House Nº 1, projetada e construída por ele em 1950, teve um custo menor do que a tradicional estrutura de madeira e lhe valeu o prêmio de Mérito “Casa e Casa” do American Institute of Architects (JACKSON, 2017).

Figura 26: Pierre Koenig, 1952.



Fonte: <<http://architectuul.com/architect/pierre-koenig>>, acessado em 20 de outubro de 2018

Koenig assumiu riscos experimentais práticos para forjar uma nova maneira de viver nos subúrbios. Ele se dedicava a usar materiais industriais, pré-fabricados e econômicos, e defendia o uso de ventilação natural.

Jhn Entenza, editor da revista *Arts & Architecture*, convidou Koenig para participar de seu programa Case Study House em 1950, depois de ver uma casa que Koenig havia projetado como estudante na USC. A Case Study House #21 de Baenig (Bailey House) é uma pequena

estrutura de aço e vidro que expressa perfeitamente as ideologias emergentes do modernismo no sul da Califórnia do pós-guerra.

A *Case Study House #21*, imediatamente seguida pela *Case Study House #22*, definiu o estilo Koenig e chamou para si grande atenção. Com sua construção em aço, planejamento aberto e ênfase na unidade da natureza e da arquitetura, essas duas casas de aço exemplificaram a estética da Califórnia como sendo diferente do modernismo da costa leste.

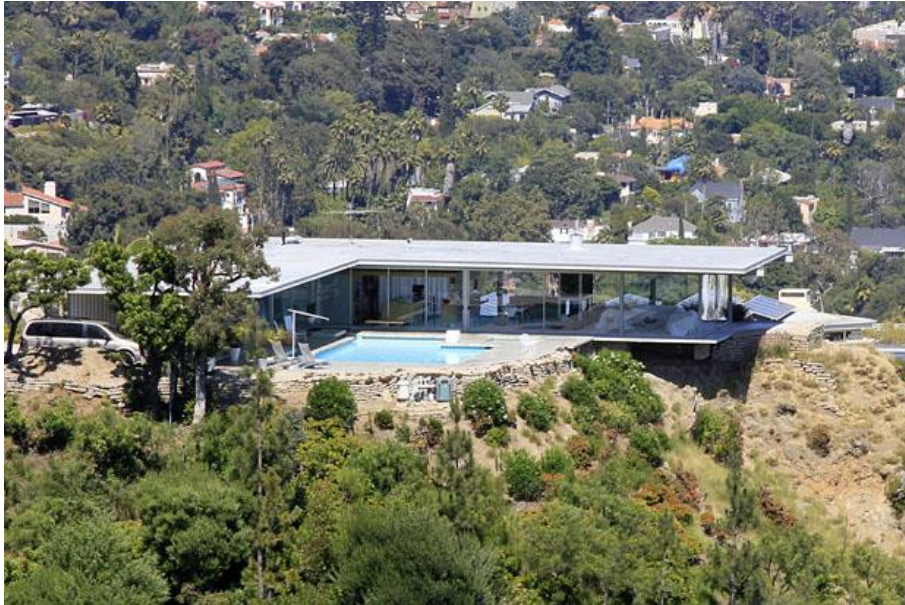
Figura 27: Planta baixa Case Study House #22.



Fonte: <<https://br.pinterest.com/pin/76350156162972478/?lp=true>>, acessado em 20 de outubro de 2018.

Apesar de suas semelhanças conceituais, as duas casas eram bem diferentes uma da outra. *Case Study House #22*, que rapidamente passou a ser vista como a manifestação perfeita da modernidade em Los Angeles e da vida na América pós-guerra em geral, era um projeto único, um exercício para superar as questões de engenharia de um terreno muito acidentado, quase vertical. A *Case Study House #21*, por outro lado, deveria ser um protótipo para habitação acessível e de produção em massa.

Figura 28: Vista aérea Case Study House #22.



Fonte: <<http://www.angelenoliving.com/blog/stahl-house-case-study-house-22-pierre-koenig-1960>>, acessado em 20 de outubro de 2018

Após esse reconhecimento inicial, Koenig teve uma longa e prolífica carreira como arquiteto, projetando e construindo mais de quarenta casas de aço e vidro, incluindo estruturas premiadas, como Schwartz House e Koenig House nº 2, bem como muitas ampliações residenciais e reformas em edifícios comerciais. Após seus longos anos de prática arquitetônica, Koenig nunca abandonou os princípios que o levaram a projetar e construir sua primeira casa. Ele manteve um senso de missão, nunca perdendo seu compromisso com a agenda social do modernismo. Ele realmente acreditava que poderia melhorar a vida das pessoas através da arquitetura (JACKSON, 2017).

Figura 29: Vista frontal Schwartz House.



Fonte: <<http://www.aiacc.org/2012/08/03/pierre-koenig-faia/schwartz-house-koenig-maybeck-award/>>, acessado em 20 de outubro de 2018.

Figura 30: Vista frontal Koenig House nº 2.



Fonte: <<https://www.wowhaus.co.uk/2017/05/30/1980s-modernism-pierre-koenig-designed-koenig-house-2-in-brentwood-los-angeles-california-usa/>>, acessado em 20 de outubro de 2018.

Além de sua prática arquitetônica, Koenig era apaixonado pelo ensino. Em 1964, Koenig se juntou oficialmente ao corpo docente da Escola de Arquitetura da USC como professor assistente, tendo trabalhado como instrutor lá desde 1961. Ele ganhou estabilidade e promoção para Professor Associado em 1970 e depois para Professor Titular em 1997. Junto

com seu ensino, Koenig ocupou vários cargos administrativos durante seus muitos anos na USC, inclusive atuando com Diretor Assistente do *Institute of Building Research* e Diretor e Fundador do Laboratório de Forças Naturais e do Programa de Ciências da Construção de Graduação.

O trabalho de Koenig teve um grande impacto em arquitetos contemporâneos em todo o mundo. Ele foi eleito para o *College of Fellows* do *American Institute of Architects* em 1971 e nomeado *Honorary Fellow* do *Royal Institute of British Architects* em 2000. Seu trabalho recebeu inúmeros prêmios e foi celebrado em mais de mil periódicos e artigos de periódicos e mais de setenta livros. Exibições em cidades ao redor do mundo apresentam sua arquitetura.

Em 1989, uma exposição de referência, *Blueprints for Modern Living: História e legado das Case Study House*, realizada no Museu de Arte Contemporânea de Los Angeles, incluiu um modelo completo de *Walk-through* da Case Study House #22.

Pierre Koenig permaneceu ativo tanto em sua prática arquitetônica quanto em seus ensinamentos até pouco antes de sua morte em abril de 2004. Seu último projeto residencial conhecido é uma casa à beira-mar de vidro e aço de dois andares em Malibu, que, segundo Koenig, “tem pontos de vista que rivalizam com a Stahl House” (JACKSON, 2017).

5. CASE STUDY HOUSE #21 | 1958

Localizada na Califórnia, nos EUA, a *Case Study House #21* é uma obra minimalista, construída em 1958. Essa casa faz parte do Movimento Moderno que surgiu no início do século XX. Dentro desse movimento surgiu o Programa *Case Study Houses*, idealizado por Entenza, como já citado neste trabalho. Como o nome sugere, a *CSH #21*, foi a vigésima primeira casa do programa, projetada por Pierre Koenig que também foi o autor da *CSH #22*, muito semelhante a casa abordada neste capítulo.

Figura 31: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA.



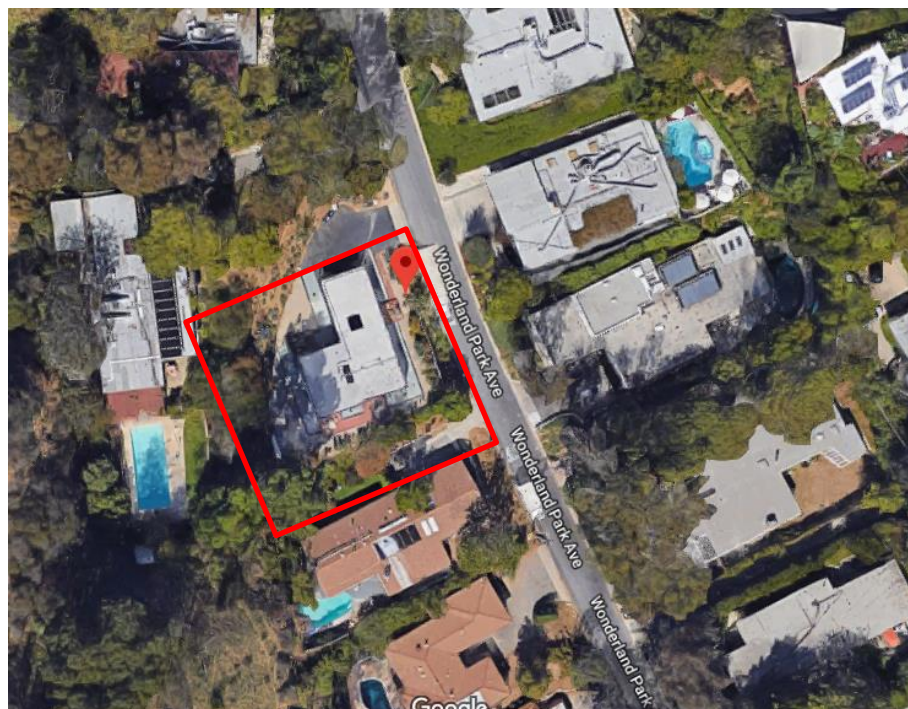
Fonte: Google Maps.

Figura 32: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA



Fonte: Google Maps.

Figura 33: Localização da CSH #21, Califórnia, EUA.

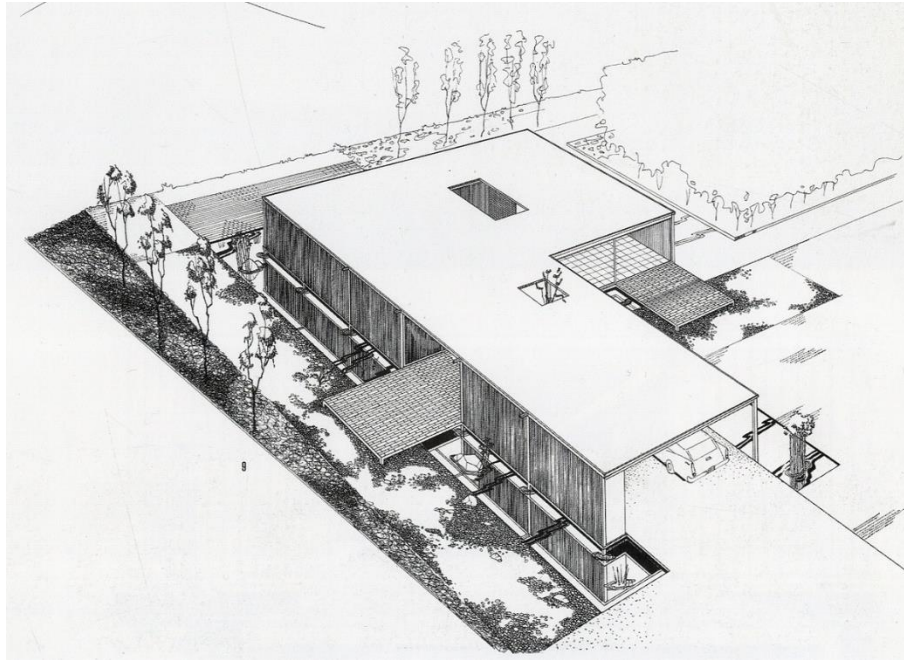


Fonte: Google Maps.

Ao descrever seu conceito para a *Case Study House #21*, Koenig declarou que “eu estava tentando desenvolver 120 m² em um plano eficiente, social e excitante que as pessoas pudessem pagar ... eu joguei fora todo pensamento convencional porque eu não queria repetir nada que

tivesse feito antes.” O programa de estudo de caso exigia o desing de protótipos de produção em massa e Koenig parece ter conseguido isso ao mesmo tempo em que abordava adequadamente os fatores específicos do local.

Figura 34: Perspectiva aérea Case Study House #21.

