



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

CÉSAR RAFAEL PIMENTEL ESSER
MATRÍCULA: 21233223

**ESTIMATIVA DE CUSTO ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
LIGHT STEEL FRAME E CONCRETO ARMADO-ESTUDO DE CASO**

Brasília

2014

CÉSAR RAFAEL PIMENTEL ESSER

**ESTIMATIVA DE CUSTO ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
LIGHT STEEL FRAME E CONCRETO ARMADO-ESTUDO DE CASO**

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

Orientador: Eng. Civil William Oliveira
Bessa, D.Sc.

Brasília

2014

CÉSAR RAFAEL PIMENTEL ESSER

**ESTIMATIVA DE CUSTO ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
LIGHT STEEL FRAME E CONCRETO ARMADO-ESTUDO DE CASO**

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

Orientador: Eng. Civil William Oliveira
Bessa, D.Sc.

Brasília, 25 de Novembro de 2014.

Banca Examinadora

Eng. Civil: William Oliveira Bessa.
Orientador

Eng. Civil: Jorge Antônio da Cunha Oliveira.
Examinador Interno

Eng. Eduardo Dimas de Alsina Grau.
Examinador Externo

Agradecimentos

A Deus, em primeiro lugar, por ter me dado a vida e ser uma fonte de força e sabedoria para enfrentar todos os momentos difíceis que passei até a chegada da formatura.

À minha avó, Adail Maria Pimentel Serejo, por todos os ensinamentos, todo o apoio e toda a dedicação que teve comigo, tenho certeza que se não fosse por ela, nada disso seria possível.

À minha namorada, Patrícia de Souza Carvalho, por tudo o que fez por mim, pela paciência nos momentos difíceis, pelo suporte quando todos me abandonaram ou viraram as costas para mim. Pelos cinco anos de muito amor, carinho e companheirismo.

Ao S.R. Manoel Carvalho, por ter sido um verdadeiro pai para mim. Quando eu mais precisei, me deu todo o suporte para que eu conseguisse ter paz para superar as adversidades.

Aos meus pais, por terem me dado à vida.

A todos os meus amigos e amigas dessa longa jornada que foi a graduação. Em especial a Fernanda, Jéssica e Cristiano, que foram verdadeiros companheiros nos momentos de estudos e provas difíceis.

A todos os meus professores de graduação, em especial ao meu orientador, William Bessa, por ter acreditado em mim e por ter me dado a oportunidade de ser orientado por um profissional dedicado ao que faz e altamente capacitado para ajudar sempre que precisei. Gostaria de agradecer também aos professores Jorge Oliveira, Júlio Kunzler, Jairo Nogueira e Irene Joffilly pelo suporte dado quando mais precisei.

À Valéria, pelo suporte e carinho que teve comigo quando precisei de ajuda na graduação. Pelos sábios conselhos quando pensava em desistir.

A toda equipe do NAE, em especial à professora Petrolina. O suporte dado foi fundamental para que eu conseguisse concluir o curso.

RESUMO

As profundas modificações na estrutura socioeconômica do Brasil que ocorreram nesses últimos 50 anos acabaram por gerar uma demanda muito alta da indústria da construção civil para criação de residências e domicílios privados. Contudo, o setor encontra dificuldades, até mesmo culturais, de implementar inovações que poderiam suprir essa demanda.

Nessa perspectiva, os perfis em chapa dobrada tem grande espaço no mercado devido a sua adaptabilidade e aceitação no mercado. Podem-se distinguir esses perfis em dois grandes grupos: os perfis mais robustos de aço (e mais empregados atualmente); e os perfis de chapa metálicos conformados a frio (ou perfis de chapa leves - LSF).

Esse trabalho aborda as características e propriedades físicas desses últimos perfis e sua aplicação no mercado Brasileiro. Foi apresentado um estudo de caso comparando a estimativa de custo de uma mesma estrutura para dois tipos diferentes de sistemas construtivos: concreto armado e os perfis conformados a frio.

Os perfis conformados a frio apresentam um considerável custo-benefício quando comparados com métodos construtivos convencionais, em relação a suas diversas aplicações e vantagens. Para o atual cenário brasileiro os perfis leves tornam-se um material extremamente atraente para suprir a grande demanda por domicílios no país.

Palavras-chave: *Perfis de chapa metálicos conformados a frio; Perfis de chapa leves; Estruturas em concreto armado.*

ABSTRACT

The deep changes in Brazil's socioeconomic structure that have occurred in the last 50 years eventually generate a very high demand in the building industry to create houses and private homes. However, the sector finds it difficult, even cultural, to implement innovations that could meet this demand.

From this perspective, the light steel has gained great momentum in the marketplace due to their adaptability and acceptance of sector companies. Can be distinguished these frames into two large groups: the strongest steel profiles (and currently most widely used); and cold formed steel beams (or light steel frame - LSF).

This work will discuss the features and physical properties of cold formed steel beams and their application in the Brazilian market. A case study was presented comparing the estimated cost of a single structure for two different types of building systems: reinforced concrete and cold formed steel frame.

The LSF feature cost-effective when compared to conventional construction methods in relation to its diverse advantages and applications. For the current Brazilian scenario the light profiles become extremely attractive material for the high demand for homes in the country.

Keywords: *Cold formed steel beams; Light steel frame; Concrete structures.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. METODOLOGIA	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1 Definição	5
4.2 Histórico	6
4.3 Métodos de Construção	7
4.4 Características, fabricação e montagem dos perfis leves.	9
4.5 Comportamento dos perfis de chapa dobrada	13
4.6 Influência da conformação a frio nas propriedades mecânicas do aço	15
4.7 Flambagem Global	16
4.8 Flambagem Local	18
4.9 Flambagem por Distorção da Seção Transversal	20
4.10 Tensões Residuais e Imperfeições Geométricas	21
4.11 Ligações	23
4.12 Corrosão Galvânica	25
4.13 ORÇAMENTO DE OBRAS	26
5. ESTUDO DE CASO	28
5.1 Apresentação	28
5.2 Descrição da Residência estudada	28
5.3 Critérios de dimensionamento da estrutura em Light Steel Frame	31
5.4 Critérios de dimensionamento da estrutura em concreto armado	34
6. ANÁLISE DOS DADOS E CONCLUSÕES	39

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
9. ANEXO I	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de Residência em Steel Framing	5
Figura 2: Montagem pelo método “Stick”.	7
Figura 3: Pinéis Pré-Fabricados utilizados na montagem por painéis.....	8
Figura 4: Módulo de banheiro.....	9
Figura 5: Equipamento utilizado no processo contínuo de conformação de perfis leves: (a) Perfiladeira; (b) Sequência de fabricação do perfil.	10
Figura 6: Equipamento utilizado no processo descontínuo na conformação de perfis leves: (a) Prensa dobradeira; (b) Sequência de fabricação do perfil.....	10
Figura 7: Principais seções de perfis de chapa dobradas.	11
Figura 8: Estrutura de cobertura residencial executadas com perfis de aço de chapa dobradas.	12
Figura 9: Estrutura de cobertura executadas com perfis de aço de chapa dobradas.	12
Figura 10: Exemplo de residência e projeto elaborados com perfis leves - LSF.....	12
Figura 11: Exemplo de residência e projeto elaborados com perfis leves - LSF.....	12
Figura 12: Gráfico tensão-deformação de uma barra de aço submetida a esforços de tração.	14
Figura 13: Deformação de um corpo de prova em aço submetido a um esforço de tração.	14
Figura 14: Efeitos do dobramento em perfis conformado a frio.....	15
Figura 15: Efeitos do dobramento em perfis conformado a frio.....	16
Figura 16: Flambagem Local.....	18
Figura 17: Método da Largura Efetiva.	19
Figura 18: Flambagem Local e Distorcional.	20
Figura 19: Distorção da seção transversal.	21
Figura 20: Diagrama de tensões residuais.	21
Figura 21: Exemplos de tipos de ligações em estruturas metálicas com parafusos..	23
Figura 22: Exemplos de ensaios envolvendo ligações parafusadas em perfis de aço.	24
Figura 23: Tipos de falhas em ligações parafusadas em perfis leves.	25
Figura 24: Planta Baixa Pavimento Superior (ampliação).	29

Figura 25: Perspectiva frontal da residência do estudo de caso, como o pavimento superior construído em LSF.	30
Figura 26: Reforço estrutural por meio de treliças em perfis de chapa dobrada.	31
Figura 27: Os perfis de aço metálicos LSF foram a solução adotada pela Zárja para o projeto de ampliação da residência em estudo.	31
Figura 28: Vista do projeto estrutural (indicando os perfis leves) da expansão residencial do Lago Norte	32
Figura 29: Sistema Macho Fêmea em OSB.	32
Figura 30: Montagem de laje OSB	32
Figura 31: Painéis em LSF das paredes e Vergas.	33
Figura 32: Os perfis de aço metálicos LSF adotados pela Zárja para o projeto de ampliação da residência em estudo.	33
Figura 33: Planta de Fôrmas Utilizadas para o cálculo estrutural.	36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Coeficiente de flambagem para diferentes situações de ligações e apoios.	17
Tabela 2: Quantitativo de material total e custo unitários total dos perfis leves utilizados na execução da estrutura.	34
Tabela 3: Quantitativo de material total e custo unitários total do sistema em concreto armado utilizados na execução da estrutura.	37
Tabela 4: Comparativo de Custos	39

