

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PÓRTICOS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA
APLICADOS À CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE
INTERESSE SOCIAL**

Ouro Preto, Outubro de 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PÓRTICOS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA
APLICADOS À CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE
INTERESSE SOCIAL**

AUTORA: DÉBORA FREITAS XAVIER

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza
COORIENTADOR: Dr. Ernani Carlos de Araújo.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para Obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica

Ouro Preto, Outubro de 2014.

X3p Xavier, Débora Freitas.

Pórticos de Estabilização em Estrutura Metálica Aplicados à construção Industrializada de Interesse Social: [manuscrito] Análise do desempenho estrutural e térmico./ Débora Freitas Xavier. – 2014.

317f.: il. color., grafs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza e Ernani Carlos de Araújo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção metálica.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

**PÓRTICOS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA
APLICADOS À CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE INTERESSE
SOCIAL: ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL E TÉRMICO**

AUTORA: DÉBORA FREITAS XAVIER

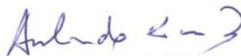
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 17 de outubro de 2014, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Profa. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)



Prof. Dr. Arlindo Tribess (USP)



Profa. Dra. Eliana Ferreira Nunes (IZABELA HENDRIX)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado serenidade, força e determinação para a realização deste trabalho:

Aos meus orientadores, Henor Artur de Souza e Ernani Carlos de Araújo, meus sinceros agradecimentos, pela paciência, dedicação, amizade e pela excelente orientação com a qual aprendi e evolui tecnicamente;

À todos os professores que contribuirão com competência para minha formação.

À fundação Gorceix, Propec e Ufop pelo apoio institucional;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida;

À todos os meus novos e eternos amigos do mestrado.

À Roberta Machado e ao Gabriel Nunes pela presteza em me ajudar a solucionar dúvidas nos programas ANSYS E SAP;

À Glenda Lami, pela presteza em me ajudar com o software Enegy-plus.

À todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho;

À minha família, pela força e incentivo e em especial aos meus pais e ao meu marido Otávio Silva pelo incentivo constante, conselho, carinho, paciência e compreensão em todo o período do mestrado e à minha prima Eunice e tia Graça pelos incentivos e acolhidas em suas casas.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se uma visão geral da construção metálica residencial industrializada propondo um modelo de habitação de interesse social (HIS) e estuda-se novas maneiras de torná-la expansível e viável, propondo um módulo construtivo padronizado. Esse módulo é iniciado a partir de 9m² refletindo-se um após o outro nas direções laterais, frente e fundos até que seja alcançada a medida de aproximadamente 35m² de uma residência simples, familiar e que pode ser adequada a qualquer tipo de arquitetura cultural. Esse sistema construtivo proposto possibilita o crescimento da área construída com investimentos graduais ao longo do tempo, contribuindo para um maior crescimento social e sustentável. O módulo original além da finalidade residencial também permite infinita extensão para finalidades comerciais, escolares, lazer, etc.. Na arquitetura proposta foram utilizados materiais de fechamento que condizem com as normas de conforto térmico e com os princípios da industrialização, como a racionalização, padronização, coordenação modular, transformando o canteiro de obra em linha de montagem acelerando o processo construtivo e reduzindo-se custos. Os pórticos de estabilização propostos são a principal estrutura do sistema que enfatiza o uso de perfis de aço de seção quadrada com costura. O equilíbrio das ações horizontais e o apoio gravitacional são obtidos com o uso de estruturas de aço rígidas posicionadas não simultaneamente paralelas e não convergentes. A análise estrutural foi baseada no método dos Elementos Finitos, utilizando o Software SAP 2011, e a avaliação do desempenho térmico, do modelo habitacional projetado, foi feita via simulação computacionais utilizando o *Software EnergyPlus*. Verifica-se o comportamento estrutural de acordo com os carregamentos aplicados e a sua viabilidade de utilização. Investiga-se também o comportamento térmico dos fechamentos e das alternativas arquitetônicas propostas. Os resultados obtidos mostram que o modelo proposto atende as condições mínimas de conforto térmico exigido pela norma para todas as zonas bioclimáticas do Brasil e também em relação ao desempenho estrutural, com baixo consumo de aço.

Palavras-chave: Pórticos, Aço, Arquitetura, Elementos Finitos, Desempenho Térmico, Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

This thesis presents an overview of an industrialized residential metal building, proposing a model of social housing (HIS) and studying new ways to make it viable and scalable, offering a standardized construction module. This module is started from 9sqm reflecting off one after the other in the side directions, forward and back until the extent of approximately 35sqm of a simple residence, familiar and which can be adapted to any kind of cultural architecture. This proposed building system enables expansion in built with gradual investments over time, contributing to a larger social and sustainable growth. The original module in addition to the residential purpose also allows infinite extent for commercial, school, leisure, etc. In the proposed architecture the shutter materials used match the standards of thermal comfort and the principles of industrialization, such as streamlining, standardized, modular coordination, transforming the construction site in an assembly-line, accelerating the construction process and reducing costs. The stabilization porches are the main structure of the system that emphasizes the use of steel square section with stitching profiles. The equilibrium of the horizontal actions and gravitational support are obtained with the use of rigid steel structures not simultaneously parallel and not convergent positioned. The structural analysis was based on the finite element method, using SAP 2011 software, verifying the structural behavior under the applied load and its feasibility of use. The thermal performance of the designed housing model was evaluated using a computer simulation software the EnergyPlus, investigating the behavior of shutters and if the architectural alternatives chosen active the minimum thermal comfort conditions for all bioclimatic zones of Brazil.

Keywords: Porches, Steel, Architecture, Finite Element, Thermal Performance, Social Housing.

“ Uma casa é uma máquina pra gente morar dentro.”

CORBUSIER, 2002.

ÍNDICE

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE QUADROS E TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Desenvolvimento da Construção no Brasil	16
1.2 Desenvolvimento da Habitação de Interesse Social no Brasil	20
1.3 Objetivo	22
1.4 Justificativa.....	22
1.5 Metodologia adotada	24
1.6 Estrutura do trabalho	25
2. TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS	27
2.1 Sistema Light Steel Framing	28
2.2 Usiteto - Usiminas	31
2.3 Casa Fácil - Cosipa e Gerdau Açominas	33
2.4 Quick House - Big Farm.....	36
2.5 Nox	38
2.6 Modelo em fase de pesquisa - Habitação Efêmera.....	40
2.5 Modelo em fase de pesquisa - Abrigo de Transição.....	41
2.5 Modelo em fase de pesquisa - Campo de Refugiados	43
2.5 Modelo em fase de pesquisa - Sistema de Cobertura com pórticos de estabilização	44
3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM PÓRTICOS E PERFIS TUBULARES .	49
3.1 Pórticos	49
3.2 Tipos de pórticos utilizados na construção metálica	52
3.3 Perfis formados a frio	56
3.4 Perfis tubulares	58
3.5 Zincagem por imersão a quente para proteção contra corrosão	60
3.6 Tipos de ligações utilizadas na construção metálica	62

4. PROPOSTA DE MODELO DE EDIFICAÇÃO UTILIZANDO PÓRTICOS ...	65
4.1 O modelo arquitetônico e estrutural	69
4.2. Especificação dos elementos estruturais e arquitetônicos	74
4.2.1 Elementos estruturais	74
4.2.2 Parafusos auto-atarrachantes e auto-brocante.....	78
4.2.3 Cobertura em telha cerâmica e telha de fibra vegetal.....	80
4.2.4 Estrutura de telhado galvanizado industrializado em Light Steel Framing LSF....	83
4.2.5 Fechamento Vertical industrializado em Drywall	85
4.2.6 Esquadrias de alumínio.....	91
5. RESULTADOS E ANÁLISES DE DESEMPENHO DO MODELO PROPOSTO	93
.....	
5.1 Avaliação do desempenho estrutural	93
5.2 Comparação com outros modelos.....	100
5.3 Avaliação do desempenho térmico	102
5.3.1 Caracterização do projeto para simulação	104
5.3.2 Fechamentos e análises.....	105
5.3.3 Caracterização climática.....	106
4.3.4 Resultados da análise de desempenho térmico.....	108
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6.1 Conclusão	113
6.2 Sugestões para pesquisas futuras	113
REFERÊNCIAS	114
APÊNDICES	121

ANEXOS	138
---------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO

Figura 1.1 Casa grande- senzala	17
Figura 1.2 Estrutura concreto armado	18
Figura 1.3 Edifício Garagem América, SP	19
Figura 1.4 Habitação popular em Aço estrutural no Pará.....	20
Figura 1.5 Números - Minha casa Minha Vida até junho/2013	22

2. TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS

Figura 2.1 Esquema de uma residência em LSF	30
Figura 2.2 Pannel com contraventamento em X	30
Figura 2.3 Perfil U e Caixão do sistema Usiteto	31
Figura 2.4 Planta de cobertura e engradamento metálico do telhado tipo colonial, sistema Usiteto	32
Figura 2.5 Módulo estrutural do sistema Usiteto	32
Figura 2.6 Módulo estrutural do sistema Usiteto	33
Figura 2.7 Plantas Casa Fácil	34
Figura 2.8 Montagem casa fácil – <i>Radier</i>	34
Figura 2.9 Estrutura metálica montada e contraventada.....	35
Figura 2.10 Casa 24m ² montada.....	35
Figura 2.11 Pannel autoportante, montagem estrutural.....	37
Figura 2.12 Pannel montado com revestimentos.....	37
Figura 2.13 Planta Casa popular Quick House - 43m ²	38
Figura 2.14 Fachada casa popular Quick House - 43m ²	38
Figura 2.15 Montagem do sistema construtivo Nox com telhado e fachada	39
Figura 2.16 Montagem dos painéis do sistema construtivo Nox.....	40
Figura 2.17 Módulo habitação efêmera para vítimas de desastre.....	41
Figura 2.18 Maquete do projeto - módulos agrupados em torno de uma praça central ..	41
Figura 2.19 Materiais de Montagem – Abrigo de Transição.....	42
Figura 2.20 Forma Geométrica - Abrigo de transição.....	42
Figura 2.21 Elevação e Planta esquemática - habitação Campo de refugiados.....	43
Figura 2.22 Corte esquemático - habitação Campo de refugiados	44
Figura 2.23 Perspectiva dos pórticos de estabilização bidirecionais.....	44

Figura 2.24 Planta do sistema estrutural com pórticos de estabilização	45
Figura 2.25 Detalhe esquemático das ligações de topo e de base	45
Figura 2.26 Planta com Layout.....	46
Figura 2.27 Perspectiva interna da Cozinha	47
Figura 2.28 Elevação da fachada.....	47
Figura 2.29 Corte AA.....	47
Figura 2.30 Fachada frontal.....	48

3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM PÓRTICOS E PERFIS TUBULARES

Figura 3.1 Panteão de Roma.....	49
Figura 3.2 Pórtico com carga concentrada aplicada gerando deformação	50
Figura 3.3 Perfil U e Caixão do sistema Usiteto	50
Figura 3.4 Masp, Museu de arte Moderna de São Paulo.....	51
Figura 3.5 Seções transversais de perfis de chapa dobrada e ou soldados	58
Figura 3.6 Perfis tubulares.....	59
Figura 3.7 Micrografia - Camadas intermetálicas - Processo de galvanização a fogo....	61
Figura 3.8 Ligações Rígida e Flexível.....	63

4. PROPOSTA DE MODELO DE EDIFICAÇÃO UTILIZANDO PÓRTICOS

Figura 4.1 Figura esquemática – Planta pórticos de estabilização	66
Figura 4.2 Perspectiva – Pórticos modelo básico.....	66
Figura 4.3 Perspectiva dos pórticos – Módulo básico expansões horizontais.....	67
Figura 4.4 Diagrama com etapas de trabalho realizadas	68
Figura 4.5 Planta – Modelo arquitetônico básico - HIS	69
Figura 4.6 Planta de cobertura – Modelo arquitetônico básico	70
Figura 4.7 Planta modelo básico com ampliação na lateral direita	72
Figura 4.8 Planta com ampliação na lateral direita e esquerda	73
Figura 4.9 Planta modelo comercial	74
Figura 4.10 Desenho esquemático dos pórticos contraventados	75
Figura 4.11 Desenho esquemático da ligação de topo.....	75
Figura 4.12 Desenho esquemático dos módulos com fechamento em Drywall.....	76
Figura 4.13 Desenho esquemático - ligação de topo	76
Figura 4.14 Planta do módulo estrutural	77

Figura 4.15 Corte longitudinal do pilar	78
Figura 4.16 Planta pilar com ligação fixa de topo e expansíveis de topo	78
Figura 4.17 Planta e elevação Ligação expansível de topo	78
Figura 4.18 Parafusos auto-atarrachantes	79
Figura 4.19 Telha Cerâmica, Romana	81
Figura 4.20 Telhado com telha de fibra vegetal com manta térmica	82
Figura 4.21 Telha de fibra vegetal	82
Figura 4.22 Telhados com estrutura metálica galvanizada (LSF)	84
Figura 4.23 Telhados com estrutura metálica galvanizada (LSF)	85
Figura 4.24 Parede de Drywall interna preenchida com lã de poliéster	86
Figura 4.25 Elementos estruturais do Drywall	87
Figura 4.26 Tubulação elétrica no Drywall	89
Figura 4.27 Shaft	89
Figura 4.28 Montagem forro, paredes de Drywall acabadas	90
Figura 4.29 Fundação tipo radier	90
Figura 4.30 Esquadrias alumínio	92

5. RESULTADOS E ANÁLISES DE DESEMPENHO DO MODELO PROPOSTO

Figura 5.1 Elevação de um dos pórticos do módulo de pórticos	94
Figura 5.2 Planta perfil aço- carbono 4,25 mm do pórtico do módulo de pórticos	94
Figura 5.3 Estrutura com carregamentos e vinculações	97
Figura 5.4 Diagrama de esforço axial, gerado no Software SAP	98
Figura 5.5 Diagrama de momento fletor, gerado no Software SAP	98
Figura 5.6 Diagrama de esforço cortante, gerado no Software SAP	99
Figura 5.7 Consumo de aço dos modelos comparados	101
Figura 5.8 Zoneamento Bioclimático Brasileiro	102
Figura 5.9 Planta com disposição das zonas térmicas	105
Figura 5.10 Perspectivas dos modelos gerados após simulação numérica	105

LISTA DE QUADROS E TABELAS

3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM PÓRTICOS E PERFIS TUBULARES

Quadro 3.1 Tipos de pórticos quanto á sua geometria	53
Tabela 3.1 Tipos de perfis padronizados	57
Quadro 3.2 Tipos de parafusos e soldas	64

4. PROPOSTA DE MODELO DE EDIFICAÇÃO UTILIZANDO PÓRTICOS

Tabela 4.1 Dados gerais do modelo proposto.....	70
Tabela 4.2 Dados gerais da telha Romana	81
Tabela 4.3 Características da telha de fibra vegetal	83
Tabela 4.4 Elementos Estruturais do Drywall.....	88
Tabela 4.5 Preços - Sistema Drywall	91

5. RESULTADOS E ANÁLISES DE DESEMPENHO DO MODELO PROPOSTO

Tabela 5.1 Especificação do perfil de aço	95
Tabela 5.2 Cargas verticais e horizontais, aplicadas no cálculo dos pórticos	96
Tabela 5.3 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	103
Tabela 5.4 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	103
Tabela 5.5 Descrição dos fechamentos internos e externos	106
Tabela 5.6 Descrição dos fechamentos internos e externos	106
Tabela 5.7 Zonas Bioclimáticas e respectivas cidades simuladas	107
Tabela 5.8 Dados de dias típicos de verão das cidades simuladas	107
Tabela 5.9 Dados de dias típicos de inverno das cidades simuladas	108
Tabela 5.10 Temperatura Internas para o dia típico de inverno. (Simulação 01).....	108
Tabela 5.11 Temperatura Internas para o dia típico de inverno. (Simulação 01).....	109
Tabela 5.12 Temperatura Internas para o dia típico de verão. (Simulação 01).....	109
Tabela 5.13 Temperatura Internas para o dia típico de verão. (Simulação 01).....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM - American Society for Testing and Materials
BNH- Banco Nacional de Habitação
CEF - Caixa Econômica Federal
COHABs - Companhia de Habitação Popular
CP - Carga permanente
CRED - Centro de Investigação sobre Epidemiologia dos Desastres
CV- Carga de vento
E - Módulo de Elasticidade
ERW- Sistema de Soldagem por Resistência Elétrica
IAPs - Instituto de Aposentadoria e Pensão
HIS - Habitação de Interesse Social
LSF - Ligth Stell Framing
M - Momento fletor
MEF - Método dos Elementos Finitos
N - Força Normal
NBR - Norma Brasileira
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PBQP-H - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida
SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
SFH- Sistema Financeiro de Habitação
V - Força cortante
v- Coeficiente de Poisson

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com um déficit habitacional estimado em sete milhões de moradias, (MINAS GERAIS, 2009) e este número vem aumentando devido a fatores sócio-econômicos e também por problemas como catástrofes ambientais e naturais, muitas vezes imprevisíveis. O alto custo do metro quadrado da construção civil mais o agravante da má distribuição de renda no país faz com que uma grande parcela da população integrem a execução de sistemas construtivos com técnicas improvisadas e convencionais à sua realidade. Tendo em vista uma posição estratégica no desenvolvimento do país e os grandes desafios da arquitetura e engenharia em proporcionar soluções alternativas, tornar-se oportuno o desenvolvimento de pesquisas para construções de habitação de interesse Social (HIS), sustentáveis e seguras, como o crescimento econômico nacional e até mesmo mundial demandam.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o número de desastres naturais passou de uma média de 50 por ano, na década de 1960, para 165 por ano na década de 1980. Ademais, estima-se que cerca de 1,7 bilhão de pessoas foram afetadas até os anos 90 e a projeção para 2015 é de 375 milhões de pessoas afetadas por ano. (MEDRANO, 2011).

O Brasil, inserido nesse contexto, foi o 6º país no mundo a enfrentar o maior número de desastres naturais, conforme balanço do Centro de Investigação Sobre Epidemiologia dos Desastres - Bélgica (CRED) em fevereiro de 2010, permanecendo atrás somente das Filipinas, China, Estados Unidos, Índia e Indonésia. E o futuro não foge da mesma previsão: os eventos naturais vão tornar-se mais frequentes em virtude da variabilidade climática atual que aumenta a possibilidade de ocorrência de novos desastres. Apesar disso, o mapeamento das áreas de risco e a elaboração de planos preventivos municipais são insuficientes em todo o país, já que isso implica em uma reforma profunda da estrutura urbana, a qual está distante de ser concluída. “É certo que os fenômenos vão continuar acontecendo, e a arquitetura pode buscar soluções para auxiliar os desabrigados de eventos como terremotos ou enchente”. (MEDRANO, 2011).

Nas últimas décadas com o avanço tecnológico e industrial, a construção civil tem se beneficiado com a produção de elementos pré-fabricados e maquinários que potencializam o canteiro de obras e minimizam resíduos, gerando economia. Novos materiais, como o aço, possibilitam ao projeto arquitetônico e estrutural maior liberdade, versatilidade, menores custos, resistências e funcionalidade. No entanto materiais de fechamento e revestimentos com desempenho térmico e acústico passam a contribuir na eficiência dos ambientes construídos trazendo vantagens que diminuem o impacto ambiental e potencializam a obtenção do conforto adequado.

O sistema construtivo predominante no mercado nacional utiliza o concreto armado e a alvenaria tradicional como fator primordial na concepção da edificação. No entanto, edificações de grande porte, comerciais e institucionais se utilizam dos novos materiais e tecnologias permitindo que tendências empreendedoras e projetuais superem o sistema construtivo convencional. Nesse contexto a construção metálica apresenta muitas vantagens diante da construção convencional possibilitando maior liberdade e criatividade no projeto arquitetônico e consideráveis contribuições estruturais como resistência, funcionalidade e reciclabilidade. No entanto, o projeto estrutural e o arquitetônico devem ser desenvolvidos de forma integrada e estratégica na melhoria global da edificação em fase de projeto.

Busca-se com este estudo apresentar um sistema construtivo em aço, com soluções técnicas, viabilidades e adequações construtivas de mercado que facilite o acesso à uma moradia adequada, confortável, energeticamente eficiente, que se preocupe com a acessibilidade de portadores de deficiências físicas e que contribua para o desenvolvimento habitacional de interesse social. Para que isso seja possível, o projeto deve estar de acordo com a disponibilidade de técnicas, de materiais e de processos construtivos com conceitos da construção industrializada.

1.1 Desenvolvimento da Construção no Brasil

No começo do Séc XVII com a expansão da economia açucareira, a estrutura social caracterizava a estrutura espacial habitacional entre a casa grande e a senzala (FIG 1.1), reflexos de um desequilíbrio que percorre toda a história da sociedade brasileira, seus problemas e soluções habitacionais.



FIGURA 1.1 – Casa grande- senzala

Fonte: FREYRE, 2004.

No Séc XVIII durante o ciclo do ouro a arquitetura predominante da riqueza crescente era de templos barrocos projetados por arquitetos portugueses com profunda ornamentação em ouro e estatuários produzidos por artistas como o mineiro Aleijadinho. Num todo o Brasil desta época utilizou constantemente aos padrões europeus construtivos e arquitetônicos, que se difundiam no mundo.

Após a primeira Revolução Industrial, houve grande demanda construtiva gerando inevitáveis consequências no espaço residencial, mas tornou-se de tal modo caro construir que as classes sociais interessadas passaram a importar soluções técnicas de outros países sem até mesmo preocupar com o que era adequado ao clima. Ainda com as diversas transformações sócio-econômicas e tecnológicas o Brasil no século XIX, respondia e aperfeiçoava técnicas construtivas com a utilização do ferro e aço, modernizando edificações, transportes e serviços.

Seja sozinho ou acompanhado por outros materiais o surgimento do aço marcou o fim do uso do ferro com propósitos estruturais, devido às suas principais características como: a sua alta resistência, quando comparada com outros materiais; e a ductilidade, que é a capacidade de sofrer grandes deformações antes da ruptura (MINISTÉRIO, 1989).

A partir do final do século XIX e início do século XX, o concreto armado também oriundo da Europa, juntamente com a alvenaria tradicional brasileira (FIG 1.2) já eram as principais técnicas construtivas utilizadas em edificações no mercado nacional.



FIGURA 1.2 – Estrutura concreto armado

Fonte: CIVIL, 2013.

Porém como as vantagens do aço em relação ao concreto armado são inúmeras o mercado atual do século XXI vem optando por estruturas metálicas em edificações de grande porte por fatores expressivos como: redução de custos, racionalização de materiais, aumento da produtividade e redução de tempo. Em 1970 foi construído o primeiro edifício de estrutura metálica do Brasil, construído com materiais produzidos totalmente no país, o edifício Garagem América, em São Paulo, com 16 andares, sendo um exemplo de pioneirismo e superação tecnológica. (FIG 1.3)

A construção industrializada em aço quando bem projetada pode minimizar o impacto ambiental, mas o controle precisa ser feito na edificação como um todo. Os elementos componentes que completam a edificação vem sendo frequentemente estudados no campo acadêmico e empresarial mas muito pouco utilizados, pois a falta de conhecimento, disponibilidade, uso correto destes materiais e técnicas, vem acarretando às edificações um maior consumo de energia e gastos com dispositivos eletrônicos para adequar o ambiente nos níveis de conforto desejado.



FIGURA 1.3 – Edifício Garagem América, SP.
Fonte: METÁLICA, 2013.

Os elementos industrializados ou painéis de fechamento junto a estrutura metálica vem a ser não só uma opção construtiva direcionada a um mercado específico, e sim uma possibilidade de mudança na mentalidade construtiva do país, sendo a principal opção de fechamento para a estrutura metálica com vantagens traduzidas em racionalização do processo construtivo, eliminação do retrabalho, minimização de desperdício, entre outros. (VON KRÜGER; 2000, SALES, 2001; BASTOS, 2004).

No mercado nacional, encontram-se modelos de construção residencial estruturada em aço com fechamentos industrializados e fabricados *in loco* que utilizam os próprios resíduos da obra, que são uma das alternativas sustentáveis como no caso mostrado na figura (1.4) de uma construção de prédio habitacional para famílias com renda de até 3 salários mínimos mensal. Os apartamentos possuem 50 m² e o tempo total de fabricação pela Usiminas e montagem da estrutura leva cerca de 3 meses, ou seja, metade do tempo de uma obra realizada em concreto.

Os sistemas de fechamentos pré-fabricados representam inovações consideráveis nas edificações metálicas, sistemas que serão de grande importância no estudo do projeto proposto na pesquisa, pois influenciam diretamente no desempenho global da edificação.



FIGURA 1.4 – Habitação popular em Aço estrutural no Pará.

Fonte: CBCA, 2013.

1.2 Desenvolvimento da Habitação de Interesse Social no Brasil

No Brasil, para suprir o déficit elevado de moradias, optou-se pela produção de conjuntos habitacionais que em sua grande maioria utilizam sistemas convencionais construtivos em alvenaria e ou concreto e mão de obra não especializada ocasionando em sistemas construtivos que desperdiça materiais, sem padronização, sem controle de qualidade, sem conforto para os usuários, com tempos variados ou demorados de construção acarretando em custos e ou ocorrências de patologias. Em contra partida os processos construtivos industrializados aliam velocidade de execução a qualidade do produto final, oferecendo planejamento, padronização e organização do canteiro de obras e mão de obra especializada que permitem racionalização de materiais, redução de tempo de execução da habitação e redução de custo global dos conjuntos habitacionais.

O planejamento e construção de conjuntos habitacionais no Brasil teve início em 1937 com as carteiras prediais dos Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs), e posteriormente pela Instituição da Casa Popular em 1946, que foi uma iniciativa relevante em habitações sociais. Para os trabalhadores a produção estatal de moradias representa o reconhecimento oficial de que a questão habitacional não seria equacionada apenas pelo investimento privado ao contrário do que ocorria em 1930 quando a participação estatal na produção de moradias populares era considerada uma concorrência desleal à iniciativa privada. A partir do governo Vargas forma-se uma forte corrente de opinião segundo a qual torna-se indispensável a intervenção do Estado. Assim ninguém contesta, em tese, esta ingerência do governo num setor de produção até então praticamente cativo da iniciativa privada (BONDUKI, 1988). No entanto o

governo passa a tomar providências de interesse habitacional social e privado como resposta à gravidade do problema, ressaltando a incapacidade da iniciativa privada de produzir moradias sem a intervenção governamental.

Atualmente o déficit habitacional ainda é elevado e os processo construtivos para habitação popular com carências construtivas eficientes. Em 2007 o governo federal por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) aumentou o investimento público em infra-estrutura e melhorias das condições de vida da população e paralelo a isso foi criado o Sistema Nacional de Aprovações Técnicas (SINAT) dentro do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat para que a construção entre em conformidade com a norma de Desempenho para Edifícios habitacionais a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Inicialmente, a primeira medida do governo brasileiro foi oferecer crédito às empresas privadas para que elas produzissem habitações, além do Banco Nacional de Habitação (BNH) que se torna o principal órgão da política habitacional e urbana do país; o Sistema Financeiro de Habitação (SFH) e a Companhia de Habitação Popular (COHABs). (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010)

Problemas como o acesso ao financiamento por pessoas de baixa renda ainda era a dificuldade de financiar um imóvel antes de março de 2009 quando foi criado o Programa Habitacional Popular - Minha Casa Minha Vida - (PMCMV) que objetiva atender as necessidades habitacionais para a população de baixa renda nas áreas urbanas, garantindo o acesso à moradia digna com padrões mínimos de habitabilidade, segurança e sustentabilidade. Em geral o programa acontece em parceria com os estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos, oferecendo algumas facilidades no financiamento para pessoas de baixa renda como por exemplo, descontos, subsídios e redução do valor de seguros habitacionais. (CEF, 2014)

Embora o número de desabrigados por catástrofes ambientais e as demandas por habitação estejam sempre em ascensão, segundo a caixa econômica com a criação do Programa Minha Casa Minha Vida o déficit de moradias no Brasil, entre 2004 a 2010, foi reduzido de 7,2 milhões para 5,8 milhões. (LARES, 2011)

Estima-se que até o final de 2014 o valor do déficit seja menos 16% desse valor. (CEF, 2014). Mostra-se na figura (1.5) o número de contratos realizados e habitações entregues pelo PMCMV até junho de 2013.

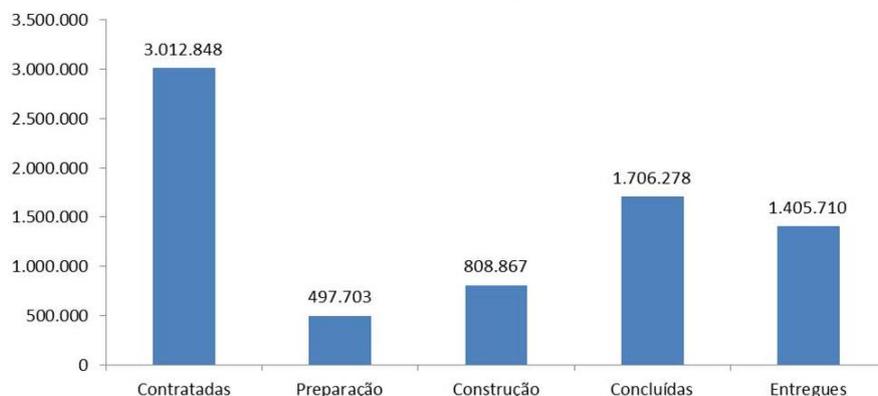


FIGURA 1.5 – Números - Minha casa Minha Vida até junho/2013.

Fonte: CEF, 2014.

Nesse contexto fica o arquiteto e o engenheiro responsáveis de forma efetiva na elaboração de projetos que contenham soluções construtivas de alto desempenho e baixo custo, como é o caso das edificações em estruturas em aço, contribuindo para o desenvolvimento social, familiar e habitacional.

1.3 Objetivo

Desenvolver projeto de arquitetura residencial com desempenho térmico adequado à climatologia nacional utilizando pórticos de estabilização em estrutura metálica e fechamentos pré-fabricados.

1.4 Justificativa

Diante de problemas habitacionais e das graves catástrofes ambientais e naturais como o vento, chuvas e terremotos, que são fenômenos naturais muitas vezes imprevisíveis que desabrigam milhares de pessoas por ano, este trabalho vem propor soluções para construções arquitetônicas e estruturais ambientalmente sustentáveis e seguras, já que a ciência ainda não consegue prever adequadamente os momentos em que estes fenômenos podem ocorrer. Desta maneira, vem-se propor uma nova arquitetura que

atenda as culturas tradicionais de forma digna e segura, visando à aproximação com as vantagens do uso de novos materiais e tecnologias.

Além disso, a estrutura metálica é produzida em aço que é um material desenvolvido a partir de ligas industrialmente produzidas sob rígido controle que garante ao material ótimas condições mecânicas, alta resistência, boa trabalhabilidade, homogeneidade e menores graus de incerteza no seu comportamento, resultando coeficientes de segurança bem baixos que garantem otimização do uso deste material.

Ainda a construção metálica apresenta muitas vantagens diante da construção convencional, como:

a) rapidez na execução da estrutura: podendo ter uma redução de até aproximadamente 40% nos custos, compatibilizado com outros sistemas construtivos industrializados;

b) compatibilidade com outros materiais: desde os materiais convencionais aos pré-fabricados;

c) possibilidade de montagem e desmontagem mais rápidas: facilitando futuras reformas, adaptações e mudanças nos edifícios;

d) organização total no canteiro de obra: com menos entulho e mais segurança para os trabalhadores na obra, além de tornar possível a execução de ampliações e reformas sem perturbar os usuários;

e) além do menor peso aliviando as cargas nas fundações, pode-se reduzir em até 30% o custo das mesmas;

f) precisão construtiva: enquanto a construção convencional trabalha com centímetro, a construção metálica tem a precisão do milímetro;

g) garantia de qualidade: por ser um produto industrializado, é produzido com mão-de-obra qualificada;

h) racionalização de materiais e mão-de-obra: garantindo a diminuição do desperdício de materiais;

i) maior liberdade no projeto arquitetônico: possibilitando projetos mais ousados e com utilização de vãos livres maiores e obtendo maior área útil;

j) reciclabilidade: o aço é 100 % reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas;

k) menor impacto ambiental: em termos de uso de energia, consumo de matérias-primas e geração de detritos, além de reduzir o consumo de madeira e diminuir a poluição sonora geradas por serras e outros equipamentos. (TECHNICA, 2010)

A construção metálica apresenta maiores economias diante a edificação pronta, e não em etapas ou processos isolados, não devendo comparar custos de suas etapas com a construção convencional, mas sim do custo final. Como por exemplo comparar custos do esqueleto metálico e o de concreto armado. (SILVA, 2011)

1.5 Metodologia adotada

Para o desenvolvimento do módulo arquitetônico e estrutural proposto foram realizados estudos, verificações de projetos e materiais existentes no mercado a serem inseridos no contexto do novo modelo proposto, priorizando a facilidade de execução e a organização espacial com possibilidades de ampliações.

Para a concepção do projeto estrutural e arquitetônico foram analisados os sistemas construtivos existentes no mercado nacional e projetos encontrados em literaturas. Tomou-se como base o modelo proposto por Silva (2011) por ser um modelo que apresenta viabilidades estruturais como: facilidade e rapidez de execução, modulação estrutural simplificada, maior rigidez, redução de ligações da estrutura, eficiência estrutural e baixo consumo de aço. A partir desse modelo deu-se mais ênfase na conformação espacial e estrutural.

Os desenhos técnicos arquitetônicos e estruturais bidimensionais (2D) foram elaborados no *Software AutoCad*, versão 2013, possibilitando o entendimento métrico e funcional do projeto. Os desenhos ou modelagens tridimensionais (3D) ilustrativos das peças estruturais e da construção como um todo, foram elaborados no *software Sketchup* versão 8, para melhor entendimento das ligações criadas, dos espaços e dos elementos de fechamento da construção.

Utilizando o *Software SAP*, versão 11.0, realizou-se a simulação computacional para análise estrutural, pelo método dos elementos finitos. Com os resultados obtidos foi

possível analisar e dimensionar os elementos estruturais das seções dos pórticos de estabilização proposto e a verificação da viabilidade do sistema estrutural.

Realizou-se também o estudo das propriedades térmicas dos elementos de fechamento e simulação computacional do projeto no *Software EnergyPlus*, para verificação do desempenho térmico em função das zonas bioclimáticas segundo as normas NBR 15557 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005).