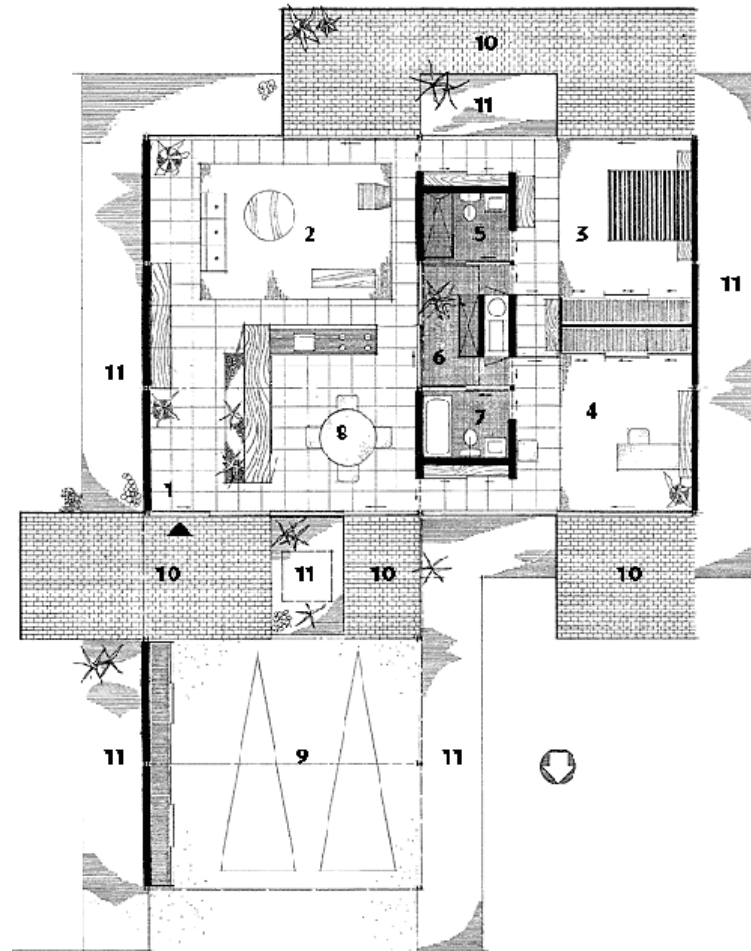


Fonte: <<https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/casa-bailey-case-study-house-no21/>>, acessado em 01 de novembro de 2018.

A *Case Study House #21* representou, na década de 1950, uma inovação no desenvolvimento de imóvel residencial com estrutura de aço, combinado com a síntese dos refinamentos arquitetônicos, no planejamento e na execução, empregando um material até então considerado experimental. Utilizando aço pré-fabricado cuidadosamente planejado, obteve-se um produto final comparável a qualquer outra casa de luxo, menos o custo excessivo geralmente associado à qualidade e originalidade.

O CSH #21 é organizado ao longo do eixo Norte-Sul com uma garagem no lado norte e um lado sul totalmente envidraçado para aproveitar a melhor vista e a luz máxima nos meses de inverno. Koenig optou por um plano em forma de ‘L’, com um design simples e acolhedor. A casa possui acesso direto de todos os cômodos para o exterior, ampliando ainda mais a sensação de liberdade. Paredes de *Stell Deck* opacas bloqueiam a vista desinteressante em direção à encosta escarpada do oeste e da Wonderlan Park Avenue, no leste.

Figura 35: planta baixa Case Study House #21.



Fonte: <<https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/casa-bailey-case-study-house-no21/>>, acessado em 01 de novembro de 2018.

O ambiente da casa é definido pela água, que a rodeia de forma discreta e não como um fosso defensivo. A residência parece flutuar, pois é cercada por terraços com cascalhos e espelhos d'água, com água que é bombeada para o telhado e retorna às fontes. Isso proporciona um sistema eficiente de resfriamento climático aos interiores.

Figura 36: Perspectiva aérea Case Study House #21.



Fonte: <<https://www.timeout.com/los-angeles/things-to-do/bailey-house-case-study-house-21>>, acessado em 01 de novembro de 2018.

O projeto de Koenig introduz um novo conceito para a água como um elemento paisagístico, que conecta a casa ao entorno ao invés de separá-los. A água reflete e amplifica as linhas limpas da estrutura, acrescentando serenidade e beleza estática. Como Entenza anunciou: “a qualidade do espelho da água está sujeita a mudanças contínuas de humor e caráter”, da mesma forma que a luz antinge toda a sua superfície, sobrepondo as reflexões da natureza na arquitetura.

Abrengendo o espelho d’água, terraços de tijolos fornecem acesso às áreas internas. Além disso, acrescentam outro plano e textura à interação entre a água e estrutura. Em horários específicos, a água é bombeada dos reservatórios para a calha, onde cai por gravidade nas lâminas d’água que rodeiam a casa, circulando e arejando o ambiente. O som da água caindo, dos buzinetes, de volta a sua fonte, contribui para o prazer auditivo e a atmosfera refrescante durante o calor do dia (SMITH, 2009).

A parte principal da casa é um plano retangular de 30 x 44 pés (9,41 x 13,41 m), que abriga dois banheiros na parte central, que separa cozinha e sala de estar dos dois dormitórios. A disposição dos cômodos proporcionar maior privacidade visual e acustica para os quartos.

Ao projetar essa parte da casa, Koenig simplificou o estilo de vedação da parte exterior, utilizando portas de vidro deslizantes ou paredes de aço opaco. A simplicidade dos materiais é o que Entenza achou mais atraente, quando visitou a casa pela primeira vez, descreveu-a como “um design limpo e muito imaculado. Dois detalhes, um norte-sul, um leste-oeste. Um material para o telhado, o mesmo para as paredes. Casa mínima, espaço máximo”.

Figura 37: Perspectiva Case Study house #21.



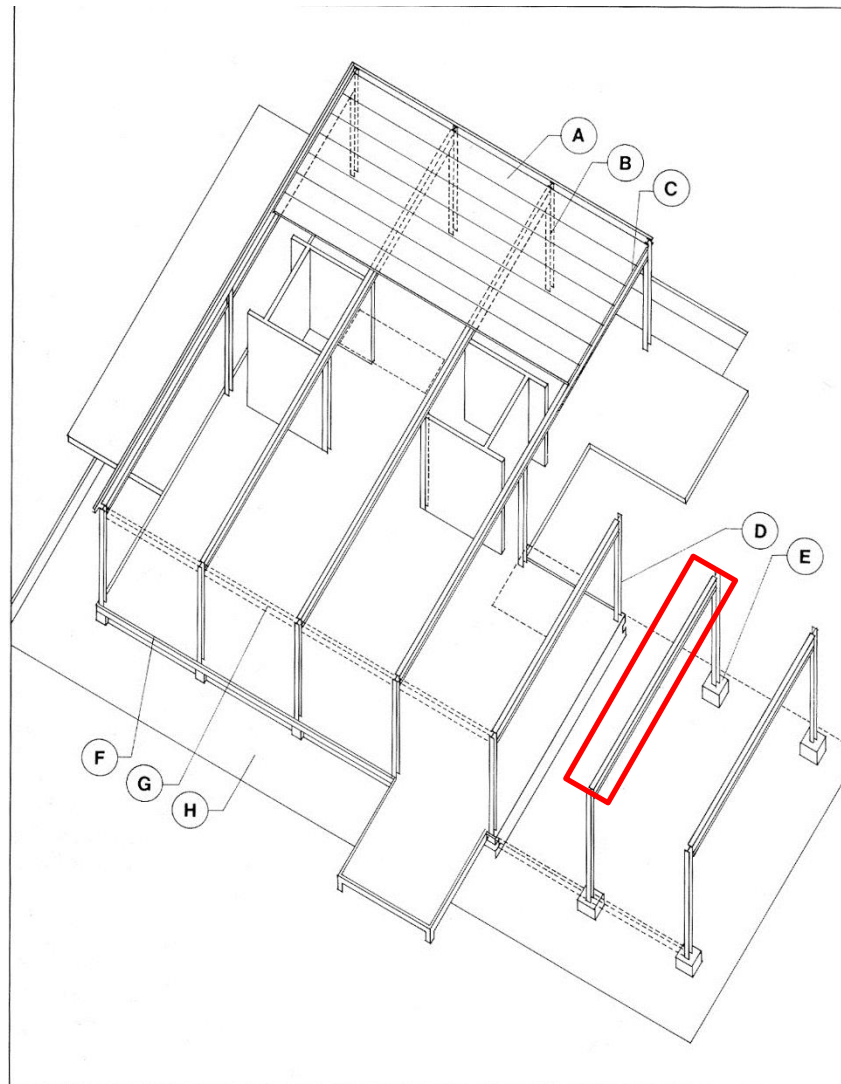
Fonte: <<https://www.timeout.com/los-angeles/things-to-do/bailey-house-case-study-house-21>>, acessado em 01 de novembro de 2018.

O sistema estrutural da casa é formado por vigas de aço pré-fabricadas de seção ‘I’ de 8 polegadas (206 mm) e pilares de seção ‘H’ de 4 polegadas (101 mm). São quatro vigas que forma a parte principal da casa e possuem 44 pés (13,41 m) de extensão, além dessas, três de mais extensão formam a garagem. É interessante notar que Koenig optou por estrutura idêntica às casas que trabalhou com Soriano e Jones, vigas com seção ‘I’ de oito polegadas e pilares de seção ‘H’ de quatro polegadas, entretanto, em vez de usar uma dimensão padronizada de oito pés (2,44 m), Koenig optou por um espaçamento de dez pés (3 m) entre as vigas para economizar e simplificar a estrutura geral. Koenig afirmava com frequência: “O aço é tão bom quanto o seu detalhamento. Para tornar aceitável o aço exposto na sala de estar, ele deve ser tão bem detalhado que as conexões de união sejam imperceptíveis”.

6. DIMENSIONAMENTO

Neste trabalho fizemos um cálculo estrutural da *Case Study House #21* para atestar a perfeita relação entre arquitetura e estrutura. Esse estudo leva em consideração a viga que recebe maior carga. Primeiramente, faz-se o dimensionamento de acordo com as medidas da casa, e em seguida, proposição acerca do tamanho do vão são feitas com o intuito de verificar se há aproveitamento da estrutura. Desta forma, chegaremos a conclusão se a casa está em perfeita harmonia entre arquitetura e estrutura.

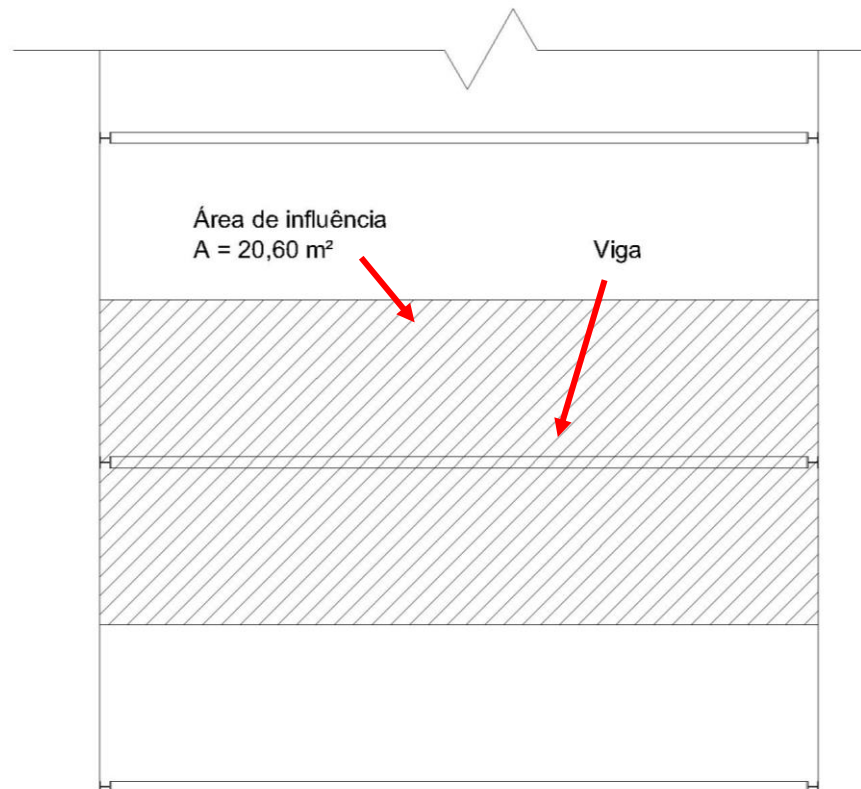
Figura 38: Viga utilizada para estudo.



Fonte: Desenho original de Koenig, Universidade do Sul da Califórnia.