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da população urbana nas últimas décadas, especialmente a partir da década de 1950, o cenário habitacional brasileiro sofreu drásticas mudanças. A população urbana ultrapassou 80% da população brasileira já no ano de 2000 (IBGE, 2010). Dessa forma a demanda por moradias aumentou consideravelmente nesse período e com isso o déficit habitacional no Brasil ultrapassa hoje os 5,2 milhões de moradias, segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Na tentativa de combater esse déficit o governo federal brasileiro vem por meio de programas sociais tentando ampliar o número de domicílios pelo país. O programa de maior êxito nesse sentido foi o “Minha Casa, Minha Vida”, esse projeto foi criado em 2009 com a meta inicial de entregar para a população um milhão de casas. Essa meta foi alcançada no ano de 2010 e, na tentativa de diminuir ainda mais o déficit habitacional o governo lançou no ano de 2011 o projeto “Minha Casa, Minha Vida 2”, cujo objetivo é de entregar mais de 2 milhões de casas (Ministério do Planejamento, 2011), das quais 60% voltadas para famílias de baixa renda.

Apesar dessa iniciativa, ainda é preciso investimento nos setores envolvendo a indústria da construção civil, pois se faz necessário à busca e implementação de novas tecnologias e inovações que sejam compatíveis com essa nova demanda.

Diante desse cenário a indústria da construção civil tem procurado a utilização de sistemas construtivos mais eficientes e racionais, ou seja, que evitam o desperdício de insumos durante o processo construtivo. Pode-se citar como exemplos desses sistemas a construção utilizando alvenaria estrutural, paredes de concreto, construção com bambus e a construção utilizando os perfis de chapa dobrada conformadas a frio (Light Steel Frame).

Neste trabalho, apresentam-se as principais características que compõe o sistema construtivo em Light Steel Frame. Apresentam-se as características da fabricação e alguns aspectos comportamentais estruturais desse sistema construtivo.

Além disso, será apresentado um comparativo de custos para a execução da estrutura de uma residência unifamiliar utilizando o sistema Light Steel Frame e o sistema em concreto armado. O principal objetivo desse comparativo é desmitificar a crença popular de que utilizar esse sistema acaba onerando a construção de

residências, fato que, entre vários outros, contribui para a pouca utilização desse sistema no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Apresentar e discutir estudo comparativo dos custos de construção de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos Light Steel Frame e Concreto Armado.

2.2. Objetivos Específicos

- Compreender aspectos relacionados a fabricação, montagem e comportamento estrutural de perfis conformados a frio;
- Identificar vantagens e desvantagens da utilização do sistema construtivo em Light Steel Frame;
- Desenvolver o dimensionamento de uma estrutura residencial em concreto armado utilizando software de cálculo estrutural;
- Realizar estudo comparativo de custos para a confecção de uma estrutura em Light Steel Frame e em Concreto Armado;

3. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu nas etapas abaixo discriminadas:

- Revisão bibliográfica consubstanciada a partir de pesquisa dos principais trabalhos e características específicas dos sistemas construtivos em Light Steel Framing;
- Análise e apresentação das principais características estruturais dos perfis de chapa dobrada conformados a frio;
- Elaboração do cálculo estrutural de uma residência em concreto armado, utilizando software de cálculo estrutural, a ser analisada no estudo comparativo;
- Elaboração da planilha de custos da construção da estrutura utilizando os sistemas em Light Steel Framing e Concreto Armado;
- Comparação dos custos de execução dos dois sistemas estruturais em análise.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Definição

Segundo SANTIAGO (2012), podemos definir o sistema construtivo em Light Steel Framing como sendo o processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir as cargas que solicitam a edificação e dando forma a mesma.

Assim podemos caracterizar o sistema em Light Steel Framing como sendo um sistema que utiliza perfis galvanizados formados a frio para a composição de todos os elementos estruturais e não estruturais de uma edificação.

É importante ressaltar que o sistema em Light Steel Frame não se resume apenas à estrutura da edificação; para cumprir com todas as suas funções ele deve estar interligado aos demais sistemas e subsistemas que compõe a edificação: fundações, fechamentos, instalações elétricas e instalações hidro-sanitárias.

De acordo com COELHO (2014), ao se utilizar um sistema construtivo em Light Steel Framing é importante conhecer bem cada etapa construtiva da obra, desde projetos até métodos executivos, para garantir melhor precisão na elaboração do planejamento e no orçamento da obra, para evitar problemas de incompatibilização, fato esse que tornaria a obra extremamente onerosa e economicamente inviável.

Figura 1: Exemplo de Residência em Steel Framing



Fonte: Construtora Sequencia(2012).

4.2 Histórico

A utilização de estruturas em aço obtidas por perfis de chapa dobrada, também denominados de perfis leves, é usual em países como Estados Unidos, Nova Zelândia, Japão e Europa, e encontra-se atualmente em fase de rápido crescimento no Brasil.

Esses perfis começaram a ser utilizados a partir de 1850 na Inglaterra e Estados Unidos, porém apenas passaram a ser produzidos em escala manufaturada a partir da década de 20 do século passado. Esse produto possuía diversas vantagens em relação aos materiais da época, contudo, com a ausência de uma norma ou especificação, ou algum estudo realizado no período, os construtores interessados em utilizá-los ficaram impossibilitados de aplicar devido à falta de metodologia de design e reconhecimento construtivo.

Em 1938, o Instituto Americano de Ferro e Aço – AISI (American Iron and Steel Institute) tomou a iniciativa em elaborar um comitê técnico para a criação e desenvolvimento das primeiras especificações dos perfis leves. Em paralelo a isso, pesquisadores da Universidade de Cornell (Cornell University), Nova York, liderado pelo professor Dr. Winter, iniciaram os primeiros estudos sobre as propriedades mecânicas dos perfis conformados a frio. Desde então, várias pesquisas e publicações foram realizadas, até que em 2001 com a publicação da North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, integrou e padronizou o mercado entre os países representados pela NAFTA, COLD-FORMED STEEL PROFILE (2010).

Apesar do desenvolvimento da siderúrgica brasileira a partir da década de 20, e sua posterior consolidação na década de 70, com a implantação de indústrias automobilísticas e naval (que marcaram a considerável redução da importação de aço no Brasil, possibilitando a modernização da produção e exportação do aço)

De acordo com COELHO (2014), o emprego de perfis leves na indústria da construção civil brasileira é extremamente recente. Hoje não há mais necessidade do engenheiro projetista recorrer a normas internacionais, pois foram criadas normas de dimensionamento de perfis conformados a frio brasileiras, sendo elas: NBR 14762:2001 – “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”, e a NBR 6355:2003 – “Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização”.

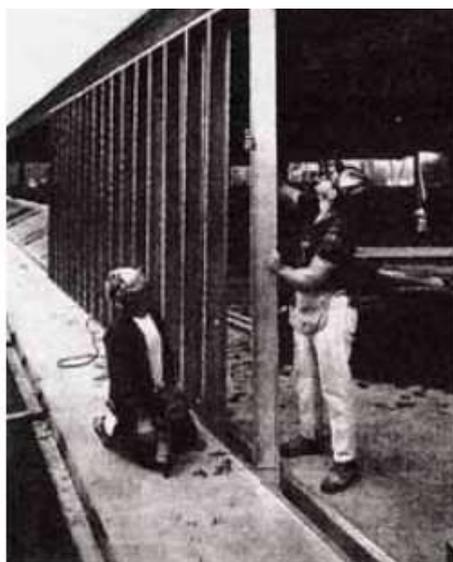
4.3 Métodos de Construção

De acordo com SANTIAGO (2012) existem essencialmente três métodos de construção utilizando o Light Steel Framing, são eles: o método “Stick”, o método por Painéis e o método da Construção Modular.

(a) Método “Stick”: Nesse método de construção os perfis que serão utilizados são cortados no canteiro de obras, e todos os elementos estruturais, tais como lajes, colunas e tesouras de telhados, são montados no local. Os perfis utilizados nesse método podem ser perfurados para que seja possível a passagem das tubulações das instalações elétricas e hidro-sanitárias. Os demais subsistemas que compõe a edificação são instalados após a montagem da estrutura. Esse método é recomendado onde a pré-fabricação não é viável. As principais vantagens do método são:

- Facilidade de transporte das peças até a construção;
- As ligações entre os elementos são de fácil execução, apesar do aumento da atividade na obra;
- Não é necessário um local para a pré-fabricação dos perfis utilizados na obra.