1.6 Estrutura do Trabalho

O trabalho está distribuído em 06 capítulos e 02 apêndices, e estrutura-se conforme o descrito a seguir.

No capítulo 1 aborda-se como introdução o desenvolvimento da construção e da habitação de interesse social no Brasil, citando passagens históricas de como a construção industrializada está sendo inserida no contexto da construção no país, também do processo evolutivo dos programas governamentais para habitações populares e as principais vantagens da construção metálica. Apresenta-se o objetivo, a justificativa do trabalho e a metodologia adotada.

No capítulo 2 apresenta-se as tipologias construtivas industrializadas reunindo-se informações sobre as construções industrializadas existentes e de projetos que ainda estão em fase de pesquisa.

No capítulo 3 apresenta-se um breve histórico dos pórticos e os elementos construtivos utilizados nos pórticos metálicos.

No capítulo 4 apresenta-se o estudo e a proposta do projeto em pesquisa, e as especificações dos principais elementos estruturais e arquitetônicos utilizados na concepção da proposta.

No capítulo 5 apresenta-se os resultados e análises do desempenho estrutural do pórtico que compõe o módulo estrutural citado no estudo do modelo proposto. Apresenta-se os resultados e análises do desempenho térmico da edificação.

No capítulo 6 apresenta-se as considerações finais com aspectos para a continuação do trabalho como proposta de pesquisas futuras e a conclusão do trabalho.

Em Apêndices, apresenta-se desenhos e detalhamentos do modelo residencial proposto. Apresenta-se também os memoriais de cálculos de dimensionamento dos perfis e cabos metálicos utilizados nos pórticos que compõe o módulo estrutural proposto.

Em Anexos, estão informações obtidas por meio de catálogos de fabricantes.

2. TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS

Em diversos países com a grande demanda populacional e o crescente número de catástrofes naturais que destroem até mesmo cidades inteiras, o uso de sistemas construtivos que utilizam estruturas metálicas e materiais pré-fabricados é muito comum. Principalmente na América do Norte, Europa e Ásia as casas de madeira e concreto estão sendo substituídas de forma rápida por casas com características estruturais em aço. Como uma solução para o novo quadro de necessidades da construção, a chamada obra seca apresenta vantagens quanto a rapidez, manutenção e desperdícios durante a obra, além das vantagens do aço, a construção tornar-se mais durável, econômica e ambientalmente correta.

Cada vez mais preocupada com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável a indústria da construção civil vem pesquisando e procurando soluções para redução de impactos negativos ao meio ambiente. Nesse contexto encontram-se alguns modelos de construções residencial em aço e fechamentos industrializados que são umas das alternativas sustentáveis que aliam, racionalização do tempo, materiais e velocidade.

A racionalização é fundamental na industrialização, onde racionalizar a produção constitui em estudar e modificar seus métodos no intuito de reduzir o tempo de trabalho, melhorando a produtividade e rentabilidade. Assim, há de se considerar que a racionalização é uma companheira da industrialização. (RIBEIRO; MICHALKA, 2003)

A industrialização e ou construção industrializada vem da pré-fabricação em indústrias especializadas de alta tecnologia ou no caso da construção a pré-fabricação pode acontecer até mesmo no próprio canteiro de obra. Sua característica principal se caracteriza pela velocidade de execução aliada à qualidade do produto final. O produto final, em geral, adquire uma qualidade superior ao método tradicional. Além disso, quando se trata de construção industrializada associa-se a ela a coordenação modular. (BATISTA, 2005)

A coordenação modular relaciona as medidas do projeto com as medidas da produção industrial, considerando questões geométricas e de proporções minuciosamente em detalhes suficientes para tornar a execução de um produto tão complexo como um

edifício, em um processo metódico, racional e industrial. A coordenação modular não impõe métodos construtivos nem tipologias, o seu uso impõe é no procedimento, no ato de projetar, com exigências de especificações e detalhamentos minuciosos. Na coordenação modular existem dois tipos de sistemas industriais: aberto e fechado.(RIBEIRO; MICHALKA, 2003)

No sistema aberto cada componente é produzido numa determinada gama de tamanhos contendo suas definições, qualidades e técnicas de produção permitindo a liberdade de composição geométrica e de proporções da edificação. Os componentes podem ser usados em qualquer tipo de edificação independente da composição geométrica desta.

No sistema fechado, o projeto da edificação possui um grau restrito de variações, com uma decomposição dos componentes da edificação permite uma produção em série destes componentes. Objetiva-se uma produção mais barata, de montagem rápida e custo reduzido. Adota-se uma medida de referência, baseada em um dos componentes do projeto, para permitir uma certa flexibilidade na definição das edificações. Costuma-se denominar esta unidade de referência de módulo. Esse sistema industrializado é único para cada projeto. (RIBEIRO; MICHALKA, 2003).

2.1 Sistema *Light Steel Framing* (LSF).

O sistema construtivo LSF é uma evolução do sistema americano *Woodframing* que utiliza em sua estrutura perfis de madeira. Com o desenvolvimento da indústria e das siderúrgicas nos Estados Unidos, os perfis de madeira foram substituídos pelos de aço galvanizado. Em 1933 foi apresentado, na feira Mundial de Chicago um protótipo de uma residência em LSF que utilizava perfis de aço galvanizado substituindo os de madeira, tornando o sistema uma solução mais leve e produtiva com o aumento significativo na velocidade da construção.

No Brasil o sistema vêm sendo explorado por muitas empresas desde a década de 1970, mas somente difundiu-se nos últimos 10 anos. O sistema utiliza perfis de aço galvanizado formado a frio como o principal elemento estrutural para a composição de painéis estruturais e não estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de

telhado e demais componentes. Assim devido a essas características o SLF, também é conhecido por Sistema Autoportante de construção. (FREITAS;CASTRO, 2006)

Composto por vários componentes e subsistemas, entre estes subsistemas destacam-se os de fundação, de isolamento termo-acústico, de fechamento interno e externo, instalações elétricas e hidráulicas. O sistema é flexível, permite a utilização de diversos materiais de fechamento, não apresenta grandes restrições de *layout* e para que o sistema cumpra suas funções para o qual foi projetado a escolha dos materiais e a mão de obra especializada é indispensável para que a velocidade da construção e a racionalização do sistema não sejam prejudicados.

Os painéis autoportantes que são as paredes que constituem a estrutura são compostos por perfis galvanizados denominados montantes que possuem tamanhos variados e são dispostos e separados entre si de 40 ou 60 cm. A dimensão é definida no cálculo estrutural determinando a modulação. O peso do sistema é de aproximadamente 165 N/m². Apresenta-se na (FIG 2.1) um esquema de uma construção em LSF.

O método mais comum de estabilização do sistema é o contraventamento em X, que utiliza fitas de aço galvanizadas na face do painel onde suas medidas e espessuras são determinadas em projeto. O contraventamento é um ponto negativo no sistema pois impede a liberdade de aberturas de janelas e portas. (FIG 2.2)

Toda a estrutura é parafusada e pode ser montada na canteiro de obra ou pré montada antes de levar para o canteiro e os fechamentos interno e externo em sua maioria é composto por placa de gesso acartonado no interior e placa cimentícia no exterior, ambas exercem suas funções de facilidade de montagem.

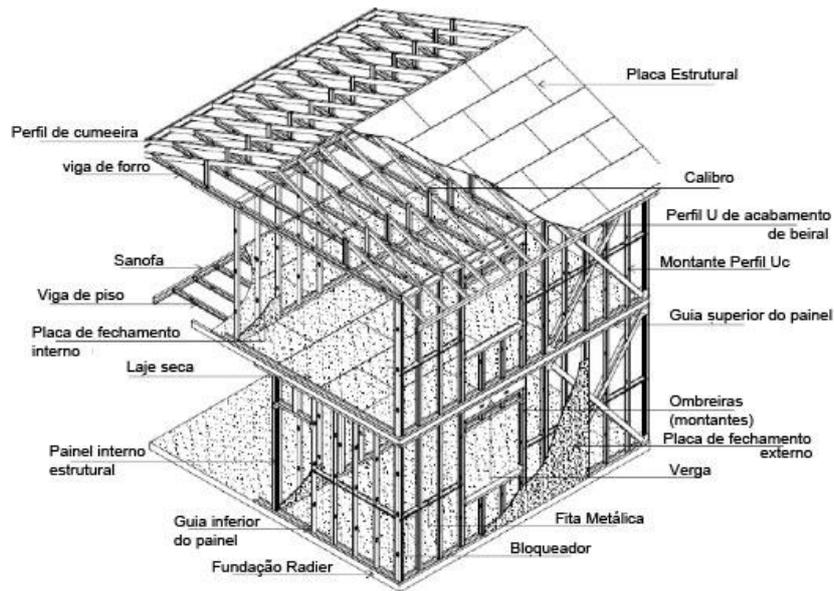


FIGURA 2.1– Esquema de uma residência em LSF.

Fonte: FREITAS;CASTRO, 2006.



FIGURA 2.2 – Painel com contraventamento em X.

Fonte: FREITAS;CASTRO, 2006.

Apesar do LSF ser empregado em diversos países, no Brasil onde o sistema que prevalece é o método convencional em alvenaria / concreto, pela carência de mão de obra especializada podemos recorrer ao *Drywall* que é amplamente utilizado como fechamento interno e externo. A semelhança dele com o LSF, somente é distinguida pela na função estrutural que o *Drywall* não possui. Basicamente a estrutura em LSF é composta de paredes, pisos e cobertura. Reunidos, eles possibilitam a integridade estrutural da edificação, resistindo aos esforços que solicitam a estrutura. (FREITAS;CASTRO, 2006)

2.2 Usiteto - Usiminas

O Usiteto é sistema construtivo e estrutural em aço aço USI-SAC-41, protegido contra corrosão, proposto pela Usiminas e a Companhia de Habitação de Minas Gerais (COHAB – MG) em 1997, oferecendo modelos de casas populares de 36, 42 e 45 m² com possibilidades de ampliação de 1 a 2 quartos e edifícios com quatro ou cinco pavimentos com dois ou três dormitórios por apartamento.

A fundação consiste em vigas baldrame ou *radier* para receber os esforços resultantes do sistema. A estrutura principal de perfis de chapas dobradas a frio com 2mm de espessura são em formato U para casa ou caixão para prédios (FIG.2.3). O telhado foi projetado um engradamento metálico com perfis U com menores dimensões e com oito opções de montagem de acordo com o tipo de telha escolhida. A inclinação foi baseada no padrão de 30% do vão ficando o telhado com 17° de inclinação e com beiral de 50cm. (FIG2.4)

A casa do sistema é construída em módulos. O módulo padrão do sistema possui 6m x 6m, e pode ser montado em menos de 3h, utilizando duas pessoas e sem a necessidade de mão de obra especializa. O peso estrutural total por módulo é de 540 kg ou 150 N/m², e é fornecido para ser aparafusado e pronto para a montagem com o manual do processo construtivo e projetos de fundação, arquitetônico, elétrico e hidráulico (FIG 2.5). Para o fechamento da estrutura podem ser utilizadas alvenarias convencionais, concreto celular ou painéis industrializados e para o sistema elétrico e hidráulico os materiais e técnicas dependem do tipo de parede a ser adotada. (USIMINAS, 1997)

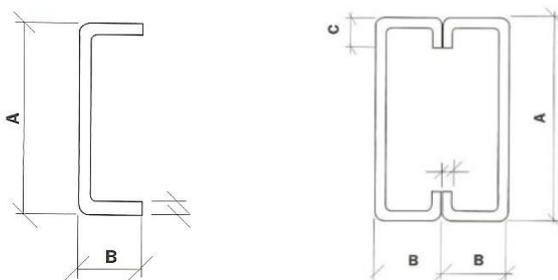


FIGURA 2.3 – Perfil U e Caixão do sistema Usiteto.

Fonte: USIMINAS, 1997.

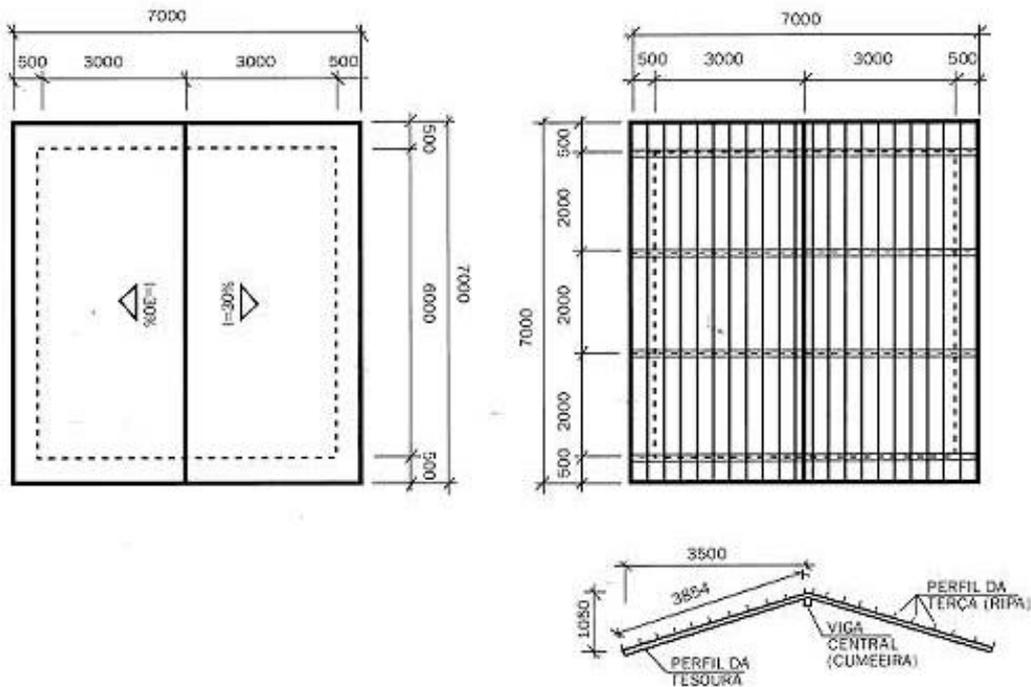


FIGURA 2.4 – Planta de cobertura e engradamento metálico do telhado tipo colonial, sistema Usiteto.

Fonte: USIMINAS, 1997.



FIGURA 2.5 – Módulo estrutural do sistema Usiteto.

Fonte: USIMINAS, 1997.

Na figura (2.6) apresenta-se imagens de planta da casa com o núcleo inicial formado por um quarto, cozinha e banheiro (a), a primeira expansão com o acréscimo da sala (b) e a segunda expansão como mais um quarto(c).

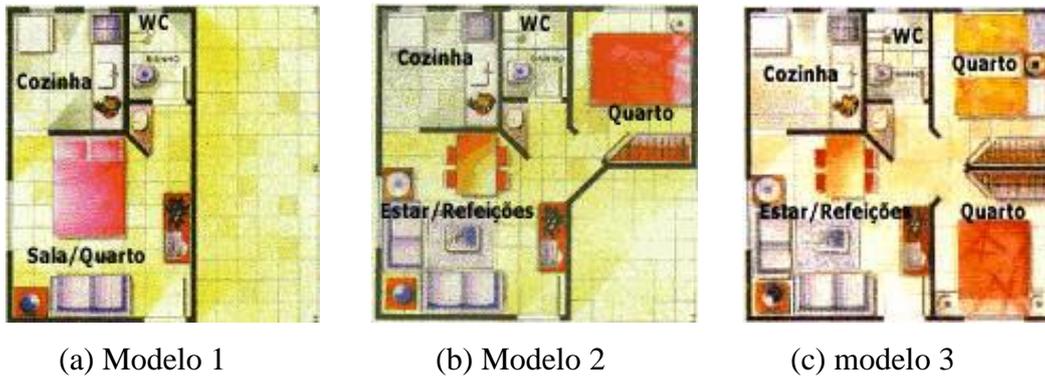


FIGURA 2.6– Planta com os modelos e expansões da casa Usiteto.

Fonte: USIMINAS, 1997.

O sistema possui custo baixo, mas pode ser melhor explorado em *layout* e técnicas construtivas que o faça expansível de forma gradual, conforme a necessidade do usuário e não somente a fornecida pelo sistema.

2.3 Casa Fácil - Cosipa e Gerdau Açominas.

“ A CASA FÁCIL” é um sistema construtivo de moradias populares em estrutura de aço que foi elaborado entre duas grandes siderúrgicas brasileiras, a Cosipa e Gerdau lançando um novo produto, os perfis laminados de abas paralelas em I e H. O sistema consiste em um kit construtivo projetado em perfis de aço resistentes à corrosão atmosférica, com tamanhos de montagem que conformam casas de 24, 36 e 48 m² e que podem ser ampliáveis com 10 opções de plantas. (FIG.2.7)



(a) casa com 24m²



(b) casa com 36m²



(c) casa com 48m²

FIGURA 2.7– Plantas Casa Fácil.

Fonte: GERDAU, 2001.

A casa pode receber qualquer tipo de telha, material de construção e acabamento. O Kit disponibiliza um guia construtivo que dispensa a mão de obra especializada para a montagem da estrutura metálica. A construção inicia-se após a terraplanagem, com locação da obra, disposição do gabarito no terreno e em seguida é feita a fundação que é tipo *radier*, que é uma fundação rasa que funciona como uma laje contínua de concreto armado, onde são parafusados os pilares. (FIG.2.8)



FIGURA 2.8 – Montagem casa fácil –Radier.

Fonte: GERDAU, 2001.

Com o *radier* pronto inicia-se a montagem da estrutura principal de pilares e vigas, em seguida a estrutura da cobertura e os materiais de fechamento definido pelo cliente.

A estrutura principal e a cobertura da casa é toda parafusa e composta por peças de aço COS AR COR 400. O tempo global da construção é de 21 dias o que é considerável ao da construção convencional em comparação que é de 32 dias, sendo uma economia de 35%, mas o peso de 850kg ou 355N/m² de aço gastos com a estrutura para uma casa de 24m², podem ser otimizados, assim como a não utilização de contraventamentos que impedem a liberdade de vãos, aberturas e expansões. (FIG 2.9 e 2.10)



FIGURA 2.9 – Estrutura metálica montada e contraventada.

Fonte: GERDAU, 2001.



FIGURA 2.10 – Casa 24m² montada.

Fonte: GERDAU, 2001.

2.4 Quik House - Big Farm Ltda.

O sistema construtivo Quick House, foi elaborado nos Estados Unidos e patentado pela metalúrgica Big Farm Ltda, que revende o sistema também no Brasil. O sistema construtivo é composto por painéis autoportantes de aço galvanizado com espessura variável de 0,95mm a 2mm, encaixados e parafusados, formando um conjunto estrutural capaz de suportar estruturas de coberturas e um pavimento superior. Os painéis autoportantes são fabricados na altura do pé-direito ou com a utilização de peitoris ou vergas, especificados no projeto. Para prédios residenciais a Big farm Ltda, formou parceria com a Usiminas que fornece uma estrutura especial e adequada aos fechamentos do sistema Quick House. A laje de fundação também é do tipo *radier* para receber os painéis. A estrutura do telhado é toda em estrutura metálica para receber as telhas tipo *Shingles*, produzidas tendo como base uma manta asfáltica O forro é construído com gesso acartonado e as instalações elétricas e hidráulicas embutidas no interior dos painéis.

Os painéis autoportantes de tamanho padrão possuem largura de 61 cm, porém existem os painéis com medidas especiais para abertura de vãos e para o assentamento de portas e janelas. Os painéis chegam à obra pré-montados onde são revestidos externamente com chapas de OSB, lâminas de vinil ou placas cimentícias e internamente por gesso acartonado.

Na parte inferior dos painéis são utilizados um perfil "U" também galvanizado que é parafusado nos perfis de seção típica da Quick House, fechando a estrutura, dando rigidez ao painel. (FIG 2.11 e 2.12)

O sistema é flexível e permite projetos e layouts residenciais e comerciais variados, e disponibiliza dois modelos de casas populares de 43 m² e 63 m² que já possuem projeto e modulação definidos reduzindo custos com estas etapas. O sistema também é de fácil montagem e o tempo de montagem estrutural para a casa popular é estimado em apenas 3 dias.

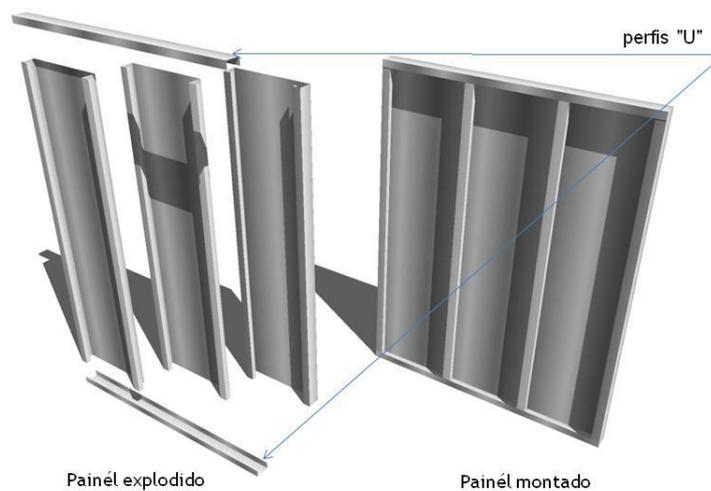


FIGURA 2.11– Painel autoportante, montagem estrutural.

Fonte: BIG FARM, 2011.

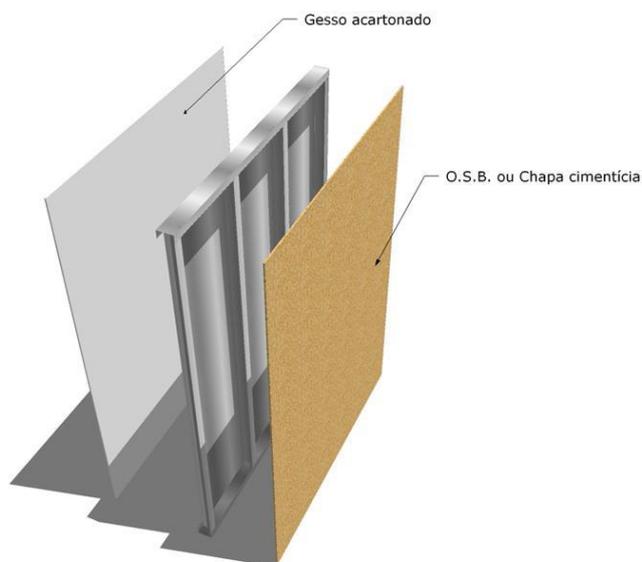


FIGURA 2.12 – Painel montado com revestimentos.

Fonte: BIG FARM, 2011.

O valor do metro quadrado construído de R\$2.200 (QUICK HOUSE, 2014) para a região sul do Brasil onde é fabricado, no caso de deslocamento há ainda acréscimo no valor. Esses custos são muito elevados para a população brasileira de baixa renda, e o consumo de aço de 1.680 kg ou 390 N/m² para uma casa de 43m² também é excessivo, considerando o peso dos outros sistemas já mencionados. Nas figuras (2.13 e 2.14) apresenta-se planta e imagens da casa popular de 43m² dos sistema Quik House.

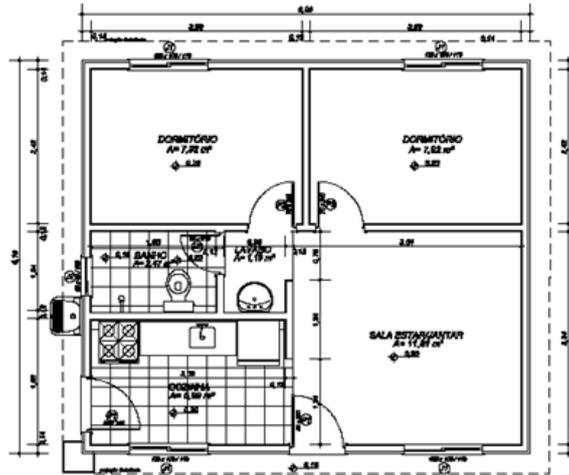


FIGURA 2.13 – Planta Casa popular Quick House - 43m².

Fonte: BIG FARM, 2011.



FIGURA 2.14 – Fachada casa popular Quick House - 43m².

Fonte: BIG FARM, 2011.

É importante ressaltar que a construção civil e principalmente de casas populares precisa de muito estudo e práticas de soluções ecológicas, técnicas construtivas mais econômicas, significativas que a conduza a solucionar espaços habitáveis com o máximo de conforto possível.

2.5 NOX

O sistema construtivo Nox, foi criado no Uruguai há 31 anos e é desenvolvido em 17 países. O sistema construtivo é composto por perfis de aço inox com fechamentos em placas cimentícias, gesso ou OSB. No interior dos painéis também pode ser colocado

poliestireno expandido para aquisição de melhor conforto térmico. O módulo mínimo possui medida de 1,26x1,26cm, e permite desenhos sem limites máximos.

O processo de fabricação é industrializado onde o tamanho das peças são produzidas no tamanho especificado em projeto evitando cortes na obra e facilitando a montagem por mão de obra não especializada, sendo necessário apenas 3 homens para a montagem de uma casa. A durabilidade desse sistema é definida como eterna pela norma de manutenção zero existente no Uruguai.

O peso de um painel de 1,26 x2,40cm pesa em torno de 60kg. O peso não é elevado mas o custo de uma casa com um material tão nobre não se adequa à realidade social brasileira. (FIG.2.15 e 2.16)



FIGURA 2.15 – Montagem do sistema construtivo Nox com telhado e fachada.

Fonte: NOX, 2013.



FIGURA 2.16 – Montagem dos painéis do sistema construtivo Nox.

Fonte: NOX, 2013.

2.6 Modelo em fase de pesquisa - Habitação Efêmera.

Projetos e estudos vêm sendo desenvolvidos com diversos tipos de materiais e tipologias construtivas com os mesmos objetivos, atender as demandas habitacionais, o conforto ambiental, a racionalização e economia de materiais.

Como um exemplo tem-se o projeto de habitação efêmera apresentado por uma aluna da faculdade de arquitetura e urbanismo da Unicamp. O projeto consiste em construções pré-fabricadas e desmontáveis, feitas de polietileno de alta densidade, o mesmo material utilizado em dutos de ar condicionado, oferecendo conforto térmico e acústico ao modelo, dispensando o uso de argamassa e concreto. O módulo ou o abrigo é transportado em uma espécie de maleta e poderá ser utilizado quantas vezes for necessário em situações de emergência. A idéia é implantar um bairro novo e provisório para o primeiro socorro de vítimas de catástrofes, mas mesmo assim seria dotado de toda infra-estrutura para que morassem com relativo conforto e sem ter que recorrer às escolas e ginásios ou às barracas improvisadas e desprovidas das necessidades básicas (FIG 2.17). (MEDRANO, 2013)

O módulo possui em torno de 16 m², e foi projetado para abrigar famílias de quatro, seis ou oito pessoas. Os espaços foram pensados de forma a solucionar questões e programas como escolas e postos de saúde. A pretensão do projeto é que o sistema seja montado em apenas 2h e seja reutilizado.

Para um espaço interno tão reduzido o mobiliário foi projetado dobrável: uma bancada com pia e fogão para a cozinha e banheiros químicos do lado de fora. Os módulos podem ser agrupados e conformados nas praças de espera com a instalação elétrica e hidráulica em espera. (FIG.2.18)

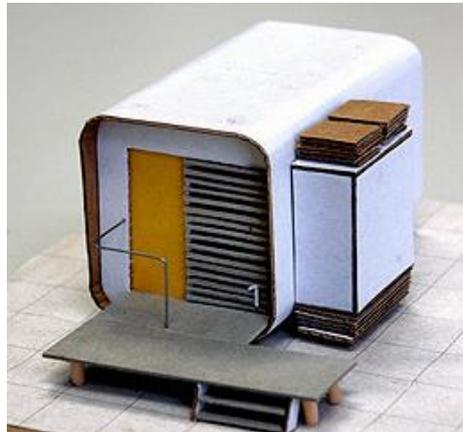


FIGURA 2.17 – Módulo habitação efêmera para vítimas de desastre.

Fonte: MEDRANO, 2013.



FIGURA 2.18 – Maquete do projeto - módulos agrupados em torno de uma praça central.

Fonte: MEDRANO, 2013.

2.7 Modelo em fase de pesquisa - Abrigo de Transição.

O projeto “abrigo de transição” , desenvolvido por Bernardo Richter na Universidade School of science and technology – Finlândia, possui a arquitetura em madeira e consiste em um abrigo temporário para família de até cinco pessoas. O objetivo do trabalho também é de melhorar as condições de vida em situações de emergência.

A capacidade de carga estrutural às forças naturais e materiais renováveis são os aspectos principais do projeto que levou em consideração as condições climáticas regionais em sua forma geométrica. (FIG 2.19 e 2.20)

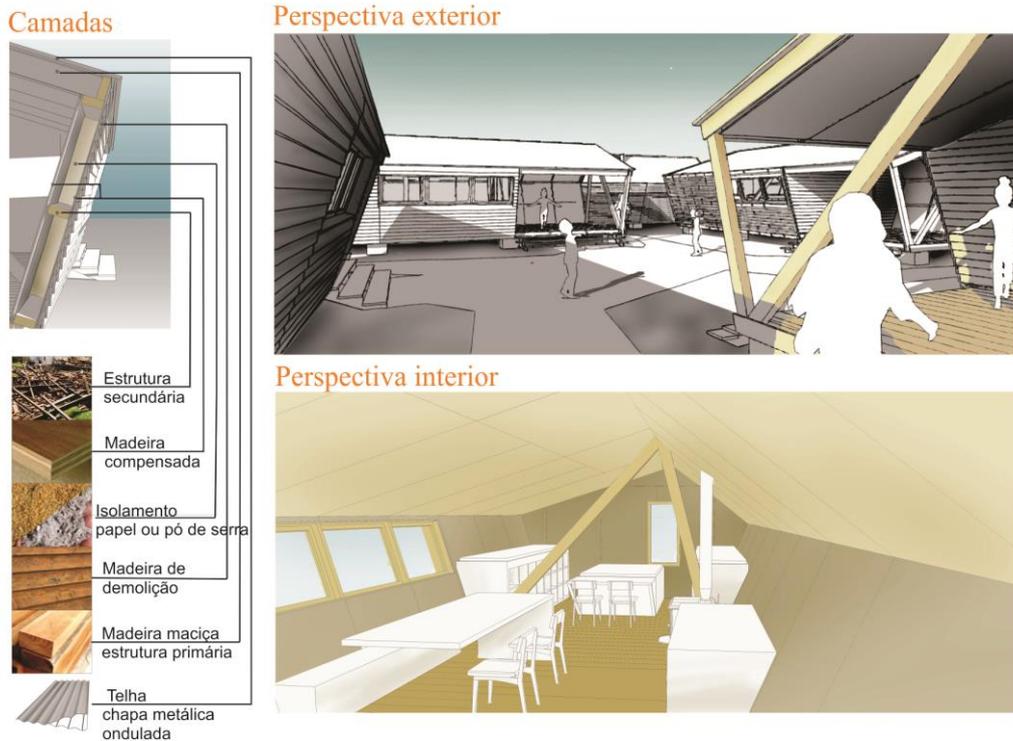
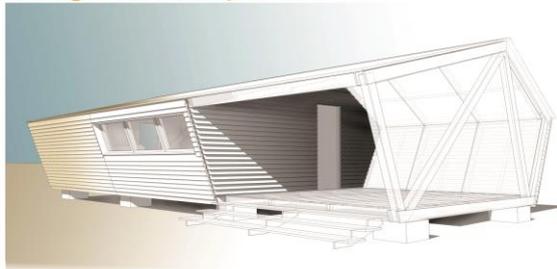


FIGURA 2.19 – Materiais de Montagem – Abrigo de Transição.

Fonte: ARQUEA, 2011.

Abrigo de transição



Desing

O desing deste abrigo é baseado em triângulos e treliças. Treliças são estruturas fortes, relativamente leves com componentes pequenos fáceis de fabricar. A fabricação da treliça ocorre globalmente. Uma razão importante de utilizar uma armação treliçada em madeira é tornar mais fácil a construção para as comunidades e também a facilidade de encontrar as peças em destroços reutilizáveis desse material para a construção do abrigo. Este desing pode ser construído por qualquer pessoa ou um trabalhador qualificado.

Módulo

O sistema é modular de unidades padronizadas, repetição e dimensões fácil de usar, de transporte fácil e de reutilizar em outro projeto sem esforço. Separando a estrutura da pele de cobertura e utilizando elementos desmontáveis com conexões secas torna-se possível mudar ou atualizar sem criar resíduos e permite flexibilidade e melhoria.

Sustentável

A eficiência energética ao longo do ciclo de vida é o único objetivo mais importante da arquitetura sustentável. A ventilação natural, bom isolamento, materiais sustentáveis e gestão de resíduos da construção modular desempenha um papel importante na

Forma



Tradicional

A forma tradicional da casa é a forma mais barata para a construção de uma casa sem paredes inclinadas.

Paredes inclinadas

As paredes são inclinadas para o ganho de espaço, utilizando-se a superfície da parede para fixar móveis.

braços / treliças

Alterando o ângulo das cintas, a partir de um ângulo igual tradicional, permite uma maior circulação e utilização do espaço.

Clima



Vento

Chuva

AALTO UNIVERSITY - WOOD PROGRAM 2010
BERNARDO RICHTER

FIGURA 2.20 – Forma Geométrica - Abrigo de transição.

Fonte: ARQUEA, 2011.

2.8 Modelo em fase de pesquisa - Campo de Refugiados.

O projeto campo de refugiados foi premiado no concurso *Opera Prima* projetando com PVC, no ano de 2006. O projeto oriundo da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, explorou as qualidades que o material oferece; flexibilidade, resistência e industrialização dos componentes e ainda a aplicação das instalações complementares com bom uso.

Com a forma radial, criou-se uma espécie de cabana, para acomodar até cinco pessoas protegidas de intempéries, como frio e calor excessivo. O abrigo é equipado com mecanismo biodigestor, captação de água vinculada à energia eólica e energia solar. As condicionantes de leveza e resistência ao impacto motivaram a escolha dos materiais no intuito do abrigo ser arremessado por helicópteros ou balões.