A figura abaixo mostra a planta estrutural da casa e através dela é possível obter a área de influência da viga em questão.

Figura 39: Área de influência utilizada para análise.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

Área de influência: $20,60 \text{ m}^2$

Largura do vão: $6,55 \text{ m}$

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

6.1. Carga Permanente

Peso da laje *steel deck* = $1,85 \text{ kN/m}^2$

Convertendo esse valor para $\text{kgf/m}^2 \rightarrow 188,65 \text{ kgf/m}^2$

Peso próprio da laje $\rightarrow 188,65 \text{ kgf/m}^2 \times 20,60 \text{ m}^2 = 3.886,20 \text{ kgf}$

Impermeabilizante $\rightarrow 10 \text{ kgf/m}^2 \times 20,60 \text{ m}^2 = 206 \text{ kgf}$

Peso próprio da viga $\rightarrow 22,3 \text{ kgf/m} \times 6,55 \text{ m} = 146,10 \text{ kgf}$

Soma da carga permanente $\rightarrow 4.238,30 \text{ kgf}$

6.2. Carga Acidental

6.2.1. Vento

Baseado na Norma ABNT NBR 6123 e utilizando o Isopletas do local onde está construído a *Case Study House #21*, em Los Angeles nos Estados Unidos da América, é possível levantar a carga de vento.

De acordo com a Norma ABNT NBR 6123 – Forças Devido aos ventos em Edificações – a pressão exercida pelo vento sobre as partes das edificações deve ser calculada com a fórmula:

$$q = 0,613V_k^2$$

Onde:

q – Pressão dinâmica em N/m^2 ;

V_k – Velocidade característica em m/s .

A velocidade característica depende de uma série de fatores como a região, a topografia, a densidade de ocupação e características construtivas do edifício.

Fórmula para velocidade característica:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

Onde:

V_k – Velocidade característica em m/s ;

V_0 – Velocidade básica da região;

S_1 – Fator topográfico;

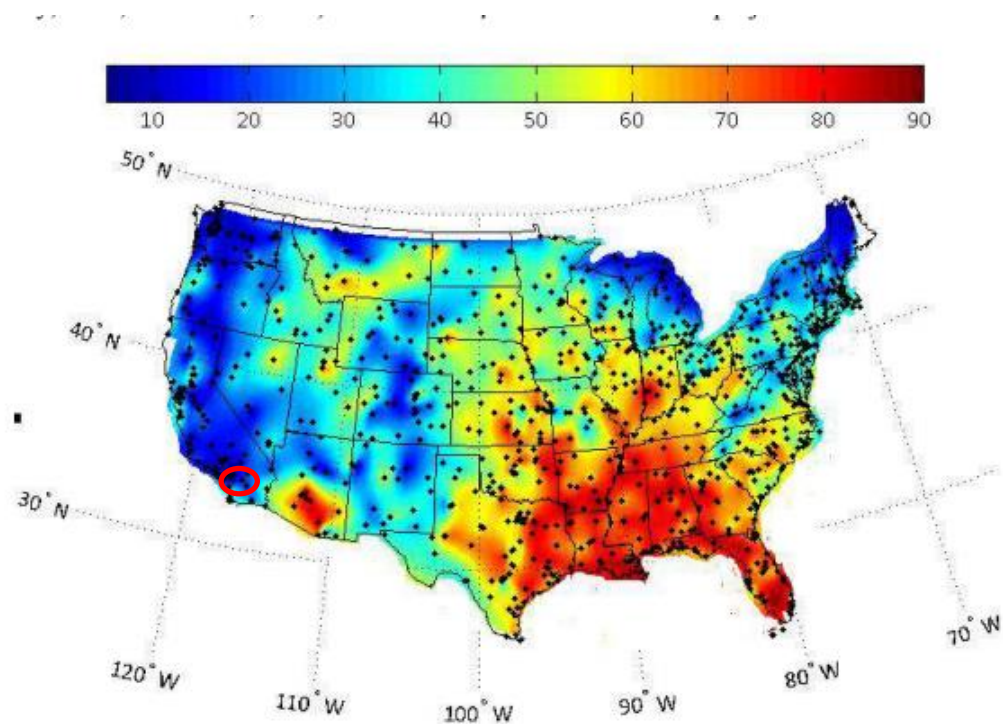
S_2 – Fator rugosidade;

S_3 – Fator probabilístico.

6.2.1.1. Determinação da Velocidade Básica do Vento (V_0)

De acordo com a Norma ABNT NBR 6123, a velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de três segundos, exercida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto.

Figura 40: Localização das estações meteorológicas (pontos pretos) e percentual das velocidades médias anuais.



Fonte: Letchford, 2015.

De acordo com o Isopletes acima, a velocidade na região onde está situada a *Case study House #21*, é:

$$V_0 = 25 \text{ m/s}$$

6.2.1.2. Determinação do Fator Topográfico

De acordo com a Norma ABNT NBR 6123, o Fator Topográfico, S_1 , é determinado em função do relevo do terreno.

Tabela 1: Classes de relevo do terreno.

S_1	Tipo de relevo do terreno
1,0	Terreno plano ou fracamente acidentado
Variável	Taludes e morros
0,9	Vales profundos e protegidos de ventos de qualquer direção

Fonte: NBR 6123/1988, tópico 5.2.

A *Case Study House #21* enquadra-se em terreno plano ou fracamente acidentado, portanto, o valor do fator topográfico é:

$$S_1 = 1,0$$

6.2.1.3. Determinação do Fator Rugosidade (S_2)

De acordo com a Norma ABNT NBR-6123, os terrenos podem ser classificados em uma das categorias seguintes:

Tabela 2: Categorias de rugosidade do terreno.

Categoria	Tipo de superfície do terreno
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Obstáculos com altura média abaixo de 1 metro.

III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos. Obstáculos com altura média de 3 metros.
IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Altura média dos obstáculos de 10 metros.
V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Obstáculos com altura média de 25 metros ou mais.

Fonte: NBR-6123/1988, tópico 5.3.1.

O terreno em questão se enquadra na categoria II.

Além das características de rugosidade do terreno, devemos levar em consideração as dimensões do edifício:

Tabela 3: Classes de edifícios em função de suas dimensões.

Classe	Dimensões do edifício
A	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical seja inferior a 20 metros.
B	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
C	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Fonte: NBR-6123/1988, tópico 5.3.2.

As dimensões da *Case Study House* se enquadram na classe A.

Juntando a categoria do terreno com a classe do edifício, entramos na tabela seguinte, obtendo o Fator Rugosidade S_2 para diversas alturas de edifício:

Figura 41: Fator Rugosidade S_2 .

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92

Fonte: NBR-6123/1988, tópico 5.3.3.1, anexo A, tabela 2.

O Fator Rugosidade S_2 , obtido foi:

$$S_2 = 0,94$$

6.2.1.4. Determinação do Fator Estatístico (S_3)

De acordo com a Norma ABNT NBR-6123, o Fator Estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Figura 42: Determinação do fator estatístico S_3 conforme os grupos de ocupação.

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR-6123/1988, tópico 5.4.1, anexo B, tabela q,

Conforme figura 28, a *Case Study House #21* se enquadra no grupo 2 do Fator Estatístico

:

$$S_3 = 1,0$$

Com os dados coletados, vamos aos cálculos:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 = 20 \times 1 \times 0,94 \times 1 = 18,8$$

$$q = 0,613 V_k^2 = 0,613 \times 18,8^2 = 216,66 \text{ N/m}^2$$

$$q = 216,66 \text{ N/m}^2 \rightarrow 22,09 \text{ kgf/m}^2$$

Multiplica-se pela área, temos:

$$q = 22,09 \times 20,60 = 455,05 \text{ kgf}$$

6.2.2. Sobrecarga

Segundo a Norma ABNT NBR 8800/08, Anexo B, B.5.1 “Nas coberturas comuns (telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25kN/m², em projeção horizontal [...]”. Seguindo essa norma, foi utilizado o valor de 0,25 kN/m² que equivale a 25 kgf/m².

$$Q = 25 \text{ kgf/m}^2$$

$$Q = 25 \text{ kgf/m}^2 \times 20,60 \text{ m}^2 = 515 \text{ kgf}$$

6.3. Combinações de Cargas Solicitantes

Determinar:

$$S_d = F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_i F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}$$

Onde:

$F_{G,k}$ – cargas permanentes;

$F_{Q1,k}$ – ação variável principal;

$F_{Qj,k}$ – demais ações variáveis;

γ_g – coeficiente de ponderação de ações permanentes;

γ_q – coeficiente de ponderação de ações variáveis;

ψ_{0j} – coeficiente de combinação.

Para a carga permanente, o coeficiente de ponderação (γ_g), é retirado da tabela a seguir.

Figura 43: Ações permanentes diretas consideradas separadamente.

Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,40	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,50	1,0
Especial ou de construção	Peso próprio de estruturas metálicas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,20	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,30	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,40	1,0
Excepcional	Peso próprio de estruturas metálicas	1,10	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,20	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,30	1,0

¹⁾ Por exemplo: paredes e fachadas pré-moldadas, gesso acartonado.
²⁾ Por exemplo: paredes de alvenaria e seus revestimentos, contrapisos.

Fonte: NBR-8681, tópico 5.1.4.1, tabela 1.

Conforme tabela acima:

$$\gamma_g = 1,0$$

Para as cargas acidentais, o coeficiente de ponderação (γ_q), é retirado da tabela a seguir:

Figura 44: Ações truncadas consideradas separadamente.

Combinação	Tipo de ação	Coefficiente de ponderação
Normal	Ações truncadas ¹⁾	1,2
	Efeito de temperatura	1,2
	Ação do vento	1,4
	Ações variáveis em geral	1,5
Especial ou de construção	Ações truncadas ¹⁾	1,1
	Efeito de temperatura	1,0
	Ação do vento	1,2
	Ações variáveis em geral	1,3
Excepcional	Ações variáveis em geral	1,0

Fonte: NBR-8681, tópico 5.1.4.2, tabela 4.

Conforme tabela acima:

Ação do vento (Q) $\rightarrow \gamma_q = 1,4$

Ações variáveis em geral (Q) $\rightarrow \gamma_q = 1,5$

Para as cargas variáveis, os coeficientes de combinação são retirados da tabela que segue:

Figura 45: Valores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para as ações variáveis.

Ações	ψ_0	ψ_1	ψ_2 ^{3), 4)}
Cargas acidentais de edifícios			
Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento			
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura			
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos			
Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
Pontes ferroviárias não especializadas	0,8	0,7	0,5
Pontes ferroviárias especializadas	1,0	1,0	0,6
Vigas de rolamentos de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5

Fonte: NBR-8681, tópico 5.1.4.4, tabela 6.

Sobrecarga (Q) $\rightarrow \psi_0 = 0,5$

Cargas de vento (Q) $\rightarrow \psi_0 = 0,6$

Tabela 4: Cargas e coeficientes a serem combinados.

Ação	Esforço normal	Coef. de ponderação	Coef. de minoração
G (carga permanente)	4.238,30	1,0	-
Q (sobrecarga)	515	1,5	0,5
Q (vento)	455,05	1,4	0,6

Fonte: Feito pelo autor.

Após obtido os coeficientes de ponderação e minoração, aplica-los na fórmula a seguir combinados com as respectivas cargas.

$$S_d = F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_i F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}$$

Combinação 01

$$S_d = F_d = (4.238,30 \times 1) + (455,05 \times 1,4) + (515 \times 1,5 \times 0,5) = 5.320,53 \text{ kgf}$$

Combinação 02

$$S_d = F_d = (4.238,30 \times 1,0) + (515 \times 1,5) + (455,05 \times 1,4 \times 0,6) = 5.451,95 \text{ kgf}$$

Como a norma estabelece, será utilizado para os cálculos a combinação que resultou em maior valor, neste caso, a combinação 2.

Carga total $\rightarrow 5.358,43 \text{ kgf}$ que equivale a $52,55 \text{ kN}$

Este valor atuará como carga distribuída na viga.