Figura 2: Montagem pelo método “Stick”.



Fonte: Robert Scharff (2012)

(b) Método por Painéis: Nesse método os painéis estruturais e não estruturais que compõe a edificação são pré-fabricados fora do canteiro de obra e montados no local. Alguns materiais de fechamento podem também ser aplicados na fábrica para diminuir o tempo de execução da obra. No local os painéis são conectados utilizando-se parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes. As principais vantagens desse método são:

- Velocidade na montagem;
- Controle da qualidade de produção dos painéis;
- Minimização do trabalho na obra;
- Aumento da precisão dimensional.

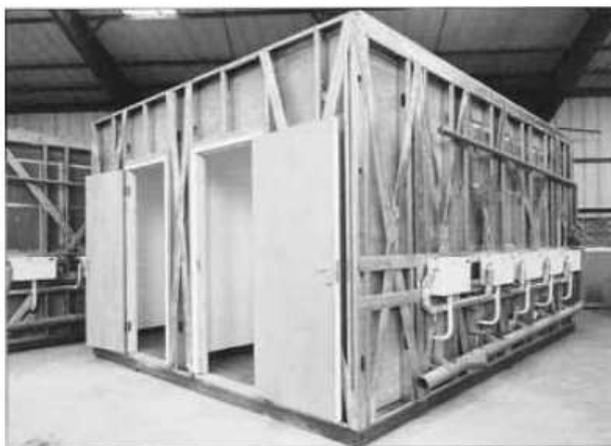
Figura 3: Painéis Pré-Fabricados utilizados na montagem por painéis.



Fonte: <http://www.aegismetalframing.com>

(c) Método por Construção Modular: Nesse Método de Construção as unidades que compõe a edificação são completamente pré-fabricadas e entregues no local da obra com todos os acabamentos e instalações elétricas e hidro-sanitárias já instaladas. Esse Método é comum no caso de edificações comerciais e residenciais de grande porte.

Figura 4: Módulo de banheiro.



Fonte: SCI

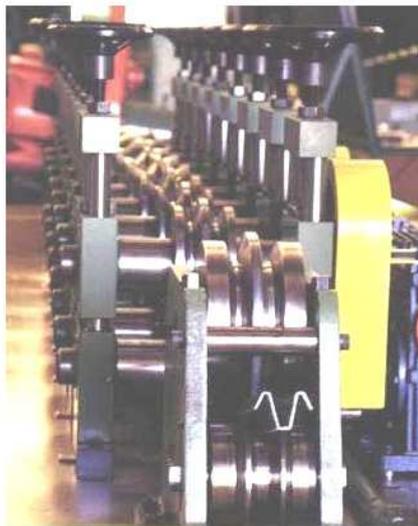
4.4 Características, fabricação e montagem dos perfis leves.

Os perfis de chapas metálicas conformados a frio (cold formed steel structures) podem ser chamados de perfis de aço leve (light steel frame – LSF) ou perfis metálicos de chapa dobrada e são, essencialmente, elementos formados por chapas planas de aço (de composição variada dependendo do tipo de aço), que podem ter diferentes formatos devido ao arranjo das chapas durante o processo de dobramento, ou conformação.

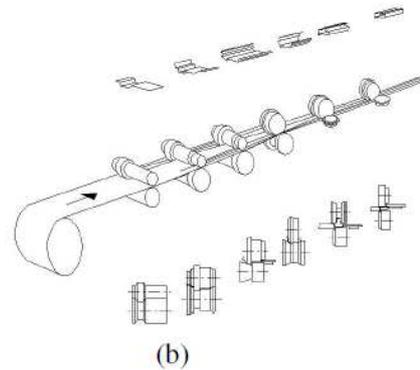
Segundo SILVA e PIGNATTA (2008), há dois tipos de processo na conformação dos perfis: processo contínuo e descontínuo. O primeiro consiste no deslocamento longitudinal da chapa do rolo de aço, sobre os roletes de uma linha de perfilação, em que os perfis vão sendo conformados. Após deixar os roletes, a placa é seccionada de acordo com o tamanho indicado para o perfil (Figura 5).

O segundo, os perfis são formados a partir de uma prensa dobradeira (Figura 6), em que o tamanho dos perfis é limitado pelo espaço de manobra dessa prensa. O processo contínuo é mais adequado à fabricação em série, enquanto que o descontínuo é empregado para atender a pequenas quantidades desse material, e este último apresenta uma limitação quanto ao tamanho das peças a serem dobradas devido ao raio mecânico da máquina, indicado na Figura 6 (b).

Figura 5: Equipamento utilizado no processo contínuo de conformação de perfis leves: (a) Perfiladeira; (b) Sequência de fabricação do perfil.



(a)

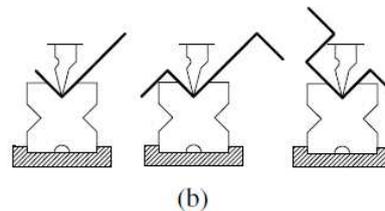


Fonte: CBCA (2008)

Figura 6: Equipamento utilizado no processo descontínuo na conformação de perfis leves: (a) Prensa dobradeira; (b) Sequência de fabricação do perfil.



(a)

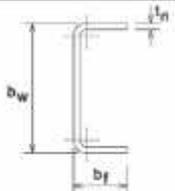
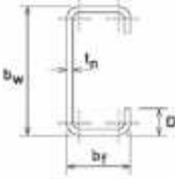
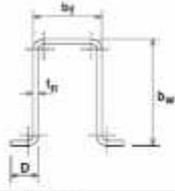


Fonte: CBCA (2008)

O sistema de conformação é obtido pelo dobramento a frio de chapas finas de aço, variando a sua espessura entre 0,378mm e 6,35mm. Podem-se obter perfis com espessuras maiores, até 25,4mm, desde que o equipamento para execução das dobras (prensa dobradeira) e tipo de aço especificado sejam apropriados para tal. Com este processo pode-se obter seções com diversas formas, sendo as mais

usuais os perfis tipo “U”, “U” enrijecido, “Z”, “Z” enrijecido, cartola, seções fechadas, tubo retangular, etc. (Figura 7).

Figura 7: Principais seções de perfis de chapa dobradas.

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples $U\ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $U_e\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L\ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

Fonte: Manual Engenharia Steel Frame, CBCA 2008

É relevante citar que esse processo de dobramento influencia nas propriedades mecânicas dos perfis leves, alterando a resistência e o limite de escoamento ao longo da seção transversal do perfil de aço. Tal influência será devidamente explicada no tópico de comportamento dos perfis de chapa dobrados a frio.

É comum o uso destes perfis em coberturas, passarelas e edificações de pequeno e médio porte (Figuras 8 e 9). As construções de residências (Figuras 10 e 11) com esse material são recentes, porém, é um mercado que tende a crescer pela grande aceitação da indústria e de algumas empresas brasileiras.

Figura 8: Estrutura de cobertura residencial executadas com perfis de aço de chapa dobradas.



Fonte: lineaconstrutora.blogspot.com
Acessado em: Outubro de 2014

Figura 9: Estrutura de cobertura executadas com perfis de aço de chapa dobradas.



Fonte: globalsystems.co.za
Acessado em: Outubro de 2014

Figura 10: Exemplo de residência e projeto elaborados com perfis leves - LSF.



Fonte: forumdaconstrucao.com.br
Acessado em: Março de 2014

Figura 11: Exemplo de residência e projeto elaborados com perfis leves - LSF.



Fonte: roccato.com.br
Acessado em: Março de 2014

4.5 Comportamento dos perfis de chapa dobrada

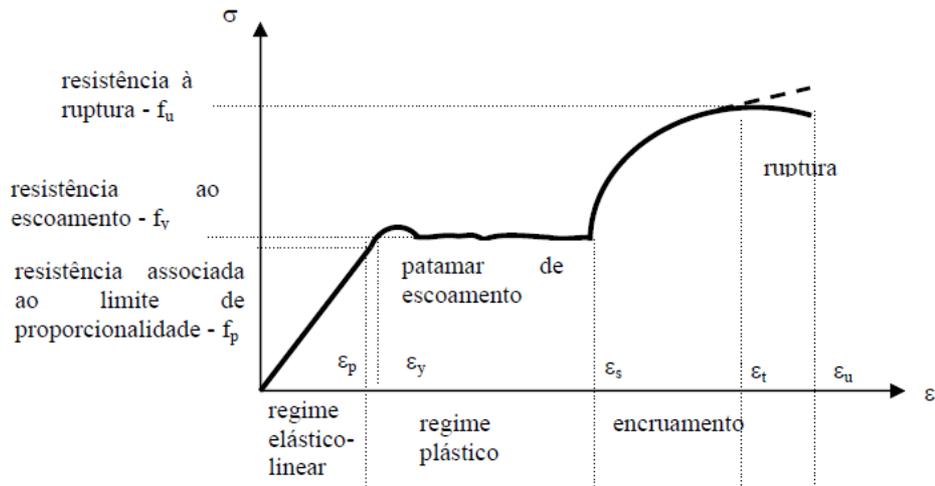
Antes de iniciar o estudo dos perfis leves é necessário ressaltar as características do aço, tais como propriedades físicas e mecânicas, para melhor compreensão do comportamento de elementos conformados com esse material.