Em um raio de seis metros de diâmetro, com três alturas, o módulo é dividido em três partes principais, entrada, convivência, dormitório e uma central de sistemas de infraestrutura e no centro possui piso com material não comburente para viabilizar o aquecimento emergencial com fogo. (FIG 2.21 e 2.22)

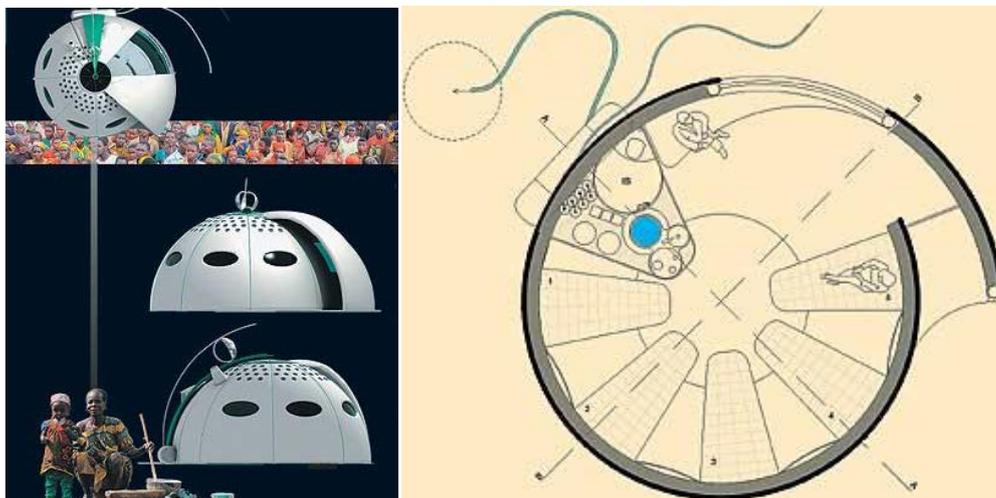


FIGURA 2.21 – Elevação e Planta esquemática - habitação Campo de refugiados.

Fonte: ARCOWEB, 2006.

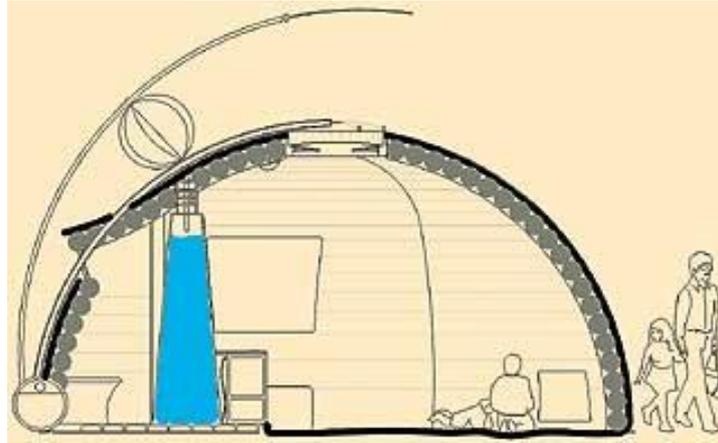


FIGURA 2.22 – Corte esquemático - habitação Campo de refugiados.

Fonte: ARCOWEB, 2006.

2.9 Modelo em fase de pesquisa - Sistema de Cobertura com pórticos de estabilização.

O sistema de cobertura com pórticos de estabilização bidirecionais em perfis metálicos de seção circular com costura para construção industrializada, foi apresentado por Silva (2011) e consiste em pórticos de estabilização bidirecionais espaciais que proporcionam a estabilidade de uma construção em duas direções perpendiculares quando submetidos a ações e fluxos de cargas horizontais como o vento. Os pórticos são compostos por arcos com geratriz circular formados por perfis metálicos tubulares de seção circular com costura. O sistema estrutural formado pelos pórticos é composto por 4 arcos que são elementos que se cruzam no vértice da estrutura e são interligados entre si por uma ligação de topo. (FIG.2.23 e 2.24).

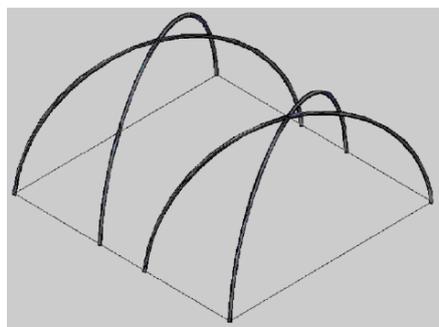


FIGURA 2.23 – Perspectiva dos pórticos de estabilização bidirecionais.

Fonte: SILVA, 2011.

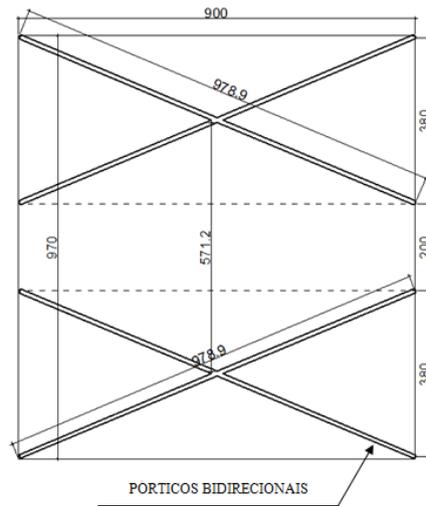


FIGURA 2.24 – Planta do sistema estrutural com pórticos de estabilização.

Fonte: SILVA, 2011.

A fixação da estrutura é feita na laje de fundação tipo *radier* por uma ligação de base onde dois parafusos em sentidos opostos permitem deslocamentos no eixo “y” dando maior estabilidade e rigidez à estrutura. Já a ligação de topo é feita por encaixe dos pórticos na peça de ligação tornando a montagem do sistema uma forma simples e fácil de ser executada por qualquer pessoa. (FIG. 2.25)

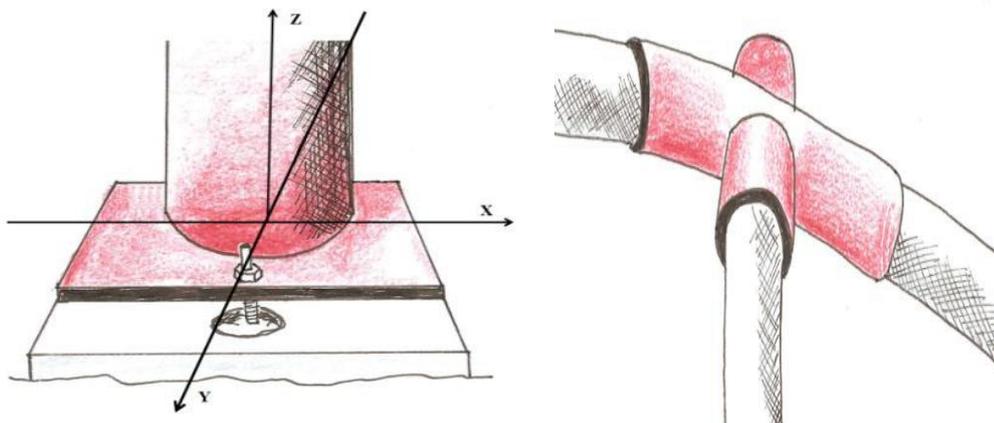


FIGURA 2.25 – Detalhe esquemático das ligações de topo e de base.

Fonte: SILVA, 2011.

O modelo arquitetônico projetado para esse sistema estrutural de pórticos de estabilização bidirecionais em perfis metálicos de seção circular com costura para

construção residencial industrializada, propôs *layout* de dois quartos, sala, cozinha, banheiro, área de serviço garagem e possibilidade de ampliação de mais um quarto. A área construída totaliza em 87,3m², com modulação simples composta por dois módulos de pórticos bidirecionais com vãos de 9m entre os eixos longitudinais e nos eixos transversais os espaçamentos entre os eixos são de 3,80m, 2,00m e 3,80m (FIG. 2.26 e 2.27)

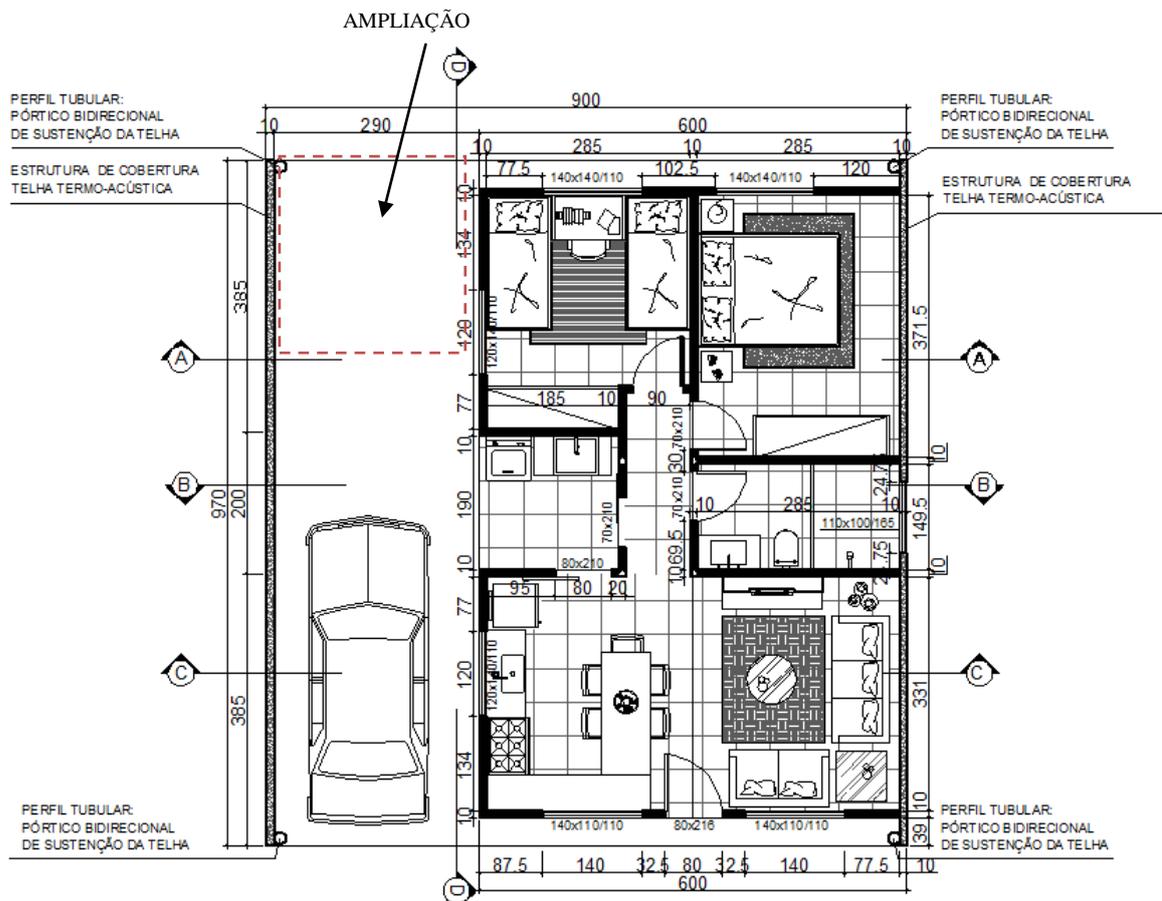


FIGURA 2.26 – Planta com Layout.

Fonte: SILVA, 2011.

A cobertura do sistema utiliza telhas metálicas termo-acústicas formando um só elemento com dupla função: a de cobertura e de paredes externas. As paredes internas são de LSF e forro em OSB. O ambiente interno não possui forração e o sistema elétrico é embutido no LSF e para a iluminação interna dos ambientes a fiação passa estrategicamente dentro dos tubos que formam os pórticos com as luminárias pendentes suspensas.(FIG. 2.27)



FIGURA 2.27 – Perspectiva interna da Cozinha.

Fonte: SILVA, 2011.

O peso do sistema estrutural de $39,8 \text{ N/m}^2$ é considerável, no entanto este sistema estrutural não permite ampliações métricas e a sua forma circular foge dos padrões de aceitabilidade do mercado e também impede a liberdade de escolha de fechamentos, caso necessário. O sistema de fechamento tem que ser maleável e termicamente eficiente. (FIG. 2.28, 2.29 e 2.230)

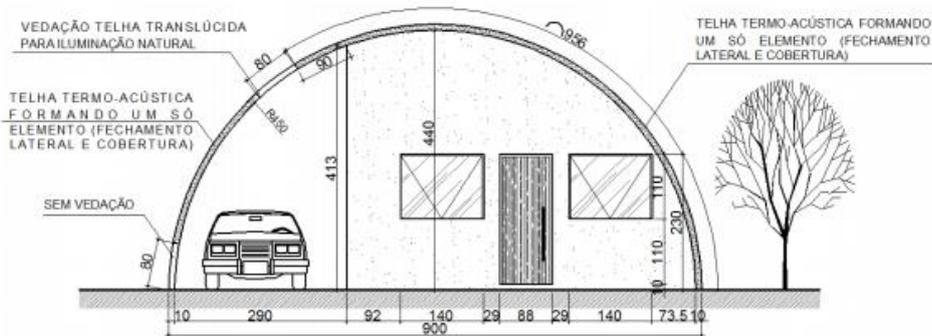


FIGURA 2.28 – Elevação da fachada.

Fonte: SILVA, 2011.

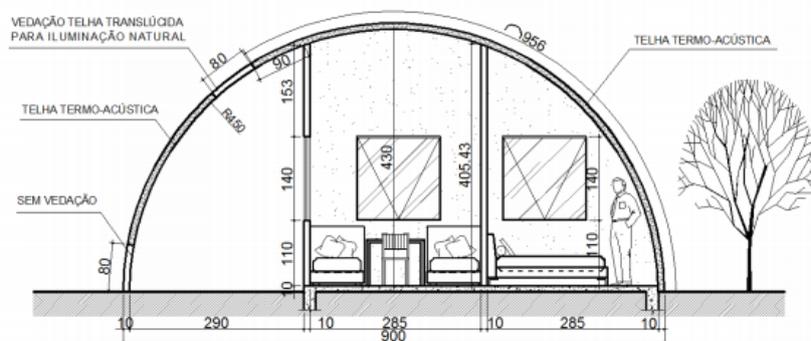


FIGURA 2.29 – Corte AA.

Fonte: SILVA, 2011.



FIGURA 2.30 – Fachada frontal.

Fonte: SILVA, 2011.

Perante a estas constatações compreende-se que ainda é necessário no contexto mercadológico desenvolvimentos de arquiteturas, mesmo que convencionais, que utilizem das novas tecnologias e materiais, e que além de uma redução significativa de custos procure corresponder as demandas contemporâneas para moradias agregando soluções de qualidade e com conforto ambiental trazendo melhorias para a habitações de interesse social. Portanto para dar continuidade a este trabalho proposto por Silva (2011) será proposto um novo sistema estrutural baseado nos pórticos de estabilização e uma nova arquitetura que se adapte a este sistema. O modelo levará em consideração os preceitos da arquitetura bioclimática para a obtenção dos níveis de conforto térmico da edificação e apresentará características importantes como: racionalização de materiais, menor impacto ambiental, rapidez e facilidade de montagem e desmontagem, industrialização e baixo consumo de aço.

3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM PÓRTICOS E PERFIS TUBULARES

Na arquitetura os pórticos surgiram na Grécia antiga como uma cobertura à entrada de um edifício, templo ou castelos. Difundiu-se e influenciou diversas culturas como as ocidentais. Tornou-se não somente um elemento decorativo como também um elemento com propriedades e resistências significativas na construção e criação de dimensões monumentais com maiores vãos e alturas, como por exemplo, o panteão em Roma, um dos mais importantes monumentos da história da arquitetura e da cidade. (FIG 3.1)



FIGURA 3.1 – Panteão de Roma.

Fonte: CUNHA, 2012.

3.1 Pórticos

O termo pórtico vem do latim *porticus*. Os pórticos são estruturas planas lineares e coplanares formadas pela associação de barras retas articuladas entre si e não concorrentes com cargas ativas e reativas. São resultados da associação entre pilares e vigas de estruturas maciças ou ocas.

Os pórticos, juntamente com os elementos portantes secundários, formam o esqueleto resistente do sistema construtivo, no qual são fixados os elementos de cobertura e fechamento lateral. Decompondo-se o pórtico pelos nós, tem-se elementos retos – vigas e pilares. (FIG.3.2)

A união destes elementos normalmente é considerada pelos projetistas como ligações perfeitamente rígidas ou ligações perfeitamente articuladas. (SOARES; HANAI, 2001).

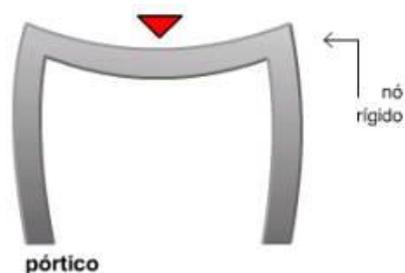


FIGURA 3.2 – Pórtico com carga concentrada aplicada gerando deformação.

Fonte: DEFINIÇÃO PÓRTICOS, 2006.

Os pórticos estão sujeitos a esforços de compressão, tração, flexão e cisalhamento. Os carregamentos e esforços aplicados no pórtico podem variar conforme a posição das barras e carregamentos. E na verificação de sua estabilidade é considerado para cada barra os seguintes esforços: Força Normal (N), Força Cortante (V) e Momento Fletor (M). Um pórtico estável possui todas as barras estáveis em relação aos três esforços.

Como exemplo de pórtico, pode ser citado o Museu de Arte Moderna de São Paulo o MASP (FIG. 3.3), onde dois pórticos estruturam um grande volume que se suspende para deixar o térreo livre. Com uma extensão total de 74 m entre os pilares, a obra em sua época constituiu o maior vão livre do mundo. Hoje o maior prédio em concreto protendido e estruturado por pórticos do mundo é o Centro Administrativo do Estado de Minas Gerais que possui um vão livre de 147 m de comprimento.



FIGURA 3.3 – Masp, Museu de arte Moderna de São Paulo.

Fonte: ARCHDAILY..., 2012.

É importante ressaltar que apesar de visualmente terem a mesma forma os pórticos se diferem das vigas biapoiadas, comportando-se de maneira diferentes. O elemento que diferencia um sistema do outro é o tipo de vínculo utilizado entre a viga e o pilar. O tipo de vínculo que une vigas e pilares nos pórticos é rígido, mantendo o ângulo entre a viga e o pilar em qualquer situação. Diferentemente acontece com o sistema de vigas biapoiadas onde os esforços de flexão produzidos pelas cargas verticais são absorvidos apenas por ela.

O pórtico em alguns casos tem aplicação no travamento de edifícios, para obter sua estabilidade, principalmente os mais elevados que sofrem com as cargas horizontais dos ventos. Enrijecidos ou associados com pórticos planos, são utilizados somente onde a conexão rígida de vigas e pilares não podem atribuir a rigidez necessária para a estabilidade da estrutura. Neste caso os pórticos enrijecidos por contraventamentos, que são barras diagonais que ligam um nó ao outro, impedem grandes deslocamentos horizontais. As diagonais funcionam no pórtico de maneira mais eficiente se forem construídas em aço, podendo estar sujeitas tanto a tração quanto a compressão.

Os contraventamentos normalmente são dispostos com uma ou duas diagonais, em forma ou tipos: X, K, V ou Y. (FIG. 3.4)

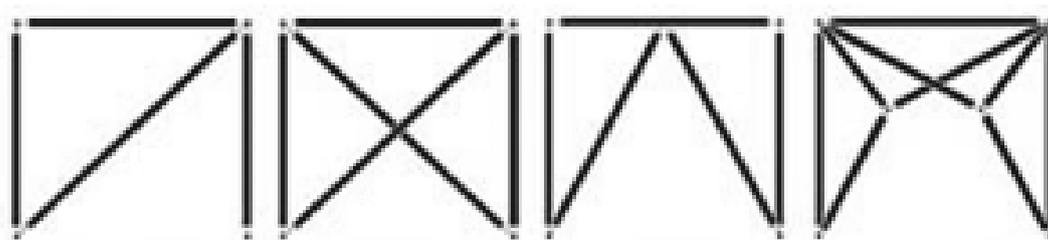


FIGURA 3.4 – Travamento com uma diagonal, em X, K e Y.

Fonte: DEFINIÇÃO PÓRTICOS, 2006.

O contraventamento aumenta a rigidez do pórtico não somente para resistir as cargas horizontais, mas também para resistir as cargas verticais que também podem provocar deslocamentos horizontais.

É importante entender que mesmo com contraventamento, sempre vão aparecer deslocamentos horizontais em um pórtico, pois as barras inclinadas também se

deformam axialmente. No entanto, como a deformação axial de uma barra usual de uma estrutura é muito menor do que as deformações transversais por flexão, os deslocamentos horizontais são muito menores quando se projeta uma estrutura com barras de contraventamento.

O Contraventamento é de grande importância na construção metálica onde os perfis são mais esbeltos, e em alguns casos em construções de madeira onde haja necessidade de travamento e segurança da estrutura. O contraventamento em estrutura metálica geralmente é feito por peças ou cabos de aço e na construção em madeira por peças em madeira e ou cabos de aço.

3.2 Tipos de Pórticos utilizados na construção metálica

Existem diversos tipos de pórticos podendo-se fazer uma divisão em duas categorias distintas:

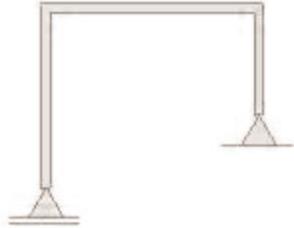
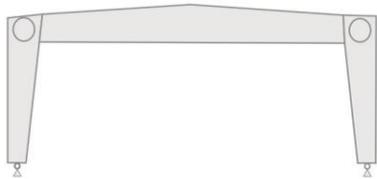
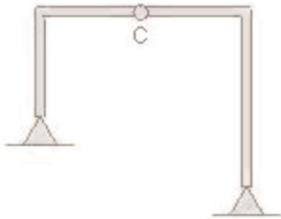
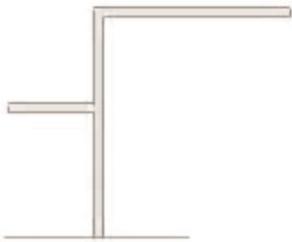
- Quanto a sua geometria: pórtico plano (bi-dimensional) e pórtico espacial (tri-dimensional).
- Quanto a sua estaticidade e estabilidade: pórtico hipostático, pórtico isostático e pórtico hiperestático

A estrutura do pórtico isostático é restringida e o número de incógnitas é igual ao número de equações de equilíbrio. A estrutura do pórtico hiperestático é restringida e o número de incógnitas é maior que o número de equações de equilíbrio. A estrutura do pórtico hipostático não é restringida ou o número de incógnitas é menor que o número de equações de equilíbrio.

Uma estrutura está restringida quando possui vínculos para restringir todos os movimentos possíveis da estrutura (translação e rotação) como um corpo rígido.

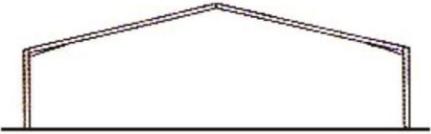
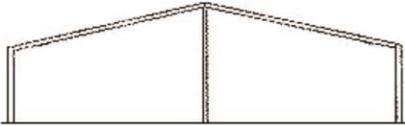
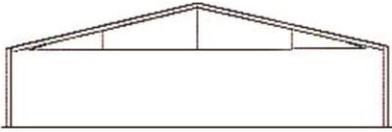
No quadro (3.1) apresenta-se as tipologias e as características dos pórticos que são usualmente utilizados na construção civil e em estruturas metálicas.

Quadro 3.1- Tipos de pórticos quanto á sua geometria. (continua)

<p>Pórtico bi-apoiado</p> 	<p>Este tipo de pórtico é sustentado por dois apoios, sendo um deles um apoio fixo e o outro um apoio móvel.</p>
<p>Pórtico bi-articulado</p> 	<p>Este tipo de pórtico é sustentado por dois apoios articulados fixos, e uma articulação em uma de suas barras onde o momento é nulo.</p>
<p>Pórtico tri-articulado</p> 	<p>Este tipo de pórtico é sustentado por dois apoios fixos e apresenta também uma articulação em uma de suas barras onde o momento é nulo (ponto C).</p>
<p>Pórtico engastado livre</p> 	<p>Este tipo de pórtico engastado e livre é um pórtico sustentado por único apoio</p>

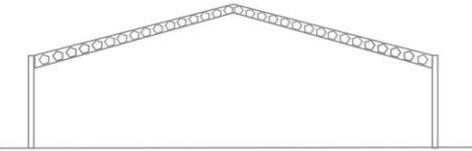
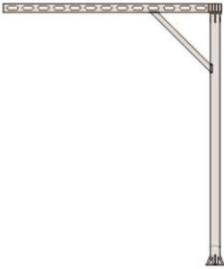
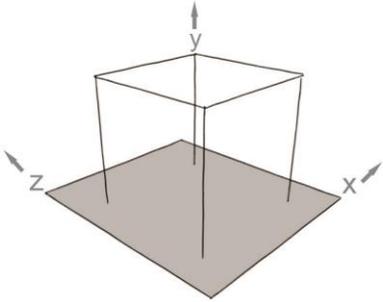
Fonte: GERDAU, 2005.

Quadro 3.1- Tipos de pórticos quanto á sua geometria. (continuação)

<p>Pórtico simples de alma cheia</p> 	<p>Este tipo de pórtico é uma estrutura simples e simétrica com cobertura inclinada com vão livre de até 45m e altura de até 12m, os pilares podem ser espaçados até 12m. Este pórtico é muito utilizado em galpões fabris.</p>
<p>Pórtico com escora central</p> 	<p>Este tipo de pórtico é utilizado para grandes vãos que ultrapassam de 30m e não possuem a necessidade de vão livre. O pórtico com escora central reduz o número de vigas, possibilitando uma solução mais econômica.</p>
<p>Pórtico com tirantes</p> 	<p>Este tipo de pórtico é indicado para coberturas que ultrapassam de 15° de inclinação. No pórtico são inseridos tirantes que reduzem os deslocamentos horizontais e os momentos nas colunas.</p>
<p>Pórtico com cobertura poligonal</p> 	<p>Este tipo de pórtico é indicado para grandes vãos onde a altura total da edificação deva ser reduzida e com a utilização de tirantes horizontais o pórtico pode-se tornar uma solução mais econômica.</p>

Fonte: GERDAU, 2005.

Quadro 3.1- Tipos de pórticos quanto á sua geometria. (conclusão)

<p>Pórtico com cobertura em arco</p> 	<p>Este tipo de pórtico com cobertura em arco é utilizado principalmente em função das necessidades arquitetônicas atribuídas ao projeto. Para grandes vãos é necessário que a ligação seja cuidadosamente detalhada e ou apoiada com enrijecedores.</p>
<p>Pórtico simples com viga castelada ou celular</p> 	<p>Este tipo de pórtico possui a mesma estrutura do pórtico simples, mas suas vigas em perfis laminados são inclinadas com furos castelados ou celulares e com a utilização destes perfis a altura do pórtico poderá aumentar em 50% sem aumentar a massa linear. Conseguindo-se vencer grandes vãos com até 60m.</p>
<p>Semi- pórtico</p> 	<p>Este tipo de pórtico compõe-se de uma coluna vertical de sustentação e uma viga suspensa em balanço. Geralmente é utilizado em guaritas, pontos de ônibus ou em espaços que necessitam a diminuição de pilares.</p>
<p>Pórtico espacial</p> 	<p>Este tipo de pórtico é uma estrutura tridimensional formada por pilares e vigas e é muito utilizado em edificações de múltiplos pavimentos.</p>

Fonte: GERDAU, 2005.

3.3 Perfis formados a frio.

Os perfis de aço fabricados a partir de dobramento de chapas de aço, denominados perfis formados a frio, são produzidos e dimensionados segundo fundamentos teóricos das normas NBR 14762 (ABNT, 2001) e NBR 6355 (ABNT, 2003).

O perfil de aço formado a frio é um elemento estrutural eficientemente utilizado na construção civil com diversos usos como em estruturas de casas populares, telhados, mezaninos e edifícios de pequeno porte, e suas dimensões podem ser adaptadas às necessidades do projeto. A maleabilidade das chapas finas de aço permite a criação de uma simples cantoneira (seção L) a até perfis como seção caixão que tem como características a boa rigidez à torção e menor área de estagnação de líquidos ou detritos reduzindo a probabilidade de corrosão e área de pintura.

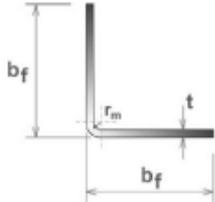
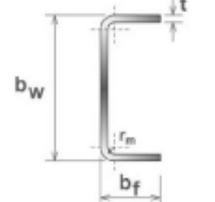
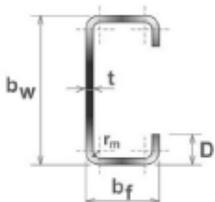
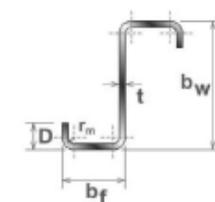
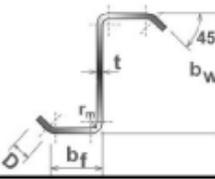
A construção pré-fabricada ou industrializada com perfis formados a frio tem o tempo de execução reduzido devido a leveza e facilidade de fabricação, manuseio e transporte, diminuindo custos de montagem e transporte, além de não necessitar maquinários pesados para içamento. (CBCA, 2008)

Existem dois processos de produção dos perfis formados a frio: o processo contínuo e descontínuo. O processo contínuo é adequado à produção em série e é utilizado por fabricantes especializados em perfis formados a frio. Neste processo de perfilação, os roletes da máquina perfiladeira conferem gradativamente à chapa a forma e o tamanho exato do perfil. No processo de fabricação descontínuo geralmente utilizado pelos fabricantes de estruturas metálicas é utilizada uma prensa dobradeira, onde a matriz da dobradeira é prensada com a chapa de aço formando uma dobra. Essa ação é feita várias vezes até obter a seção do perfil desejado ou especificado no projeto.

No processo de produção com chapas muito finas com a espessura entre 1,5mm a 5mm, os perfis recebem a denominação de perfis leves, o que exige cuidados especiais na sua aplicação, e são geralmente aplicados em obras de pequeno e médio porte ou como elementos estruturais secundários em coberturas. Passando dos 6mm aos 25mm os perfis são denominados pesados e são geralmente utilizados em obras de grande porte. A norma NBR 6355 (ABNT, 2003), padroniza uma série de perfis formados a frio, indicando suas características geométricas, pesos e tolerâncias de fabricação. Apresenta-

se na tabela 3.1 os tipos de perfis padronizados de 1,5mm a 4,75mm com forma e nomenclatura dos elementos.

Tabela 3.1. Tipos de perfis padronizados.

Série	Seção transversal	Designação
Cantoneira de abas iguais		L $b_f \times t$ Ex: L 50 x 3,00
U simples		U $b_w \times b_f \times t$ Ex: U 150 x 50 x 2,65
U enrijecido		Ue $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Ue 150 x 60 x 20 x 2,65
Z enrijecido a 90°		Z90 $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z90 200 x 75 x 20 x 2,25
Z enrijecido a 45°		Z45 $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z45 200 x 75 x 20 x 2,25

Fonte: CBCA,2008.

Existem também os perfis muito leves utilizados na produção dos perfis em aço galvanizado como do sistema construtivo em *Ligth Steel Framing* que possui a espessura de 0,8 a 1,5 mm e perfis de chapa dobrada e soldados, formando perfis com seções transversais diversas e ou tubulares. (FIG. 3.5)

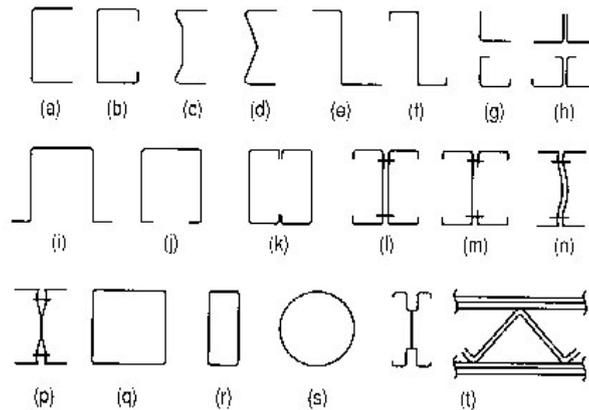


FIGURA 3.5 – Seções transversais de perfis de chapa dobrada e ou soldados.

Fonte: MAIOLA, 2004.

É importante ressaltar que o aço utilizado nos perfis formados a frio deve possuir qualificação estrutural e que possuir propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio e a que a chapa deve ser conformada com raio de dobramento adequado ao material e a sua espessura, a fim de evitar o aparecimento de fissuras.

3.4 Perfis tubulares

O constante desenvolvimento de novas tecnologias e as inúmeras vantagens atribuídas à construção metálica resultam em vantagens arquitetônicas e estruturais como vencer grandes vãos, esbelteza, leveza e economia.

Os países como Estados Unidos, Canadá, Austrália e países da Europa possuem significativa participação no consumo de aço e principalmente dos perfis tubulares em construções residenciais e de grande porte como pontes e passarelas que precisam vencer grandes vãos e ou reduzir o peso estrutural. Além da redução de material o perfil tubular em aço expressa uma leveza arquitetônica que é um marco nos projetos contemporâneos de renomados arquitetos. Porém no mercado Nacional brasileiro o uso do perfil tubular é recente e seu crescimento está sendo estimulado pela grande oferta e o surgimento de novos fabricantes.

No mercado existem seis tipos de seções de perfis tubulares (FIG. 3.6) e os mais utilizados na construção civil são os de seção transversal circular e o de seção transversal retangular. A eficiência estrutural desses perfis está relacionada à geometria de sua seção transversal que possui a capacidade de resistir a altas solicitações de esforços axiais, torção e efeitos combinados.

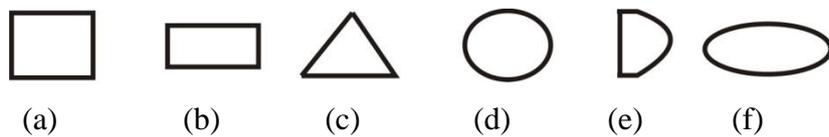


FIGURA 3.6 – Perfis tubulares: (a) quadrada, (b) retangular, (c) triangular, (d) circular, (e) semi-oval, (f) circular.

Fonte: LAMBERT, 2014.

Os tubos de aço utilizados na fabricação dos perfis podem ser classificados de acordo com o seu processo de fabricação em tubos com costura que são produzidos a partir de chapas dobradas e soldadas no encontro de suas extremidades e em tubos sem costura produzidos por laminação a quente a partir de um bloco maciço de aço que é laminado e perfurado por um mandril até obter a sua dimensão final. No entanto as diferenças no processo de fabricação fazem com que a distribuição de tensão residual seja diferente nos tubos com e sem costura. Sendo uniformemente nos tubos sem costura e apresentando nível de tensões residuais diferentes na região da solda em relação às demais regiões da seção transversal do tubo com costura.