Peso da carga por metro $\rightarrow 53,47 \text{ kN} / 6,55 \text{ m} = 8,16 \text{ kN/m}$

6.4. Momento Fletor e Esforço Cortante

Momento fletor máximo:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} = \frac{8,02 \times 6,55^2}{8} = 43,77 \text{ kN.m}$$

Aplicando o coeficiente de segurança 1,15 encontramos o valor 50,34 kN.m

Esforço cortante:

$$V_d = \frac{ql}{2} = \frac{8,02 \times 6,55}{2} = 26,73 \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

onde:

E: Módulo de elasticidade ou módulo Young;

f_y : Tensão de escoamento;

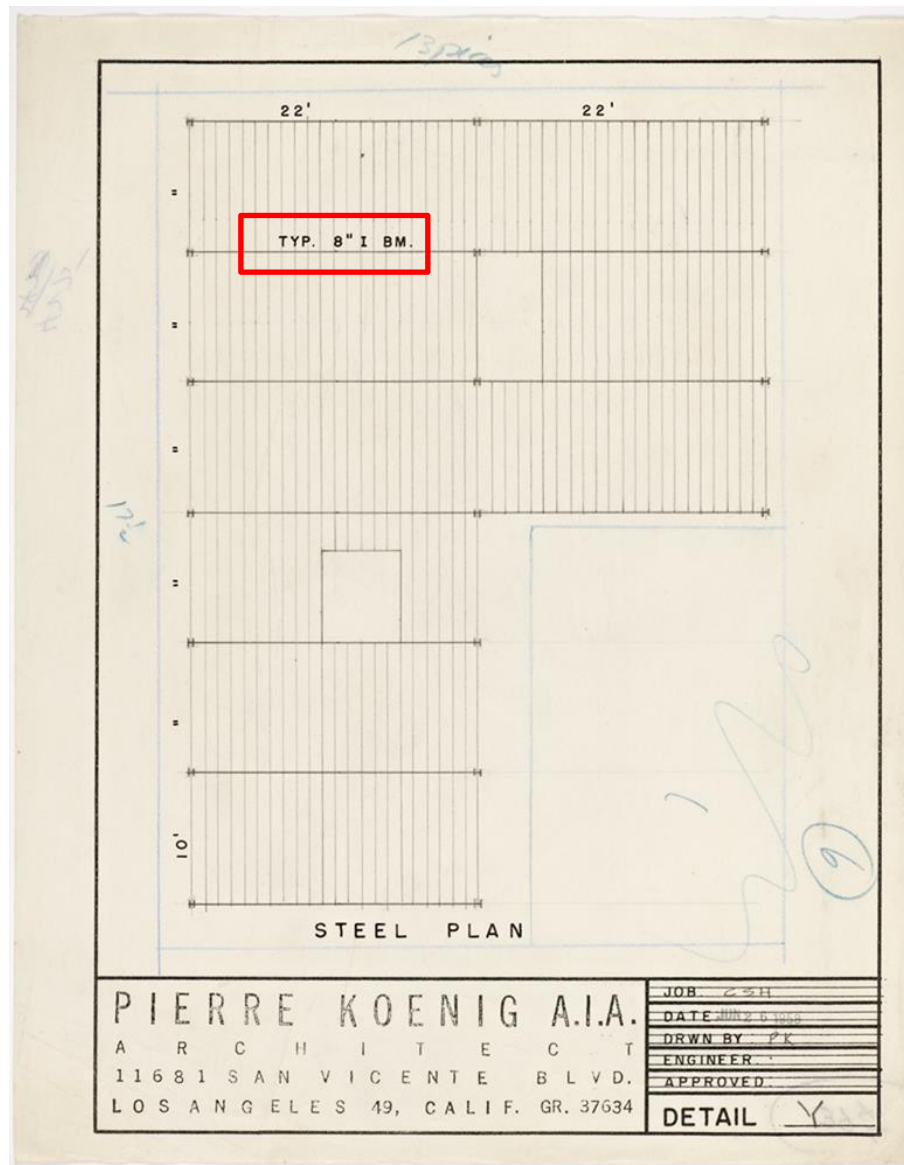
f_u : Tensão de ruptura;

f_r : Tensão residual.

Foi também considerado a utilização de um perfil de aço laminado do tipo ASTM A36.

A *Case Study House #21* utiliza, em suas vigas, o perfil 8 BM 15, sendo o número “8” referente à altura da viga, em polegadas; “BM”, uma sigla para *Beam* que traduzido do inglês significa viga; e por fim, o número “15”, representa o peso linear do perfil, em libras por pé.

Figura 46: Planta baixa da estrutura.



Fonte: Desenho original de Koenig, Universidade do Sul da Califórnia.

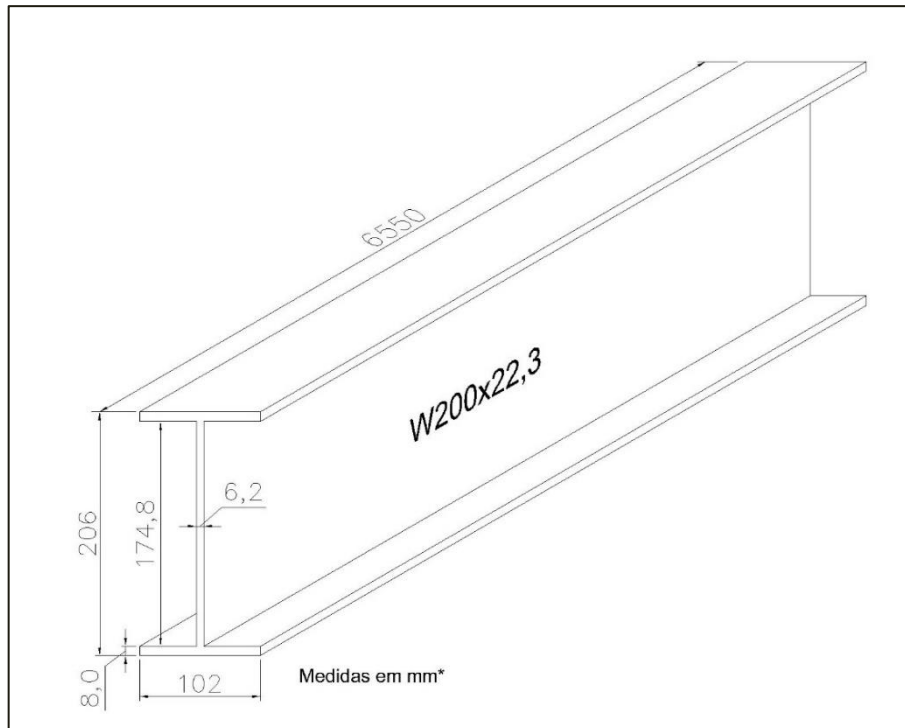
Koenig utilizou dois tipos de viga, sendo as internas 8 BM 15 e as externas 8 BM 13, um pouco mais leve, pois segundo ele, “as vigas externas recebem metade da carga que é aplicada nas vigas internas” e com isso ele conseguiu reduzir o peso e o custo da CSH #21.

Figura 47: Tabela de perfis Continental Steel Pte Ltd

UNIVERSAL BEAMS AND COLUMNS														
Universal Beams and Columns														
Imperial units														
Designation Size	Mass Per Metre	Depth Of Section D	Width Of Section B	Thickness		Root Radius r	Depth Between Fillets d	Area Of Section A	Ratios For Local Buckling		Dimensions For Detailing			
				Flange T	Web t				Flange b/T	Web d/t	End Clearance C	Notch N	Notch n	
W5-5x5 (127x127)	16 19	23.8 130.8	127.3 127.8	9.1 10.9	6.1 6.9	7.6 7.6	93.8 93.8	30.4 35.8	6.95 5.86	15.4 13.7	5 5	70 70	17 19	
W6-6x3 (152x76)	9 12	14.0 18.0	150.0 155.0	75.0 75.0	7.0 8.5	5.0 6.0	8.0 8.0	120.0 122.0	17.8 21.6	5.36 4.41	24.0 20.3	5 5	45 45	15 17
W6-6x3 1/2 (152x89)	11	16.0	152.4	88.7	7.7	4.5	7.6	121.8	20.3	5.76	27.1	4	52	15
W6-6x4 (152x102)	9 12 16	13.4 17.9 23.8	149.9 153.2 159.5	100.1 101.6 102.4	5.5 7.1 10.2	4.3 5.8 6.6	6.4 6.4 6.4	126.3 126.3 126.4	17.3 22.9 30.4	9.17 7.14 5.02	29.2 21.6 19.2	4 5 5	58 58 58	12 13 17
W6-6x6 (152x152)	15 20 25	22.3 30.0 37.0	152.1 152.4 157.6	152.1 152.2 152.9	6.6 6.8 9.4	5.8 5.8 6.5	6.4 7.6 7.6	126.2 123.6 123.6	28.5 29.2 38.3	11.5 11.2 8.13	21.6 21.3 19.0	5 5 5	83 83 83	13 14 17
W7-7x 3 1/2 (178x89)	11 12 15	16.1 18.1 22.2	173.0 175.0 179.0	90.0 90.0 90.0	7.0 8.0 10.0	4.5 5.0 6.0	8.9 8.9 8.9	141.2 141.2 141.2	20.4 23.0 28.2	6.43 5.63 4.50	31.4 28.2 23.5	4 5 5	53 53 52	16 17 19
W7-7x4 (178x102)	13	19.0	177.8	101.2	7.9	4.8	7.6	146.8	24.3	6.41	30.6	4	58	16
W8-8x4 (203x102)	10 13 15 16	14.9 19.4 22.3 23.1	200.4 202.9 206.0 203.2	100.1 101.6 102.0 101.8	5.2 6.5 8.0 9.3	4.3 5.8 6.2 5.4	7.6 7.6 7.6 7.6	174.7 174.7 174.8 169.4	19.1 24.8 28.6 29.4	9.61 7.84 6.38 5.47	40.4 29.9 28.1 31.4	4 5 5 5	58 58 58 58	13 14 16 17

Fonte: Continental Steel Pte Ltd. Obtida em <http://www.consteel.com.sg/>, acessado em 28 de outubro de 2018.

Figura 48: Viga estudada.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

Um catálogo de perfis metálicos, fornecido pela companhia norte-americana *Continental Steel Pte Ltd*, fornece os dados necessários sobre o perfil **W200x22,3**:

$$d: 206 \text{ mm} \qquad I_x = 1.999 \text{ cm}^4$$

$$bf: 102 \text{ mm} \qquad I_y = 142 \text{ cm}^4$$

$$tf: 8,0 \text{ mm} \qquad r_x = 8,36 \text{ cm}$$

$$tw: 6,2 \text{ mm} \qquad r_y = 2,23 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 22,3 \text{ kg/m} \qquad W_x = 194 \text{ cm}^3$$

$$h = 174,8 \text{ mm} \qquad W_y = 27,8 \text{ cm}^3$$

$$A = 28,6 \text{ cm}^2 \qquad I_t = 5,68 \text{ cm}^4$$

Onde:

$$d: \text{ altura;} \qquad I_x = \text{ momento de inércia em } x;$$

$$bf: \text{ largura;} \qquad I_y = \text{ momento de inércia em } y;$$

$$tf: \text{ espessura da mesa;} \qquad r_x = \text{ raio de giração em } x;$$

$$tw: \text{ espessura da alma;} \qquad r_y = \text{ raio de giração em } y;$$

$$\text{Peso} = \text{ massa linear;} \qquad W_x = \text{ módulo resistente elástico;}$$

$$h = \text{ altura da alma;} \qquad W_y = \text{ módulo resistente elástico;}$$

$$A = \text{ área da seção;} \qquad I_t = \text{ momento resistente à torção.}$$

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 limites citados, deve-se também considerar:

- ✓ Resistência ao cisalhamento;
- ✓ Verificação da flecha máxima.

6.5. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{174,8}{6,2} = 28,19$$

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

Onde:

h : Altura da mesa;

t_w : Espessura da alma.

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

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Z f_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(102 \times 8) \left(\frac{206}{2} - \frac{8}{2} \right) + \left(6,2 \times \frac{174,8}{2} \right) \left(\frac{174,8/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 208.928,31 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos → $Mn_a = 208,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 208,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 52.232,08 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 52,23 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 52,232 \text{ N.m} \times 0,9 = 47,01 \text{ kN.m}$$

$$Mn_a = 47,01 \text{ kN.m} < M_d = 50,34 \text{ kN.m}$$

O momento solicitante encontrado é um pouco maior que o momento admitido.

6.6. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM)

Determinar:

$$\lambda_m = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{102/2}{8} = 6,375$$

Comparar com:

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

Caso, $(\lambda_m \leq \lambda_{pm}) \rightarrow$ A viga é compacta quanto a alma.