O aço é uma liga metálica composta por ferro e carbono, com um pequeno percentual deste último elemento. Sua leveza e alta resistência são causadas pela adição de carbono à composição. Quanto maior a taxa de carbono presente na liga, maior é a resistência desse metal, em contrapartida, o excesso desse elemento eleva a resistência à ductilidade, o que torna o aço menos elástico quando submetido a um carregamento, ou seja, menos maleável e flexível.

A observação da deformação de um elemento estrutural em aço quando este se encontra carregado é de suma importância para determinar algumas propriedades físicas do aço. Entre elas, destaca-se o módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal (E), que é a relação entre a tensão e a deformação de uma barra de aço submetida a um esforço de tração, medida em Pascal (Pa) ou kN/m^2 , durante o regime elástico do aço. Para os aços, o módulo de elasticidade vale, aproximadamente, 200 GPa, enquanto que o módulo de elasticidade para o concreto armado equivale a, aproximadamente, 25 GPa, ou seja, um oitavo da capacidade do aço.

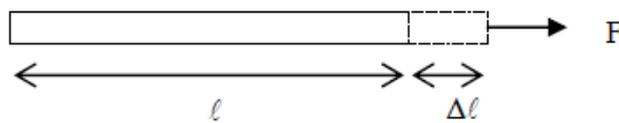
A Figura 12 ilustra como ocorre a deformação de uma barra de aço durante o ensaio de tração simples em laboratório. No início do ensaio, enquanto o aço é submetido a um esforço crescente de tração, avalia-se a deformação unitária da barra de aço. Neste primeiro instante, equivalente à reta inclinada no gráfico, o aço deforma-se segundo a lei de Hooke, o que é caracterizado pelo regime elástico-linear do material (ou seja, a barra se deforma ganhando um comprimento ΔL quando carregada, e quando descarregada ΔL torna-se zero – a barra volta à “posição original”), indicado na Figura 13. O módulo de elasticidade E equivale a tangente do ângulo da reta neste segmento do gráfico.

Figura 12: Gráfico tensão-deformação de uma barra de aço submetida a esforços de tração.



Fonte: PIGNATTA E SILVA (2012)

Figura 13: Deformação de um corpo de prova em aço submetido a um esforço de tração.

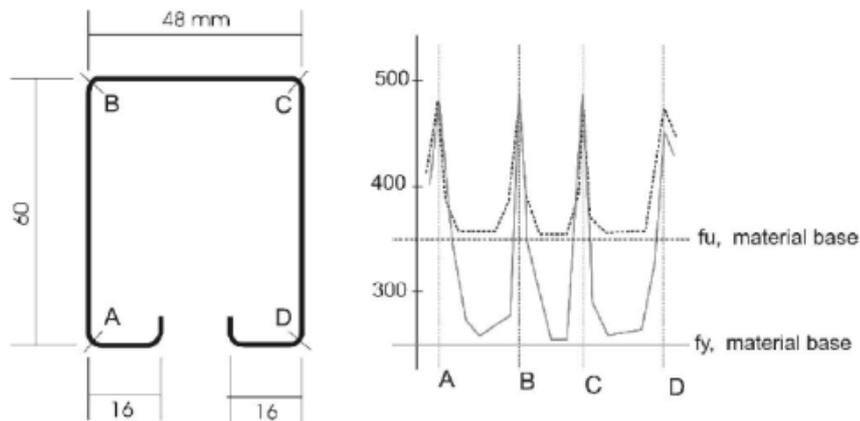


Fonte: PIGNATTA E SILVA (2012)

Caso a força F exceda f_p , (limite de proporcionalidade), o aço passa a trabalhar na fase plástica, em que ocorrem deformações crescentes sem o aumento da tensão (patamar de escoamento). O valor constante dessa tensão (f_v) é muito importante para o estudo do comportamento do aço, e é denominada resistência ao escoamento. Após essa tensão ter sido ultrapassada, a estrutura molecular do aço sofre um rearranjo, e o estado inicial de deformação na fase elástica não será mais atingido, ou seja, após a fase plástica, a deformação na barra de aço será permanente. A este fenômeno, dá-se o nome de encruamento.

Por fim, haverá algum instante em que a estrutura interna da barra de aço não conseguirá mais absorver tensões, e limitada pela deformação, o corpo de prova se romperá. É atribuído o nome desse carregamento máximo de “tensão última de ruptura” (f_u), indicado ao final do gráfico de tensão-deformação.

Figura 15: Efeitos do dobramento em perfis conformado a frio.



Fonte: PIGNATTA E SILVA (2012)

Pode-se afirmar então que há uma variação nas propriedades mecânicas do perfil de aço ao longo de sua seção transversal. Sob esse aspecto, e que foi citado, como o perfil é feito por chapas planas de aço, a resistência mecânica nas dobras do aço é maior do que naquelas que não sofreram com a ação do dobramento, chamadas aço virgem (JAVARONI, 1993), que estão mais sujeitas aos fenômenos de carregamento, como flexão e flambagem local.

4.7 Flambagem Global

Flambagem é um fenômeno de instabilidade elástica que pode ocorrer em elementos comprimidos delgados, e que se manifesta pelo aparecimento de movimentos significativos transversais à direção principal de compressão (deflexão lateral). Em situações reais, todo carregamento axial é derivado em uma flexo-compressão, ou seja, o elemento estrutural comprimido também recebe esforços de flexão devido às imperfeições geométricas e cargas excêntricas. Em geral, a flambagem leva a uma falha repentina e dramática da estrutura.

A ocorrência de deflexão por flambagem limita severamente a resistência à compressão de um pilar ou qualquer pedaço delgado. Eventualmente, o verdadeiro valor de uma carga de compressão, chamada carga crítica de flambagem P_{cr} (que é a carga axial máxima que uma coluna pode suportar antes de ocorrer a flambagem, e qualquer carga adicional provocará a flambagem imediata da coluna). P_{cr} é uma função cujas variáveis são o módulo de elasticidade do material E, a inércia da

geometria da peça adotada I , e o comprimento efetivo de flambagem do elemento estrutural L_{fl} :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2}$$

$$\lambda = \frac{Kl}{r}$$

λ - Parâmetro ou índice de esbeltez.

K – Coeficiente de flambagem (que varia entre 0,5 a 2,0 dependendo do tipo de ligação ou apoio do elemento estrutural submetido à compressão – Tabela 1).

r – Menor raio de giração do elemento estrutural (definida como a raiz quadrada da relação inércia do eixo e a área da seção transversal do elemento).

$$L_{fl} = KL$$

L_{fl} – Comprimento de flambagem.

L – Comprimento do elemento estrutural.

Tabela 1: Coeficiente de flambagem para diferentes situações de ligações e apoios.

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio		Rotação e translação impedidas				
		Rotação livre, translação impedida				
		Rotação impedida, translação livre				
		Rotação e translação livres				

Fonte: PFEIL (2010)

A partir das relações acima, é possível adquirir a equação da carga crítica f_{cr} (que não será demonstrada):

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

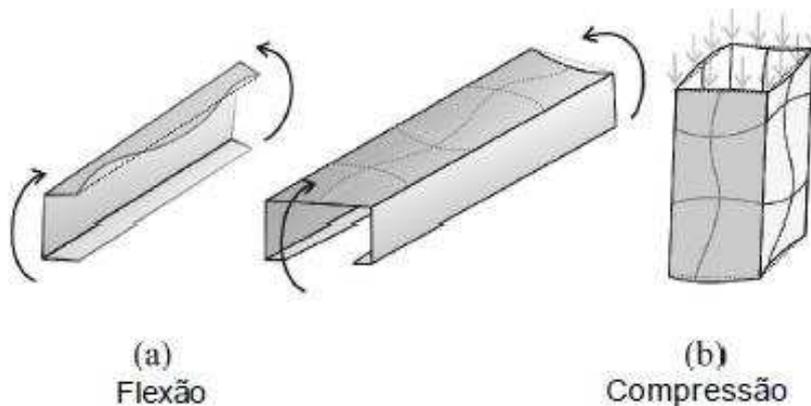
Além da flambagem global, os elementos estruturais com elevadas relações b/t como os perfis leves estão mais sujeitos aos fenômenos de flambagem local (local buckling) e flambagem distorcional (distorcional buckling), que serão descritos nos próximos tópicos.

4.8 Flambagem Local

No dimensionamento de perfis de chapa dobrada é necessário verificar os elementos quanto à flambagem local. No cálculo convencional de estruturas de aço compostas de perfis laminados ou soldados, a flambagem local pode ser evitada pelo uso de uma classe desses perfis, que tem uma relação largura/espessura reduzida.