O uso de perfis de seções tubulares na construção de estruturas metálicas possui muitas vantagens tais como alta resistência à compressão e à flambagem além da rigidez à torção entre outras, sendo utilizado no Brasil na execução de diversas estruturas. (MENDES, 2008).

Pode-se destacar as seguintes vantagens dos perfis tubulares em aço na construção civil:

- a) Alto desempenho estrutural, apresentando grande resistência a cargas axiais, flexão, torção e efeitos combinados;
- b) Sua forma geométrica proporciona aspecto visual atrativo em leveza, arrojo e modernidade;
- c) Proporciona soluções leves e econômicas, face à sua elevada resistência e baixo peso próprio;
- d) Proporciona maiores vãos livres com significativa redução no número de pilares;
- e) Facilidade e rapidez de montagem, com alta precisão e qualidade;
- f) Possibilidades de uso em estruturas mistas e no caso de colunas preenchidas com concreto aumentar sua resistência mecânica e ao fogo;
- g) Menor área de superfície se comparada a seções abertas, facilitando e diminuindo custos com pinturas e proteção contra fogo;
- h) Pode ser utilizado para serviços como: passagem de fiações elétricas e hidráulicas em seu interior;
- i) Facilidade manuseio e transporte.

Os perfis tubulares são atendidos segundo a norma NBR 8261 (ABNT, 1983) e os perfis de chapa dobrada a frio são atendidos segundo as normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 6355 (ABNT, 2003). Os projetos em estrutura de aço são regidas pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

3.5 Zincagem por imersão a quente para proteção contra corrosão

Pesquisas recentes mostram que a corrosão é responsável pelo maior consumo de ferro e aço gerando a necessidade de manutenções ao longo do tempo e o aumento de custos. Cerca de 20% da produção mundial é destruída anualmente pela corrosão, e um estudo da empresa norte americana CC Technologies, avaliou que de 1% a 5% do PIB dos

países são consumidos pela corrosão. No Brasil, acredita-se que esse dado seja de 3,5% do PIB, o que representa cerca de US\$ 50 bilhões. Com a utilização de técnicas de proteção contra a corrosão, poderiam ser economizados cerca de US\$10 bilhões. Não se pode mais esperar que a corrosão apareça para depois providenciar uma solução e sim enfrentá-la como um fato possível de acontecer e portanto evita - lá ainda na elaboração do projeto. (SILVA; FALDINI, 2014)

Entre os processos de proteção existentes no mercado, um dos mais antigos e de custo reduzido, utilizada em escala industrial desde 1840, é a Zincagem por imersão a quente ou como conhecida no mercado como galvanização a fogo. Esse processo tem como objetivo principal o revestimento do ferro e aço com zinco, protegendo-os do ataque do meio corrosivo. Como o zinco é mais anódico do que o elemento ferro na série galvânica, ele que se corrói originando a proteção catódica, ou seja o zinco se sacrifica para protege o ferro.

A zincagem consiste na imersão da peça de ferro ou aço pré tratado ou desengraxado com jatos abrasivo no zinco (Zn) fundido, a uma temperatura de 445 a 460°C, formando um revestimento de proteção que consiste em uma camada externa praticamente só de zinco e outras camadas internas intermetálicas de liga Fe-Zn resistentes a corrosão e resultantes das reações entre o ferro e o zinco no processo por galvanização a fogo (Fig.3.7). A camada pura de Zn depende de alguns fatores como tempo de imersão, velocidade de imersão, estado superficial do metal base.

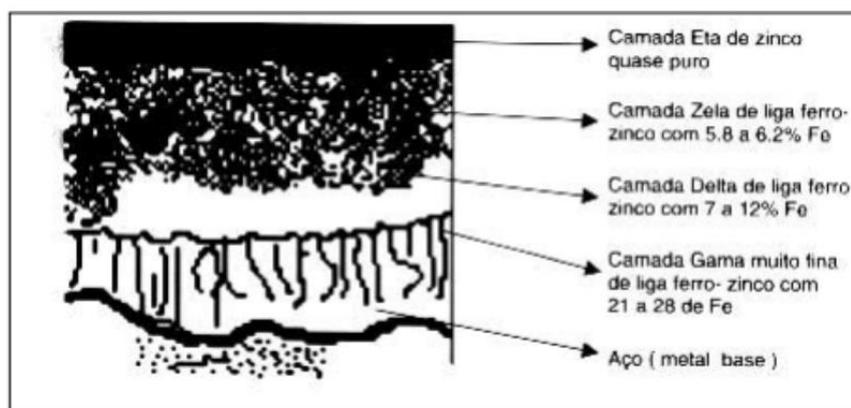


FIGURA 3.7 – Micrografia - Camadas intermetálicas - Processo de galvanização a fogo.

Fonte: SILVA; FALDINI, 2014.

O uso de um jato abrasivo na limpeza da peça a ser zincada atua na tentativa de melhorar o aspecto final de uma peça soldada e também na melhoria da aderência do revestimento e a uma maior espessura do zinco. A eficiência e o sucesso de uma zincagem também envolvem o projeto das peças a serem zincadas, ou seja todas as modificações como perfurações, chanfros entre outros, devem ser feitas antes da imersão para um melhor escoamento do zinco e não formação de áreas não protegidas.

O zinco utilizado geralmente é de 98% de pureza, contendo pouco mais de 1% de chumbo e pequenos teores de outros metais como cádmio, ferro, estanho e cobre. O alumínio às vezes é adicionado em pequenas quantidades (cerca de 0.005%) para aumentar o brilho e deixar o revestimento mais liso, portanto a tonalidade do brilho da peça não tem qualquer efeito sobre a eficácia do revestimento. No Brasil o tamanho máximo da peça a ser zincada é de 18 m de comprimento pois depende do tamanho da cuba de zincagem existente no mercado nacional.

3.6 Tipos de ligações utilizadas na construção metálica

As ligações são utilizadas para ligar ou unir várias peças de uma estrutura para trabalharem como um todo, devendo-se ser utilizadas de forma a transmitir as cargas atuantes às peças e restringir as deformações na estrutura a limites admissíveis. As ligações podem ser parafusadas, soldadas, por rebites ou pino. As ligações soldadas podem ser executadas em campo ou na fábrica o que permite maior controle da ligação, testes e melhor continuidade das peças. As ligações parafusadas, rebites ou pinos também podem ser montadas em campo ou pré-montadas na fábrica permitindo maior precisão e no caso da ligação parafusada melhor controle de torque dos parafusos.

As ligações se compõe dos elementos de ligação e dos meios de ligação. Os elementos de ligação são todos os componentes que permitem ou transmitem os esforços, e são eles: enrijecedores, placa de base, cantoneiras, chapas de *gusset*, talas de alma de mesa e parte de peças ligadas envolvidas localmente na ligação e os meios de ligação são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação são eles: soldas, parafusos, rebites e barras roscadas como chumbadores. Para fazer o cálculo de uma ligação, tem que se fazer uma verificação de todas as partes que compõe os elementos e os meios de ligação de acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) e

dimensioná-la de forma que suas resistências de cálculo correspondentes aos estados limites em consideração, sejam maiores que as solicitações de cálculo. (CBCA, 2008)

As ligações são classificadas segundo sua rigidez podendo ser rígida, flexível ou semi-rígida, (FIG. 3.8), segundo os meios de ligação, aos esforços solicitantes e ao meio onde foi executada em fábrica ou em campo. Também podem ser nomeadas em ligações permanentes ou desmontáveis. As ligações permanentes são executadas com rebite e soldas já as desmontáveis com parafusos e pinos que podem estar ou não associados a elementos de ligação como chapas, enrijecedores, cantoneiras, consolos, etc.

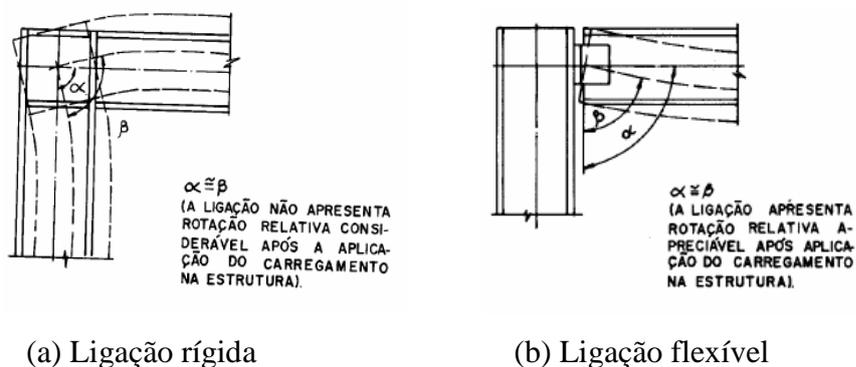


FIGURA 3.8 – Ligações Rígida e Flexível.

Fonte: CBCA, 2008.

Na ligação semi-rígida a rotação está entre 20 a 90 por cento daquela teoricamente necessária para evitar qualquer rotação. Então o momento transmitido pela conexão não é nem zero nem próximo de zero como no caso de conexões rígidas.

É possível usar solda e parafusos em uma mesma ligação, mas nunca com a mesma função. Os parafusos funcionam mesmo com folga e são ligações muitas vezes escolhidas pelo diferencial que é a facilidade em poderem ser montadas e desmontadas. Já as soldas não possuem essa versatilidade e não permitem qualquer movimento, no entanto facilitam a execução de uniões com geometrias complicadas. O cuidado com este tipo de ligação tem que ser especial para o não acarretamento de problemas insolúveis como: falta de prumos, falta de alinhamento e falta de garantia na qualidade da própria solda.

As ligações mais utilizadas na construção civil em aço são as soldadas e parafusadas, pois os rebites estão em desuso e os pinos são restritos a casos especiais (METÁLICA, 2014). No mercado existem diversos tipos de parafusos e soldas conforme apresentado no quadro 3.2.

Quadro 3.2- Tipos de parafusos e soldas.

PARAFUSOS	CARACTERÍSTICAS / FUNÇÃO
Comuns ou pretos	São utilizados em estruturas leves e peças de menor importância estrutural.
Parafusos usinados ou de tolerância fina	Apresentam custo elevado e são empregados em estruturas sujeitas a cargas dinâmicas, como vigas de rolamento e pontes ferroviárias.
De alta resistência	São utilizados em ligações que transmitem cargas estáticas e dinâmicas. Resistem aos esforços de cisalhamento transmitidos por atrito.
SOLDAS	CARACTERÍSTICAS / FUNÇÃO
Por resistência	Destinada a operações realizadas em fábrica.
Arco elétrico	É mais utilizada em campo por permitir grande versatilidade de posições de soldagem: plana, horizontal, vertical e sobre cabeça.

4. PROPOSTA DE MODELO DE EDIFICAÇÃO UTILIZANDO PÓRTICOS.

O projeto arquitetônico e estrutural baseou-se na proposta do *Sistema de Coberturas Com Pórticos de Estabilização Bidirecionais em Perfis Metálicos de Seção Circular com Costura Para Construção Residencial Industrializada*, apresentada na dissertação de mestrado pela arquiteta Cristina Evangelista Silva no âmbito do programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. A nova proposta arquitetônica e estrutural foi pensada em módulos que começam a partir de 9m² que se reflete um após o outro, para esquerda, direita, para frente e para trás, simplificando e potencializando o sistema construtivo em pórticos aplicados à construção industrializada. A proposta tem foco nos anseios de uma arquitetura simples, familiar e que pode ser adaptada a qualquer tipo de uso, tais como casas, lojas, fábricas, escolas, lazer, etc...

O módulo arquitetônico possui estrutura metálica, forma, *layout* e materiais de acabamento que atribuem valores ao sistema como rapidez na execução, economia e maior eficiência térmica. O baixo custo de materiais de construção, mão de obra e também redução do tempo de construção, permite o crescimento da construção com investimentos graduais ao longo do tempo contribuindo para um desenvolvimento social e mais sustentável.

A proposta da pesquisa pretende embasar na criação de uma nova arquitetura de construções industrializadas de interesse social que possam ser "expansíveis" baseada primitivamente e estruturalmente nos princípio da estática que diz que " para que um corpo rígido fique estável (em equilíbrio), deve-se ter no mínimo três forças reativas não concorrentes e não simultaneamente paralelas"(ARAÚJO, 2012). Propõe-se pórticos de estabilização modulares de aço em perfis tubulares que possuem as inúmeras vantagens atribuídas à construção metálica, como esbelteza, leveza e economia. Estes pórticos tri-planares e rígidos e executados com perfis formados a frio com chapa fina de aço A36-250 Mpa (ASTM - A36) com proteção de zincagem por imersão a quente (galvanização a fogo), de seção tubular (caixão) quadrada, engastadas entre barras e chumbadas na fundação de concreto. Como dito, o número mínimo de pórticos de estabilização para que ocorra o equilíbrio tri-dimensional são três, que devem ser posicionados não simultaneamente paralelos e não convergentes.

O módulo básico primitivo arquitetonicamente foi definido como sendo de 3mx3m, por ser grandezas fáceis de se multiplicarem sem perdas de materiais, podendo ser expansíveis sem limites horizontalmente, (FIG 4.1).

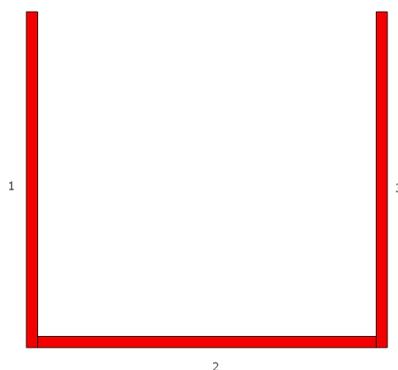


FIGURA 4.1 – Figura esquemática – Planta pórticos de estabilização.

Os pórticos contraventados nas laterais que seriam uma das opções de projeto são mais eficientes estruturalmente em termo de resistência, rigidez e também pela facilidade de cálculo e execução. No entanto, estes pórticos apresentam uma grande desvantagem que é a de bloquear as aberturas normais de uma edificação, por isto optou-se pela utilização de pórticos rígidos e contraventados no topo, que para construções de pequeno porte atenderão bem as necessidades de resistência, rigidez e impedimento de deslocamentos horizontais e ao atendimento do desbloqueio de aberturas arquitetônicas como vão de janelas e portas, (FIG 4.2).

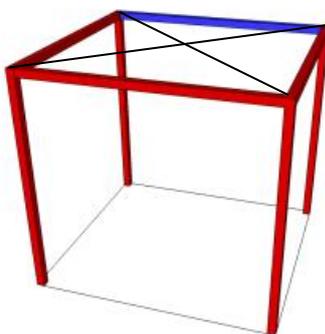


FIGURA 4.2 – Perspectiva – Pórticos modelo básico.

Assim, propõe-se uma arquitetura em aço que atenda aos insumos da industrialização, para viabilizar arquitetonicamente moradias populares num processo industrializado, onde o interessado a adquirir um módulo construtivo básico para uma edificação possa com o tempo ampliá-la, rebatendo a construção pelas laterais, frente e fundos, (FIG. 4.3).

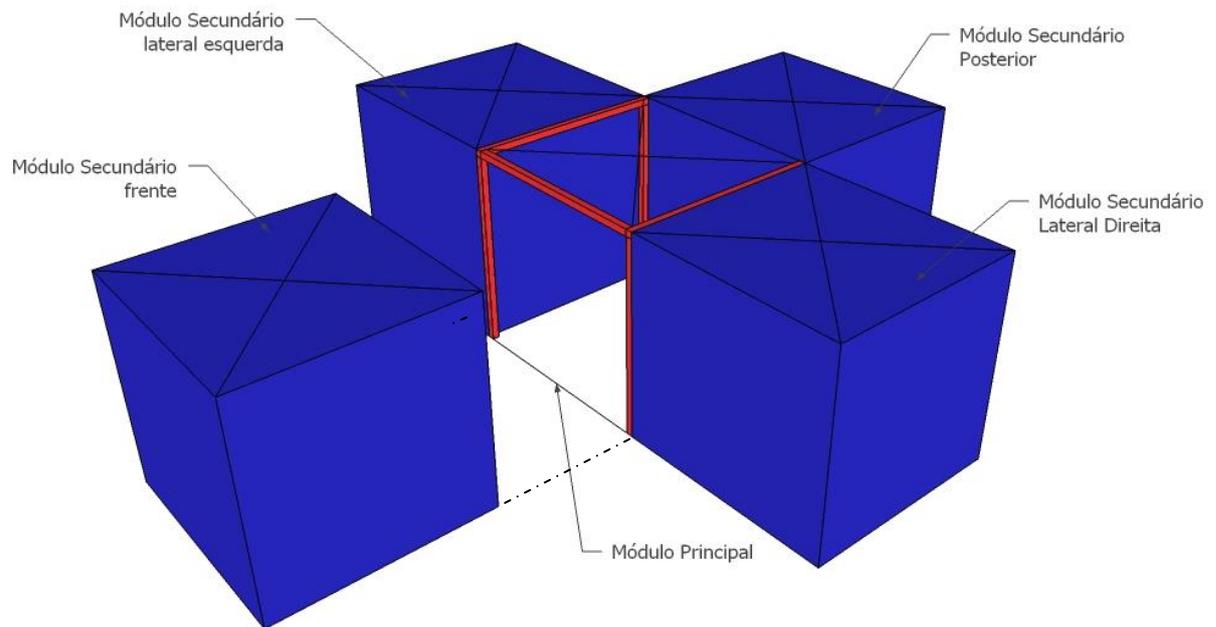


FIGURA 4.3 – Perspectiva dos pórticos – Módulo básico expansões horizontais.

Para unir as peças da estrutura para que trabalhem como um todo, foram projetadas ligações em chapas metálicas, as mesmas utilizadas nos perfis da estrutura que serão parafusadas unindo os elementos dos pórticos e o mesmo à base. Este tipo de ligação foi priorizada pela facilidade de mão de obra não especializada e não depender das condições climáticas desfavoráveis como a chuva para montagem.

Para melhor entendimento das etapas de trabalho, apresenta-se na figura (4.4) um diagrama das etapas de desenvolvimento da proposta de pórticos em estrutura metálica aplicados à construção industrializada de interesse social.

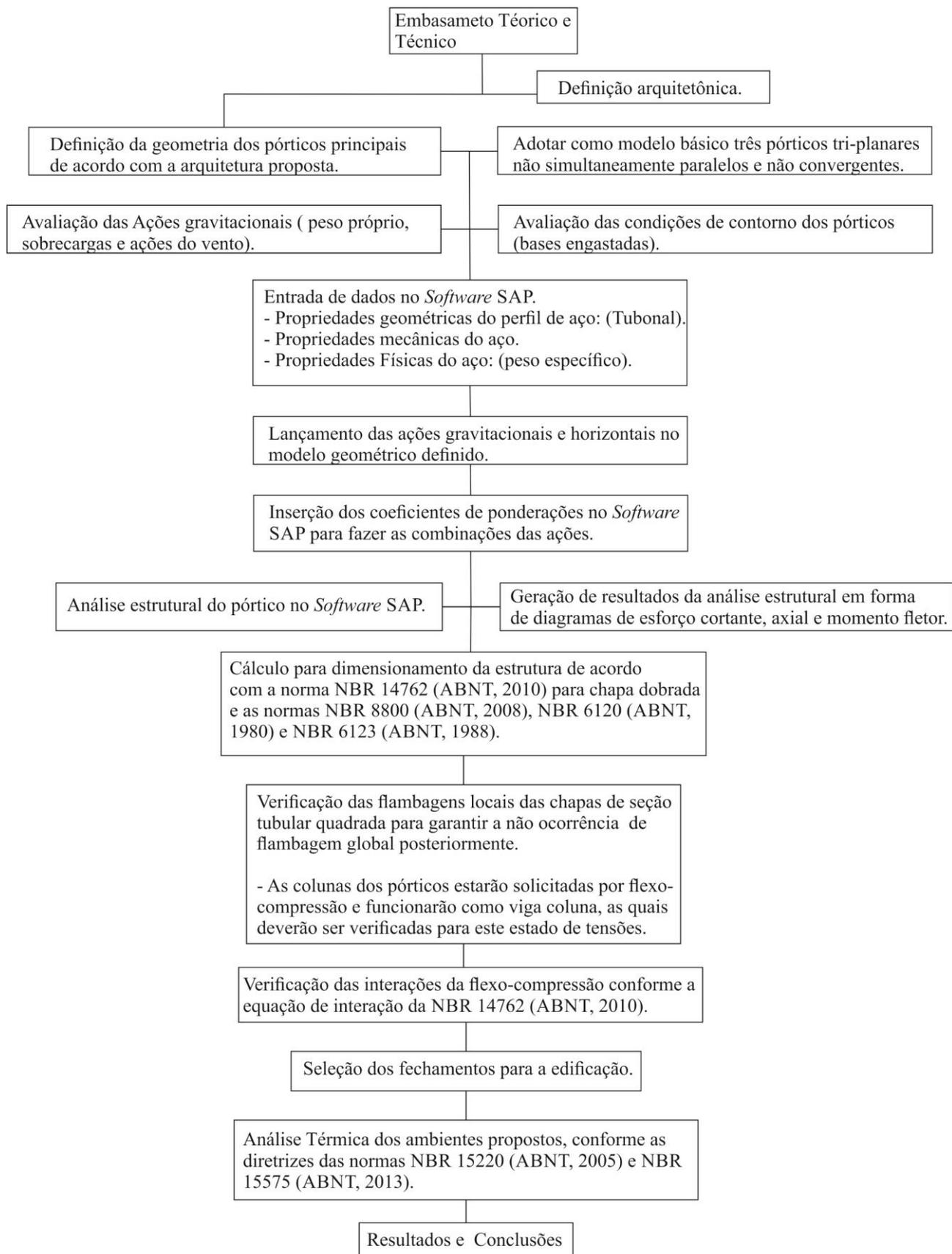


FIGURA 4.4 – Diagrama com etapas de trabalho realizadas.

4.1 O modelo arquitetônico e estrutural

Como objeto de estudo, foi desenvolvido uma tipologia de HIS, para residências unifamiliares com a criação de um modelo arquitetônico principal que se baseou na medida mínima de uma casa popular com metragem total de 34m² e como dito anteriormente o *layout* pode ser ampliado em conjunto ao módulo estrutural. O modelo é composto por 4 módulos básicos estruturais e *layout* com 1 quarto, 1 banheiro, 1 cozinha e 1 sala que atendem às normas de acessibilidade à edificações da norma NBR 9050 (ABNT, 2008) e ao programa PMCMV que estipula uma metragem mínima de área útil de 32m² (não computada área de serviço) como quesito para o financiamento de uma habitação de interesse social. A medida da edificação na longitudinal é de 5,89m e na transversal de 5,89m, totalizando uma área total construída de 34,69m², área útil de 32,05m² e a uma área de cobertura de 50,21 m². (FIG. 4.5 e 4.6)

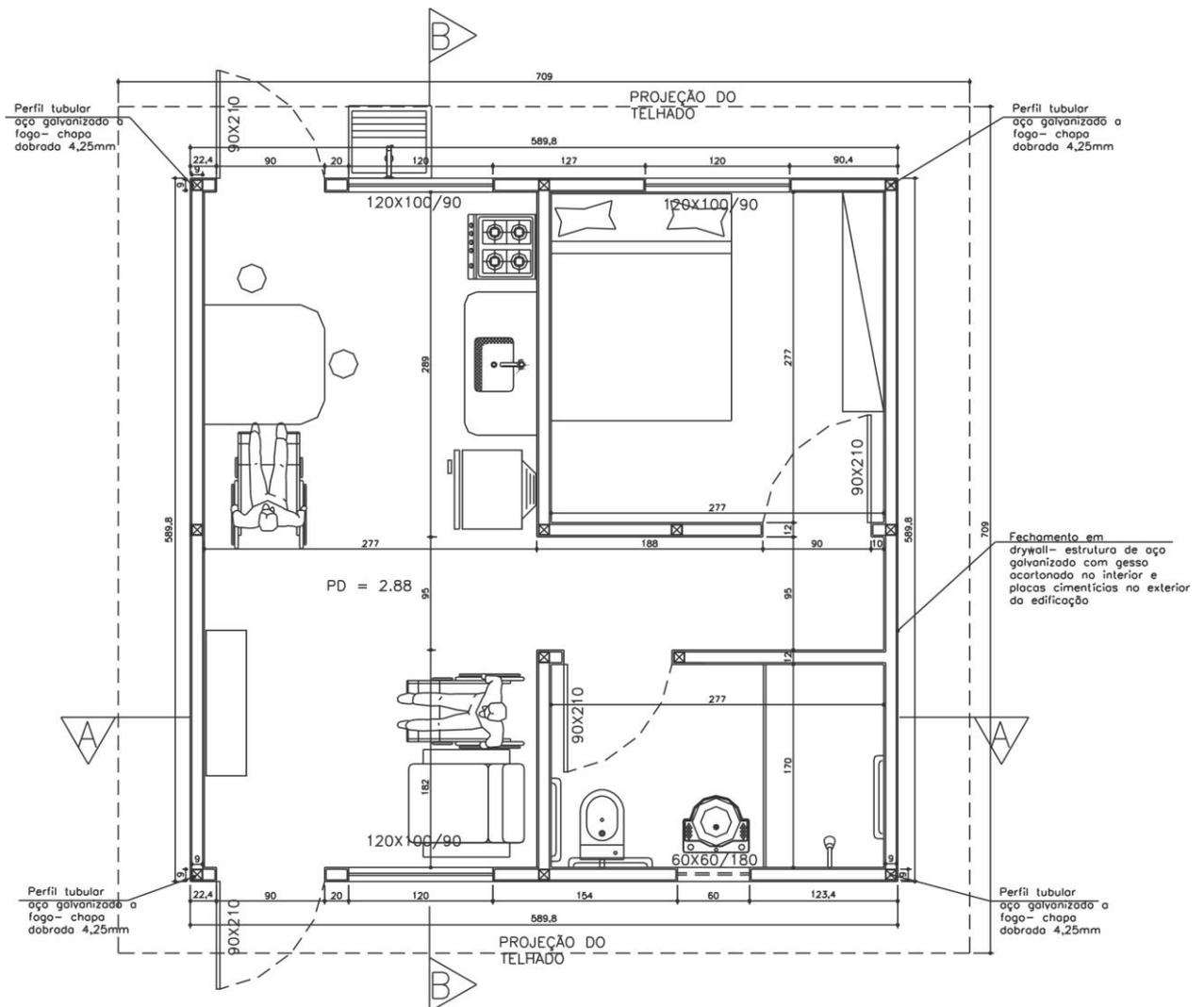


FIGURA 4.5 – Planta – Modelo arquitetônico básico - HIS.

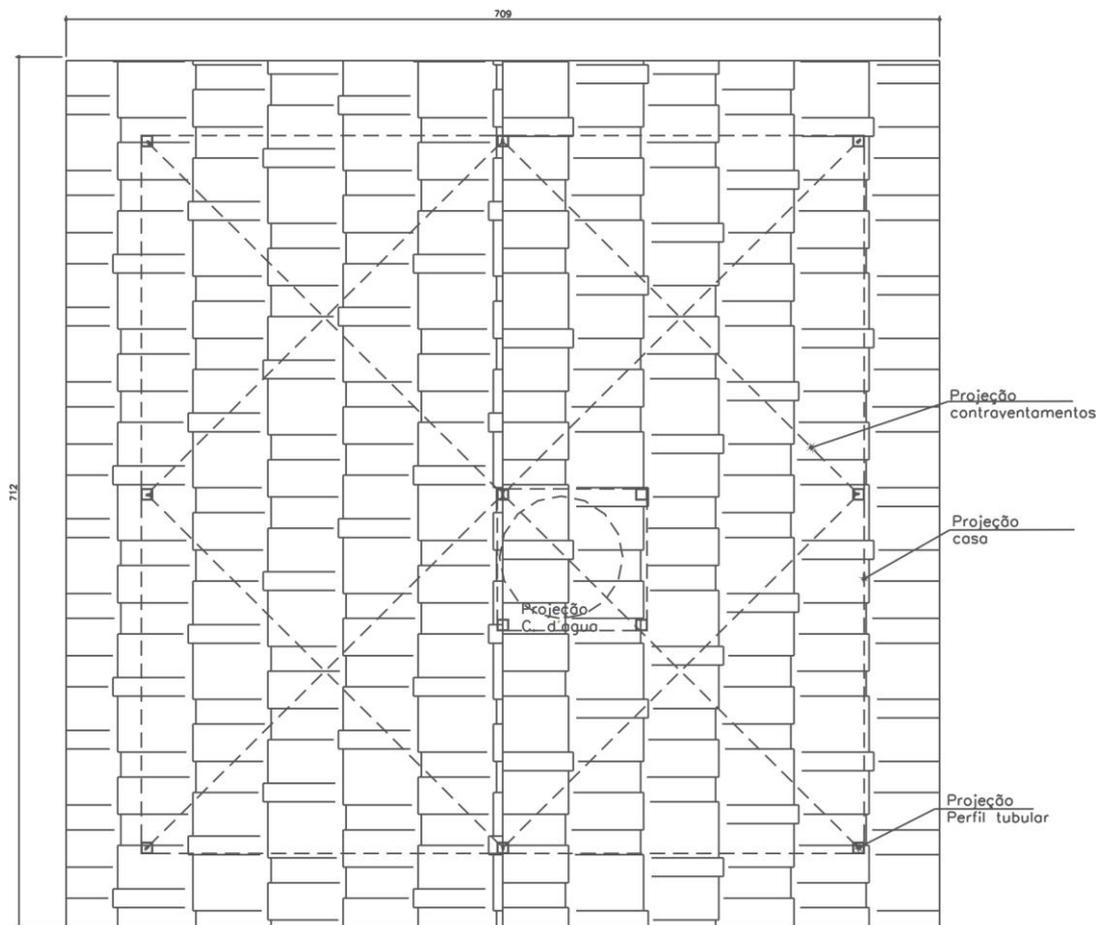


FIGURA 4.6 – Planta de cobertura – Modelo arquitetônico básico.

Os dados gerais da residência proposta encontram-se na tabela (4.1).

Tabela 4.1 - Dados gerais do modelo proposto.

Tipologia	Área total construída	Observação
Residencial (popular)	34,69m ²	Possui 1 pavimento
Ambientes	Área	Observação
Quarto casal	7,98m ²	
Banheiro	5,04m ²	
Sala e cozinha integrados	16,08m ²	8,04m ² cada ambiente
Circulação	2,95m ²	
Cobertura	42,25m ²	
Área útil total = 32, 05m ²		

Apresenta-se um modelo experimental inovador na tentativa de solucionar os insumos da construção residencial popular com um processo construtivo extremamente versátil e

econômico por ser de fácil montagem e expansível, gerar menor impacto ambiental e volume de resíduos no canteiro de obra o que é primordial nos conceitos da arquitetura sustentável.

O projeto estrutural proposto possui uma modulação simples utilizando-se de perfis metálicos de seção tubular quadrada ou caixão (ASTM - A36) galvanizados a fogo de 279,6mm de comprimento e 4,25mm de espessura, por ligações metálicas e travamentos construídos também em aço, que são os principais elementos estruturais do módulo estrutural, proporcionando estabilidade e maior resistência a ações horizontais como ventos fortes.

A implantação e a posição da edificação em um lote poderá ser definida segundo o cliente e a flexibilidade de ampliações. A edificação proposta para o modelo arquitetônico básico permite ser geminada por meio das duas fachadas laterais que não possuem aberturas, esse tipo de implantação privilegia os empreendimentos HIS ou de urbanização específica que segundo a LEI 6766 (CASA CIVIL, 1979), pode-se diminuir a área do lote neste tipo de empreendimento, e ainda sim o usuário terá seu espaço de lazer externo no fundo da edificação e provavelmente na frente, de acordo com as leis de afastamentos locais.

A casa terá portas com largura mínima de 0,9m e aberturas de janelas ou portas em pelo menos duas das fachadas para favorecer a ventilação cruzada uma melhor circulação do ar. O telhado tem de 26 a 30% de inclinação dependendo do tipo da telha. A altura do peitoril será de 0,9m para melhor iluminação e ventilação natural, e maior comodidade de pessoas idosas ou portadoras de necessidades especiais que ficam maior parte do tempo sentadas. O pé direito é de 2,88m para melhor iluminação e ventilação.

Ao projeto serão atribuídas estratégias bioclimáticas como a utilização da iluminação natural predominante nos ambientes no período do dia sendo utilizado energia elétrica somente quando não houver mais luz natural e ventilação natural cruzada para renovação do ar nos meses quentes de verão. Utiliza-se beirais como elemento de sombreamento e proteção a intempéries. As paredes serão pintadas na cor branca que possui valor menor de absorção à radiação e aos acabamentos elementos com baixa condutividade térmica. Segundo o PROCEL (2006) a energia consumida nas

edificações pode ser economizada em 30% podendo chegar a 50%, se as medidas de racionalização do uso da energia forem adotadas em fase de projeto.

Para melhor entendimento do projeto arquitetônico e estrutural apresenta-se no APÊNDICE (A) esquema de plantas, cortes, fachadas e perspectivas em três dimensões (3D) do modelo residencial.

Como mencionado anteriormente, este novo sistema construtivo oferece possibilidades de ampliação e criação de novos ambientes na casa como novos quartos e garagem com a aquisição de "kits" de módulos de pórticos e acabamentos.

Apresenta-se na figura (4.7) a ampliação da casa modelo básico com a inserção de 2 módulos na lateral direita da casa. No *layout* os novos ambientes são dois quartos, passando a medida da casa de 34,69m² para 51,63 m².