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Z f_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(102 \times 8) \left(\frac{206}{2} - \frac{8}{2} \right) + \left(6,2 \times \frac{174,8}{2} \right) \left(\frac{174/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 208.928,31 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 208,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 208,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 52.232,08 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 52,23 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 52,232 \text{ N.m} \times 0,9 = 47,008 \text{ N.m}$$

$$Mn_a = 47,008 \text{ kN.m} < M_d = 50,34 \text{ kN.m}$$

O momento solicitante encontrado é um pouco maior que o momento admitido.

6.7. Verificação da Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Determinar:

$$\lambda_{L_t} = \frac{L_b}{r_y} = \frac{655}{2,23} = 293,72$$

Onde:

L_b – comprimento sem contenção lateral.

Perfil com dois eixos de simetria.

Adotar:

$$\lambda_{pit} = 1,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,75 \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 50,11$$

$$L_{pit} = \lambda_{pit} r_y = 50,11 \times 2,23 = 111,74 \text{ cm}$$

Caso ($\lambda_{lt} > \lambda_{pit}$) a viga não possui elementos compactos.

$$\lambda_{rit} = \frac{0,707 C_b \beta_1}{Mr_{lt}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4\beta_2}{C_b^2 \beta_1} Mr_{lt}^2}}$$

$$Lr_{lt} = \lambda_{rit} r_y$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{ItAg}$$

$$G = 0,385E$$

$$Mr_{lt} = (f_y - f_r)W$$

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 ;

β_1 – Coeficiente;

β_2 – Coeficiente;

G – Módulo de elasticidade transversal do aço;

I_t – Momento de inercia à torção;

A_g – Área bruta.

Para perfis compostos:

$$\beta_2 = \frac{\pi^2 E A_g (d - t_f)}{4G I_t} = 6,415 \frac{A_g (d - t_r)^2}{I_t}$$

Portanto,

$$Mr_{lt} = (250 - 115) \times 10^6 \times 194 \times 10^{-6} = 26.190 \text{ N.m}$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{0,385} \times 205 \times 10^9 \times \sqrt{5,68 \times 10^{-8} \times 28,6 \times 10^{-4}} = 5.093.206,48$$

$$\beta_2 = 6,415 \times 28,6 \times 10^{-4} \times \frac{[(20,6 - 0,8) \times 10^{-2}]^2}{5,68 \times 10^{-8}} = 12.663,24$$

$$\lambda_{r_{lt}} = \frac{0,707 \times 1 \times 5.093.206,48}{26.190} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 12.663,24}{1^2 \times 5.093.206,48^2} \times 26.190^2}}$$

$$\lambda_{r_{lt}} = 218,67$$

Caso ($\lambda_{lt} > \lambda_{r_{lt}}$), a viga possui elementos compactos.

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zf_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(102 \times 8) \left(\frac{206}{2} - \frac{8}{2} \right) + \left(6,2 \times \frac{174,8}{2} \right) \left(\frac{174/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 208.928,31 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 208,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 208,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 52.232,08 \text{ N.m}$$

Convertendo para kN:

$$Mp_l = 52,23 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 52,232 \text{ N.m} \times 0,9 = 47,008 \text{ N.m}$$

$$Mn_a = 47,008 \text{ kN.m} < M_d = 50,34 \text{ kN.m}$$

O momento solicitante encontrado é um pouco maior que o momento admitido.

6.8. Resistência ao Cisalhamento

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{174,8}{6,2} = 28,19$$

Comparar com,

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

Caso não se tenha enrijecedores transversais, $K = 5,34$.

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \times 205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 71,47$$

Caso ($\lambda_a \leq \lambda_{pv}$) → a viga é compacta quanto à resistência ao cisalhamento

Adotar:

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

$$V_n = 0,6 \times (17,48 \times 0,8) \times 0,62 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6 = 130.051,20 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 130.051,20 \times 0,9 = 117.046,08 \text{ N}$$

$$V_n = 117.046,08 \text{ N} > V_d = 26.730 \text{ N}$$

6.9. Verificação da Flecha Máxima

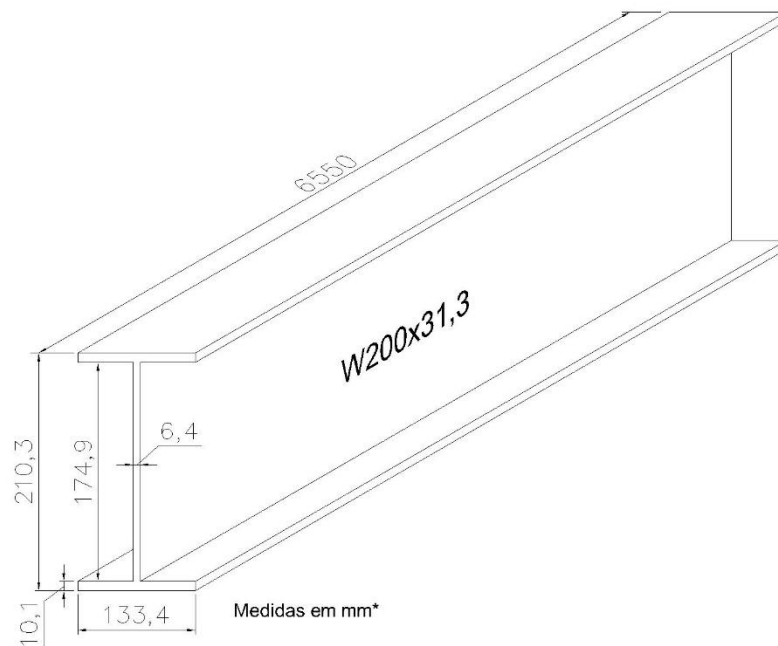
$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{250} = \frac{655}{250} = 2,61 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{0,0802 \times 655^4}{20.500 \times 1.999} = 3,85 \text{ cm} > 2,61 \text{ cm}$$

A viga empregada na CSH #21 atende apenas a resistência ao cisalhamento, reprovando em todos os outros testes. Porém é possível que exista diferenças entre os resultados obtidos aqui e os que realmente foram utilizados na época, levando em consideração fatores como o tipo de carregamento exigido pela Norma Americana da década de 50, fatores de segurança utilizados, diferenças entre tabelas de perfis do fabricante dentre outras.

Foi feito o dimensionamento para o vão original para encontrar o perfil que passaria nos testes. O perfil encontrado foi o **W8x21**, oito polegadas de altura e com o peso de 21 libras por pés. Esses dados convertidos para o sistema internacional resulta no perfil **W200x31,3**.

Figura 49: Perfil que passa nos testes para o vão original.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

7. DIMENSIONAMENTO PARA O VÃO 50% MAIOR

Ne tentativa de verificar a perfeita sincronia entre arquitetura e estrutura, propõe-se modificar a arquitetura para investigar as consequências na estrutura. Estipula-se um novo vão, 50% maior que o utilizado, totalizando aproximadamente 9,82 metros. O acréscimo de área interna resultará em um aumento de carga, uma vez que os valores são distribuídos por unidade de área e em seguida pelo comprimento da viga, é necessário então, recalcular as cargas da estrutura, portanto, uma nova área de influência deve ser utilizada.

Figura 50: Área de influência para vão 50% maior.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

Área de influência: $30,53 \text{ m}^2$.

Novo vão: 9,82 m.

Tendo conhecimento da nova área de influência, pode-se calcular os carregamentos em KN/m .

7.1. Carga Permanente

Peso da laje *steel deck* → $188,65 \text{ kgf/m}^2 \times 45,98 \text{ m}^2 = 5.759,48 \text{ kgf}$

Impermeabilização → $10 \text{ kgf/m}^2 \times 45,98 \text{ m}^2 = 305,30 \text{ kgf}$

Soma da carga permanente → $6.283,77 \text{ kgf}$

7.2. Carga Acidental

7.2.1. Vento

Conforme o item 7.2.1, deste trabalho, a carga de vento já está calculada, sendo necessário apenas a substituição da área antiga pela nova.

Temos,

$$Q_1 = 20,09 \text{ kgf/m}^2 \times 30,53 \text{ m}^2 = 613,35 \text{ kgf}$$

7.2.2. Sobrecarga

Conforme item 7.3, baseado na Norma NBR 8800/08, a sobrecarga para cobertura de estruturas metálicas sem maiores especificações, poderá ser 25 kgf/m^2 .

Temos,

$$Q_2 = 25 \text{ kgf/m}^2 \times 30,53 \text{ m}^2 = 763,25 \text{ kgf}$$

7.3. Combinações de Cargas Solicitantes

Tabela 5: Cargas e coeficientes a serem combinados.

Ação	Esforço	Coef. de ponderação	Coef. de minoração
Carga permanente (G)	6.283,77	1,0	-
Vento (Q_1)	613,35	1,4	0,6

Sobrecarga (Q_2)	763,25	1,5	0,5
----------------------	--------	-----	-----

Fonte: Feito pelo autor.

Após obtido os coeficientes de ponderação e minoração, aplica-los na fórmula a seguir combinados com as respectivas cargas.

$$S_d = F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_i F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}$$

7.3.1. Combinação 01

$$F_d = S_d = (6.283,77 \times 1,0) + (613,35 \times 1,4) + (763,25 \times 1,5 \times 0,5) = 7.495,91 \text{ kgf}$$

7.3.2. Combinação 02

$$F_d = S_d = (6.283,77 \times 1,0) + (763,25 \times 1,5) + (613,35 \times 1,4 \times 0,6) = 7.724,87 \text{ kgf}$$

Como a norma estabelece, será utilizado para os cálculos a combinação que resultou em maior valor, netes caso, a combinação 2.

Carga total $\rightarrow 7.724,87 \text{ kgf}$ que equivale a $75,76 \text{ kN}$

Este valor atuará como carga distribuída na viga.

Peso da carga por metro $\rightarrow 75,76 \text{ kN} / 9,82 \text{ m} = 7,71 \text{ kN/m}$

7.4. Momento Fletor e Esforço Cortante

Momento fletor máximo:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} = \frac{7,71 \times 9,82^2}{8} = 92,99 \text{ KN.m}$$

Aplicando o coeficiente de segurança 1,15 encontrados o valor $106,94 \text{ KN.m}$

Esforço cortante:

$$V_d = \frac{ql}{2} = \frac{7,71 \times 9,82}{2} = 37,88 \text{ KN}$$

Foram consideradas as mesmas propriedades do aço da análise original.

7.5. Pré-dimensionamento

Nesta etapa, deve-se pré-selecionar um perfil, e em seguida o mesmo deve ser testado sob as condições de estado limite. Para a seleção do perfil, utiliza-se a seguinte equação:

$$Z = \frac{M_d}{\phi_b f_y}$$

$$Z = \frac{106,94 \text{ KN.m}}{0,9 \times 250 \times 10^{-9}}$$

$$Z = 475,30 \text{ cm}^3$$

$$\text{Para perfis "I"} \rightarrow Z \cong 1,12W \cong \frac{Z}{1,12} = 424,36 \text{ cm}^3$$

Utilizando a tabela de bitolas Gerdau, é possível selecionar um perfil que atenda o valor de W necessário. Toma-se então o perfil **W360x39**.

$$d: 353 \text{ mm}$$

$$I_x = 10331 \text{ cm}^4$$

$$bf: 128 \text{ mm}$$

$$I_y = 375 \text{ cm}^4$$

$$tf: 10,7 \text{ mm}$$

$$r_x = 14,35 \text{ cm}$$

$$tw: 6,5 \text{ mm}$$

$$r_y = 2,73 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 39 \text{ kg/m}$$

$$W_x = 585,3 \text{ cm}^3 > 424,36 \text{ cm}^3$$

$$h = 332 \text{ mm}$$

$$W_y = 58,6 \text{ cm}^3$$

$$A = 50,20 \text{ cm}^2$$

$$I_t = 15,83 \text{ cm}^4$$

Onde:

$$d: \text{altura};$$

$$I_x = \text{momento de inércia em } x;$$

bf : largura;

tf : espessura da mesa;

tw : espessura da alma;

$Peso$ = massa linear;

h = altura da alma;

A = área da seção;

I_y = momento de inércia em y ;

r_x = raio de giração em x ;