Os elementos planos que constituem a seção do perfil nas estruturas de chapa dobradas podem deformar-se (flambar) localmente quando solicitados à compressão axial, à compressão com flexão, ao cisalhamento, etc. Diferentemente da flambagem de barra, a flambagem local (Figura 16) não implica necessariamente o fim da capacidade portante do perfil, mas, apenas uma redução de sua rigidez global à deformação.

Figura 16: Flambagem Local.

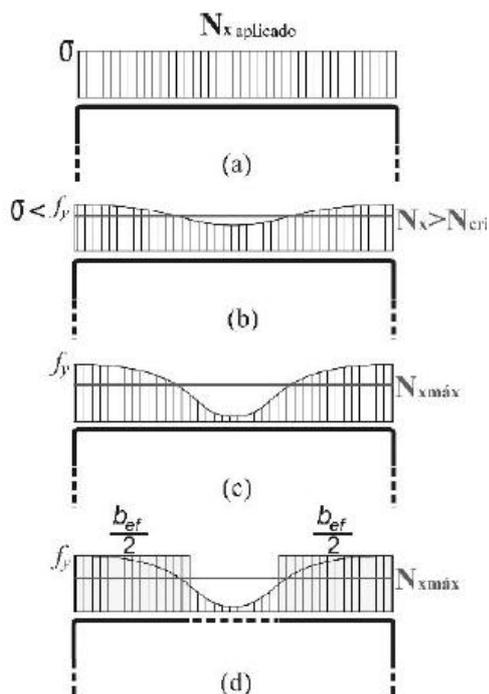


Fonte: LUBAS E PIGNATTA (2008)

As chapas de aço ainda possuem considerável capacidade resistente após a ocorrência da flambagem local. Sua capacidade resistente chegará ao limite somente quando as fibras mais comprimidas atingirem a resistência ao escoamento do aço. Isso significa que o correto dimensionamento desses elementos depende de uma análise não linear. Atualmente, na norma brasileira para o dimensionamento de perfis formados a frio, NBR 14762:2010, é utilizado o método das larguras efetivas.

O conceito de larguras efetivas consiste em substituir o diagrama da distribuição das tensões, que não é uniforme (Figura 17b), por um diagrama uniforme de tensões. Assume-se que a distribuição de tensões seja uniforme ao longo da largura efetiva “ b_{ef} ” fictícia com valor igual às tensões das bordas (Figura 17 d). A largura “ b_{ef} ” é obtida de modo que a área sob a curva da distribuição não uniforme de tensões seja igual à soma de duas partes da área retangular equivalente de largura total “ b_{ef} ” e com intensidade “ $f_{máx}$ ” (LUBAS e PIGNATTA, 2008).

Figura 17: Método da Largura Efetiva.



Fonte: LUBAS E PIGNATTA (2008)

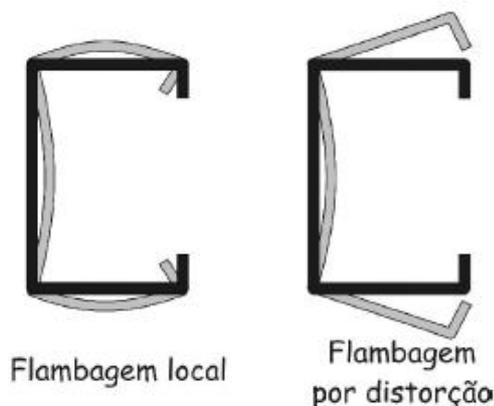
4.9 Flambagem por Distorção da Seção Transversal

A flambagem por distorção é caracterizada pela alteração da forma inicial da seção transversal, ocorrendo uma rotação dos elementos submetidos à compressão (Figura 18). Esse fenômeno torna-se mais evidente nas seguintes situações:

- aços de alta resistência;
- em elementos com maior relação largura da mesa/largura da alma;
- elementos com menor largura do enrijecedor de borda,
- seção cujos elementos são poucos esbeltos (menor b/t). Nesse caso, a carga crítica de flambagem distorcional pode ser menor do que a da flambagem local.

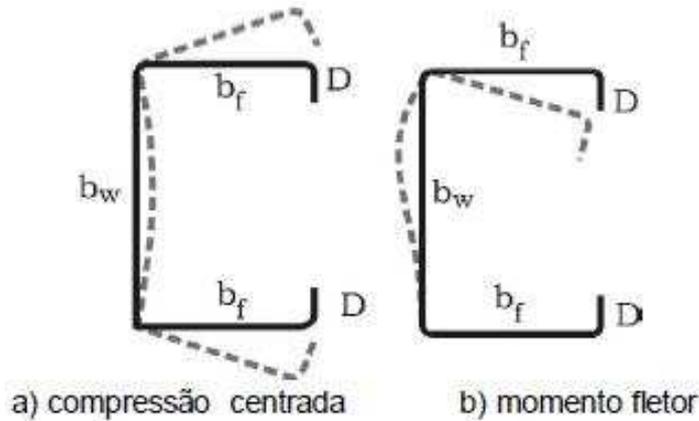
Uma característica que diferencia a flambagem local da distorcional é a deformação da seção após o carregamento crítico. Na flambagem por distorção a seção perde sua forma inicial, o que não ocorre na flambagem local. A Figura 19 representa o modo distorcional de um perfil “U” enrijecido submetido à compressão centrada e flexão (momento fletor).

Figura 18: Flambagem Local e Distorcional.



Fonte: LUBAS E PIGNATTA (2008)

Figura 19: Distorção da seção transversal.

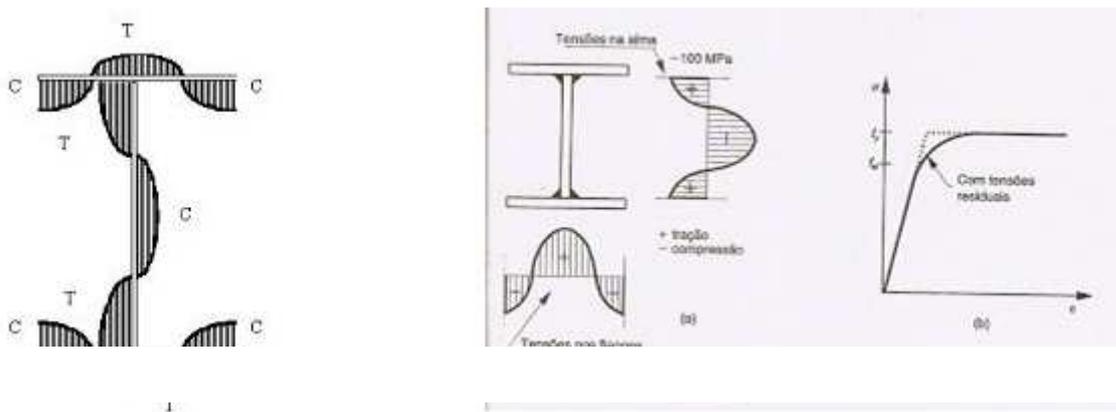


Fonte: LUBAS E PIGNATTA (2008)

4.10 Tensões Residuais e Imperfeições Geométricas

As tensões residuais estão presentes nos perfis mesmo antes destes serem colocados em uso. As principais causas do aparecimento destas tensões são: o resfriamento desigual das chapas de aço após a laminação a quente e os processos de fabricação (conformação a frio e soldagem). Durante o processo de resfriamento não uniforme, aparecem regiões desiguais dentro da estrutura do aço que geram tensões de compressão e de tração ao longo do perfil.

Figura 20: Diagrama de tensões residuais.



Fonte: VASQUES (2002)

Nos perfis soldados e formados a frio, respectivamente, as soldas causam um gradiente térmico adicional às tensões de fabricação das chapas, e a conformação a frio causa tensões residuais de natureza mecânica (BARROS, 2006).

Sabe-se também que os valores e a distribuição das tensões residuais dependem basicamente da geometria da seção transversal, tipo de aço e dos processos de fabricação dos perfis.

As imperfeições geométricas iniciais, assim como as tensões residuais, são geralmente oriundas do processo de fabricação dos perfis. Em função dessas imperfeições podem ocorrer deslocamentos laterais nos elementos que constituem o perfil desde o início do carregamento, resultando assim em esforços adicionais que podem comprometer a resistência máxima de uma barra submetida à compressão.