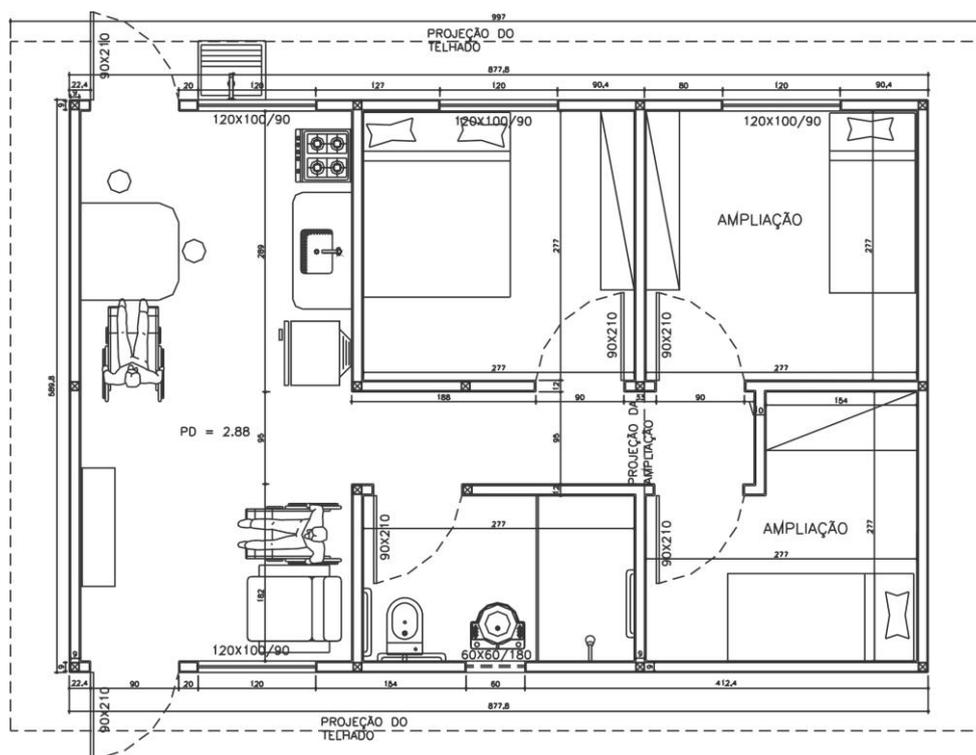


FIGURA 4.7 – Planta modelo básico com ampliação na lateral direita.

Com a inserção de mais dois módulos na lateral esquerda da casa, ampliou-se a sala e a cozinha (APÊNDICE A), passando a medida da casa de 51,63 m² para 68,62m², uma

medida que atende a uma família de um casal com três filhos e com a vantagem da acessibilidade caso seja necessário em qualquer etapa da vida dos moradores, pois as medidas internas de circulação, portas, pias e acessórios obedecem os requisitos de acessibilidade da norma NBR 9050 (ABNT, 2008), (FIG. 4.8)

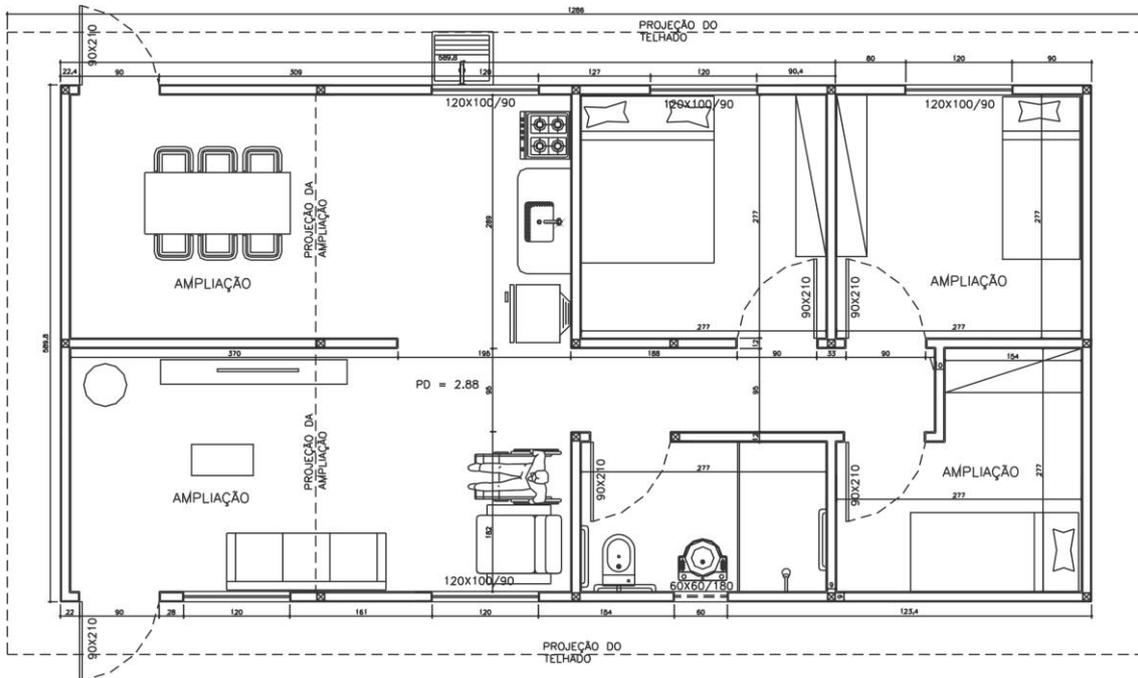


FIGURA 4.8 – Planta com ampliação na lateral direita e esquerda.

Apresenta-se um modelo de planta comercial utilizando-se 10 módulos de pórticos. (FIG.4.9). A planta totaliza uma área total de 85,60m² com *layout* que pode ser indicado para diversos usos como clinica médica, posto de saúde, escolas, etc. A escolha do telhado fica a critério do cliente pois poderá ser construído aparente com telhas cerâmicas ou embutido com platibanda e telhas onduline.

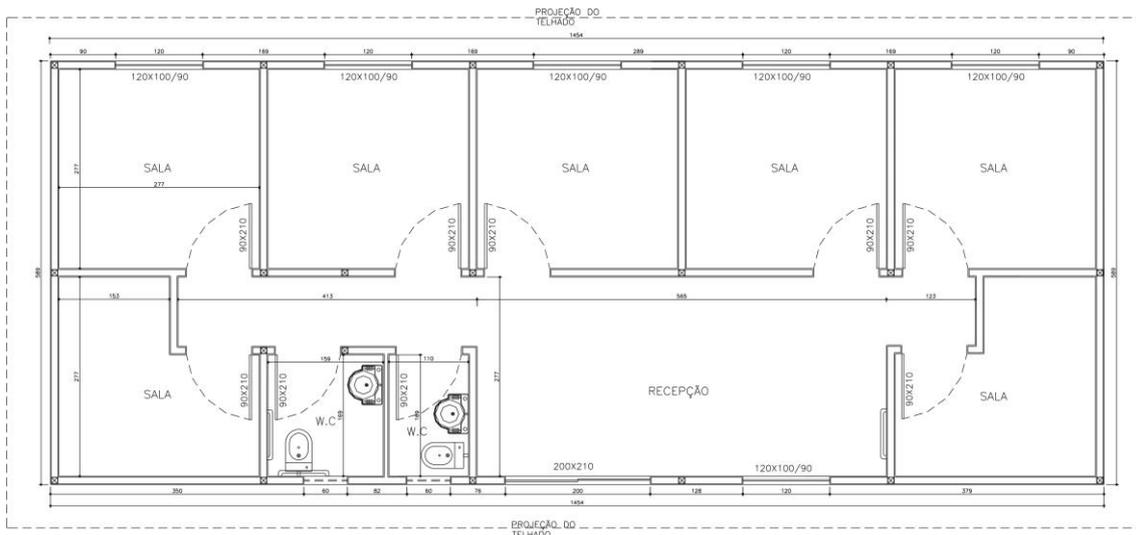


FIGURA 4.9 – Planta modelo comercial.

4.2 Especificação dos elementos estruturais e arquitetônicos.

4.2.1 Elementos estruturais

Os pórticos são os principais elementos estruturais e são compostos por perfis de chapa de aço com costura, tubulares, de seção quadrada ou "caixão" e ligações em chapa de aço fixadas na estrutura com parafusos auto-atarrachantes. Estudos preliminares, pensando na facilidade de montagem, desmontagem, transporte e economia do sistema de pórticos foram primordiais para a concepção do projeto estrutural. Os pilares e vigas são interligados entre si por ligações parafusadas de topo e de base que são fixadas na laje da fundação. Contraventamentos no topo dos pórticos foram acrescentados para maior estabilidade e combater possíveis deslocamentos horizontais. (FIG.4.10 e 4.11)

O detalhamento de ligações de estruturas metálicas é um dos fatores que contribuem para que esse sistema construtivo ainda não tenha superado a construção convencional devido a sua complexidade, pois devem ser projetadas e executadas de forma cautelosa, já que as ligações contribuem significativamente na resistência, funcionalidade e estética da estrutura, podendo até inviabilizar o projeto (SILVA, 2011). As ligações apresentadas neste trabalho não foram submetidas a cálculos e detalhamentos cautelosos, foram apenas pensadas de forma a não interferirem nas questões estéticas, estruturais e construtivas como na facilidade de montagem e desmontagem.

FIGURA 4.10 – Desenho esquemático dos pórticos contraventados.

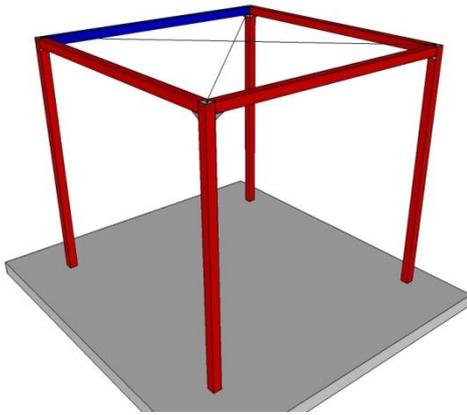
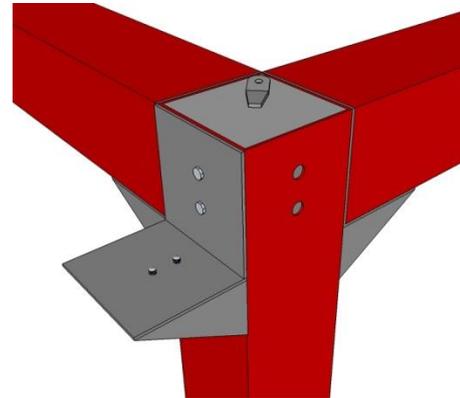


FIGURA 4.11 – Desenho esquemático da ligação de topo.



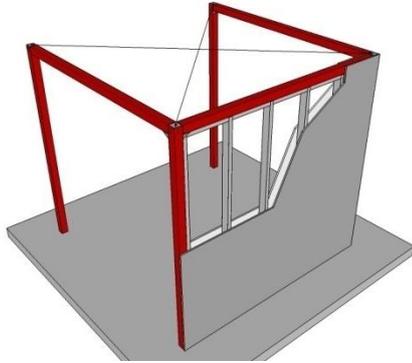
No desenvolvimento do projeto estrutural, os pilares, as vigas e as ligações foram pensados em perfis de chapa dobrada com costura da tubonal de 10x10x3mm e de 10x10x4,25mm de espessura com proteção de zincagem com imersão a quente, mas após serem feitos os cálculos e as verificações para o dimensionamento estrutural e a compatibilidade com os perfis de aço galvanizado para o fechamento das paredes de Drywall existentes no mercado, o perfil ideal para funcionar como viga coluna seria o de 9x9x4,5mm de espessura. (FIG. 4.12)

Cada ligação de topo é composta por 5 peças em chapa de aço A36-250 Mpa (ASTM - A36) com proteção de zincagem por imersão a quente de 4,25mm de espessura. As peças conectam entre si nos pilares e vigas já fornecidos com furos para receber os parafusos auto-atarrachantes. Todo o sistema dos pórticos pode ser montado e desmontado como também serem adquiridos à medida que sejam necessários em expansões ou reformas.

A ligação de base é composta por apenas 1 peça que liga o pilar à fundação tipo *radier*, onde será parafusada por dois chumbadores dando maior estabilidade e rigidez a estrutura. As peças de ligação também serão fornecidas com os furos para os parafusos facilitando a montagem em campo, eliminando erros e ao comprometimento da estrutura. (FIG. 4.13)

FIGURA 4.12 – Desenho esquemático dos módulos com fechamento em Drywall.

(a) 01 módulo



(b) 02 módulos

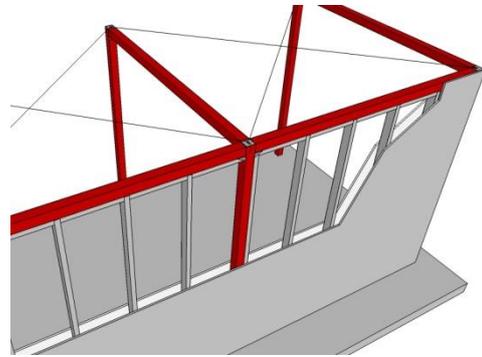
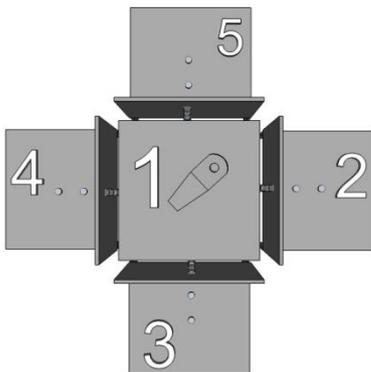
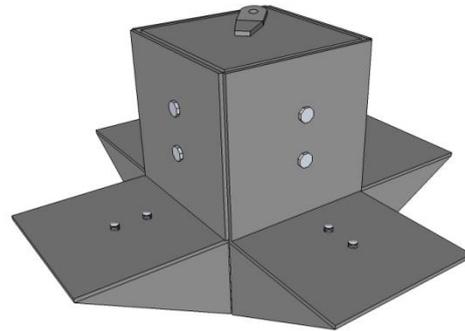


FIGURA 4.13 – Desenho esquemático - ligação de topo.

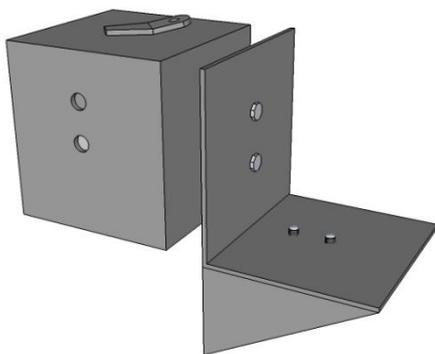
(a) vista superior



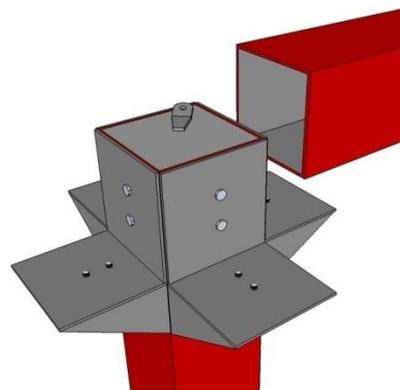
(b) Perspectiva



(c) vista superior



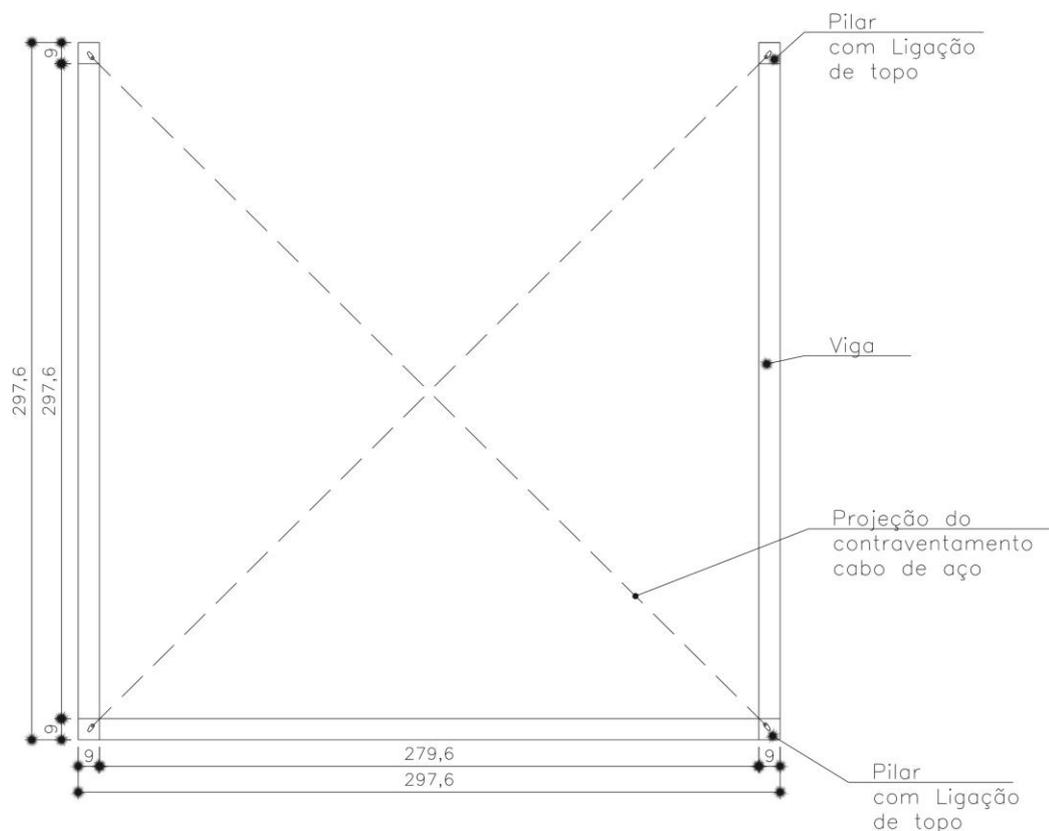
(d) Perspectiva



No projeto da casa modelo básico serão necessários quatro módulos estruturais de pórticos e para a construção de um módulo de pórticos serão necessários 3 vigas, 4 pilares e peças de conexões ou ligações metálicas produzidos com perfis tubulares de chapa de aço carbono A36-250 Mpa (ASTM - A36), formado a frio de 4,25mm de espessura, soldados por resistência elétrica a alta frequência (ERW), e peso de 11,44 kg/m (TUBONAL, 2013) e para a proteção contra corrosão os perfis de aço e as ligações passarão por um processo de zincagem por imersão a quente.

As peças que compõe o módulo estrutural foram nomeadas em peça fixa de topo, peça expansível de topo, peça fixa de base, pilar e viga. Nas figuras (4.14) a (4.17) apresenta-se detalhamentos das peças que compõe o sistema construtivo.

FIGURA 4.14 – Planta do módulo estrutural.



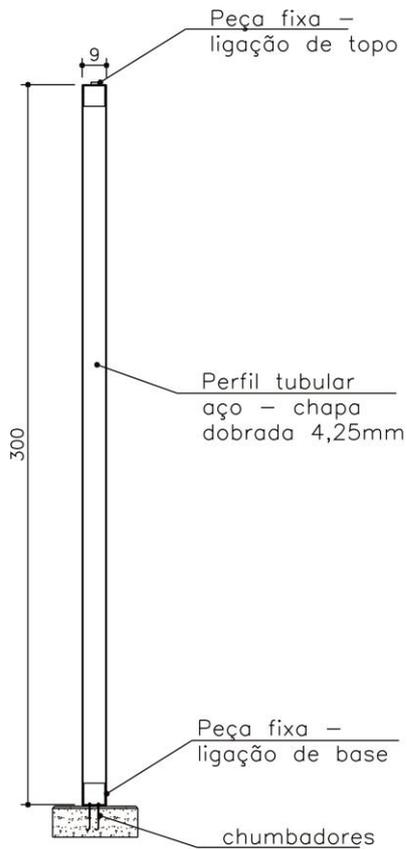


FIGURA 4.15– Corte longitudinal do pilar.

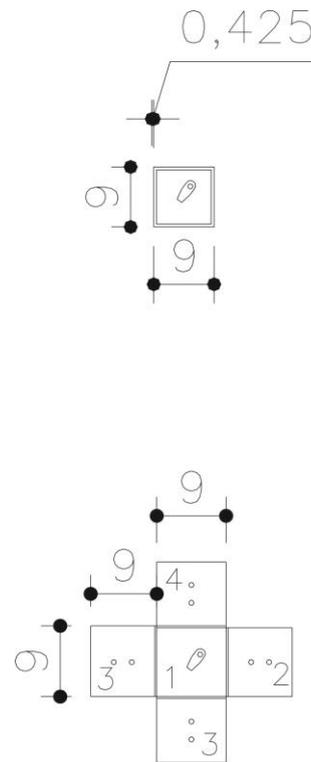


FIGURA 4.16 – Planta pilar com ligação fixa de topo e expansíveis de topo.

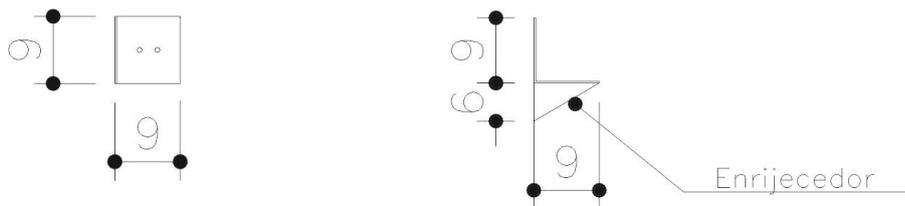


FIGURA 4.17 – Planta e elevação Ligação expansível de topo.

4.2.2 Parafusos auto-atarrachante e auto-brocante

Os parafusos auto-atarrachantes ou os auto-brocantes são usualmente empregados na fixação de painéis de telhas metálicas e perfis metálicos de pequeno porte. Esses fixadores ou parafusos são utilizados de formas distintas mas com a mesma função. Os fixadores auto-brocantes não requerem pré furação e os auto-atarrachantes requerem

uma pré furação e sua forma pode variar dependendo do tipo de rosca ou cabeça. Esses dois tipos de parafusos induzem tensões compressivas que aumentam a resistência ao desatamento, possuem boa resistência e confiabilidade.

Para a fixação das peças do módulo de pórticos foi escolhido os parafusos auto-atarrachantes, por atender os requisitos técnicos, baixo custo e eliminar todo e qualquer tipo de erro com a furação da peça e sua fixação ser realizada em uma única operação e com uma simples parafusadeira. A intenção é que as peças de ligação dos pórticos sejam fabricadas com os furos, facilitando a montagem dos pórticos no canteiro de obra.

Os parafusos auto-atarrachantes (FIG.418) são apresentados no mercado com dois tipos de acabamentos superficiais: o cadmiado e galvanizado, prolongando a vida útil em condições corrosivas, e são produzidos os seguintes tipos:

- Parafuso com cabeça revestida com aço inoxidável, para suportar condições atmosféricas altamente agressivas;
- Parafuso cadmiado, que assegura a vida útil prolongada em ambientes moderadamente corrosivos.
- Parafuso galvanizado com cobertura de polímero em toda sua superfície, com forte resistência a corrosão, desenvolvido para condições corrosivas de grandes centros urbanos.
- Parafuso galvanizado, que garante boa resistência em ambientes com condições pouco corrosivas.

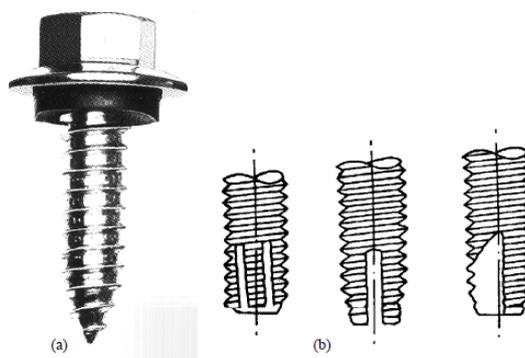


FIGURA 4.18 – (a) Parafusos auto-atarrachantes, (b) roscas para o parafuso auto atarrachante.

Fonte: TW BUILDEX, 2014.

Os Parafusos auto-atarrachantes e autobrocantes são fabricados com aço médio carbono conformado a frio e tratado termicamente e são usualmente combinados com arruelas de elastomérico (neopreme), que servem para aumentar a capacidade de contato ou vedação. Ressalta-se que em todos os tipos de parafusos é importante respeitar as instruções do fabricante em relação a procedimentos de instalação como: diâmetros de furos e torque de apertos, etc. O preço unitário do parafuso auto-atarrachante é de R\$0,29 (vinte e nove centavos) e esse valor reduz a até 40% no atacado, (COMERCIAL ARÚJO, 2014).

4.2.3 Cobertura em telha cerâmica e telha de fibra vegetal.

As coberturas com telha cerâmicas fazem parte da cultura nacional e constituem um elemento tradicional na paisagem de muitas cidades, identificando uma forma de viver adaptada a cada uma das regiões que se inserem. Fabricadas com argila e queimadas em fornos à gás ou a lenha, ganharam o mercado pela fácil fabricação, baixo custo e por seu eficaz comportamento sob as mais rigorosas condições climáticas.

As telhas cerâmicas adaptaram-se também as exigências relativas a novos modelos e geometrias como também a melhorias, afirmando-se como produto de longa durabilidade, permeabilidade, eminentemente ecológico com um final de vida útil não agressivo ao meio ambiente e ótimo desempenho térmico que a qualifica como elemento de conforto em uma habitação.

Na compra da telha cerâmica deve-se observar os selos de qualidade e os quesitos como leveza, para não sobrecarregar desnecessariamente a estrutura do telhado, a dureza e a resistência mecânica necessária para suportar pesos de agentes atmosféricos como a chuva, e permeabilidade absoluta para que a telha não absorva água aumentando a sobrecarga do telhado. Existem diversos tipos de telhas cerâmicas e as mais utilizadas atualmente são as americanas, romanas e portuguesa que se diferenciam na forma, tamanho e pesos (FIG. 4.19 E TAB. 4.2). Sua cores variam em Vermelhas, brancas e mescladas, podem ser instaladas em estruturas de madeira ou metálicas com inclinação mínima de 26% e máxima de 60%.



FIGURA 4.19 – Telha Cerâmica, Romana (capa e canal).

Fonte: MATERIAIS...,2006.

Tabela 4.2 - Dados gerais da telha Romana.

Peso	1,8 a 4kg
Comprimento	40 a 57 cm
Largura	12 a 20cm
Altura	5 a 6 cm
Recobrimento longitudinal	10 a 15 cm
Recobrimento transversal	5 a 8 cm
Espaçamento do ripado	25 a 46 cm
Unidades por m ²	18 a 35

As telhas de fibra vegetal também indicadas para o sistema construtivo proposto, são telhas fabricadas a partir de fibras vegetais recicladas e impermeabilizadas através de processos de alta tecnologia respeitando o meio ambiente e a processos produtivos sustentáveis. Este tipo de telha é versátil, permitindo diversos tipos de utilização. Sua produção e seu descarte não agride o meio ambiente, possui baixo custo e baixa transmissão de calor que pode ser intensificada com a utilização de uma manta de alumínio reforçada com fibras sintéticas, isolando termicamente o telhado. Essa manta é colocada entre a telha e a estrutura do telhado que pode ser de madeira ou metálica. (FIG.4.20)



FIGURA 4.20 – Telhado com telha de fibra vegetal com manta térmica.

Fonte: ONDULINE, 2014.

A instalação da telha de fibra vegetal é comum como o telhado cerâmico, recomenda-se seguir as instruções do fabricante como o espaçamento correto de ripas e caibros, a fixação correta com parafusos e pregos, e manter a inclinação até 27% para um melhor conforto térmico do ambiente coberto. No mercado encontra-se diversos tipos e formas de telhas vegetal, e na Figura (4.21) apresenta-se os quatro tipos escolhidos para serem utilizadas no modelo de habitação proposto, cujas características são também apresentadas na Tabela (4.3).

FIGURA 4.21– Telha de fibra vegetal.

(a) Modelo clássico



(b) Modelo Villa.



(c) Modelo com Policarbonato translúcido



(d) Modelo duo com duas ondas



Tabela 4.3 - Características da telha de fibra vegetal.

Comprimento da telha	2m
Largura da telha	0,95m
Espessura	3mm
Comprimento útil da telha acima de 10°	1,8m
Largura útil	0,85m
Número de ondas	10 ondas
Recobrimento Longitudinal acima de 10°	200mm
Recobrimento transversal	1 onda
Recobrimento transversal (local sujeito a ventos)	2 ondas
Peso por telha	6,4kg

Fonte: ONDULINE, 2014.

A princípio foi analisada a opção da telha metálica trapezoidal termo-acústica preenchida com poliuretano e conhecida como telha sanduíche, mas pelo preço elevado e estética industrial que não condiz com a arquitetura tradicional e popular do Brasil. Optou-se pelas telhas cerâmicas e as telhas de fibra vegetal, por serem de fácil acesso, por serem um elemento cultural e tradicional na paisagem das cidades brasileiras, não poluírem o meio ambiente na fabricação e no descarte, longa durabilidade e desempenho térmico favorável para a habitação proposta. Ressalta-se que a telha de fibra vegetal para melhor conforto térmico da construção é necessário o uso da manta térmica entre o telhado e telha.

No mercado o preço da telhas podem variar em cada região do país. A telha cerâmica impermeabilizada tem um preço médio de R\$ 20,00 (vinte reais) o metro quadrado e a telha de fibra vegetal modelo clássico um preço médio de R\$ 34,00 (trinta e quatro reais) a telha com a metragem de útil de 180x200m = 3,6m metros quadrados, (BIMBON, 2014).

4.2.4 Estrutura de telhado galvanizado industrializado em *Light Steel Framing* (LSF).

As estruturas metálicas para telhados, estão se destacando cada vez mais no mercado nacional, sendo uma opção a mais em construções que necessitam aliviar cargas sobre a estrutura, vencer grandes vãos e agilizar a execução.

Com as novas tecnologias a arquitetura e engenharia têm avançado em projetos de coberturas metálicas, principalmente na inovação constante de formas, ligações, balanços e tamanhos expressivos. No Brasil foram vistos muitas coberturas metálicas extraordinárias nas reformas do estádios que sediaram a Copa do Mundo de futebol de 2014. Não escapando dessa ascensão tecnológica e do acesso cada vez mais fácil à compra de perfis metálicos ou de uma estrutura metálica para telhados, as construções de pequeno porte como as residenciais também estão aderindo as novas opções em telhados metálicos existentes no mercado ou fabricados por pequenas empresas ou serralherias.

O sistema de telhados com perfis galvanizados em *LSF* foi a opção escolhida para compor o sistema construtivo proposto por atender as necessidades e aos anseios de um projeto que prima vencer aos entraves de uma construção convencional, reduzindo materiais, mão de obra, peso estrutural, prazo construtivo e conseqüentemente custos.

A estrutura metálica em aço galvanizado para telhados atende a todo tipo de telhas residenciais, pode ser pintado aumentando a vida útil, possui montagem rápida e é fixado sem soldas por parafusos auto-brocantes com uma simples parafusadeira. Este tipo de telhado elimina a chance de ataques de cupins um grande problema dos telhados de madeira e seu baixo peso gera economia na estrutura e na fundação. Outro ponto positivo do telhado metálico é que muitas empresas e fábricas oferecem ao cliente que envia o projeto da construção para a fábrica as peças pré-montadas que reduzem o tempo de montagem na obra de até 1/3 do tempo de um telhado de madeira. (FIG 4.22 e FIG 4.23)



FIGURA 4.22 – Telhados com estrutura metálica galvanizada (LSF).

Fonte: MINAMI,2014.



FIGURA 4.23 – Telhados com estrutura metálica galvanizada (LSF)

Fonte: MINAMI,2014.

O peso por metro quadrado do telhado galvanizado varia de acordo com a obra, no caso de construção que possuí laje os perfis são menos robustos dos que as que não possuem. Em contato com a fábrica de telhados Minami em Janeiro de 2014, foi repassado que para este projeto o peso do telhado seria de 8kg - 80 N/m², por metro quadrado. O preço da estrutura no mercado é em média de R\$30,00 e se o vão sem laje for maior que 3 metros esse valor poderá subir em até 20%. (MINAMI, 2014)

4.2.5 Fechamento vertical industrializado em Drywall.

O sistema de fechamento vertical externo e interno em *drywall* e o sistema construtivo *Light Steel Framing*, fazem parte do novo mercado mundial de construções rápidas econômicas e eficientes. A chamada obra seca apresenta vantagens quanto à rapidez, manutenção e desperdício durante a execução da obra. Visualmente são idênticos mas o que diferencia um do outro são as espessuras e as propriedades mecânicas da estrutura galvanizada dos perfis que compõe o esqueleto metálico dos dois sistemas construtivos. Esse esqueleto metálico é revestido por placas de gesso acartonado utilizadas em áreas internas da construção e placas cimentícias utilizadas área externa. Entre as placas, a utilização de lã de vidro ou de poliéster proporciona conforto térmico e acústico ao ambiente (FIG.4.24). Pode-se dizer que o *light steel Framing* é um sistema construtivo auto-portante e o Drywall um sistema de fechamento vertical que assimila custo x produtividade.



FIGURA 4.24 – Parede de Drywall interna preenchida com lã de poliéster.

Fonte: FLASAN,2014.

Devido ao seu baixo peso cerca de 23N/m^2 contra 165N/m^2 , da alvenaria convencional uma edificação economiza cerca de 10% em fundação, reduzindo o custo da obra entre 30% a 40%. Um pedreiro para executar 40m^2 de uma parede de alvenaria, leva em média, quatro dias para deixar pronta para receber massa corrida, enquanto que com as placas de gesso acartonado, o serviço estaria concluído em apenas oito horas. (LESSA, 2005)

Existem três tipos de placas de gesso para o revestimento interno, a placa *Standard* destinada a paredes de áreas seca, a placa *RU* resistente à umidade destinada a paredes de áreas molhadas e a placa *RF* resistente ao fogo. Visualmente estas placas são diferenciadas pela cor do papel reciclado externo que envolve o gesso prensando da placa: Cor cinza para placa *Standard*, cor verde para placa *RU* e cor vermelha para placa *RF*. As dimensões típicas da chapa de gesso são de 1,20m de largura por comprimento de 2,60 a 3m e espessura de 12,5 mm, 15mm e 18mm, são estabelecidas pela norma NBR 14715 (ABNT, 2001), que especifica os requisitos das chapas de gesso acartonado.

A placa cimentícia utilizada no lado externo tem suas qualidades semelhantes a placa de gesso acartonado, além dos conceitos de industrialização e racionalização da construção a seco, melhorando a qualidade, o desempenho com vantagens expressivas quando

comparados aos sistemas tradicionais. Essas placas possuem um nível de absorção máxima de água de 30% e suas dimensões variam de 6mm a 12mm de espessura, de 2m a 3m de comprimento por 1,20m de largura. As placas de 3m de comprimento serão ideais no modelo de projeto proposto por evitar perdas significativas de material.