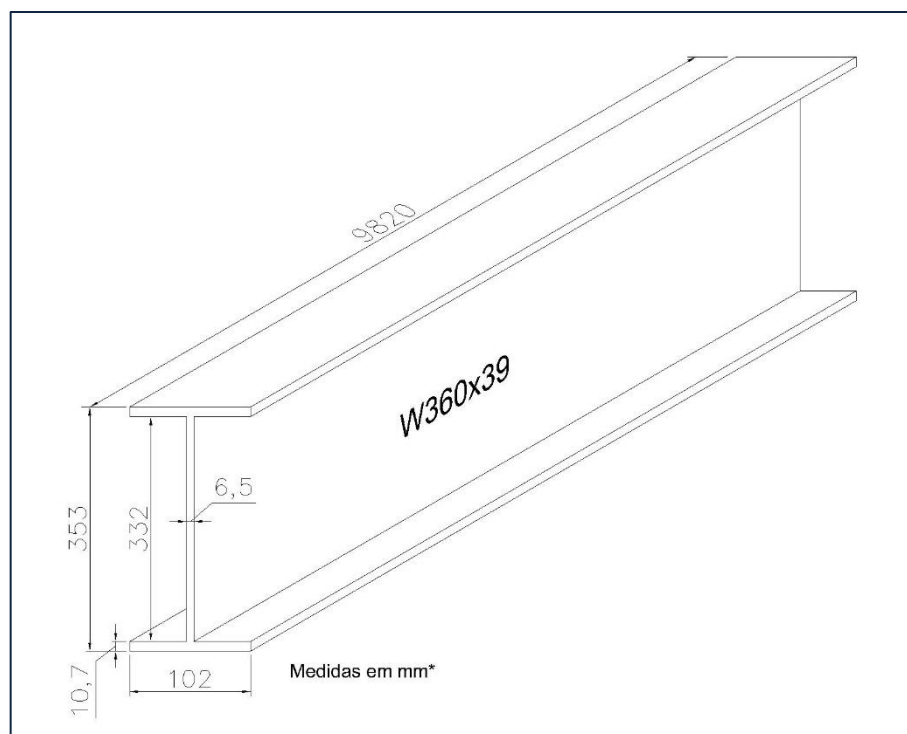
r_y = raio de giração em y ;

W_x = módulo resistente elástico;

W_y = módulo resistente elástico;

I_t = momento resistente à torção.

Figura 51: Viga selecionada para vão 50% maior.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

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

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

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

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

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

onde:

E: Módulo de elasticidade ou módulo Young;

f_y : Tensão de escoamento;

f_u : Tensão de ruptura;

f_r : Tensão residual.

Foi também considerado a utilização de um perfil de aço laminado do tipo ASTM A36.

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 limites citados, deve-se também considerar:

- ✓ Resistência ao cisalhamento;
- ✓ Verificação da flecha máxima.

7.6. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{332}{7,9} = 42,02$$

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

Onde:

h : Altura da mesa;

t_w : Espessura da alma.

Caso ($\lambda a \leq \lambda p a$) \rightarrow a viga é compacta quanto a alma

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zf_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(128 \times 10,7) \left(\frac{353}{2} - \frac{10,7}{2} \right) + \left(6,5 \times \frac{332}{2} \right) \left(\frac{332/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 647.928,08 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 647,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 647,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 161.982,02 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (KN):

$$Mp_l = 161,98 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 161,98 \text{ kN.m} \times 0,9 = 145,78 \text{ kN.m}$$

$$Mn_a = 145,78 \text{ kN.m} > M_d = 106,94 \text{ kN.m}$$

7.7. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM)

Determinar:

$$\lambda_m = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{128/2}{10,7} = 6,0$$

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 a alma.

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zfy$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(128 \times 10,7) \left(\frac{353}{2} - \frac{10,7}{2} \right) + \left(6,5 \times \frac{332}{2} \right) \left(\frac{332/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 647.928,08 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 647,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times fy = 647,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 161.982,02 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 161,98 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_d = 161,98 \cdot kN \cdot m \times 0,9 = 145,78 \text{ kN} \cdot m$$

$$Mn_d = 145,78 \text{ kN} \cdot m > M_d = 106,94 \text{ kN} \cdot m$$

7.8. Verificação Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Determinar:

$$\lambda_{L_t} = \frac{L_b}{r_y} = \frac{982}{2,73} = 359,70$$

Onde:

L_b – comprimento sem contenção lateral.

Perfil com dois eixos de simetria.

Adotar:

$$\lambda_{p_{lt}} = 1,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,75 \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 50,11$$

$$L_{p_{lt}} = \lambda_{p_{lt}} r_y = 50,11 \times 2,73 = 136,80 \text{ cm}$$

Caso ($\lambda_{L_t} > \lambda_{p_{lt}}$) a viga não possui elementos compactos.

$$\lambda_{r_{lt}} = \frac{0,707 C_b \beta_1}{Mr_{lt}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4\beta_2}{C_b^2 \beta_1} Mr_{lt}^2}}$$

$$Lr_{lt} = \lambda_{r_{lt}} r_y$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{ItAg}$$

$$G = 0,385E$$

$$Mr_{lt} = (f_y - f_r)W$$

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_r – Valor do comprimento de um trecho sem contenção lateral, correspondente ao momento M_r ;

β_1 – Coeficiente;

β_2 – Coeficiente;

G – Módulo de elasticidade transversal do aço;

I_t – Momento de inercia à torção;

A_g – Área bruta.

Para perfis compostos:

$$\beta_2 = \frac{\pi^2 E A_g (d - t_f)}{4G I_t} = 6,415 \frac{A_g (d - t_f)^2}{I_t}$$

Portanto,

$$Mr_{lt} = (250 - 115) \times 10^6 \times 585,30 \times 10^{-6} = 79.015,50 \text{ N.m}$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{0,385} \times 205 \times 10^9 \times \sqrt{15,83 \times 10^{-8} \times 50,20 \times 10^{-4}} = 11.264.875,97$$

$$\beta_2 = 6,415 \times 50,2 \times 10^{-4} \times \frac{[(35,3 - 1,07) \times 10^{-2}]^2}{15,83 \times 10^{-8}} = 23.835,99$$

$$\lambda_{r_{lt}} = \frac{0,707 \times 1 \times 11.264.875,97}{79.015,50} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 23.835,99}{1^2 \times 11.264.875,97^2} \times 79.015,50^2}}$$

$$\lambda_{r_{lt}} = 185,46$$

Caso ($\lambda_{lt} > \lambda_{r_{lt}}$), a viga possui elementos compactos.

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zf_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(128 \times 10,7) \left(\frac{353}{2} - \frac{10,7}{2} \right) + \left(6,5 \times \frac{332}{2} \right) \left(\frac{332/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 647.928,08 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 647,928 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 647,928 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 161.982,02 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 161,98 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 161,98 \cdot \text{kN.m} \times 0,9 = 145,78 \text{ kN.m}$$

$$Mn_a = 145,78 \text{ kN.m} > M_d = 106,94 \text{ kN.m}$$

7.9. Resistência ao Cisalhamento

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{332}{7,9} = 42,02$$

Comparar com,

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

Caso não se tenha enrijecedores transversais, $K = 5,34$.

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \times 205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 71,47$$

Caso ($\lambda_a \leq \lambda_{pv}$) → a viga é compacta quanto à resistência ao cisalhamento

Adotar:

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

$$A_w = (d - 2 \times t_f) \times t_w$$

$$V_n = 0,6 \times (35,3 - 2 \times 1,07) \times 0,65 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6 = 323.310 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 323.310 \times 0,9 = 290.979 \text{ N}$$

$$V_n = 290.979 \text{ N} > V_d = 37.88 \text{ N}$$

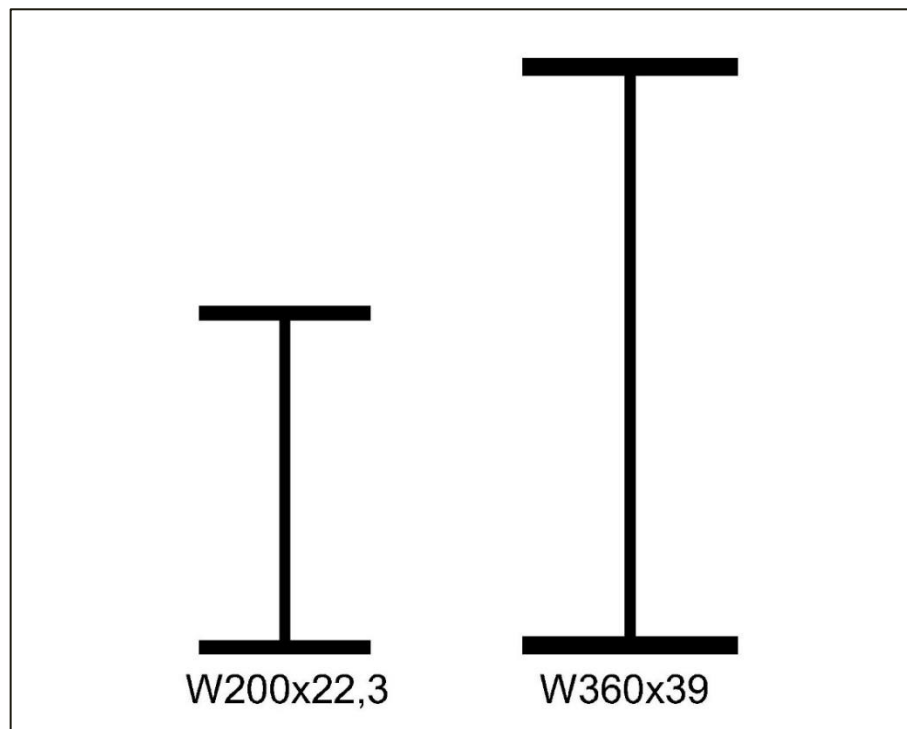
7.10. Verificação da Flecha Máxima

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{250} = \frac{982}{250} = 3,93 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{0,0771 \times 982^4}{20.500 \times 10331} = 3,62 \text{ cm} < 3,93 \text{ cm}$$

Nesse momento já se percebe um aumento da seção a ser utilizada, devido ao aumento do vão e por consequência, dos carregamentos. A figura a seguir mostra a comparação entre o perfil original e o novo encontrado.

Figura 52: Comparação entre perfis para os vãos 6,54 m e 9,82 m.

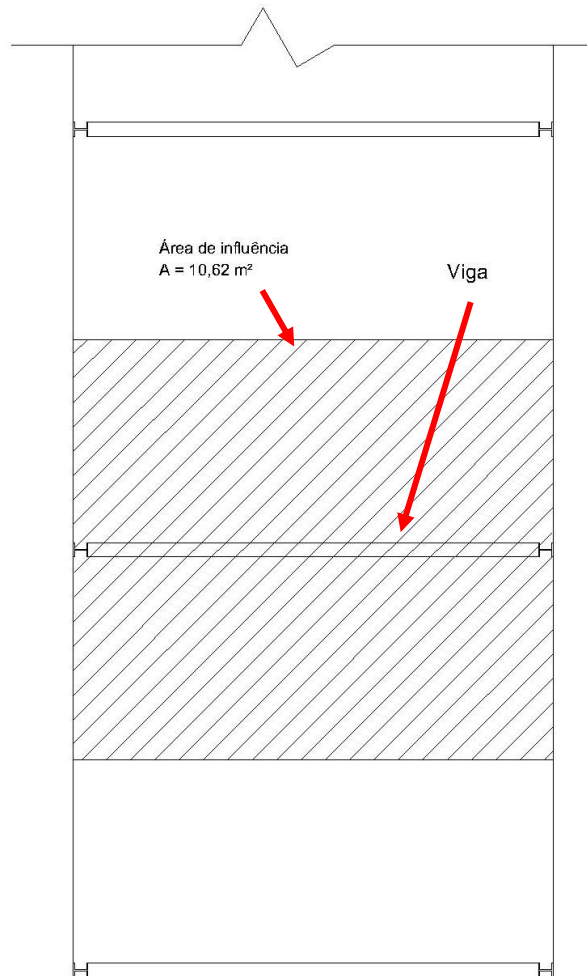


Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

8. DIMENSIONAMENTO PARA O VÃO 50% MENOR

A seguir, é proposto um novo arranjo para a estrutura, com o intuito de reduzir as bitolas da estrutura, e por consequência deixá-la mais leve. Para tal, opta-se por reduzir o vão em 50%, obtendo um valor aproximadamente de 3,27 metros. Sendo assim, todo o processo anterior é repetido, a Figura representa a nova área de influência para o vão reduzido.

Figura 53: Área de influência para o vão 50% menor.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

Nova área de influência: 10,62 m²

Vão: 3,27 m

Tendo conhecimento da nova área de influência, pode-se calcular os carregamentos em *KN/m*.