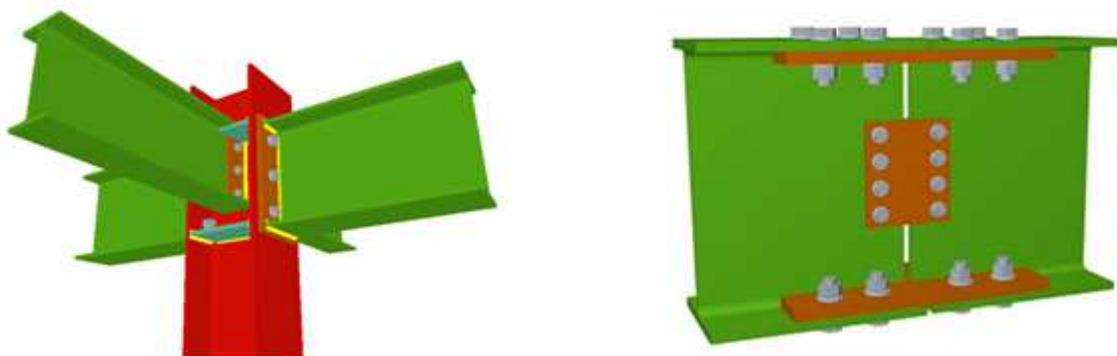
Desta forma, tem-se um estado inicial de tensões não nulas sobre o elemento estrutural, sobrepondo-se com as tensões originais das ações externas. Há vários estudos de tensões residuais de autores tais como COSTA FERREIRA e RONDAL (1986), YOUNG e RASMUSSEN (1997), SCHAFER e PEKOZ (1998), DUBINA e UNGUREANU (2002) e NARAYANAN e MAHENDARN (2003), que buscaram elaborar teorias e propostas através de análises numéricas para a padronização das tensões residuais nos diferentes tipos de perfis (laminados e conformados a frio), porém, não existe um consenso entre esses autores, devido a grande distribuição randômica dos dados de tensões residuais em perfis ensaiados em laboratório.

Em resumo, entende-se que a inclusão de tensões residuais na análise numérica é geralmente complicada devido à falta de dados experimentais para embasar os valores a serem adotados tanto quanto a magnitude como quanto à distribuição adequada. Portanto, os panoramas destas tensões sugeridos na literatura indicam muita divergência. Adicionalmente, considerando o efeito de aumento do escoamento através da conformação a frio dos perfis leves, percebe-se em muitas vezes que as tensões residuais são negligenciadas nas simulações numéricas ou adota-se um valor uniforme para a seção transversal do perfil, conforme alguma proposta adotada pelo projetista por alguns dos autores citados (CHODRAUI, 2006).

4.11 Ligações

As ligações entre elementos estruturais constituídos por perfis leves podem ser soldadas ou parafusadas, e na maioria das vezes são executadas em campo, sendo usuais parafusadas apresentam maior garantia de qualidade somada à rapidez de execução (Figura 21). O emprego de soldas para a união de seus membros. Por outro lado, as ligações

Figura 21: Exemplos de tipos de ligações em estruturas metálicas com parafusos.



Fonte: VASQUES (2002)

As ligações podem ser consideradas como a parte mais importante de uma estrutura metálica, tanto do ponto de vista estrutural, pois constituem descontinuidades cujo comportamento deve ser analisado de forma mais precisa possível, quanto em relação ao custo de produção (as ligações dos perfis laminados podem chegar a corresponder 40% do custo total do edifício (MAIOLA, 2004).

No entanto, na escolha do tipo de ligação, além dos fatores econômico e estético, deve-se levar em conta também os fatores estruturais, tanto do dispositivo de ligação quanto dos elementos a serem ligados, comparando-os com as exigências que se deseja da ligação. Esses fatores estruturais podem ser divididos segundo:

- Resistência: depende do tipo de dispositivo de ligação e das propriedades dos elementos ligados (espessura, resistência ao escoamento ou à tração, etc.). A norma NBR 14762:2001 possui expressões de cálculo da resistência para diversos tipos de ligação, porém, como o foco do trabalho são os perfis leves, o cálculo das ligações não será explorado nesse trabalho. Alguns ensaios de laboratório (como carregamento de vigas em perfis laminados conectadas a pilares metálicos por meio de ligações parafusadas, e ensaio de perfis conectados por parafusos submetidos à

tração) apresentam valores de resistência muito compatíveis com a maioria dos detalhes executivos de ligações (Figura 22);

- Rigidez: a rigidez da ligação influencia na resposta da estrutura, esforços internos e deslocamentos, como um todo ou em partes. As ligações entre elementos de estruturas de aço podem ser classificadas como rígidas, semirrígidas ou flexíveis, em função do grau de rigidez da conexão. Comumente, as ligações parafusadas são semirrígidas, sendo necessária a determinação do nível de engastamento na elaboração do projeto;

- Capacidade de deformação: garante uma boa distribuição de esforços no elemento de ligação e da estrutura. Uma ligação sem capacidade de deformação pode causar uma ruptura frágil da estrutura ou elemento ligado.

Figura 22: Exemplos de ensaios envolvendo ligações parafusadas em perfis de aço.

(a) Teste de carga em pórtico metálico para avaliação da resistência dos parafusos; (b) Teste de tração em perfis leves para avaliação da resistência dos parafusos.



(a)



(b)

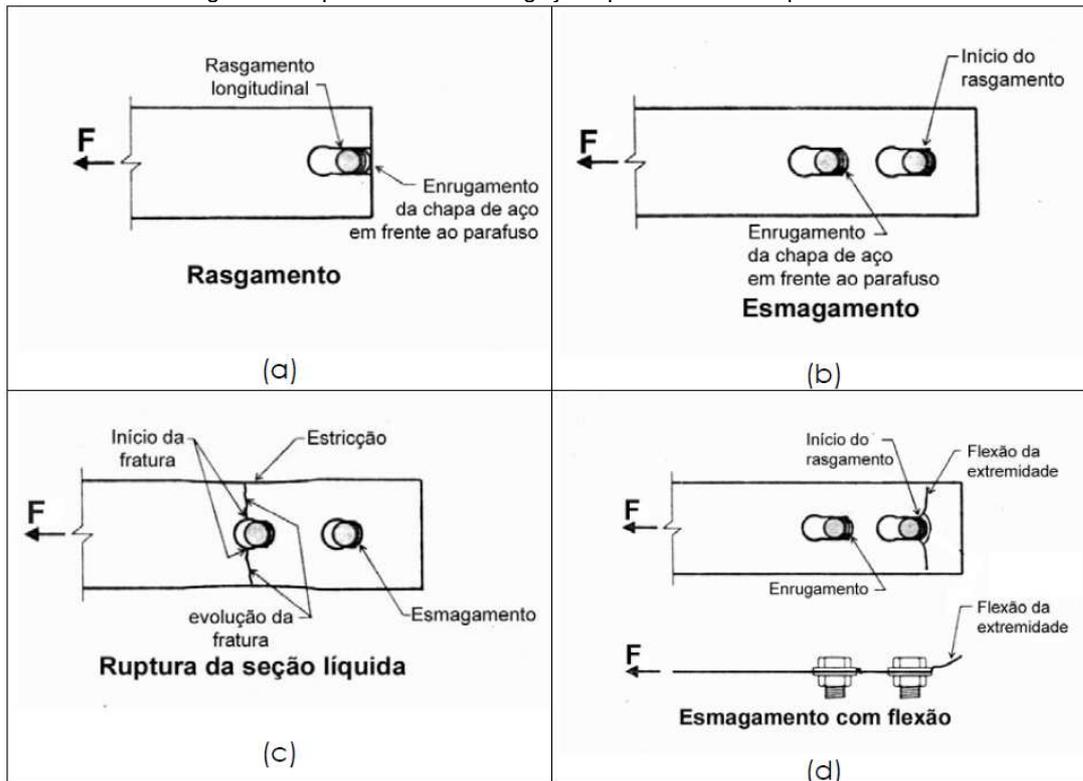
Fonte: MAIOLA (2004)

Uma variedade de dispositivos de ligações para perfis leves vem sendo estudados, visando garantir simplicidade de detalhes e bom comportamento estrutural. São exemplos: parafusos auto-atarraxantes e auto-brocantes, rebites a frio, ligação por pressão e ligações por adesivos. Entretanto, alguns desses sistemas não proporcionam a resistência, e em certos casos, nem a rigidez conseguida pelos sistemas tradicionais (a solda e o parafuso).

De maneira geral, para as ligações parafusadas com solicitação perpendicular ao eixo do parafuso (força cortante), resultados de ensaios publicados por WINTER (1956) indicaram a ocorrência de quatro modos característicos de falha:

- 1) rasgamento entre furo e borda, Figura 23 (a);
- 2) esmagamento da chapa junto ao parafuso, Figura 23 (b) e (d);
- 3) rupturas da chapa na seção líquida, Figura 23 (c);
- 4) cisalhamento do parafuso.

Figura 23: Tipos de falhas em ligações parafusadas em perfis leves.



Fonte: MAIOLA (2004)

4.12 Corrosão Galvânica

Os perfis em Light Steel Frame são zincados e este revestimento impede que os perfis se liguem com o oxigênio e sofram corrosão. Porém, esta camada altera o potencial elétrico da chapa de aço fazendo com que ao entrar em contato com outro tipo de aço que esteja com um tipo diferente de proteção ou, até mesmo sem proteção alguma, culmine em uma corrosão da peça.