Os elementos estruturais da parede de drywall são constituídos de perfis de aço galvanizado padronizados segundo a norma NBR 15217 (ABNT, 2009) protegidos com tratamento de zincagem, em chapas de aço conformadas a frio de 0,5mm de espessura ou seja 0,45mm mais fina que a do *Ligth Stell framing*. Para o modelo foi escolhido o perfil montante *M70* com 70mm de largura quando a proposta é que os perfis de aço dos pilares do projeto fiquem aparentes (FIG. 4.25). Para cobrir toda a estrutura dos pilares é indicado um perfil de 90mm de largura. (TAB. 4.4)

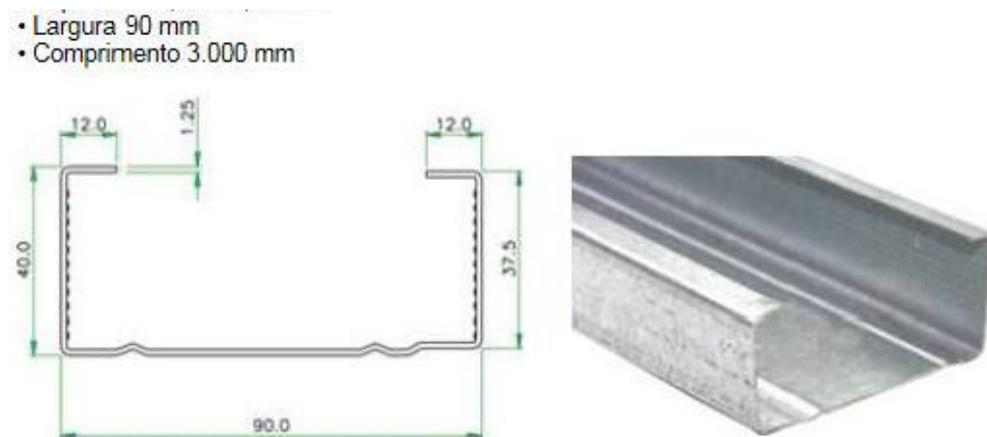
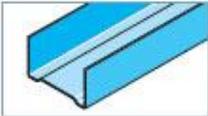


FIGURA 4.25 – Elementos estruturais do Drywall.

Fonte: PLACO, 2014.

Tabela 4.4 - Elementos Estruturais do Drywall.

Elementos estruturais				
Nome	Descrição	Comprimento (mm)	Acondicionamento	
Guia R48 Guia R70 Guia R90	Assegura a união com os montantes.		3000	Amarrado de 8 unidades
Montante M48 Montante M70 Montante M90	Para a formação de estrutura das paredes, forros e revestimentos.		2800 3000 3000	Amarrado de 8 unidades Amarrado de 8 unidades Amarrado de 8 unidades
Perfil F530	Para forros e revestimentos.		3000	Amarrado de 10 unidades
Cantoneira CR2	Cantoneira metálica para forros e revestimentos.		3000	Amarrado de 30 unidades
Cantoneira 14/30	Cantoneira para proteção de topo de placa.		3000	Amarrado de 50 unidades
Tabica metálica CR3	Para forros (dilatação).		3000	Amarrado de 20 unidades
Tabica metálica CR3 perfuração retangular	Para forros. Dilatação/retorno de ar condicionado.		3000	Amarrado de 20 unidades
Tabica metálica CR4 perfuração redonda	Para forros. Dilatação/retorno de ar condicionado.		3000	Amarrado de 10 unidades
Rodapé de Impermeabilização RI10	Para parede e revestimento com 10cm.		3000	Avulso

Fonte: PLACO, 2014.

Os condutores elétricos e instalações hidráulicas são instalados nos espaços ocultos das paredes sem a necessidade de cortá-las, pois os montantes são furados entre 50 a 50cm para a passagem dos condutores e canos, (FIG.4.26). Para facilitar a manutenção das tubulações hidráulicas em alguns casos são construídos *shafts*, (FIG.4.27)



FIGURA 4.26 – Tubulação elétrica no Drywall.

Fonte: LESSA, 2005.



FIGURA 4.27– Shaft.

Fonte: LESSA, 2005.

No Brasil esse sistema de divisórias ou fechamento já é muito usual em obras de grande porte, comerciais e em reformas residenciais, tendo como vista um auto crescimento de usos os investidores, assim como os pesquisadores podem contribuir na multiplicação desse sistema construtivo em edificações unifamiliares de pequeno porte. O sistema de fechamento vertical industrializado *Drywall* apresenta vantagens como:

- Execução rápida, limpa e sem desperdícios, resultando em limpeza do canteiro de obra;
- As paredes podem ser instaladas em qualquer posição e adaptadas sem restrições em qualquer projeto independente do partido arquitetônico;
- As instalações elétricas e hidráulicas, de condicionador de ar, gás e outros, tem fácil acesso para manutenção e reparos. No caso é só fazer um corte no gesso com um serrote de ponta e com o mesmo pedaço da chapa fecha-se a abertura, sem quebraadeiras;
- Apresenta baixo peso próprio, aliviando o peso da fundação, gerando economias;
- Apresenta maior desenvolvimento termo-ácustico comparado ao sistema convencional quando utilizado materiais isolantes como lã de vidro. (FLASAN, 2014)

As paredes de drywall montadas e acabadas podem receber vários tipos de materiais, como massa corrida, azulejos, granitos, pedras, tintas, etc. (FIG. 4.28)



FIGURA 4.28 – Montagem forro, paredes de Drywall acabadas.

Fonte: LESSA, 2005.

O valor do metro quadrado do fechamento vertical industrializado varia de região para região de acordo com custos da mão de obra e materiais, apresenta-se tabela (4.5) com preços do mercado de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, (DRYVALE, 2014).

O sistema construtivo proposto, possui estrutura e fechamentos leves que reduzem consideravelmente cargas na fundação, gerando economia nessa etapa da obra que pode chegar a 70%. A fundação mais comum para esse tipo de obra leve e que será utilizada no projeto proposto é a tipo *radier*, que é uma laje em concreto armado leve e simples de executar, aplicável na maioria de tipos de solos. (FIG. 4.29)



FIGURA 4.29 – Fundação tipo radier.

Fonte: FLASAN, 2014.

Tabela 4.5 – Preços - Sistema Drywall.

Especificação	Preço
Parede de Drywall interna - 7cm (estrutura + placa de gesso standard + material e mão de obra)	R\$ 90,00/m ²
Parede de Drywall interna - 10cm (estrutura + placa de gesso standard + material e mão de obra)	R\$ 100,00/m ²
Parede de Drywall interna - 7cm (estrutura + placa de gesso Ru + material e mão de obra)	R\$ 120,00/m ²
Parede de Drywall interna - 10cm (estrutura + placa de gesso Ru + material e mão de obra)	R\$ 130,00/m ²
Parede de Drywall interna e externa - 7cm (estrutura + placa de gesso Standard + placa cimentícia + material e mão de obra)	R\$ 130,00/m ²
Parede de Drywall interna e externa - 10cm (estrutura + placa de gesso Standard + placa cimentícia + material e mão de obra)	R\$ 180,00/m ²
Parede de Drywall interna - 7cm (estrutura + placa de gesso Satandard + lâ de vidro + material e mão de obra)	R\$ 160,00/m ²
Parede de Drywall interna - 10cm (estrutura + placa de gesso Standard + lâ de vidro + material e mão de obra)	R\$ 180,00/m ²
Forro / teto Drywall (estrutura + placa de gesso standard + material e mão de obra.	R\$ 65,00/m ²
Parede de Light stell framing - LSF - 10CM (estrutura + placa de gesso standard + lâ de vidro + material e mão de obra).	R\$ 250,00/m ²

Fonte: DRYVALE, 2014.

4.2.6 Esquadrias de alumínio

Para as esquadrias externas da habitação foram pensadas portas e janelas em alumínio, pela durabilidade e proporcionar melhor luminosidade e ventilação do ambiente. Para as portas internas, quarto e banheiro as esquadrias serão em madeira tipo porta prancheta, proporcionando segurança e privacidade aos ambientes.

A Janela Alumifort do fabricante Sasazaki se diferencia pelas características técnicas: os perfis da folha veneziana são preenchidos com poliuretano expandido, material leve, inerte e durável, com características físicas que ajudam a isolar ruídos, frio e calor. A folha veneziana move-se verticalmente e o sistema de acionamento é simples, durável e muito fácil de operar. Na parte superior da esquadria existe um espaço que armazena a veneziana, quando recolhida, não apresentando, com isso, uma saliência grande na parede. As outras duas folhas que compõem a Janela Integrada recebem vidro liso e vedações especiais do tipo EPDM (etileno e propileno) que proporciona durabilidade e excelente desempenho à exposição solar e às variações de temperatura. A janela possui fecho crescente de alumínio e a guia inferior é do tipo cascata, que evita a entrada de vento e águas de chuva. Para completar, possui duas opções de pintura de acabamento e tem uma embalagem especial que protege o produto até o acabamento final na obra.

A Porta de Abrir Alumifit Sasazaki atende a diversos tipos de ambientes, dentre eles, salas, varandas, copas, casas de campo. Ela tem grade e postigo com vidro miniboreal, o que possibilita maior luminosidade e ventilação natural ao ambiente. Possui vedações especiais: para fixação do vidro, são utilizadas borrachas do tipo EPDM, resistentes às intempéries. Tem opções de acabamentos e puxador de alumínio. (FIG. 4.30)



FIGURA 4.30 – Esquadrias de alumínio.

Fonte: SASAZAKI, 2014.

5. RESULTADOS E ANÁLISES DE DESEMPENHO DO MODELO PROPOSTO.

Uma edificação tem como função permitir ao usuário que o mesmo execute suas atividades em seu interior com melhores condições de conforto e segurança possíveis.

O comportamento estrutural dos pórticos foi verificado por meio de estudo numérico de acordo com o carregamento aplicado e a sua viabilidade de utilização. As análises dos pórticos foram realizadas por meio de uma análise estrutural pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) no *Software* SAP, versão 11.0, resultando em visualizações do esquema de carregamentos aplicados na estrutura.

Pensando nas vantagens construtivas dos sistemas construtivos racionalizados e nas vantagens construtivas associadas de um projeto arquitetônico inteligente que visa o bem estar dos ocupantes com menor gasto energético, faz-se uma avaliação do desempenho térmico da HIS projetada, utilizando estratégias de ventilação natural, e da massa térmica dos fechamentos escolhidos, visando um melhor desempenho térmico dos ambientes.

5.1 Avaliação do desempenho Estrutural

Após a definição da geometria e dos materiais dos pórticos principais que foram projetados de acordo com a arquitetura proposta e adotar como modelo básico três pórticos tri-planares não simultaneamente paralelos e não convergentes, fez-se a avaliação das ações gravitacionais de um pórtico modelando-o no *Software* SAP, considerando as cargas permanentes (CP), sobrecargas (SC), ações do vento (CV), as combinações das ações e as larguras de influência das ações (Li), adotando a unidade N/m².

O sistema estrutural de pórticos que compõe o modelo básico é composto por 3 pórticos que são estruturas rígidas posicionadas não simultaneamente paralelas e não convergentes. Como esses pórticos estruturais possuem a mesma geometria e dimensionamento, foi analisado apenas um pórtico do módulo. (FIG. 5.1 e 5.2)

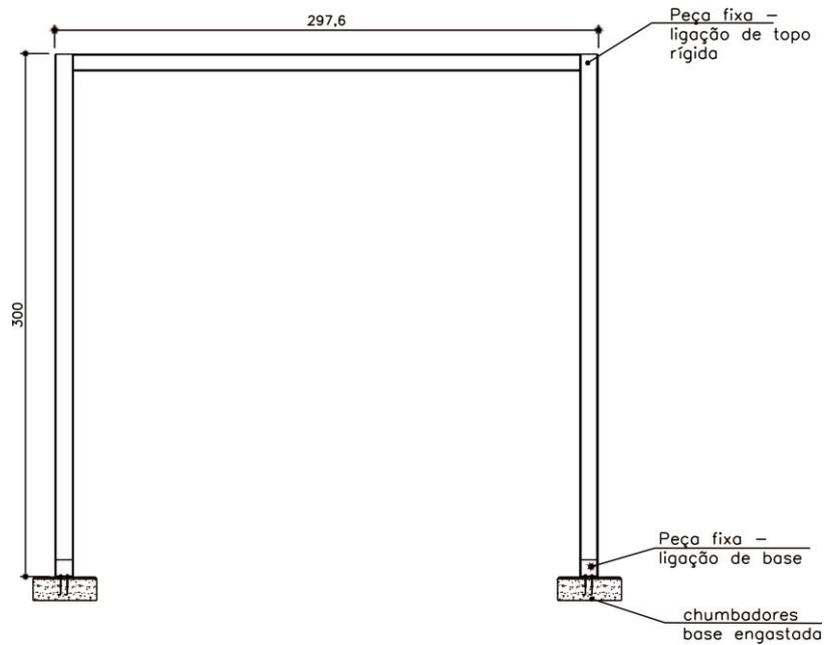


FIGURA 5.1– Elevação de um dos pórticos do módulo de pórticos.

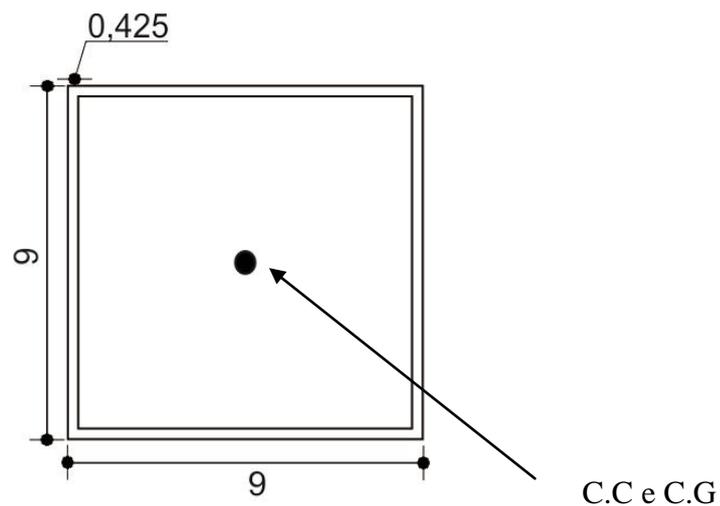


FIGURA 5.2 – Planta perfil aço- carbono 4,25 mm do pórtico do módulo de pórticos.

O centro de Cisalhamento (CC) de uma viga é o ponto pelo qual deverá passar a resultante das cargas, a fim de evitar a torção da viga. Para um perfil, com o eixo de simetria, o centro de cisalhamento obrigatoriamente está localizado sobre este eixo. Para perfis que possuem dois eixos de simetria, este ponto coincide com o centro de gravidade (CG) (ANGST, 2003). Portanto na seção tubular quadrada não ocorre flambagem distorcional pois o eixo CC coincide com o eixo CG.

As propriedades geométricas e as dimensões do perfil tubular de seção quadrada utilizado no pórtico, foram obtidas por meio de uma tabela de tubos estruturais da

empresa fabricante de tubos de aço. As características do perfil, segundo a norma NBR 8261 (ABNT, 1983) estão apresentadas na Tabela (5.1).

Tabela 5.1 - Especificação do perfil de aço

Ø Perfil externo	Ø Perfil interno	Espessura	Peso linear médio
90mm	81,5mm	4,25mm	11,44 kg/m

Fonte:TUBONAL, 2014.

No pórtico proposto e em análise foram aplicadas cargas uniformemente distribuídas e as ligações que formam o pórtico foram consideradas rígidas e as ligações de base engastadas. Os carregamentos verticais de gravidade foram considerados e obtidos por meio de catálogos de empresas e conforme a norma NBR 6120 (ABNT, 1980) e a norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

Os carregamentos atuantes foram combinados, resultando em uma carga vertical total de 2.229 N/m e carga horizontal de 3.453 N/m, que foi aplicada uniformemente na estrutura com as características do perfil fornecidos pelo fabricante.

Os dados de cálculo da ação do vento (C_v) foram obtidos por meio da norma NBR 6123 (ABNT, 1988), utilizando as seguintes expressões: para velocidade característica do vento V_k .

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{m/s}) \quad (5.1)$$

Onde S_1 é o fator topográfico (1,0 - (a) terreno plano), S_2 é o fator de rugosidade do terreno = 0,88 - categoria III, classe A, Tabela 2) e S_3 é o fator estatístico (1,0 - grupo 2). Para a pressão dinâmica do vento, q ,

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.2)$$

Onde V_k é a velocidade característica do vento (m/s). Para força do vento, F .

$$F = (C_{pe} - C_{pi}) \cdot q \cdot A \quad (\text{N}) \quad (5.3)$$

Onde A é área (m^2); C_{pi} é o coeficiente de pressão interna (adimensional) e C_{pe} é o coeficiente de pressão externa segundo a norma NBR 6123 (ABNT, 1988).

A velocidade básica do vento adotada foi a mesma utilizada por Silva (2011) e foi baseada em pesquisas que registram a maior velocidade do vento já registrada no Brasil, como sendo na cidade de Urubici, no estado de Santa Catarina, onde o vento atingiu a velocidade de 178,9 Km/h (49,7 m/s), e atingindo o patamar de um furacão categoria 2, na escala Saffir-Simpson (METSUL, 2008). Adotou-se então a velocidade básica do vento de 50,0 m/s aplicado perpendicularmente a fachada lateral direita da edificação, gerando uma carga de vento, CV, de 1.151,16 N/m² e combinando com a largura de influência do pórtico de 3m esse valor passou para 3.343 N/m.

A segurança de uma estrutura é definida como sendo a capacidade que ela apresenta de suportar as ações a que venha ser solicitada durante sua vida útil sem, contudo, atingir, qualquer estado limite (ANGST, 2003).

Os carregamentos verticais e horizontais para análise estrutural do pórtico, estão descritos na Tabela da (5.2).

Tabela 5.2 - Cargas verticais e horizontais, aplicadas no cálculo dos pórticos. (continua)

Carregamento	Tipo de carga	Dados de Cálculo	Origem
1	CP (peso próprio da telha Cerâmica)	408 N/m ²	Catálogo do Fabricante.
2	CP (peso próprio do estrutura do telhado)	80 N/m ²	Catálogo do Fabricante.
3	Cp (forro de gesso sem acesso)	5N/m ²	NBR 6120 (ABNT,1980)
4	Sc (sobrecargas) Pessoa andando no telhado	250 N/m ²	NBR 6120 (ABNT,1980)
5	CV (carga de vento)	1.151,16 N/m ²	NBR 6123 (ABNT,1988)

Tabela 5.2 - Cargas verticais e horizontais, aplicadas no cálculo dos pórticos. (conclusão)

TO TAL DE CARGA UNIFORMENTE DISTRIBUÍDA = 743 N/m ² CONSIDERANDO A ÁREA DE INFLUÊNCIA= 3M = 2.229 N/m	
Módulo de Elasticidade (E) = 205.000.000 N/M ²	NBR 8800 (ABNT, 2008)
Coeficiente de Poisson (ν) = 0,3	(HIBBELER, 1999)
Coeficiente de ponderação das ações - Peso próprio = 1,25 Coeficiente de ponderação das ações - Sobrecarga = 1,50 Coeficiente de ponderação das ações - carga de vento = 1,40	NBR 8800 (ABNT,2008)

O diagrama de carregamentos verticais e horizontais e vinculações para análise estrutural do pórtico, estão descritos na (FIG. 5.4).

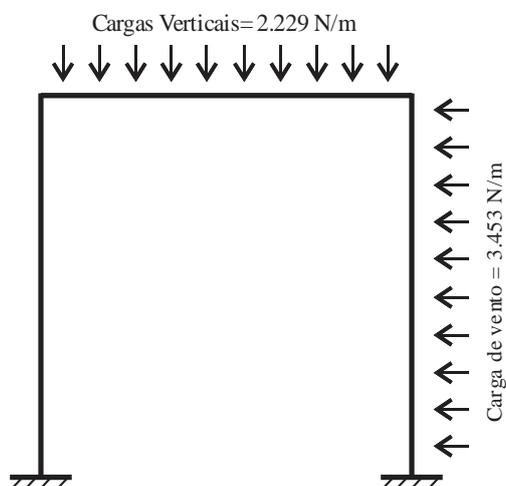
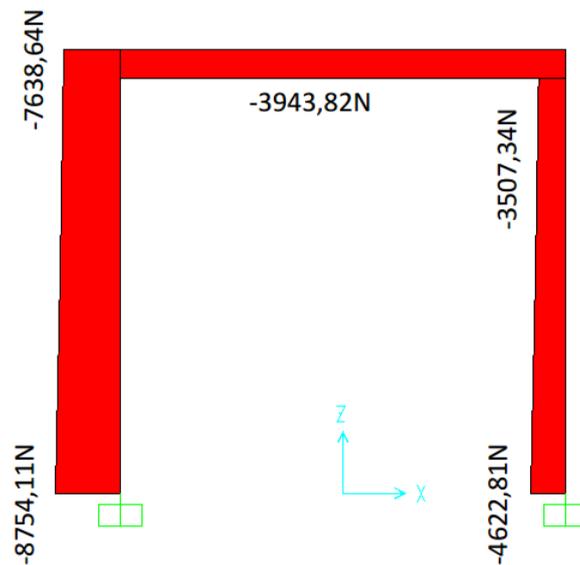


FIGURA 5.3 – Estrutura com carregamentos e vinculações.

Por meio do *Software* SAP foi possível a visualização dos diagramas de esforços solicitantes. O *Software* SAP foi escolhido para a análise pois os valores dos esforços máximos e mínimos são apresentados em qualquer ponto do elemento e não em escala como no *Software* Ansys.

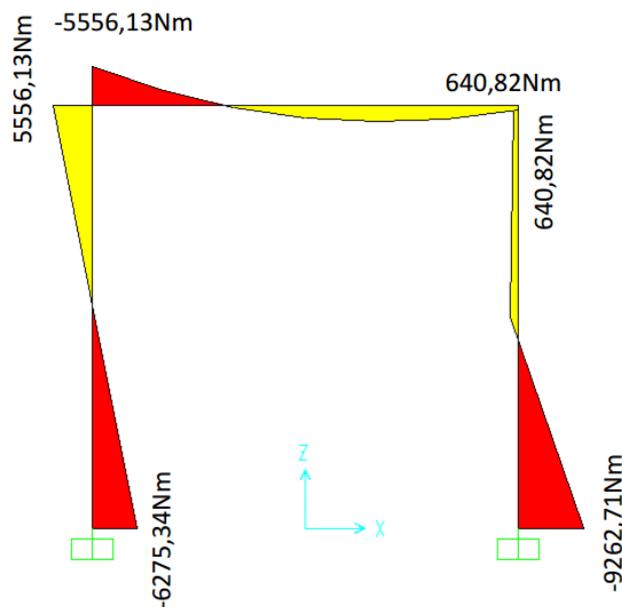
A força axial consiste no esforço atuante em determinada estrutura e pode ser uma força de tração ou compressão. O diagrama de esforço axial e seus valores máximos e mínimos estão apresentados na (FIG. 5.4).

FIGURA 5.4 – Diagrama de esforço axial, gerado no Software SAP.



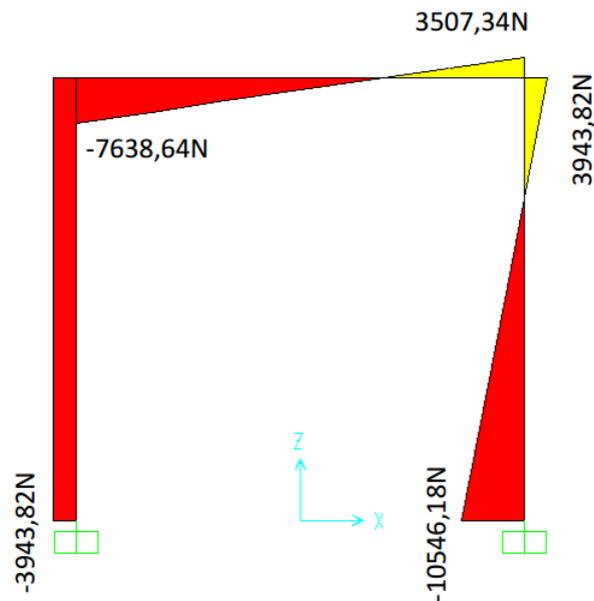
O momento fletor consiste no esforço que tende a deformar a estrutura por flexão, girando-a em torno de um eixo normal ao eixo da seção transversal. Para o momento fletor os valores obtidos estão localizados próximos às vinculações e estão apresentadas no diagrama apresentado na (FIG. 5.5).

FIGURA 5.5 – Diagrama de momento fletor, gerado no Software SAP.



A força cortante ou cisalhamento acontece quando uma estrutura é submetida a um carregamento e além de causar momento fletor e deformação, causa também uma força cortante interna que é uma força cortante que tende a romper a estrutura separando-a em duas partes ou mais partes. Para o esforço cortante os valores obtidos estão apresentados no diagrama mostrado na figura (5.6).

FIGURA 5.6 – Diagrama de esforço cortante, gerado no Software SAP.



A partir dos resultados obtidos na análise realizada no Software SAP, iniciou-se a fase de cálculos para o dimensionamento da estrutura. Primeiramente os cálculos foram feitos sem a consideração das larguras de influência das ações, concluindo-se que o perfil tubular utilizado na análise de seção 10cmx10cmx3mm nesta primeira análise, suporta as cargas para os elementos estruturais de 3m, funcionando como viga coluna com resultado de $0,2546182 \leq 1,0$ para a verificação da equação de interação (Equação 5.4). Portanto pode-se dizer que a dimensão de 3mm é adequada e que se pode-se até mesmo se adotar um perfil mais esbelto. No APÊNDICE C mostra-se o cálculo utilizando-se a equação de interação (5.4).

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{sdX}}{M_{sRd}} + \frac{M_{sdY}}{M_{sRdY}} \leq 1,0 \quad (5.4)$$

Na segunda fase de cálculos foram refeitas as verificações das ações pela suspeita de erro, com a não consideração das larguras de influência das ações. Nesta fase foram refeitos os diagramas de esforços solicitantes considerando as larguras de influência do pórtico e em decorrência foram refeitos os cálculos para o dimensionamento do perfil. O resultado para o perfil de 3mm de espessura não foi satisfatório atuar como viga coluna. Assim para que o perfil funcione como viga coluna deve-se ter um perfil de com espessura maior que 4mm.

Na tentativa de economizar mais em aço, considera-se um perfil tubular de seção quadrada que tenha 4mm de espessura. Fazendo-se a verificação novamente com a equação de interação chega-se a um valor de $0,03106 \leq 1$.

Conclui-se que o perfil tubular utilizado nesta segunda análise de seção 10cmx10cmx4mm suporta as cargas para os elementos estruturais de 3m de comprimento, funcionando como viga coluna podendo até mesmo reduzir o diâmetro do perfil para 9cmx9cmx4,25mm segundo os critérios de resistência e segurança estabelecidos pela norma NBR8261 (ABNT, 1983). Os memoriais de cálculo estão no APÊNDICE C.

5.2 Comparação com outros modelos.

Os resultados obtidos no estudo numérico, via *Software Ansys*, foram satisfatórios para que o perfil de análise suporte os carregamentos aplicados, obtendo uma deformação e deslocamentos muito pequenos. Portanto, pôde-se otimizar a seção do perfil, resultando em uma estrutura ainda mais leve e com baixo consumo de aço que foi comparado a outros modelos construtivos em aço, para verificar as economias relativas entre os modelos disponíveis no mercado.

Os modelos usados no estudo comparativo foram os modelos: Usiteto da Siderúrgica Usiminas composto por engradamento e pilares metálicos (FIG.5.7); Quick House da Metalúrgica Big Farm Ltda (FIG 2.12 e 2.14). Estes modelos foram citados no estudo de tipologias construtivas. O modelo Casa Fácil da Cosipa e Gerdau Açominas não entrou na análise por não estar mais disponível no mercado.

Para que uma sistema construtivo seja viável ou econômico seu consumo de aço deve estar entre 30 kg/m² a 40 kg/m², ou 300 N/m² a 400 N/m².

O modelo proposto possui uma área construída de 34,69 m² e o consumo de aço para os pórticos de estabilização que são os principais elementos estruturais da construção mais os perfis para sustentação da caixa d' água, foi de 21,69 kg/m² que corresponde a 216,9 N/m². Os cálculos de consumo de aço encontram-se no APÊNDICE C.

No sistema estrutural metálico do modelo Usiteto de 36 m² foram gastos 18kg/m² de aço, que correspondem a 180 N/m². Esse cálculo de consumo de aço não levou em consideração perfis para suportar o peso da caixa d' água.

O sistema de painéis autoportantes do modelo Quick House de 43m³, o consumo de aço é de 39 kg/m², correspondente a 390 N/m².

Na figura (5.7) apresenta-se uma análise comparativa de consumo de aço entre os modelos comparados com o modelo proposto de pórticos de estabilização, indicando que o modelo proposto é economicamente eficiente para a produção de seu sistema estrutural de pórticos de estabilização.

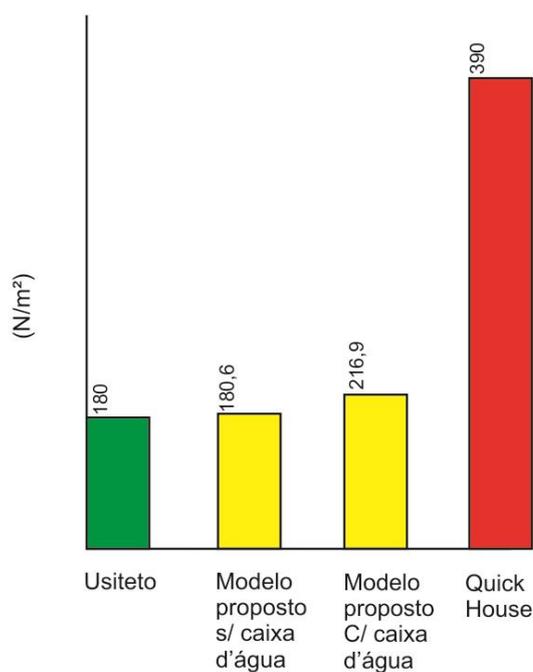


FIGURA 5.7 – Consumo de aço dos modelos comparados.

5.3 Avaliação do desempenho térmico.

A avaliação de desempenho térmico é feita via simulação numérica com a utilização do *Software Energy Plus*. As simulações foram realizadas de acordo com os critérios e diretrizes estabelecidas pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) que é vinculado ao Programa Brasileiro de Qualidade e produtividade do Habitat (PBQP-H) e a norma de desempenho de edificações NBR 15575 (ABNT, 2013). Foram feitas simulações para as zonas bioclimáticas do Brasil segundo a norma NBR15220 (ABNT, 2005), que estabelece um zoneamento bioclimático que divide o território brasileiro em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. (FIG 5.8)

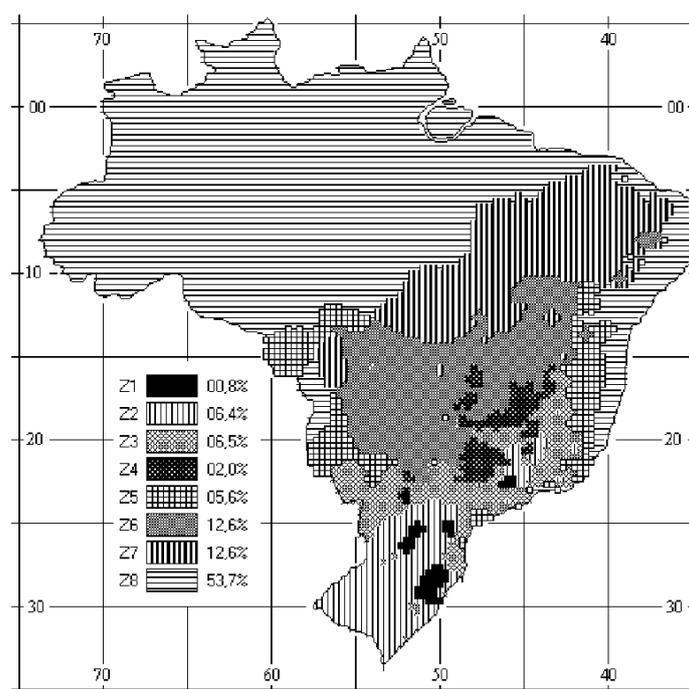


FIGURA 5.8 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Fonte: NBR 15220, 2005.

As exigências de desempenho no dia típico de verão, devem apresentar condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, no interior do edifício habitacional. O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e/ou dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. (ABNT, 2013). O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), conforme mostrado na Tabela 5.3.

As exigências de desempenho no dia típico de inverno devem apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo, nas zonas bioclimáticas 1 a 5. Nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico para inverno. Os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo salas e/ou dormitórios, no dia típico de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C (ABNT, 2013). O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), conforme mostrado na Tabela 5.4

Tabela 5.3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ} C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ} C)$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ} C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ} C)$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ} C)$
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zona bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3		

Fonte: NBR 15575, 2013.

Tabela 5.4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} C)$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} C)$	
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3		

Fonte: NBR 15575, 2013.

A simulação numérica é feita para um dia típico de verão e inverno e por valores horários de cada uma das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar incidente em superfície horizontal. Considera-se também as trocas

térmicas entre os ambientes e a orientação cartográfica da habitação onde pelo menos um dormitório ou sala esteja com duas paredes expostas, preferencialmente no: (a) verão: para oeste e ou outra parede exposta voltada para o norte e (b) Inverno: para o sul e ou outra parede exposta voltada para o leste.

Outra característica a ser considerada é a cor das superfícies das paredes expostas e coberturas externas, em relação a absorvância à radiação: (a) cor clara ($\alpha = 0,3$), b) cor média ($\alpha = 0,5$) e cor escura ($\alpha = 0,7$) e as condições de renovação de ar no ambiente de 1 a 5 renovações diárias, fator importante na melhoria do conforto e das condições ambientais da edificação.

No caso das edificações residenciais, as estratégias de ventilação natural são os principais meios de obtenção de conforto térmico por meio da renovação do ar e do resfriamento convectivo, contribuindo ainda na economia de energia ao evitar o uso de condicionamento artificial. (VERSAGE, 2009).

No entanto considerações associadas aos fatores climáticos locais como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar e amplitude térmica diária e a utilização de uma envoltória adequada ao clima, também são fatores proporcionais de um melhor desempenho térmico da edificação e dos ambientes internos.

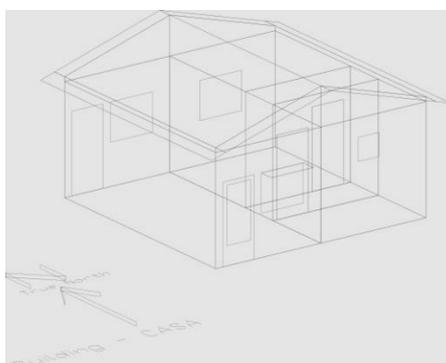
5.3.1 Caracterização do projeto para simulação.