8.1. Carga Permanente

Peso da laje *steel deck* → 188,65 kgf/m² x 10,62 m² = 2.003,46 kgf

Impermeabilização → 10 kgf/m² x 10,62 m² = 106,2 kgf

Soma da carga permanente → 2.109,66 kgf

8.2. Carga Acidental

8.2.1. Vento

Conforme o item 7.2.1, deste trabalho, a carga de vento já está calculada, sendo necessário apenas a substituição da área antiga pela nova.

Temos,

$$Q_1 = 20,09 \text{ kgf/m}^2 \times 10,62 \text{ m}^2 = 213,36 \text{ kgf}$$

8.2.2. Sobrecarga

Conforme item 7.3, baseado na Norma NBR 8800/08, a sobrecarga para cobertura de estruturas metálicas sem maiores especificações, poderá ser 25 kgf/m².

Temos,

$$Q_2 = 25 \text{ kgf/m}^2 \times 10,62 \text{ m}^2 = 265,5 \text{ kgf}$$

8.3. Combinações de Cargas Solicitantes

Tabela 6: Cargas e coeficientes a serem combinados.

Ação	Esforço	Coef. de ponderação	Coef. de minoração
Carga permanente (G)	2.109,66	1,0	-
Vento (Q_1)	213,36	1,5	0,5
Sobrecarga (Q_2)	265,50	1,4	0,6

Fonte: Feito pelo autor.

$$S_d = F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_i F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}$$

8.3.1. Combinação 01

$$F_d = S_d = (2.109,66 \times 1,0) + (213,36 \times 1,5) + (265,50 \times 1,4 \times 0,6) = 2.641,38 \text{ kgf}$$

8.3.2. Combinação 02

$$F_d = S_d = (2.109,66 \times 1,0) + (265,50 \times 1,4) + (213,36 \times 1,5 \times 0,5) = 2.652,72 \text{ kgf}$$

Como a norma estabelece, será utilizado para os cálculos a combinação que resultou em maior valor, netes caso, a combinação 2.

Carga total → 2.652,72 kgf que equivale a 26,01 kN

Este valor atuará como carga distribuída na viga.

Peso da carga por metro → 26,01 kN / 3,27 m = 7,96 kN/m

8.4. Momento Fletor e Esforço Cortante

Momento fletor máximo:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} = \frac{7,96 \times 3,27^2}{8} = 10,63 \text{ kN.m}$$

Aplicando o coeficiente de segurança 1,15 encontramos o valor 12,23 kN.m

Esforço cortante:

$$V_d = \frac{ql}{2} = \frac{7,96 \times 3,27}{2} = 13,01 \text{ kN}$$

Foram consideradas as mesmas propriedades do aço da análise original.

8.5. Pré-dimensionamento

Nesta etapa, deve-se pré-selecionar um perfil, e em seguida o mesmo deve ser testado sob as condições de estado limite. Para a seleção do perfil, utiliza-se a seguinte equação:

$$Z = \frac{M_d}{\phi_b f_y}$$

$$Z = \frac{12,23 \text{ KN.m}}{0,9 \times 250 \times 10^{-9}}$$

$$Z = 54,35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Para perfis "I"} \rightarrow Z \cong 1,12W \cong \frac{Z}{1,12} = 48,53 \text{ cm}^3$$

Utilizando a tabela de bitolas Gerdau, é possível selecionar um perfil que atenda o valor de W necessário. Toma-se então o perfil **W150 x 13**.

$$d: 148 \text{ mm}$$

$$I_x = 635 \text{ cm}^4$$

$$bf: 100 \text{ mm}$$

$$I_y = 82 \text{ cm}^4$$

$$tf: 4,9 \text{ mm}$$

$$r_x = 6,18 \text{ cm}$$

$$tw: 4,3 \text{ mm}$$

$$r_y = 2,22 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 13 \text{ kg/m}$$

$$W_x = 85,8 \text{ cm}^3 > 48,53 \text{ cm}^3$$

$$h = 138 \text{ mm}$$

$$W_y = 16,4 \text{ cm}^3$$

$$A = 16,60 \text{ cm}^2$$

$$I_t = 1,72 \text{ cm}^4$$

Onde:

d: altura;

I_x = momento de inércia em *x*;

bf: largura;

I_y = momento de inércia em *y*;

tf: espessura da mesa;

r_x = raio de giração em *x*;

t_w : espessura da alma;

$Peso$ = massa linear;

h = altura da alma;

A = área da seção;

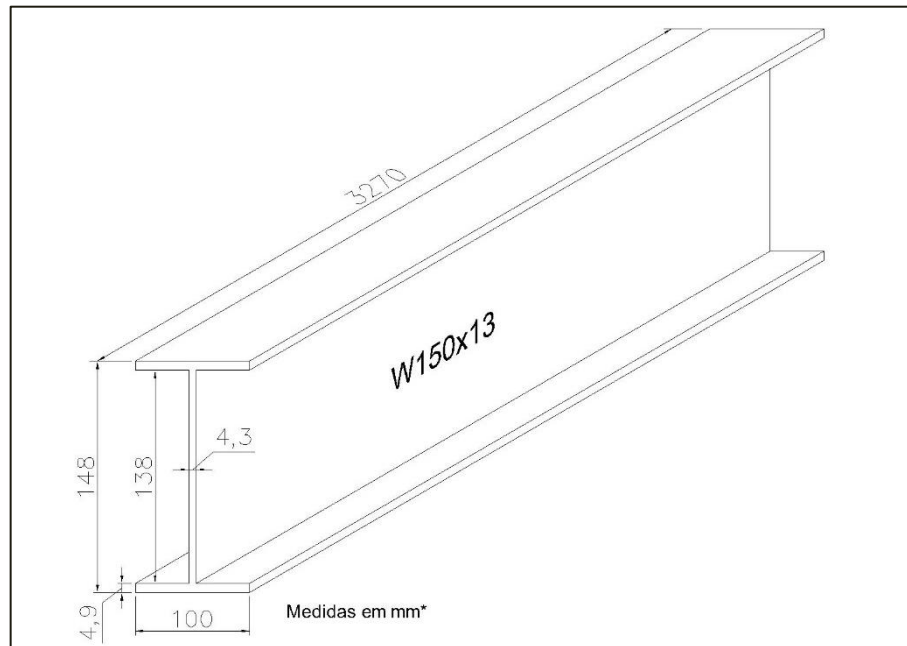
r_y = raio de giração em y ;

W_x = módulo resistente elástico;

W_y = módulo resistente elástico;

I_t = momento resistente à torção.

Figura 54: Perfil selecionado para vão 50% menor.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

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

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

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

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

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

onde:

E : Módulo de elasticidade ou módulo Young;

f_y : Tensão de escoamento;

f_u : Tensão de ruptura;

f_r : Tensão residual.

Foi também considerado a utilização de um perfil de aço laminado do tipo ASTM A36.

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 limites citados, deve-se também considerar:

- ✓ Resistência ao cisalhamento;
- ✓ Verificação da flecha máxima.

8.6. Verificação da Flambagem Local da Alma (FLA)

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{138}{4,3} = 32,09$$

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

Onde:

h : Altura da mesa;

t_w : Espessura da alma.

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

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zf_y$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(100 \times 4,9) \left(\frac{148}{2} - \frac{4,9}{2} \right) + \left(4,9 \times \frac{138}{2} \right) \left(\frac{138/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 90.591,30 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 90,59 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times f_y = 90,59 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 22.647,83 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 22,65 \text{ kN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 22,65 \cdot \text{kN.m} \times 0,9 = 20,38 \text{ kN.m}$$

$$Mn_a = 20,38 \text{ kN.m} > M_d = 12,23 \text{ kN.m}$$

8.7. Verificação da Flambagem Local da Mesa (FLM)

Determinar:

$$\lambda_m = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{100/2}{4,9} = 10,20$$

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 a alma.

Adotar:

$$Mn_a = Mp_l = Zfy$$

$$Z = \sum Aidi = 2 \left[(b_f t_f) \left(\frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} \right) + \left(t_w \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 2 \times \left[(100 \times 4,9) \left(\frac{148}{2} - \frac{4,9}{2} \right) + \left(4,9 \times \frac{138}{2} \right) \left(\frac{138/2}{2} \right) \right]$$

$$Mn_a = 90.591,30 \text{ mm}^3$$

Convertendo para metros cúbicos $\rightarrow Mn_a = 90,59 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Multiplica-se pela tensão de escoamento:

$$Mp_l = Mn_a \times fy = 90,59 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^6 = 22.647,83 \text{ N.m}$$

Convertendo para quilo-Newton (kN):

$$Mp_l = 22,65 \text{ KN.m}$$

Aplica-se, ainda, o coeficiente de segurança ϕ_b , com o valor 0,9.

$$Mn_a = Mp_l \phi_b$$

$$Mn_a = 22,65 \cdot \text{kN.m} \times 0,9 = 20,38 \text{ kN.m}$$

$$Mn_a = 20,38 \text{ kN.m} > M_d = 12,23 \text{ kN.m}$$

8.8. Verificação da Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Determinar:

$$\lambda_{L_t} = \frac{L_b}{r_y} = \frac{327}{2,22} = 147,30$$

Onde:

L_b – comprimento sem contenção lateral.

Perfil com dois eixos de simetria.

Adotar:

$$\lambda_{p_{it}} = 1,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,75 \sqrt{\frac{205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 50,11$$

$$L_{p_{it}} = \lambda_{p_{it}} r_y = 50,11 \times 2,22 = 111,24 \text{ cm}$$

Caso ($\lambda_{L_t} > \lambda_{p_{it}}$) a viga não possui elementos compactos.

$$\lambda_{r_{it}} = \frac{0,707 C_b \beta_1}{Mr_{it}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4\beta_2}{C_b^2 \beta_1} Mr_{it}^2}}$$

$$Lr_{it} = \lambda_{r_{it}} r_y$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{ItAg}$$

$$G = 0,385E$$

$$Mr_{it} = (f_y - f_r)W$$

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 ;

β_1 – Coeficiente;

β_2 – Coeficiente;

G – Módulo de elasticidade transversal do aço;

I_t – Momento de inercia à torção;

A_g – Área bruta.

Para perfis compostos:

$$\beta_2 = \frac{\pi^2 E A_g (d - t_f)}{4G I_t} = 6,415 \frac{A_g (d - t_f)^2}{I_t}$$

Portanto,

$$Mr_{lt} = (250 - 115) \times 10^6 \times 85,8 \times 10^{-6} = 11.583 \text{ N.m}$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{0,385} \times 205 \times 10^9 \times \sqrt{1,72 \times 10^{-8} \times 16,6 \times 10^{-4}} = 2.135.267,87$$

$$\beta_2 = 6,415 \times 16,6 \times 10^{-4} \times \frac{[(14,8 - 0,49) \times 10^{-2}]^2}{1,72 \times 10^{-8}} = 12.678,14$$

$$\lambda_{r_{lt}} = \frac{0,707 \times 1 \times 2.135.267,87}{11.583} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 12.678,14}{1^2 \times 2.135.267,87^2} \times 11.583^2}}$$

$$\lambda_{r_{lt}} = 209,29$$

Caso ($\lambda_{Plt} < \lambda_{lt} \leq \lambda_{rIt}$), a viga possui elementos esbeltos.

Adotar:

$$M_{nlt} = M_{pl} - (M_{pl} - M_{rIt}) \left(\frac{\lambda_{lt} - \lambda_{Plt}}{\lambda_{rIt} - \lambda_{Plt}} \right)$$

$$M_{nlt} = 22.647,83 - (22.647,83 - 11.583) \times \left(\frac{147,30 - 50,11}{209,20 - 50,11} \right)$$

$$M_{nlt} = 15.898,19 \text{ N.m} \times 0,9 = 14.308,40 > M_d = 12.230 \text{ N.m}$$

8.9. Resistência ao Cisalhamento

Determinar:

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{138}{4,3} = 32,09$$

Comparar com,

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

Caso não se tenha enrijecedores transversais, $K = 5,34$.