De acordo com COELHO (2014), estruturas em Light Steel Frame têm enormes problemas quando são utilizadas em conjunto com diferentes tipos de aço na composição de uma estrutura, isso se deve ao fato de que na interface de encontro desses entre dois tipos de aço ocorre o processo de corrosão galvânica. Esse tipo de corrosão é caracterizado pela diferença no potencial elétrico entre os metais distintos que serve como força propulsora para que a corrente elétrica circule pelo eletrólito (meio aquoso que conduz eletricidade, geralmente a umidade).

Ainda de acordo com COELHO (2014), existem três situações comuns de contato entre diferentes tipos de aço em Light Steel Frame: perfis metálicos convencionais, tubulações de ferro galvanizado para incêndio e ligações parafusadas sem proteção contra corrosão. Nos dois primeiros casos recomenda-se que a interface seja protegida para que não ocorra contato entre as chapas de aço a fim de evitar o processo de corrosão. No terceiro recomenda-se a não utilização destes tipos de parafusos nas ligações entre os perfis.

4.13 ORÇAMENTO DE OBRAS

De acordo com MATTOS (2011), uma obra é uma atividade econômica e, como tal, o aspecto custo tem uma importância especial. A preocupação com o custo começa antes do início da obra, em uma fase conhecida como orçamentação é nessa fase da obra que são feitas a determinação dos prováveis custos de execução da obra. É importante não confundir os conceitos de orçamentação com o de orçamento. O primeiro se refere ao processo de determinação, o segundo o produto final do processo.

Em geral, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos – mão de obra, material, equipamentos – e os custos indiretos – equipes de supervisão e apoio, despesas gerais de canteiros, taxas, etc. – e por fim adicionam-se os impostos e lucro para se chegar ao preço de venda.

Ainda segundo MATTOS (2011), dependendo do grau de detalhamento de um orçamento, este pode ser classificado como:

- Estimativa de custos: avaliação expedita com base em custos históricos e comparação com projetos similares. Nesse tipo de orçamento tem-se uma ideia aproximada da ordem de grandeza do

custo total do empreendimento. O processo de estimativa de custos mais utilizado para obras de edificações é o custo por metro quadrado construído, e para esse tipo de orçamento são inúmeras as fontes de referência, sendo o Custo Unitário Básico (CUB) o mais utilizado;

- Orçamento preliminar: é um tipo de orçamento mais detalhado que a estimativa de custos, pois pressupõe o levantamento de todos os quantitativos da obra e requer uma pesquisa de preços dos principais insumos. Nesse tipo de orçamento, por se ter um maior número de indicadores, o seu grau de precisão é maior do que o da estimativa de custos, gerando assim uma maior precisão na previsão do custo final da obra.
- Orçamento analítico: é o tipo de orçamento mais detalhado e preciso na hora de se prever o custo final de uma obra. É efetuado através de composições de custo e pesquisa detalhada de preços de insumos, a fim de se chegar a um valor bem próximo do custo “real” da obra. Nesse tipo de orçamento além dos custos diretos, são computados os custos indiretos, os impostos e os lucros desejados pelo construtor, chegando assim a um valor orçado mais preciso e coerente. Por ser mais detalhado e preciso, o orçamento analítico será utilizado nesse trabalho para a elaboração da previsão dos custos dos dois sistemas estruturais utilizados no estudo de caso.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Apresentação

O estudo de caso consiste em uma comparação quantitativa (mão de obra e materiais) da utilização de dois diferentes sistemas construtivos: o sistema convencional em concreto armado e sistema de chapas metálicas conformadas a frio, Steel Frame, em uma ampliação de uma residência unifamiliar, analisando suas diferenças, vantagens e desvantagens.

Esse estudo contou com a colaboração da Zarya Tecnologia, que forneceu dados relevantes de projetos e análise quantitativa de materiais do sistema em light steel frame. A empresa Zarya Tecnologia utiliza softwares para concepção de seus projetos residenciais, desde a elaboração arquitetônica até a confecção dos perfis leves. Para o desenvolvimento do projeto arquitetônico, é utilizada a plataforma Revit Architecture da Autodesk, em seguida, o projeto estrutural dos perfis leves é gerado no software Frame CAD, em que as solicitações e verificação dos perfis são realizadas. Por opção da empresa Zarya, os engenheiros responsáveis fazem a conferência do projeto estrutural pelo Solidworks, outro software de modelagem estrutural. Por fim, o projeto estrutural é encaminhado para o fornecedor de perfis leves, e esse material é enviado diretamente ao canteiro de obra.

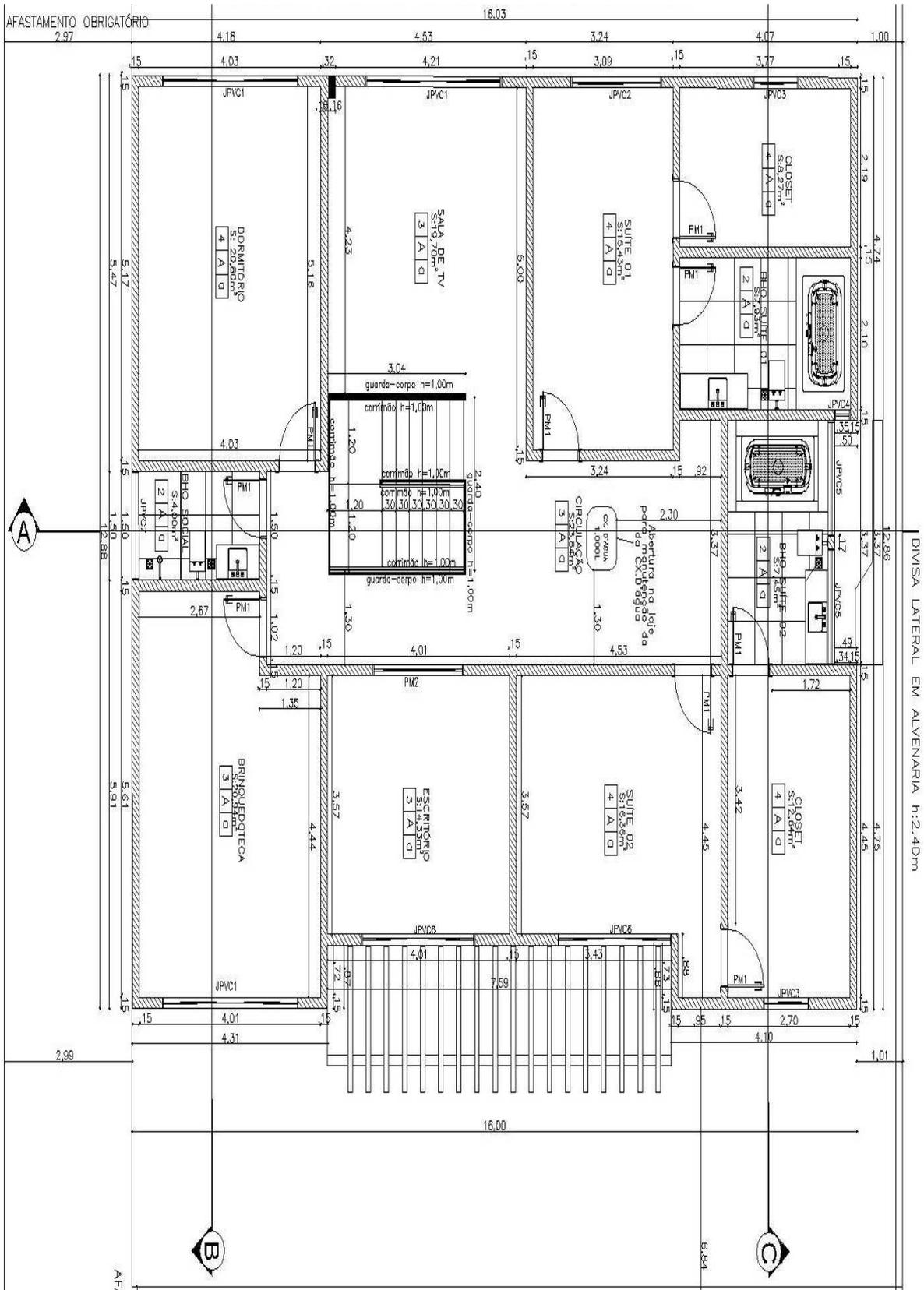
5.2 Descrição da Residência estudada

A residência estudada está localizada em Brasília-DF, e o projeto arquitetônico possui as seguintes características (Figuras 24 e 25): 01 dormitório (20,80 m²), 01 banheiro social (4,0 m²), 01 brinquedoteca (20,94 m²), 01 escritório (14,33 m²), 01 sala de TV (19,70 m²) e 02 suítes com closet (31,63 m² e 36,45 m²), totalizando uma área construída útil de 171,69 m² e uma área construída total de 210,36 m².

A edificação antiga foi construída utilizando-se o sistema construtivo em concreto armado e bloco cerâmico como sistema de vedação.