Foram feitas duas simulações computacionais da HIS, as duas com a mesma planta e mesmos fechamentos externos, sendo alterado somente o telhado. Na simulação (01) o telhado é de duas águas de telha cerâmica com beiral e inclinação de 30% e na simulação (02) o telhado é embutido com platibanda e a telha é de fibra vegetal com inclinação de 26%.

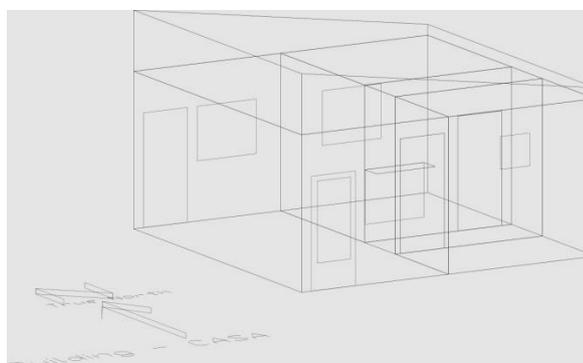
Para a simulação a planta foi dividida em quatro zonas térmicas, onde a quarta zona corresponde ao ático, pé direito de 2,90 e área total de 34,81m². (FIG. 5.9 e .5.10).



FIGURA 5.9 – Planta com disposição das zonas térmicas.



(a) telhado cerâmico 2 águas



(b) telhado fibra vegetal 1 água embutido.

FIGURA 5.10 – Perspectivas dos modelos gerados após simulação numérica.

Nesse estudo está verificando os requisitos mínimos sugeridos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), considerando a edificação sem a presença de fontes internas de calor, desse modo não considera nenhum perfil de ocupação.

5.3.2 Fechamentos e análises.

Após avaliações e análises prévias de desempenho de sistemas de fechamentos x tecnologias construtivas, foram adotados e analisados no Software Energy-plus os sistemas de fechamentos internos e externos, forro e cobertura da edificação conforme apresentado na tabela (5.5).

Tabela 5.5 - Descrição dos fechamentos internos e externos.

Forro	Janela	Fechamento interno Drywall	Fechamento externo Drywall	Piso	Telhado 01	Telhado 02
Gesso acartonado	Vidro transparent e 3mm	Gesso acartonado	Placa cimentícia	Concreto armado <i>radier</i>	Telha cerâmica	Telha Fibra vegetal
		Camada de ar	Camada de ar	Argamassa De contrapiso		
Camada de ar		Gesso acartonado	Gesso acartonado	cerâmica		

Na tabela (5.6), apresenta-se as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nos sistemas de fechamento necessários para a simulação computacional, além da espessura e acabamento superficial. Essas propriedades são: massa específica (ρ), condutividade térmica (k) e calor específico (c). Além destas propriedades, outros parâmetros são relevantes como: o valor do coeficiente global (U), além da transmitância (τ), absorvância, reflectância à radiação solar (α) reflectância a radiação solar (ρ) e emissividade (ϵ).

Tabela 5.6 - Descrição dos fechamentos internos e externos.

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade Térmica (λ) (W/(m ² k))	Massa específica	Calor específico (c) (J/(KG ^o K))
Placa cimentícia	Média	0,01	0,95	2200	840
Gesso acartonado	Liso	0,0125	0,35	1000	840
Concreto Armado	Rugoso	0,12	1,75	2400	1000
Argamassa de contra-piso	Rugoso	0,03	1.15	2100	1000
Cerâmica	Liso	0,005	0,85	1900	837
Telha cerâmica	Liso	0,005	1,05	2000	920
Telha fibra vegetal	Liso	0,005	1,05	2000	920

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

5.3.3 Caracterização climática.

A simulação foi realizada considerando uma cidade representativa de cada uma das oito zonas bioclimáticas, sugeridas pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o estudo foi aplicado para os dias típicos de verão e inverno, Tabelas (5.7 a 5.9).

Tabela 5.7 - Zonas Bioclimáticas e respectivas cidades simuladas.

	ZONA BIOCLIMÁTICA	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
1	Curitiba (PR)	S 25° 42'	W 49° 27'	924m
2	São Lourenço (MG)	S 22° 10'	W 49° 01'	953m
3	São Paulo (SP)	S 23° 50'	W 49° 62'	792m
4	Brasília (DF)	S 15° 78'	W 49° 93'	1.160m
5	Vitória da Conquista (BA)	S 14° 88'	W 49° 79'	875m
6	Campo Grande (MS)	S 20° 45'	W 49° 62'	530m
7	Cuiabá (MT)	S 15° 55'	W 49° 12'	151m
8	Manaus (AM)	S 3° 13'	W 49° 02'	72m

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Tabela 5.8 - Dados de dias típicos de verão das cidades simuladas.

	ZONA BIOCLIMÁTICA	Te máx diária °C	Amplitude Diária detemperatura °C	Te bulbo Úmido °C	Radiação Solar Wh/ m2	Nebulosidade de décimos
1	Curitiba (PR)	31,4	10,2	21,3	4.988	8
2	São Lourenço (MG)	31,8	11,7	21,6	5.307	8
3	São Paulo (SP)	31,9	9,2	21,3	5.180	6
4	Brasília (DF)	31,2	12,5	20,9	4.625	4
5	Vitória da Conquista (BA)	31,7	10,3	21,0	5.030	8
6	Campo Grande (MS)	33,6	10	23,6	5.481	6
7	Cuiabá (MT)	37,8	12,4	24,8	4.972	6
8	Manaus (AM)	34,9	9,1	26,4	5.177	7

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013); (INMET, 2012).

Tabela 5.9 - Dados de dias típicos de inverno das cidades simuladas. (continua)

	ZONA BIOCLIMÁTICA	Te máx diária °C	Amplitude Diária detemperatura °C	Te bulbo Úmido °C	Radiação Solar Wh/ m2	Nebulosidade de décimos
1	Curitiba (PR)	0,7	11,6	11,0	3.211	6
2	São Lourenço (MG)	2,6	16,6	14,0	3.595	7
3	São Paulo (SP)	6,2	10,0	13,4	4.418	6
4	Brasília (DF)	10,0	12,2	14,8	4.246	3

Tabela 5.9 - Dados de dias típicos de inverno das cidades simuladas. (conclusão)

5	Vitória da Conquista (BA)	10,7	9,7	15,1	4.110	7
6	Campo Grande (MS)	13,7	11,5	17,3	4.250	4
7	Cuiabá (MT)	11,4	14,3	20,1	4.163	4
8	Manaus (AM)	21,4	7,9	25	4.523	7

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013); (INMET, 2012).

Para avaliação do desempenho foram analisados os dados obtidos para as zonas térmicas 1,2 e 3 de forma a considerar as piores condições de exposição para cada ambiente no dia típico de projeto para verão e inverno.

5.3.4 Resultados da análise de desempenho térmico.

Apresenta-se nas Tabelas (5.10) a (5.13) os resultados obtidos na avaliação do desempenho térmico, via simulação numérica, para o modelo proposto de HIS, com telhado em duas águas com área útil de 34,69m², destacando-se as situações que não atendem ao critério mínimo estabelecido. No APÊNDICE C apresenta-se os resultados para o modelo proposto de HIS, com telhado em uma água e com área útil de 34,69m².

Tabela 5.10 – Temperatura Internas para o dia típico de INVERNO.

Zona Bioclimática	T _{e,min}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1		Caso 2		Caso 1		Caso 2		Caso 1		Caso 2	
		sem sombr.; 1 ren/h		sem sombr.; 5 ren/h		sem sombr.; 1 ren/h		sem sombr.; 5 ren/h		sem sombr.; 1 ren/h		sem sombr.; 5 ren/h	
		Quart o 1	Sala/ Coz.										
1	3,8	7,1	7,1	5,5	5,4	7,1	7,1	5,5	5,4	7,1	7,1	5,5	5,4
2	5,7	7,2	7,3	6,2	6,3	7,1	7,3	6,1	6,2	7,1	7,2	6,1	6,2
3	9,7	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2
4	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1
5	13,8	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0

Tabela 5.11 – Temperatura Internas para o dia típico de INVERNO.

Zona Bioclimática	$T_{e,min}$	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala/Coz.										
1	3,8	7,1	7,1	5,5	5,4	7,1	7,1	5,5	5,4	7,1	7,1	5,5	5,4
2	5,7	8,4	8,4	6,2	6,3	8,4	8,4	6,1	6,2	8,4	8,4	6,1	6,2
3	9,7	11,4	11,4	9,6	9,7	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2
4	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1	14,2	14,2	13,1	13,1
5	13,8	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0

Tabela 5.12 – Temperatura Internas para o dia típico de VERÃO.

Zona Bioclimática	$T_{e,max}$	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala/Coz.										
1	31,4	29,2	29,4	29,9	30,0	29,4	29,7	30,0	30,2	29,6	30,0	30,2	30,4
2	31,8	31,4	32,1	31,5	31,9	32,2	33,5	32,1	32,9	33,1	34,8	32,7	33,9
3	31,9	29,8	29,9	30,4	30,6	30,1	30,3	30,6	30,8	30,4	30,6	30,8	31,0
4	31,2	29,5	29,5	30,0	30,0	29,8	29,9	30,2	30,3	30,1	30,2	30,4	30,5
5	31,7	30,0	30,4	30,5	30,8	30,5	31,0	30,8	31,2	31,0	31,7	31,2	31,6
6	33,6	32,2	32,5	32,6	32,8	32,6	32,9	32,9	33,1	32,9	33,3	33,1	33,4
7	37,8	35,4	35,6	36,1	36,3	35,6	36,0	36,3	36,6	35,9	36,4	36,5	36,8
8	34,9	34,2	35,0	34,3	34,9	34,8	35,8	34,7	35,4	35,4	36,6	35,1	36,0

Tabela 5.13 – Temperatura Internas para o dia típico de VERÃO.

Zona Bioclimática	$T_{e,máx}$	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala/Coz.										
1	31,4	29,2	29,4	29,9	30,0	29,4	29,6	30,0	30,2	29,6	29,9	30,1	30,4
2	31,8	30,2	30,7	31,4	31,9	30,8	31,5	32,1	32,9	31,3	32,4	32,7	33,8
3	31,9	29,8	29,9	30,4	30,5	30,1	30,3	30,6	30,8	30,4	30,6	30,8	31,0
4	31,2	29,4	29,5	30,0	30,0	29,8	29,8	30,2	30,2	30,1	30,2	30,4	30,4
5	31,7	30,0	30,3	30,5	30,7	30,5	30,9	30,8	31,1	31,0	31,6	31,1	31,6
6	33,6	32,2	32,4	32,6	32,8	32,6	32,9	32,8	33,1	32,9	33,3	33,1	33,3
7	37,8	35,3	35,5	36,1	36,3	35,6	35,9	36,3	36,5	35,9	36,3	36,5	36,8
8	34,9	34,1	34,7	34,3	34,7	34,7	35,6	34,7	35,3	35,3	36,4	35,0	35,8

Nota-se pelos resultados mostrados nas tabelas apresentadas que os valores da temperatura do ar interno da edificação somente não foram satisfatórios nas zonas bioclimáticas 2 e 8, para as condições de verão, principalmente no caso de cores escuras. A solução que pode ser adotada para minimizar a temperatura interna nas zonas 2 e 8 seria inserir isolante térmico como a lã de vidro ou de rocha no interior da parede de Drywall aumentando a massa térmica da parede e assim diminuir o efeito da temperatura exterior.

Conclui-se que neste estudo o emprego dos fechamentos escolhidos são satisfatórios e contemplam os requisitos mínimos exigidos pela norma, uma vez que desempenham um papel importante na eficiência energética da edificação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na construção civil os conceitos de sustentabilidade, racionalização e questões ambientais integram os profissionais, arquitetos e engenheiros a aderirem a novas possibilidades construtivas, como o uso de sistema industrializado em seus projetos.

Empresas fabricantes da área da construção têm investido em novas tecnologias oferecendo aos profissionais uma diversidade de materiais pré-fabricados e industrializados, otimizando o canteiro de obra em tempo e o custo benefício. Mas no Brasil ainda é preciso levar estes conceitos às diversas classes sociais e de interesse social para que a construção industrializada supere a construção convencional em concreto/alvenaria, como já vem acontecendo aos poucos em outros países, pois a construção industrializada causa menos impacto ao ambiente em termos de consumo de matérias primas, energia e geração de detritos.

Baseando-se nisso, o modelo residencial proposto nesse trabalho foi projetado para atender habitações de interesse social com um sistema estrutural de pórticos de estabilização pré-fabricado e com especificação de materiais industrializados como: perfis leves de aço galvanizados a fogo, fechamentos em drywall com painéis de gesso acartonado e placas cimentícias, estrutura em *LSF* para telhado, telhas de fibra vegetal e esquadrias em alumínio, que associados a outros fatores relevantes já citados resultaram em um bom desempenho estrutural e térmico da edificação.

Com o projeto arquitetônico pronto e os materiais especificados o modelo passou por análise estrutural no Software SAP e com os resultados obtidos na análise computacional, pôde-se dimensionar a estrutura otimizando a seção do perfil, resultando em uma estrutura leve e com baixo consumo de aço se comparado a outros sistemas construtivos existentes no mercado.

O modelo proposto apresenta características importantes que resultam em vantagens em relação a construção convencional em concreto armado/alvenaria como:

- a) Rapidez e facilidade na execução da obra. Enquanto o sistema convencional gasta aproximadamente 32 dias ou mais, o modelo proposto ficaria pronto em até 10 dias;
- b) Possibilidade de desmontagem em caso de futuras reformas e ampliações;
- c) Pode ser reutilizada em outro local;

- d) Canteiro de obra é mais limpo, com a redução de entulhos;
- e) Racionalização de materiais diminuindo o desperdício;
- f) Economia e menor consumo de aço da estrutura;
- g) Apresenta uma solução de construção com menor impacto ao meio ambiente;
- h) Apresenta níveis de conforto térmico favoráveis no interior da edificação, proporcionando menor consumo de energia.

Comparando com os outros sistemas ou modelos estruturados em aço, como o modelo Usiteto e Quick House, apresentou as seguintes vantagens:

- a) Economia com baixo consumo de aço estrutural;
- b) Possibilita expansões e aberturas de vão como janelas e portas para todas as laterais da construção, pois não há impedimentos como contraventamentos;
- c) Apresenta melhor organização espacial dos ambientes priorizando a acessibilidade a portadores de deficiências físicas;
- d) Possibilita com a aquisição de mais dois módulos a construção de uma garagem;
- e) Apresenta maior eficiência econômica e estrutural com o uso dos pórticos de estabilização que garantem o equilíbrio da construção quando submetidos a ações horizontais como ventos fortes.

Para que o projeto seja executado seria necessário que se fizesse o detalhamento mais profundo das interfaces e ligações específicas, sendo importante ressaltar que as ligações foram pensadas de forma que não interferissem nas questões estéticas e estruturais do projeto.

Quanto a galvanização dos perfis e ligações de aço para a proteção quanto à corrosão, o intuito é que ela seja feita após a fabricação dessas peças para que haja o recobrimento total da superfície e dos furos. Em contato com a empresa Ztecmetais especializada em galvanização por imersão a quente, foi possível adquirir o valor do preço da galvanização que é cobrada por quilo de aço a ser galvanizado ou seja o valor do quilo

grande quantidade como no caso do projeto o valor fica em torno de R\$1,00. No caso do projeto um perfil custaria o valor de R\$34,32, que é um preço bem reduzido pelo custo benefício.

6.1 Conclusão

Com base em análises e em comparação com modelos existentes no mercado nacional pode-se concluir que o modelo proposto apresenta viabilidades quanto à produção, rapidez de execução, facilidade de montagem e de expansões, redução no impacto ao meio ambiente, modulação arquitetônica e estrutural simplificadas, maior rigidez, ligações que facilitam o processo construtivo com eficiência estrutural, peso reduzido com um baixo consumo de aço e desempenho térmico satisfatório às exigências especificadas pelas normas regentes.

O sistema construtivo oferece os requisitos exigidos pelos programas habitacionais como os do programa PMCMV, priorizando o interesse social e aos conceitos da construção industrializadas que oferece ganhos em termos de custo e benefícios como também na segurança da edificação em regiões que sofrem freqüentes catástrofes ambientais.

6.2 Sugestões para pesquisas futuras.

Sugere-se para a continuação do trabalho:

- Análise estrutural mais detalhada quanto ao lançamento das ações horizontais como vibrações;
- Análise estrutural mais detalhada dos pórticos e das ligações, com dimensionamentos;
- Orçamento detalhado da construção;
- Análise mais detalhada do desempenho térmico do modelo com a inserção de isolamentos térmicos no interior das paredes como a lã de vidro ou de rocha;
- Construção de um protótipo para avaliação do desempenho global (estrutural, térmico e estanqueidade) com patrocínio de empresas que possam interessar pela produção do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 381 p.

_____. **NBR14715**:Chapas de gesso para Drywall. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – 5 Partes. Rio de Janeiro, 2005. 92 p.

_____.**NBR14762**:Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR6123**:Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR8261**:Perfil tubular, de aço carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR15217**:Perfis de Aço para Sistemas Construtivos em Chapas de gesso para Drywall. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR6355**:Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro,2003.

_____.**NBR8800**:Projetos em estrutura de Aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR9050**:Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR6120**:Cargas para Cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ANGST, Arcádio. **Estudo Crítico das Metodologias de Cálculo Para Perfis Dobrados a Frio de Vigas Tipo Canal Sem Enrijecedores de Borda**. 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pós graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ARAÚJO, Ernani. **Apostila Disciplina Elementos de Aço I**. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.

ARCHDAILY. **Clássicos da Arquitetura: MASP/Lina Bo Bard**. 2012. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-59480/classicos-da-arquitetura-masp-lina-bo-bardi>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

ARCOWEB, **Projetando em PVC**. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br/projetodesign/especiais/opera-prima-2006-projetando-com-pvc-01-09-2006>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

ARQUEA, **Abrigo temporário para catástrofes ambientais**. Disponível em: <<http://arquea.wordpress.com/category/projetos/2011>>. Acesso em 10 dez. 2013.

BASTOS, M.A.R. **Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus usuários**. 2004. 458 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004. 2v.

BATISTA, S.M. **Racionalização e Industrialização da Construção Civil**. 2005. 215 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

BIG FARM, Metalúrgica Ltda. Catálogo com informações técnicas do sistema QuikHouse. 2011.

BIMBON. **Telha fibra vegetal**. Disponível em: <http://www.bimbon.com.br/produto/onduline_telha_fibra_ecologica_verde_200x95x3_mm>. Acesso em: 10 ago. 2014.

BONDUKI, Nabil. **Origens da Habitação Social no Brasil: arquitetura moderna, e difusão da casa própria**. Editora Estação Liberdade. São Paulo, 1998.

BULLFOR. Catálogo Parafusos e acessórios para construções metálicas. 2014.

CBCA. **Dimensionamento de perfis formados a frio**. Disponível em:<<http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/livro/cbca/manualpff.pdf>>. Acesso em: Rio de 11 jan. 2008.

CBCA. **Habitação de Interesse Social em Aço**. Disponível em:< <http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/habitacao-de-interesse-social-em-aco.pdf>>. Acesso em 03 out. 2013.

CC. TECHNOLOGIES.**CostofCorrosion**. Disponível em:www.corrosioncost.com. Acesso em: 05 jun. 2014.

CEF. Caixa Econômica Federal. Disponível em:<http://www.caixa.gov.br/novo_habitacao/minha-casa-minha-vida/index.asp>. Acesso em:07 ago. 2014.

CENTER CABOS, 2014. Especificações de cabos de aço. Disponível em: <http://www.centercabo.com.br/produtos/cabo_de_aco.asp>. Acesso em: 03 set. 2014.

CIVIL.**Estruturas de concretoarmado I**. Disponível em:<<http://www.civilnet.com.br/engcivil-estrutura-de-concreto-armado.html>>. Acesso em:02 set.2013.

COMERCIAL ARAÚJO, Catálogo de preço de produtos, Ipatinga, Agosto de 2014.

CORBUSIER, Le. **Por uma arquitetura**. Editora Perspectiva S.A. 6ª edição. São Paulo, 2002.

CUNHA, Celso. **A história das Construções**. Do Panteão de Roma ao Panteão de Paris. Editora Autêntica. 1ª edição.São paulo,2012.

DEFINIÇÃO DE PÓRTICOS. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em:<http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/porticos/historico.htm>. Acesso em: 07 abr. 2014.

DIRETRIZ SINAT. **Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas Construtivos em Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local**. Revisão, nº 001, revisão 01, Brasília, agosto 2010.

DRYVALE. Catálogo de preços. Agosto, 2014.

FLASAN. Soluções para construção a seco. Disponível em: <<http://www.flasan.com.br/especificacao.html>>. Acesso em: 04 fev.2014.

FREITAS, Arlene; CASTRO, Renata. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

FREYRE, Gilberto. **Casa-Grande e Senzala**. Editora Global, 49ª ed. São Paulo. 2004.

GERDAU AÇOMINAS. Catálogos com informações técnicas. 2001.

GERDAU AÇOMINAS. Catálogos com informações técnicas. 2005.

HIBBELER, R. C. Mecânica Dinâmica para Engenharia. 8.ed. Rio de Janeiro, 2008.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para ensino e estudo. 2012.

LAMBERT, Comércio de Ferro e Aço, Disponível em: <<http://metaislambert.com.br/empresa/lambert-ferro-e-aco>>. Acesso abr.2014.

LARES, Conferência Internacional da Lares, **A viabilidade Financeira de Empreendimentos Privados Para Moradia Popular**. São Paulo 2011.

LEI 6766-**Parcelamento do Solo**. Presidência da República - Casa civil, Brasília 1979.

LESSA, Gustavo. **Drywall em edificações Residenciais**. 2005. 64 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) - Faculdade Anhembí Morumbi, 2005.

MAIOLA, Carlos. **Ligações Parafusadas em Chapas Finas e Perfis de Aço Formados a Frio**. 2004. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade Federal de São Paulo, 2004.

MATERIAIS Cerâmicos. Grupo de disciplinas de materiais, edificações e meio ambiente. Faculdade de Arquitetura de Lisboa, 2006. Disponível em:<<http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/Telha1.pdf>>. Acesso em maio 2014.

MEDRANO, L. **Arquiteta projeta 'casa' para vítimas de desastres naturais.**Jornal da Unicamp, São Paulo, 28 març. 2011. Disponível em: <http://www.unicamp.br//unicamp/unicamp_hoje/ju/marco2011/ju488_pag08.php>. Acesso em 19 ago. 2013.

MENDES, F.C. **Análise Téorica- Experimental de Ligações tipo T, K e KT, com Perfis Metálicos Tubulares.** 2008. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

METÁLICA. **Ligações Soldadas e Parafusadas.**Disponível em: <<http://www.metallica.com.br/ligacoes-soldadas-e-aparafusadas>. Acesso em: 23 mai.2014.

METÁLICA. **Primeiro Edifício em Estrutura Metálica do Brasil.** Disponível em: <<http://www.metallica.com.br/primeiro-edificio-em-estrutura-metalica-do-brasil>. Acesso 20 ago.2013.

METSUL, Meteorologia, 2008. Disponível em <<http://metsul.com>>. Acesso em:06 nov. 2013.

MINAMI. Manual de telhados metálicos.2014.

MINAS GERAIS, Fundação João Pinheiro. Déficit Habitacional no Brasil 2007. Projeto PNUD BRA-00019 - Programa Habitar Brasil BID, Belo Horizonte,2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional da Habitação (SNH). Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). Diretrizes para avaliação técnica de produto. Brasília, 2010.

MINISTÉRIO do Desenvolvimento da Indústria. Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas. vI. 2.ed. Brasília: Comércio - Secretaria Especial de Desenvolvimento Industrial. 1989.

NOX. Manual Nox Sistemas Construtivos - Construções industrializadas. Disponível em:< <http://www.nox.com.uy/pr/index.html>>. Acesso em: 04 dez. 2013.

ONDULINE. Catálogo de telhas de fibra vegetal, 2014. Disponível em:< http://www.onduline.com.br/_pdf/cat_onduline.pdf>. Acesso em:03 jun.2014.

PLACO. Catálogo Sistema Drywall. Disponível em:<<http://www.placo.com.br/produtos-drywall/sistema-drywall/paredes-drywall/paredes-drywall.asp>>. Acesso em: 05jan.2014.

PROCEL.Avaliação dos Resultados do Procel, 2006.

QuickHouse, Residências Americanas. Disponível em:<<http://www.quickhouse.com.br/>>. Acesso em 07 jan.2014.

RIBEIRO,Marcellus; MICHALKA, Jr., **A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil**. Cefet. Rio de Janeiro. Ano 5. N°3, dez.2003.

SALES, U.C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SASAZAKI. Catálogo de produtos - Alumifit. 2014.

SILVA, Cristina. **Sistema de cobertura com pórticos de estabilização bidirecionais em perfis metálicos de seção circular com costura para construção residencial industrializada**. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

SILVA, Cristina; FALDINI, Sônia. **Galvanização a quente: Processo por Batelada**. Trabalho científico - Departamento de Engenharia de Materiais - Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo. 2014.

SOARES, Ana Maria e HANAI,João. **Análise Estrutural de Pórticos Planos de Elementos Pré-Fabricados de Concreto Considerando a Deformabilidade das Ligações**.Cadernos de Engenharia de estrutura, São Carlos,2001.

TECHNICA, Consultoria e Projetos Industriais Ltda. Informações técnicas.2010.

TUBONAL. Tubos estruturais. Disponível em:<<http://www.tubonal.com.br/Produtos/tubos-estruturais/normas-tubos-estruturais.html>>. Acesso em:03 dez. 2013.

TW BUILDEX. Catálogo de produtos - Parafusos. 2014.

USIMINAS. Catálogos com informações técnicas Usiteto. Solução Usiminas para Habitação Popular. 1997.

VERSAGE, R. de S. **Ventilação Natural e Desempenho Térmico de Edifícios Verticais Multifamiliares em Campo Grande. 2009. 96 p.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VON KRÜGER, P.G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica.** 2000. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

ZTECMETAIS. Dados técnicos de galvanização por imersão a quente. Disponível em:<<http://www.ztecmetais.com.br/por-que-galvanizar/index.html>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

APÊNDICE A

DESENHOS E DETALHES DO MODELO RESIDENCIAL (HIS) PROPOSTO COM UTILIZAÇÃO DE PÓRTICOS DE ESTABILIZAÇÃO.

Para melhor entendimento do projeto arquitetônico e estrutural apresenta-se nas Figuras A.1 a A.16 esquemas de plantas, cortes, fachadas e perspectivas em três dimensões (3D) do modelo residencial, e também o modelo com expansões.

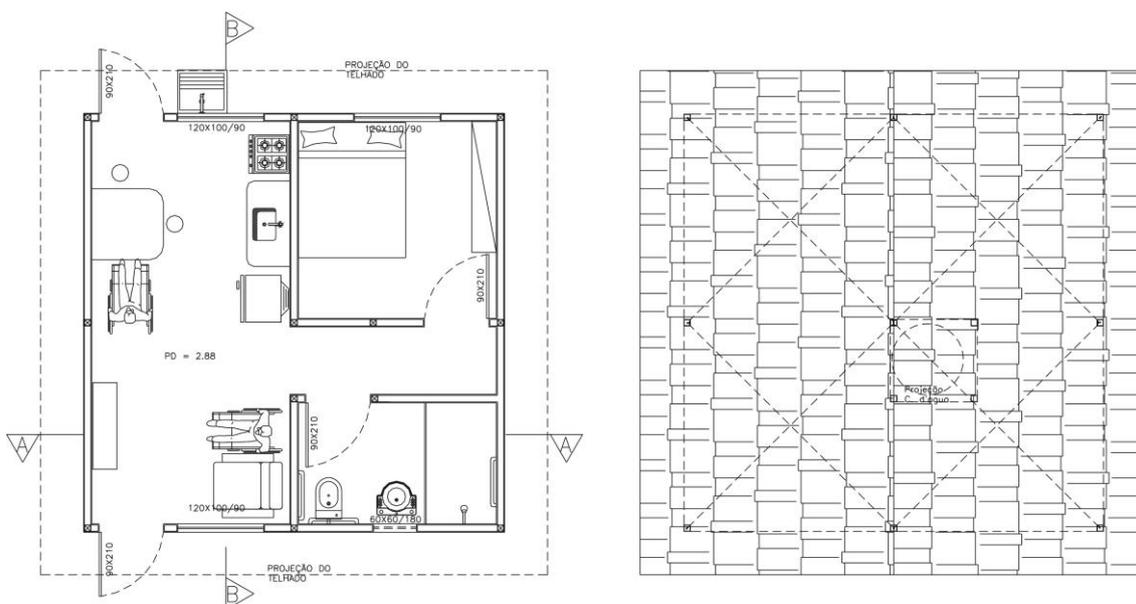


FIGURA A.1 – Planta e planta de cobertura – Modelo arquitetônico 34,69 m².

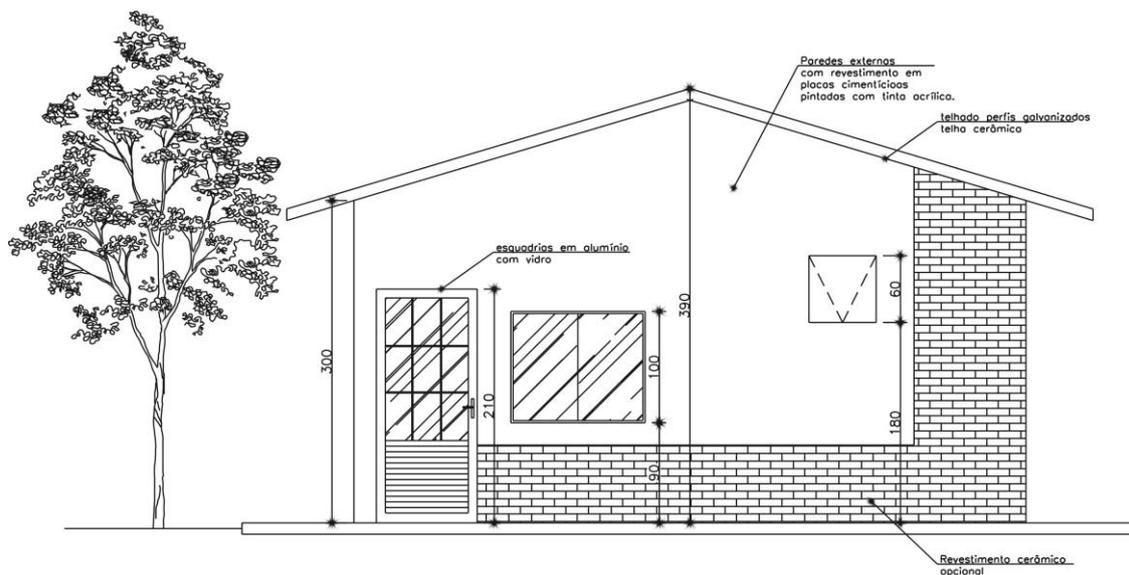


FIGURA A.2 – Elevação frontal - casa modelo 34,69 m².

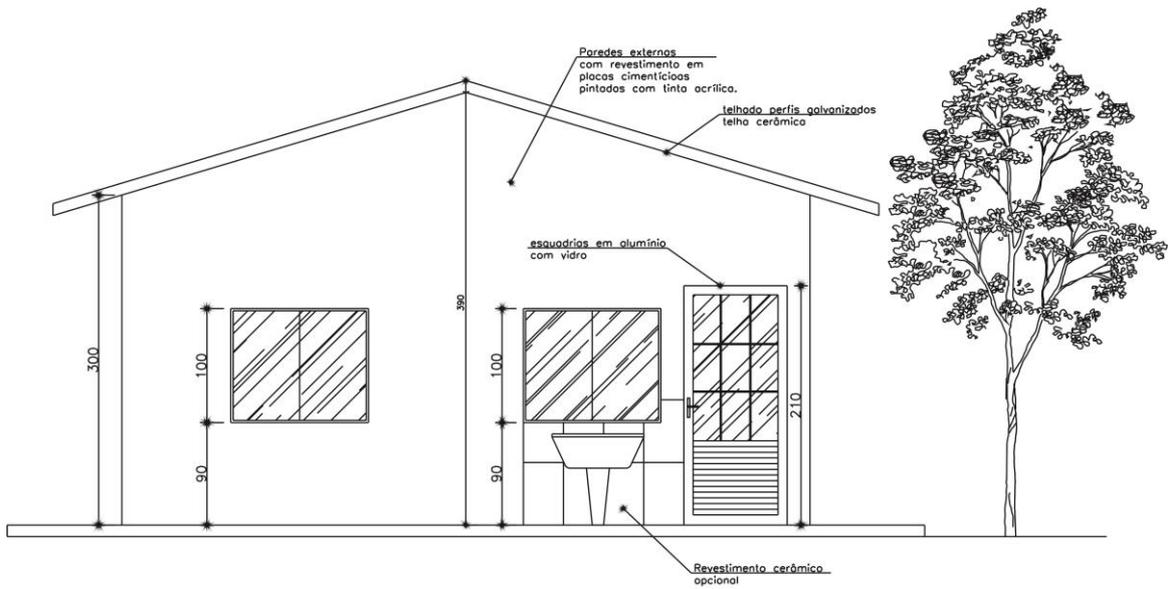


FIGURA A.3 – Elevação posterior - casa modelo 34,69 m².