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \times 205 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 71,47$$

Caso ($\lambda_a \leq \lambda_{pv}$) \rightarrow a viga é compacta quanto à resistência ao cisalhamento

Adotar:

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

$$V_n = 0,6 \times (13,8 \times 0,49) \times 0,43 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6 = 43.614,90 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 43.614,90 \times 0,9 = 39.253,41 \text{ N}$$

$$V_n = 39.253,41 \text{ N} > V_d = 13.010 \text{ N}$$

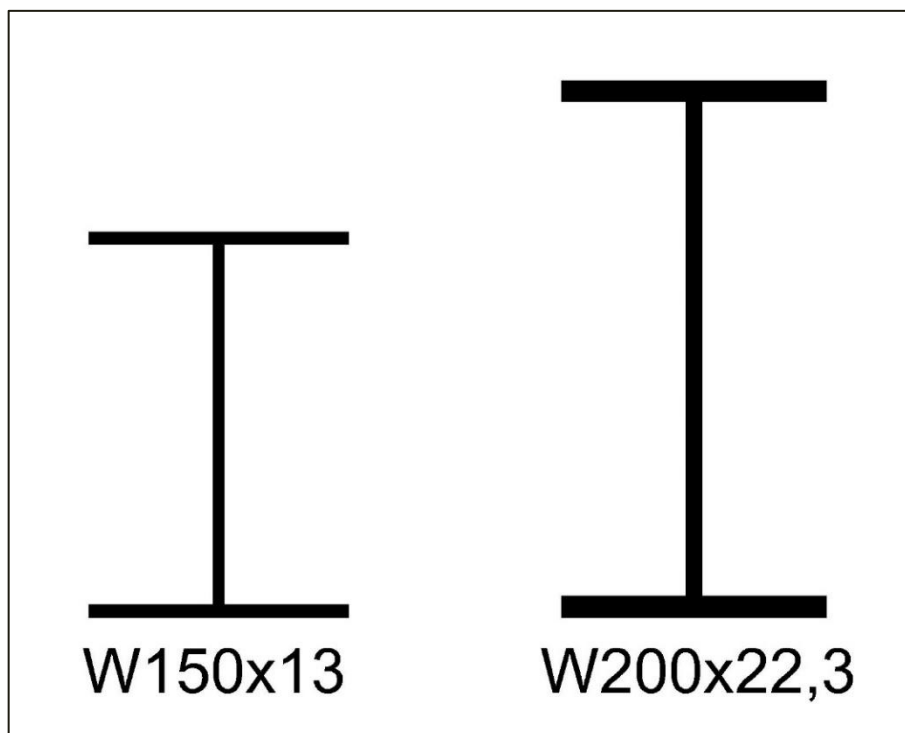
8.10. Verificação da Flecha Máxima

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{250} = \frac{327}{250} = 1,31 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{0,1223 \times 327^4}{20.500 \times 635} = 0,75 \text{ cm} < 1,31 \text{ cm}$$

Portanto, verifica-se que a seção é adequada para o vão reduzido, uma vez que atende a todos os requisitos normativos. A figura a seguir mostra a comparação entre o perfil original e o novo encontrado.

Figura 55: Comparação entre perfis para os vãos 3,27 m e 6,55 m.



Fonte: Feito no AutoCad pelo autor.

9. RESULTADOS

A tabela a seguir, mostra um breve resumo acerca do processo de dimensionamento. Todas as verificações de estados limites foram realizadas através de uma planilha desenvolvida para o presente estudo.

Tabela 7: Comparação dos resultados do dimensionamento.

Vão	3,27	6,55	9,82
Perfil	W150 x 13	W200 x 22,3	W360 x 58
Altura do Perfil (mm)	148	206	358

Fonte: Feito pelo autor.

A escolha pelo vão 50% maior, resultou na necessidade de se adotar um perfil com altura 43% maior que o original. Isso revela que neste caso, o comprimento do vão e a bitola do perfil são quase linearmente proporcionais. Já para o vão reduzido, também 50%, nota-se um decréscimo de 29%, neste caso o perfil utilizado foi o menor da tabela.

As figuras a seguir, simulam as três situações propostas no trabalho, sendo elas: estrutura original, ampliação do vão em 50% e redução do vão em 50%, e quais seriam os resultados estéticos caso fossem adotadas. As imagens foram feitas através da utilização do *software Google SketchUp*.

Figura 56: Simulação casa As Built, com vão de 6,55 m.



Fonte: Feito no Google SketchUp pelo autor.

Figura 57: Simulação da casa com o vão 9,82 m.



Fonte: Feito no SketchUp pelo autor.

Figura 58: Simulação da casa com vão 3,27 m.



Fonte: Feito no SketchUp pelo autor.

Figura 59: Comparação das três situações propostas.



Fonte: Feito no SketchUp pelo autor.

Após análise visual dos resultados, fica evidente que a escolha de Koenig se mostra superior dentre as demais. Embora a decisão de aumentar o vão contribua para maior espaço interno da casa, o uso de um perfil 43% maior resulta na eliminação do componente principal da obra: a leveza. Não há mais a sensação de que a casa está apenas repousando sobre o solo, diferente disso, tem-se mais a sensação de peso e grandes massas. Outro ponto negativo referente a essa decisão seria a redução da economia, uma vez que se trata de perfis maiores. Já para o vão reduzido, verifica-se que o padrão estético se mantém dentro da proposta original,

porém o aspecto funcional se perde, tendo em vista que a redução em 50% do vão original resulta e uma drástica redução do espaço interno, comprometendo sua funcionalidade.

A *Case Study House #21* prova à engenharia que é possível alcançar o partido arquitetônico desejado e utilizar, ao mesmo tempo, a própria estrutura para alcançar tal objetivo, e também mostra o quão a interação entre esses dois componentes é poderosa, sendo capaz de gerar obras magníficas, as quais ficarão registradas na história da humanidade pelos séculos.

10. CONCLUSÕES

Ao longo da história da humanidade, as inovações tecnológicas foram grandes catalisadores de evolução arquitetônica. Dentre elas, o arco e a cúpula Romana tornaram possíveis 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.

O Movimento Moderno se utilizou bastante do aço no início do século XX, produzindo casas e edifícios com arquitetura esbeltas, diferente de tudo que existia. Este movimento, implementado por grandes nomes da arquitetura como Mies Van der Rohe, Le Corbusier, Frank Wright, dentre outros, influenciou a arquitetura até os dias atuais.

Esses arquitetos com suas obras, ensinaram ao mundo que é possível unir a estrutura e arquitetura para se chegar a um resultado belo e eficiente, utilizando projetos estruturais em aço, empregando o mínimo necessário para a estruturação. Foi também nessa época que surgiu o termo minimalismo, como o próprio nome sugere, esse conceito representa não só um estilo arquitetônico, mas também um estilo de vida menos consumista.

O surgimento de dois indivíduos, responsáveis pela construção física de templos, moradias, monumentos, arranha-céus, pontes etc., levou a arte de edificar a alcançar um nível

onde pudesse ser possível criar obras de proporções divinas, e, tais conquistas não se resumem apenas ao belo. Os papéis desempenhados por engenheiro e arquiteto foram capazes de unir arte e ciência dentro de um contexto onde comumente essa combinação não seria válida. O trabalho cooperativo nos mostrou (e mostra), o infinito potencial da construção civil. Os casos aqui citados, são exemplos de inspiração e incentivo à ousadia na vida profissional de cada indivíduo.

Nos dias atuais, ainda existe um distanciamento entre arquitetos e engenheiros, provocado em primeiro plano, durante a formação acadêmica; e em segundo plano, pelo mercado de trabalho, como já citado neste 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 e perpetuação da obra em harmonia.

Um exemplo clássico dessa premissa foi o trabalho do arquiteto Pierre Koenig, na obra *Case Study House #21*, na Califórnia na década de 50. Por esse motivo essa obra foi escolhida como foco desse trabalho. Koenig utilizou na casa citada uma interação entre arquitetura e estrutura, possibilitando harmonia espacial e beleza. Vale ressaltar que a solução escolhida por Koenig, 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.

O contexto atualmente estabelecido para a atuação de engenheiros e arquitetos no mercado, é altamente desfavorável, pois desde o ensino superior, o conceito de disparidade entre esses dois, começa a ser embutido na mente dos alunos de ambos os cursos. Além disso, o próprio ambiente de trabalho vai contra todos os conceitos e ideias aqui citadas. No entanto, depende de cada pessoa, a escolha entre ser totalmente rígido e inflexível, ou então, aprender a pensar de outras formas que não aqueles presentes em sua doutrinação. A segunda opção, naturalmente, se mostra superior, e confere ao profissional um diferencial, e como consequência, o mesmo se torna um destaque dentre os demais.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. **Continental Steel Pte Ltd.** *Products Handbook: Structural Steel*. Singapura, 200.
- _____. **Gerdau Açominas.** Tabelas de Bitolas. São Paulo.
- _____. **NBR 6120.** Cálculos para carga de estrutura de edificações. 1980.
- _____. **NBR 6123.** Forças devidas ao vento em edificações. 1988.
- _____. **NBR 8800.** Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios. 1986.
- _____. **NBR 8800.** Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios. 2008.
- ADDIS, Bill.** *Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção*. Bill Addis; tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre: Bookman, 2009.
- ARTS & ARCHITECTURE MAGAZINE.** Los Angeles 1945 – setembro 1966 fev. 1945.
- ALLABACK, Sarah.** *Essays on Modern Architecture for the National Historic Landmark Program*. Sarah Allaback. Massachusetts, 2003.
- BENEVOLO, Leonardo.** *História da Arquitetura Moderna*. Leonardo Benevolo, tradução Ana M. Goldberger, São Paulo: Perspectiva 2016.
- BORCHERD, Helmut. TRAUB, Volker.** *Casas Unifamiliares en Estados Unidos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A., 1962.
- BUISSON, Ethel; BILLARD, Thomas.** *The presence of Case Study Houses*. Switzerland: Birkhauser, 2004.
- CASTRO JÚNIOR, Francisco Afonso de.** *Além de L sobre 10: diretrizes para o lançamento estrutural arquitetônico*. Francisco Afonso de Castro Júnior. Brasília, 2014.
- CORRÊA, R. M. e NAVEIRO, R. M.** Escola Politécnica da USP, Depto. de Engenharia de Estruturas e Fundações – Artigo: *Importância do Ensino da Integração dos Projetos de Arquitetura e Estruturas de Edifícios*: fase de lançamento das estruturas. São Paulo, 2001.
- CURTIS, William J. R.** *Arquitetura Moderna desde 1900*. 3. Ed.; Tradução de Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ENGEL, Heino. 2001.** *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A., 2001.

FAZIO, Michael. *A história da arquitetura mundial / Michael Fazio, Marian Moffet, Lawrence Wodehouse; tradução: Alexandre Salvaterra. – 3. Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2011.*

FRAMPTON, Kenneth. *História Crítica da Arquitetura Moderna.* Tradução de Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FONINIFELIN, Pauline. *As Casas Unifamiliares não construídas do Programa Case Study House.* 2015. 232 f. Dissertação (mestrado)-programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo, UniRitter/Mackenzie. Porto Alegre, 2015.

JACKSON, Neil. *Pierre Koenig.* Editora Peter Gossel, 2017, Califórnia 2017.

MCCOY, Esther. *Case Study Houses: 1945-1963 – Santa Monica, Califórnia:* Library of Congress Cataloging in publication Data, 1977.

MURTINHO, Vítor. *Case Study Houses: um programa exemplar de habitação para a modernidade.* Universidade de Coimbra, 2004.

NIEMEYER, Oscar. *As Curvas do Tempo – Memórias.* Editora Revan, 2000, 7ª edição, Rio de Janeiro, Outubro de 2000.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. *Estruturas Metálicas: Calculos, detalhes, exercícios e projetos.* Antonio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro. São Paulo: Blucher, 2005.

INOJOSA, Leonardo S. P., BUZAR, Márcio A. R., DE GREGORIO, Marcos H. R. *Aspectos do Projeto Estrutural do Museu Nacional de Brasília.* Brasília, 2011.

INTERNATIONAL, Seomi. *Case Study House 21.* <<http://casestudyhouse21.com>>, acessado em 29 de setembro de 2018.

SCULLY JR, Vincente. *Arquitetura Moderna: a arquitetura da democracia.* Vincente Scully Jr. Tradução Ana Luiza Dantas. 168p. São Paulo: Cosac & Naify Edições, 2002.

SMITH, Elizabeth A. T. *Case Study Houses: 1945 – 1966.* KOLN: Taschen, 2010.

SOUZA, Ricardo Forjaz Christiano de. *Trajatórias da arquitetura modernista.* Secretaria Municipal de Cultura. Departamento de Informação e Documentação Artísticas. São Paulo, 1982.