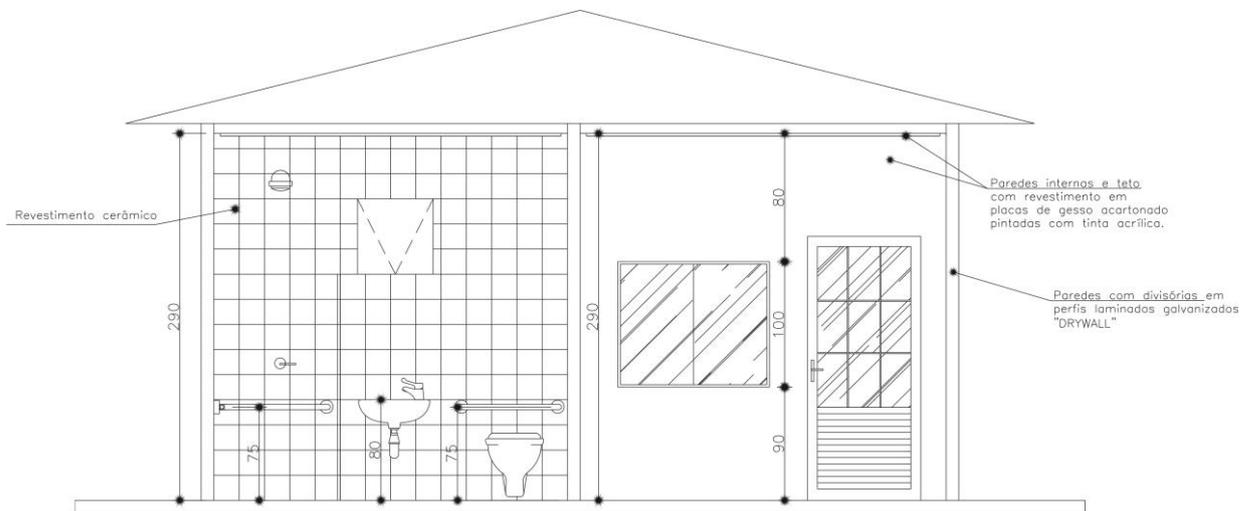


FIGURA A.4 – Corte A - casa modelo 34,69 m².

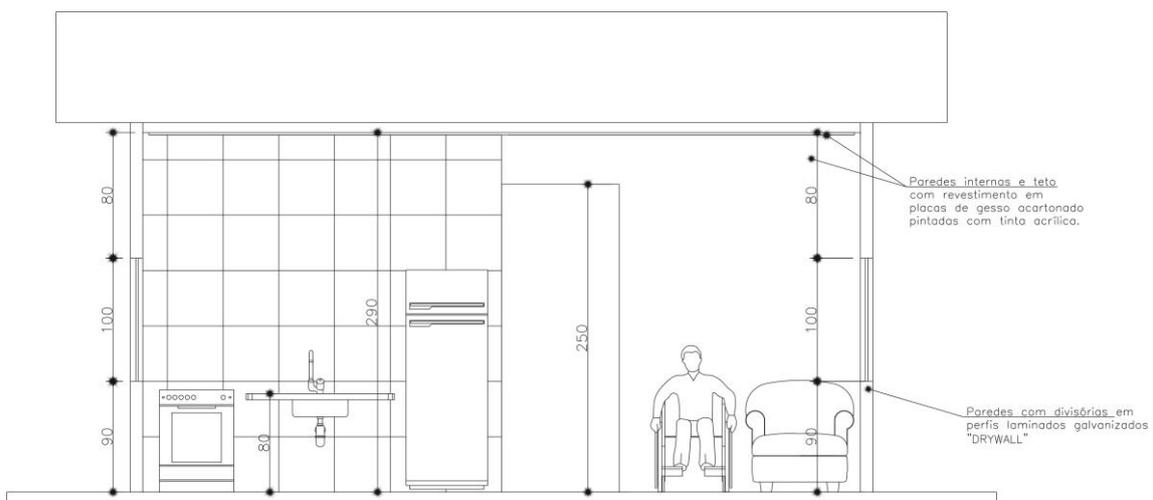


FIGURA A.5 – Corte B- casa modelo 34,69 m².

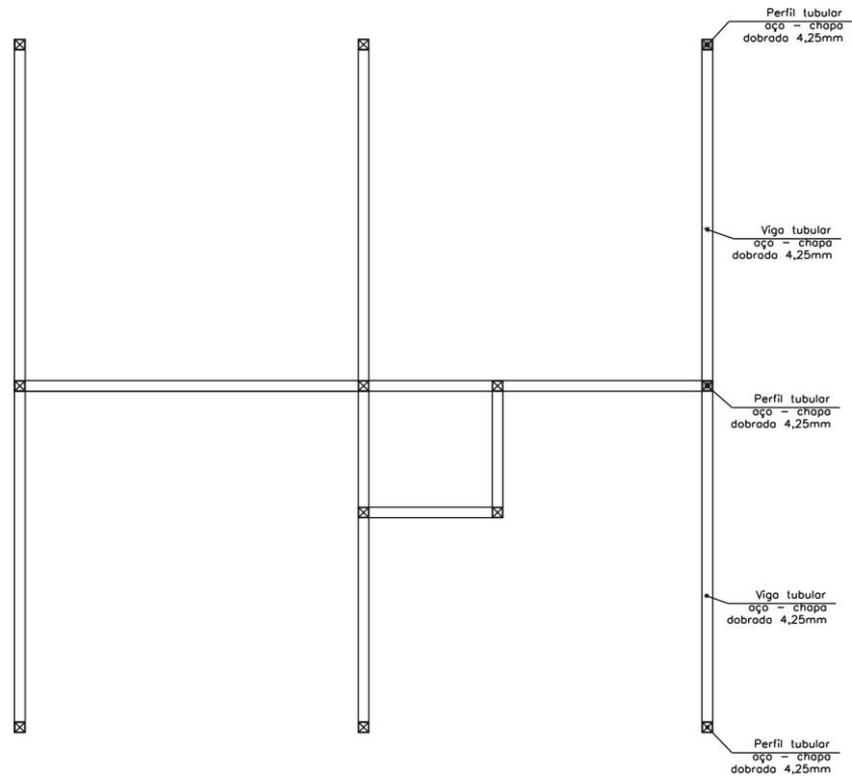


FIGURA A.6 – Planta com modulação de pilares e vigas – Modelo arquitetônico 34,69 m².

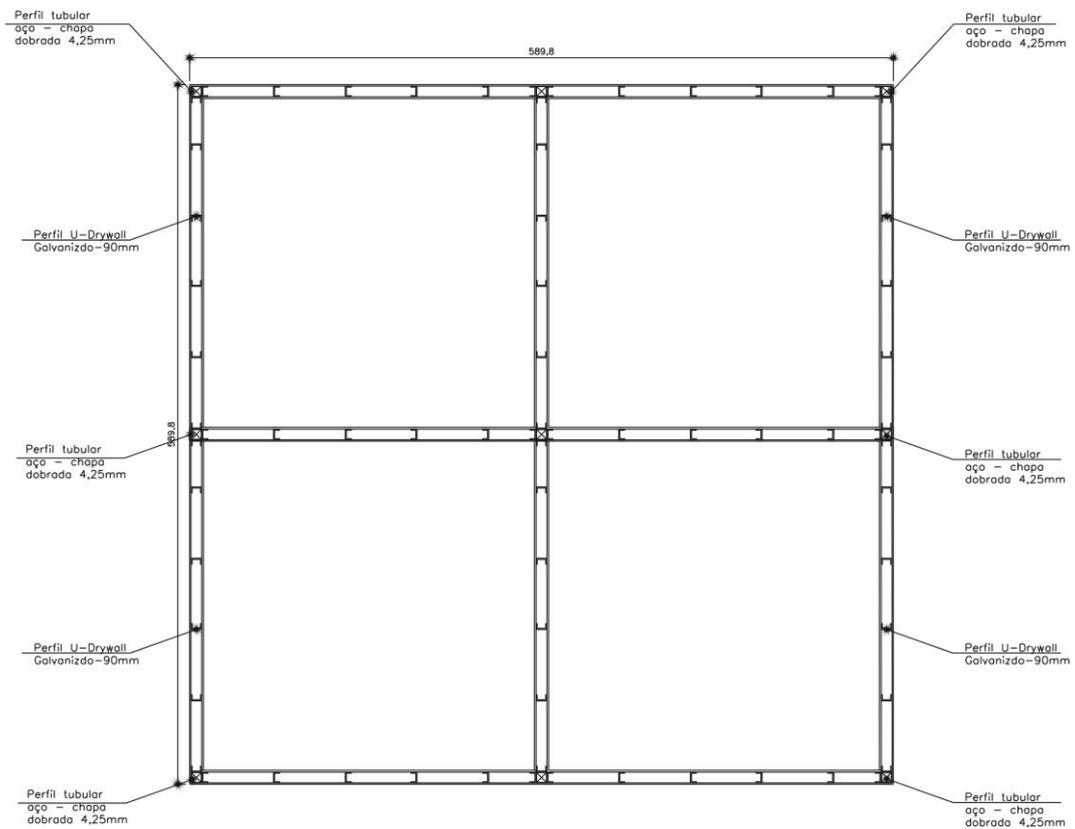


FIGURA A.7– Planta com modulação de pilares e paredes Drywall – Modelo arquitetônico 34,69 m².



FIGURA A.8 – Elevação frontal - casa modelo 34,69 m² - telhado 02 águas.



FIGURA A.9 – Elevação posterior - casa modelo 34,69 m² - telhado 02 águas.



FIGURA A.10 – Perspectiva frontal - casas modelo 34,69 m² - telhado 02 águas.



FIGURA A.11 – Perspectiva posterior - casas modelo 34,69 m² - telhado 02 águas.



FIGURA A.12 – Perspectiva frontal - casa modelo 68,62 m² com expansões - telhado 02 águas.



FIGURA A.13 – Elevação Fronta 1- casas modelo 34,69m² - telhado 01 água.

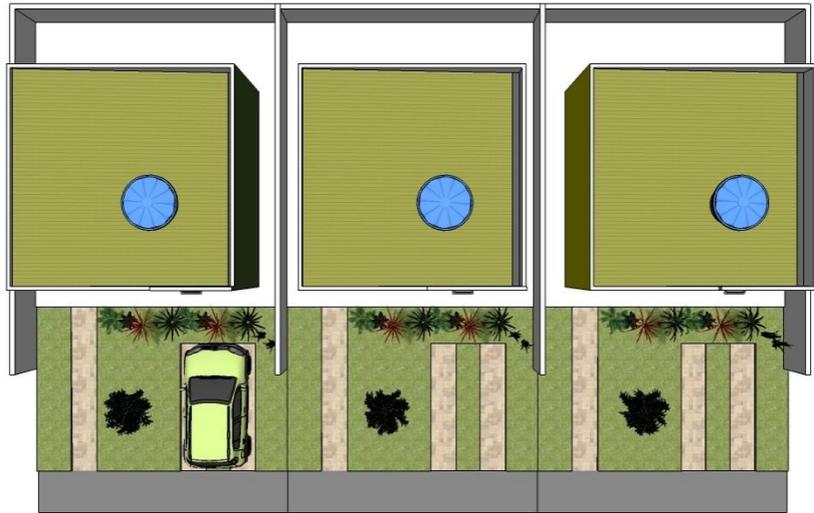


FIGURA A.14 – Planta humanizada - casas modelo 34,69m² - telhado 01 água.



FIGURA A.15 – Perspectiva frontal - casas modelo 34,69m² - telhado 01 água.

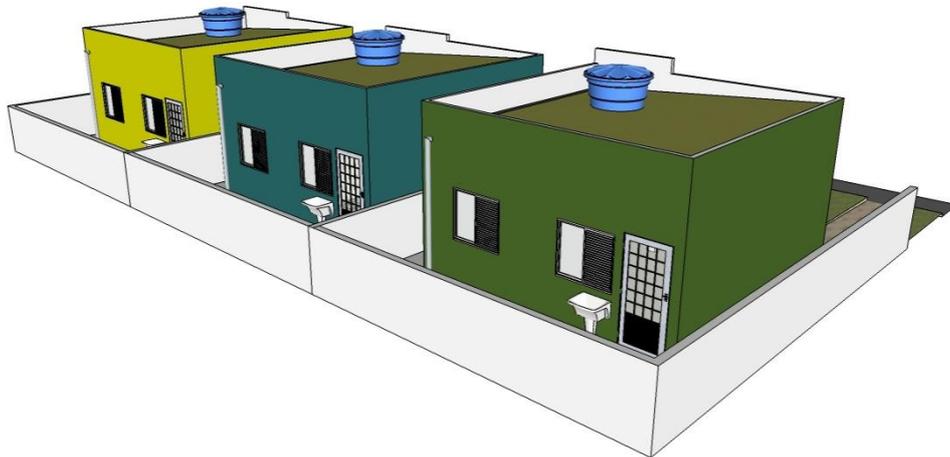


FIGURA A.16 – Perspectiva frontal - casas modelo 34,69m² - telhado 01 água.

APÊNDICE B

PLANILHA DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DO PERFIL METÁLICO

Nesta fase de cálculo refez-se as verificações por haver uma suspeita de erro nas avaliações das ações as quais deveriam ser feitas considerando as larguras de influência das ações. Após refeitos os cálculos das ações horizontais e verticais, fez-se novamente a análise estrutural dos pórticos utilizando o Software SAP versão 2011 encontrados nas figuras (5.4, 5.5, 5.6). Esta verificação é conforme a norma NBR 14762 (ABNT, 2010).

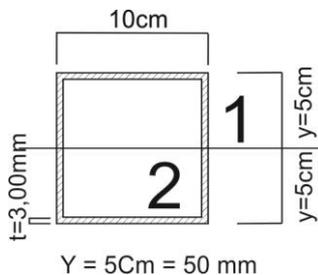
B.1 - Dimensionamento do perfil

Flambagens locais:

$$\lambda p = \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}} = \frac{\frac{b}{t}}{0,95 \left(\frac{KE}{\sigma}\right)^{0,5}}$$

$$\sigma_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad k=4,0$$

$$\sigma_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 205000.000}{12[1 - (0,3)^2] \left(\frac{100}{3}\right)^2} = 823.471.266,5 \text{ N/m}^2$$



$$\sigma = \frac{fc}{A} = \frac{C}{A} = \frac{C}{100.3.4} = \frac{C}{1200mm^2}$$

C= esforço de compressão máximo determinado pela análise estrutural

$$C= -8.754,11 \text{ N} = 88.754,11 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{8.754,11}{1200} = 7,295 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda p = \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,297}{823.471.266,5}} = 9,4121 \cdot 10^{-5} \text{ (N}^\circ \text{ adimensional) (N}^\circ \text{ puro)}$$

conforme pág 29 / 89

bef = b para $\lambda p \leq 0,673$ então: bef = b

t=3,0mm

bef=10cm=100mm

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} = 60 = \frac{100}{3} = 33,33 \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} < 60 \text{ passa}$$

Pois a norma NBR 14762 (ABNT, 2010) estabelece que a relação largura - espessura de um elemento, desconsiderando enrijecedores intermediários, não deve ultrapassar os valores estabelecidos na tabela 4 (pág. 29 / 89).

(pág . 30 / 89) item b estado limite de instabilidade da barra: " se a barra for submetida à compressão, σxfy , sendo x o fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global, conforme 9.7.2 (pág 41/89). A força axial de compressão resistente de cálculo Ncrd deve ser calculada por:

$$Ncrd = x \cdot Aef \cdot \frac{fy}{\gamma} \quad \gamma = 1,20$$

X é o fator de redução da força axial de compressão resistente associado à flambagem global, calculado conforme indicado a seguir ou obtido diretamente da tabela 8 para os casos em que λ_o não supere 3,0:

$$\text{para } \lambda_o \leq 1,5 \quad x = 0,558 \lambda_o^{-2}$$

$$\text{para } \lambda_o \geq 1,5 \quad x = \frac{0,877}{\lambda_o^2}$$

λ_o é o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global, dado por:

$$\lambda_o = \left(\frac{A \cdot fy}{Ne}\right)^{0,5}$$

Ne é a força axial de flambagem elástica.

onde A é área bruta da seção transversal da barra;

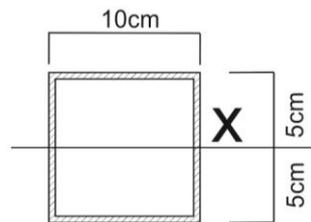
Aef é a área efetiva da seção transversal da barra, calculada com base em uma das duas opções a seguir;

$A_{ef} = A$ para $\lambda_p \leq 0,776$ este é o valor condiz com o estudo de caso

$$A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{0,8}\right) \frac{1}{0,8} \text{ para } \lambda_p > 0,776$$

$$\lambda_o = \left(\frac{A \cdot t_y}{N e}\right)^{0,5} \quad A = 4 \cdot 3 \cdot 100 = 1200 \text{mm}^2$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{k_x l_x^2}$$



$$2x I_x - 2I_x = 2 \cdot \frac{10 (5)^3}{3} - \frac{2(10 - 0,6)(5 - 0,3)^3}{3}$$

$$2 \cdot \frac{100 (50)^3}{3} - 2 \cdot \frac{(100 - 0,6) (50 - 0,3)^3}{3} = 8333333,33 - 8135126,143 = 18207,187 \text{mm}^4$$

$$2x I_x - 2I_x = 2 \cdot \frac{10 (5)^3}{3} - \frac{2(10-0,6)(5-0,3)^3}{3} = 833,33 - 650,624 = 182,706 \text{ cm}^4$$

$$F = 205.000 \text{ Mpa} = 205.000.000.000 \frac{N}{m^2} = 205.000 \frac{N}{10^6 \text{ cm}^2}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 205000 \times 182,706}{(1,0 \times 300)^2} = 4.107,370756 \text{ N}$$

Então:

$$\lambda_o = \left(\frac{A \cdot t_y}{N e}\right)^{0,5} \quad A = 4 \times 0,3 \times 0,1 = 0,12 \text{cm}^2$$

$$t_y = 250 \text{ Mpa} = 250 \times 10^6 \times \frac{N}{10^4 \text{ cm}^2} = 250 \times 10^2 \frac{N}{\text{cm}^2} = 25.000 \frac{N}{\text{cm}^2}$$

$$A \times t_y = 0,12 \times 25.000 = 3.000 \text{ N}$$

$$\lambda_o < 1,5 \quad x = 0,854631 \quad \lambda_o = 0,854631$$

$$\lambda_o < 1,5 \quad x = 0,658^{\lambda_o^2}$$

$$x = 0,658^{(0,854631)^2}$$

$$(0,854631)^2 = 0,73039$$

$$x = 0,658^{0,73039} = 0,7366038941$$

$$Nc, rd = X x Aef x \frac{ty}{\gamma} = 0,7366038941 x 0,12 x \frac{25000}{1,20} = 184,150 N$$

$$\lambda p = \sqrt{\frac{15.345,91446}{823.471.266,5}} = 0,004316901721$$

Seguindo os passos da norma NBR 14762 (ABNT, 2010) para este valor de $\lambda p, \left(\frac{b}{t}\right)_{\max}$, também passa -
bef = ; (pág 29/89).

O perfil tem o C.G = C.C, portanto não há flambagem por "torção" pura então:

$$Nez = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot Cw}{(Kz x Lz)^2} + G \cdot J \right]$$

Cw = 0 pág. 134, N.w Marray, embora o C.C = C.G, a área setorial é igual a zeros, portanto:

$$Nez = \frac{1}{r_o^2} [0 + GJ]$$

$$r_o = [rx^2 + ry^2 + 0 + 0]^{0,5}$$

$$G = 0,385 E \quad - \text{NBR 8800 (ABNT, 2008)}$$

$$G = 0,385 x 205.000 = 78.925 \text{ Mpa}$$

$$r_o = [rx^2 + ry^2 + 0 + 0]^{0,5}$$

rx e ry = raios de giração da seção bruta em relação ao eixo x e y .

$$\frac{bh^3}{12} = \frac{10 (10)^3}{12} = 833,33 \text{ cm}^4$$

$$I = A x I^2 = 833,33 = 100 x i^2$$

$$I = \sqrt{\frac{833,33}{100}} = 2,8867 \text{ cm}$$

$IxG = 182,706$ calculado anteriormente (na 3ª pág anterior)

$$\text{Sendo: } I = A x i^2 \quad A = 0,12 \text{ cm}^2$$

$$I = I_y = 0,12 \times i^2 = 182,706 = 0,12 \times i^2 = i^2 1522,55 \quad i = \sqrt{1522,55} \quad i = 39,01 \text{ cm.}$$

$$I = It = \frac{A \cdot A^2}{\int \frac{4x10}{4^{0,3}}} = \frac{40000}{1} \times \frac{0,3}{4x10} = 3.000 \text{ cm}^4$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} [0 + GJ] = \frac{1}{(4,072)^2}$$

$$G = 78.925 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = 78.925 \times 10^2 \frac{N}{cm^2}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{(4,072)^2} [0 + 78.925 \times 10^2 \times 3000] = 1.427974022 \text{ N}$$

$N_{ez} = 1.427.974.022$, mas pela análise estrutural tem-se a compressão máxima $N_d = - 8.754,11 \text{ N}$.

$N_d < N_{ez}$ passa. (não há flambagem por torção pura).

obs: Não haverá também flambagem por flexo-torção pois o C.C = C.G

observação importante:

As colunas dos pórticos estão solicitadas primordialmente por momento fletor e força normal de compressão. Então, estas colunas deverão funcionar como vigas-colunas e solicitadas por flexo-compressão. Desta forma, as verificações deverão obedecer o item 9.9 (barras submetidas à flexão composta) da norma NBR 14.762 (ABNT, 2010), pág 56/89. Os esforços normais juntamente com os momentos fletores solicitantes deverão satisfazer à seguinte equação de interação:

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_x sd}{M_x Rd} + \frac{M_y sd}{M_y Rd} \leq 1,0$$

N_{sd} = força axial solicitante de cálculo de compressão, considerada constante na barra e oriunda da análise estrutural;

N_{Rd} = força axial resistente de cálculo de compressão, determinada conforme item 9.6 ou 9.7 da pág. 41/89 norma NBR 14.762 (ABNT, 2010); 9.7.2 Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção.

A força axial de compressão resistente de cálculo N_{cRd} , deve ser calculada por:

$$N_{cRd} = X A e f x \frac{t_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,20)$$

X é o fator de redução da força axial de compressão resistente associado à flambagem global, calculado conforme indicado a seguir ou obtido diretamente da tabela 8 para os casos em que λ_o não supere 3,0:

$$\lambda_o = \left(\frac{Afy}{Ne} \right)^{0,5}$$

$$A = 0,12 \text{ cm}^2$$

$$fy = 250 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = 250 \times 10^6 \frac{N}{10^4 \text{ CM}^2}$$

$$N_{ex} = 4.107,370756$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{K_x L_x^2} = \frac{\pi^2 \times 205.000 \times 10^2 \times 182,706}{(1,0 \times 300)^2} = 410.737,0756 \text{ N}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{0,12 \times 250 \times 10^2}{410.737,0756}} = 0,08546310632$$

$$\lambda_o = (0,08546310632)^2 = 0,007303394$$

$$X = 0,9969476015$$

$$N_{cRd} = X \times Aef \times \frac{ty}{\gamma} = 0,9969476015 \times 0,12 \times \frac{25000}{1,2} = 2.492,369 \text{ N.}$$

M_{xsd} = momento fletor solicitante de cálculo, na seção considerada, em relação ao eixo x, oriundo da análise estrutural;

M_{xRd} = momento fletor resistente de cálculo em relação ao eixo x calculado conforme item 9.8.2.

Observação importante:

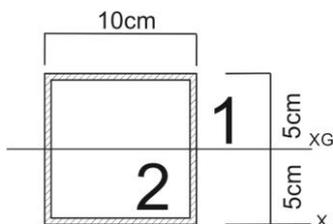
O perfil para a viga coluna é um perfil caixão onde as inércias em relação aos eixos x e y são iguais, portanto anula a possibilidade de flambagem lateral com torção (FLT). No entanto o momento fletor resistente de cálculo MR_d deve ser tomado como os itens:

$$9.8.2.1 - \text{Início de escoamento da seção efetiva : } MR_d = w_{ef} \times \frac{ty}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

9.8.2.3 - Flambagem distorcional: não ocorrerá pois o perfil é rígido e de seção caixão.

Voltando-se ao cálculo do item 9.8.2.1, tem-se:

$$MR_d = w_{ef} \times \frac{ty}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$



$$I_x = I_{x_1} - I_{x_2} = \frac{10(10)^3}{3} - \frac{(10-0,6)(10-0,6)^3}{3} = 3333,33 - 2,602,4965 = 730,8335 \text{ cm}^4$$

$$I_x = I_{CG} + S \cdot Y^2$$

$$730,8335 = I_{CG} + (10 \times 0,3 \times 4) \times (5)^2 = 730,8335 - 300 = 430,8335 \text{ cm}^4$$

$$w_{ef} = \frac{430,8335}{5} = 86,1667 \text{ cm}^3$$

$$t_y = 250 \text{ Mpa} = 20 \times \frac{10^6 \text{ N}}{\text{m}^2} = 250 \times 10^6 \frac{\text{N}}{10^4 \text{ cm}^2} = 25.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$MRd = \frac{W_{ef} \times g_y}{\gamma} = \frac{86,1667 \times 25000}{1,10} = 1958.334,091 \text{ Nxcm}$$

Verificação da equação de interação:

$$\frac{N_{sd}}{NRd} + \frac{M_{x, sd}}{M_{x, Rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{sd} = 8.754,11 \text{ N}$$

$$NRd = 2.492,369 \text{ N}$$

$$MRdx = 9.262,71 \text{ Nxm} \quad \text{ver gráfico de análise / resultados obtidos na análise no SAP.}$$

$$MsRd = 1.958.334,091 \text{ Nxcm}$$

$$Msdy = 0$$

MsRdy = não há necessidade de calcular.

$$\frac{8.754,11}{2.492,369} + \frac{9.262,71}{1.958.334,091} + \frac{0}{C} \leq 1,0 \quad 3,5123 + 0,0047298926 > 1 \text{ não passa}$$

Devemos aumentar o denominador Nrd, então considerando-se agora o mesmo perfil porém com espessura de parede igual a 5mm:

$$N_{cd} + 0,9969476015 \times 20 \times \frac{2500}{1,2} = 415394,834 \text{ N}$$

$$A_{ef} = 4 \times 10 \times 0,5 = 20 \text{ cm}^2$$

Para economizar mais ainda em aço, vamos considerar a seção tendo 4mm de espessura de parede:

$$A_{ef} = 4 \times 0,4 \times 4 \times 10 = 16 \text{ cm}^2$$

$$N_{cd} + 0,9969476015 \times 16 \times \frac{2500}{1,2} = 332315,8672 \text{ N}$$

verificando-se então novamente a equação de interação:

$$\frac{8.754,11}{3.32315,8672} + \frac{9.262,71}{1.958.334,091} + \frac{0}{C} \leq 1,0 \quad 0,02634 + 0,0047298926 = 0,03106 \leq 1,0 \text{ C. Q. D}$$

B.2 - Consumo de aço dos cabos

Cálculo de consumo de aço dos cabos utilizados para atirantar a estrutura do modelo proposto, com área útil de 34,69 m². Segundo os dados da Tabela (A.1) e (A.2).

$$\text{Cabo de } 1/8 = 3,17 \text{ mm} = 0,039 \text{ Kg/m}$$

Metragem de 1 cabo de aço = 4m

portanto: $4m \times 0,039 \frac{kg}{m} = 0,156 kg$

para 8 cabos de 4m = $8 \times 0,156 kg = 1,25 kg$

B.3 - Consumo de aço dos perfis

Cálculo de consumo de aço do modelo proposto com área útil 34,69m², segundo os dados da Tabela 5.1. Levando em consideração os pilares e vigas para sustentação da caixa d'água.

Metragem de área útil do modelo básico proposto: 34,6m²

Nº de pilares de 3m de comprimento = 12 pilares

Nº de vigas de 3m de comprimento = 8 vigas.

Nº de vigas de 1m de comprimento = 2 vigas.

Peso do perfil por metro linear = 11,44 kg/m.

Portanto:

$12 \times 3m \times 11,44 kg/m = 411,84 kg.$

$8 \times 3m \times 11,44 kg/m = 274,56 kg.$

$2 \times 1m \times 11,44 kg/m = 22,88 kg.$

Total = 709,28 kg/m.

$\frac{709,28 kg/m}{34,69m^2} = 20,44 \frac{kg}{m^2} + 1,25 kg/m^2 = 21,69 kg/m^2$

$21,69 \frac{kg}{m^2} \times 10 = 216,9 N/m^2$

B.3 - Consumo de aço dos perfis

Cálculo de Peso estrutural do modelo proposto com 34,69m², segundo os dados da Tabela 5.1. Não levando em consideração os pilares e vigas para sustentação da caixa d'água.

Metragem de área útil do modelo básico proposto: 34,6m²

Nº de pilares de 3m de comprimento = 9 pilares

Nº de vigas de 3m de comprimento = 8 vigas.

Portanto:

$$9 \times 3m \times 11,44 \text{ kg/m} = 308,88,84 \text{ kg.}$$

$$8 \times 3m \times 11,44 \text{ kg/m} = 274,56 \text{ kg.}$$

$$\text{Total} = 583,44 \text{ kg/m.}$$

$$\frac{583,44 \text{ kg/m}}{34,69m^2} = 16,81 \frac{\text{kg}}{m^2} + 1,25 \text{ kg } m^2 = 18,06 \text{ kg/m}^2$$

$$1806 \frac{\text{kg}}{m^2} \times 10 = 180,6 \text{ N/m}^2$$

APÊNDICE C

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DESEMEMHO TÉRMICO VIA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Nas Tabelas C.1 a C.4 apresenta-se os resultados para o modelo proposto de HIS, com telhado em uma água e com área útil de 34,69m², destacando-se as situações que não atendem ao critério mínimo estabelecido.

Tabela C.1 – Temperatura Internas para o dia típico de INVERNO.

Zona Bioclimática	T _{e,min}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h	
		Quart o 1	Sala/ Coz.										
1	3,8	7,1	7,1	5,5	5,5	7,1	7,1	5,5	5,5	7,1	7,1	5,5	5,5
2	5,7	8,3	8,4	6,9	6,9	8,3	8,4	6,9	6,9	8,3	8,4	6,9	6,9
3	9,7	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2
4	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1
5	13,8	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0

Tabela C.2 – Temperatura Internas para o dia típico de INVERNO.

Zona Bioclimática	T _{e,min}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Quart o 1	Sala/ Coz.										
1	3,8	7,1	7,1	5,5	5,5	7,1	7,1	5,5	5,5	7,1	7,1	5,5	5,5
2	5,7	8,3	8,4	6,9	6,9	8,3	8,4	6,9	6,9	8,3	8,4	6,9	6,9
3	9,7	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2	11,4	11,4	10,2	10,2
4	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1	14,2	14,2	13,2	13,1
5	13,8	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0	13,8	13,8	13,0	13,0

Tabela C.3 – Temperatura Internas para o dia típico de VERÃO.

Zona Bioclimática	T _{e,máx}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h	
		Quarto o 1	Sala/ C oz.	Quart o 1	Sala/ Coz.	Quart o 1	Sala/ Coz.	Quar to 1	Sala/ Coz.	Quart o 1	Sala/ Coz.	Quart o 1	Sala/ Coz.
1	31,4	29,3	29,5	29,9	30,1	29,5	29,9	30,1	30,3	29,8	30,2	30,2	30,6
2	31,8	30,4	31,0	30,8	31,3	31,0	32,0	31,3	32,0	31,6	33,0	31,6	32,6
3	31,9	29,9	30,1	30,5	30,7	30,2	30,5	30,7	30,9	30,5	30,9	30,9	31,2
4	31,2	29,5	29,5	30,0	30,1	29,9	30,1	30,3	30,4	30,3	30,5	30,3	30,5
5	31,7	30,2	30,6	30,6	30,9	30,8	31,4	31,0	31,4	31,3	32,1	31,4	31,9
6	33,6	32,3	32,6	32,7	32,9	32,7	33,1	33,0	33,3	33,1	33,7	33,2	33,6
7	37,8	35,5	35,8	36,2	36,4	35,8	36,2	36,4	36,7	36,1	36,7	36,6	37,0
8	34,9	34,3	35,2	34,4	35,0	35,0	36,2	34,9	35,7	35,7	37,1	35,3	36,3

Tabela C.4 – Temperatura Internas para o dia típico de VERÃO.

Zona Bioclimática	T _{e,máx}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 com sombr.; 1 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Quart o 1	Sala/ Coz.										
1	31,4	29,3	29,5	29,9	30,1	29,5	29,8	30,1	30,3	29,8	30,2	30,2	30,5
2	31,8	30,3	31,0	30,7	31,2	31,0	31,9	31,2	31,9	31,6	32,9	31,6	32,5
3	31,9	29,9	30,0	30,5	30,6	30,2	30,4	30,7	30,9	30,5	30,8	30,9	31,2
4	31,2	29,5	29,6	30,0	30,1	29,9	30,0	30,3	30,3	30,3	30,4	30,5	30,6
5	31,7	30,1	30,5	30,6	30,9	30,7	31,2	31,0	31,4	31,3	32,0	31,3	31,9
6	33,6	32,3	32,6	32,3	32,6	32,7	33,1	32,9	33,2	33,1	33,6	33,2	33,6
7	37,8	35,4	35,7	36,2	36,4	35,7	36,1	36,4	36,7	36,1	36,6	36,6	37,0
8	34,9	34,2	35,0	34,4	34,9	34,9	35,9	34,8	35,5	35,6	36,9	35,5	36,2

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DO PERFIL E CABO METÁLICO

Nas Tabelas (A.1) e (A.2) são apresentadas as características do perfil de análise e do cabo metálico, a partir das informações obtidas por meio das empresas S.A Tubonal e Center Cabos, para a análise estrutural dos pórticos de estabilização.

Tabela A.1 - Características perfil seção quadrada - Tubonal

NORMAS		NBR - 8261				ASTM A-500			
DIMENSÕES		VIDE TABELA ABAIXO							
ESPESSURAS (MM)		± 10 %	2,25	2,65	3,00	3,35	3,75	4,25	4,75
SEÇÃO QUADRADA (MM)	40	± 0,40	2,67	3,11	3,40	3,86			
	50	± 0,50	3,37	3,94	4,43	4,91	5,45	6,11	6,75
	60	± 0,50		4,77	5,37	5,96	6,62	7,44	8,24
	70	± 0,60		5,60	6,31	7,01	7,80	8,77	9,73
	80	± 0,65		6,44	7,25	8,06	8,98	10,11	11,22
	90	± 0,75			8,19	9,12	10,16	11,44	12,72
	100	± 0,80			9,14	10,17	11,33	12,78	14,21
S	Mm	polegada	PESO LINEAR MÉDIO (Kg/m)						

Tabela A.2 - Características cabo de aço 1/8 - Center cabos

Ø cabo (pol.)	Peso por metro (kg/m)	6x19 AF 6x25 AF
1/8	0.039	620
3/16	0.088	1400
1/4	0.156	2480
5/16	0.244	3860
3/8	0.351	5530
7/16	0.476	7500
1/2	0.625	9710
9/16	0.788	12200
5/8	0.982	15100
3/4	1.413	21600
7/8	1.919	29200
1"	2.500	37900
1.1/8	3.169	47700