Neste projeto, o proprietário optou por elevar sua residência em um pavimento, com um projeto de ampliação que a área construída do terreno. O projeto de expansão, elaborado pela Zarya Tecnologia, adotou os perfis de chapa conformados a frio (light steel frame).

Figura 24: Planta Baixa Pavimento Superior (ampliação).



Fonte: Zárya Arquitetura

Figura 25: Perspectiva frontal da residência do estudo de caso, como o pavimento superior construído em LSF.

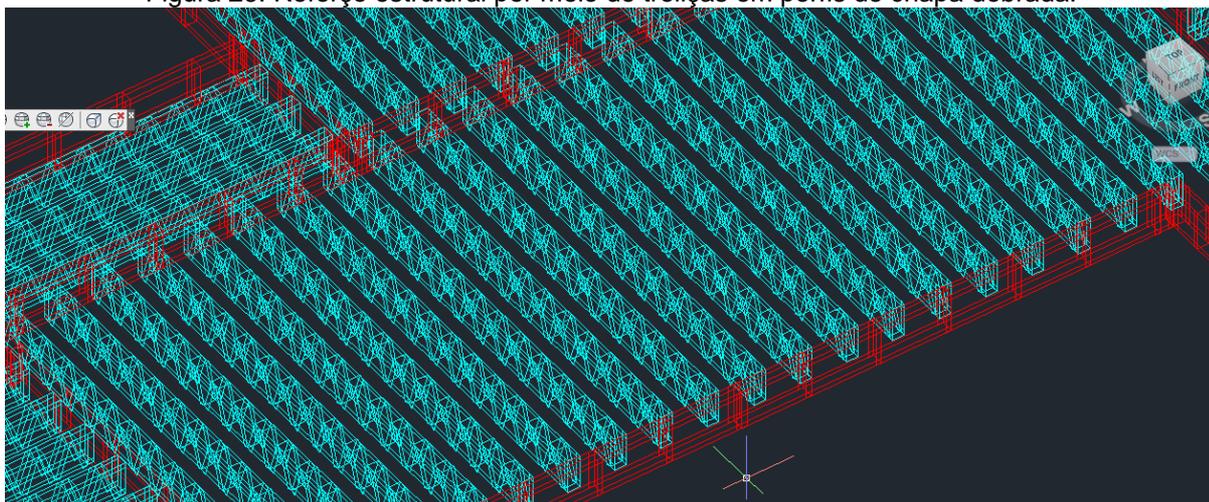


Fonte: Zárya Arquitetura

Caso a ampliação fosse realizada com a utilização do mesmo sistema estrutural, seria necessário um reforço considerável nos elementos estruturais (fundações, pilares e vigas) da estrutura existente devido ao aumento no carregamento do novo pavimento criado (consequência direta das dimensões dos elementos de concreto para o reforço), o que elevaria substancialmente o preço da ampliação da residência, além de trazer maiores transtornos construtivos, aumento considerável no prazo e custos de execução.

O light steel frame conseguiu contornar essa dificuldade, sendo necessário apenas um reforço estrutural na laje da antiga cobertura (com treliças de LSF de 60 cm de altura), comportando o peso próprio da estrutura superior, indicada na Figura 26.

Figura 26: Reforço estrutural por meio de treliças em perfis de chapa dobrada.



Fonte: arquivo pessoal

Figura 27: Os perfis de aço metálicos LSF foram a solução adotada pela Zária para o projeto de ampliação da residência em estudo.

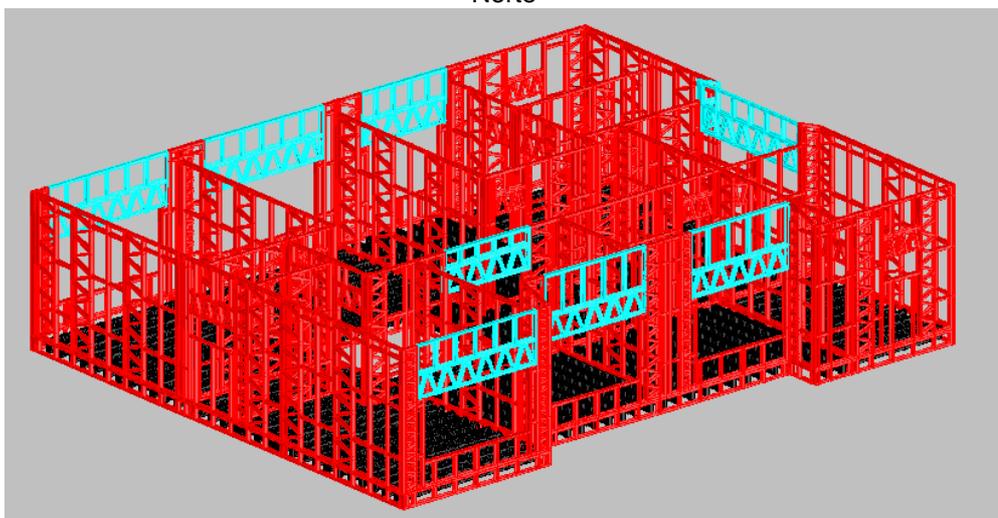


Fonte: Zária Arquitetura

5.3 Critérios de dimensionamento da estrutura em Light Steel Frame

A empresa Zária Tecnologia forneceu o projeto arquitetônico e estrutural (Figuras 24 e 28) do projeto de ampliação da residência estudada. Foram utilizados montantes de 95 mm com aço de espessura mínima de 90 mm para a composição da treliça de reforço e para a estruturação das paredes da residência. Já na laje foi utilizado o sistema OSB 18 mm com encaixe macho e fêmea (Figura 29) e para o fechamento da estrutura foi utilizado chapas cimentícias ProfFort 8 mm com lã de rocha e barreira para água.

Figura 28: Vista do projeto estrutural (indicando os perfis leves) da expansão residencial do Lago Norte



Fonte: Zárya Arquitetura

Figura 29: Sistema Macho Fêmea em OSB.



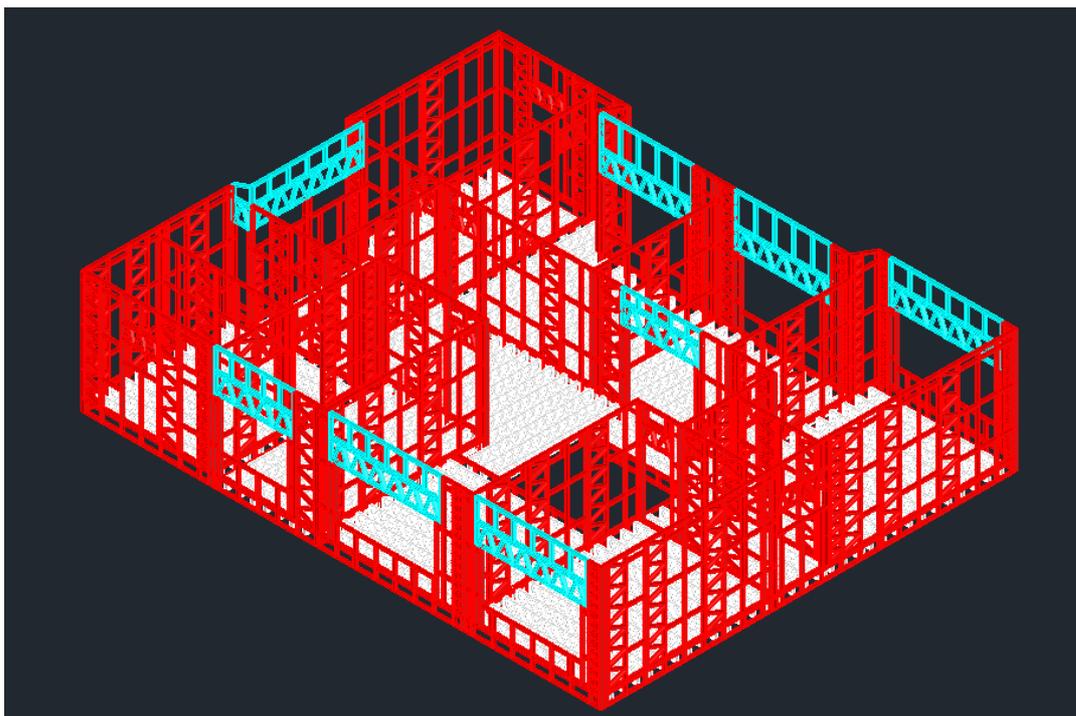
Fonte: Ipbrasil.com. BR
Acessado em: outubro de 2014

Figura 30: Montagem de laje OSB



Fonte: Ipbrasil.com. BR
Acessado em: outubro de 2014

Figura 31: Painéis em LSF das paredes e Vergas.



Fonte: Zária Arquitetura.

Figura 32: Os perfis de aço metálicos LSF adotados pela Zária para o projeto de ampliação da residência em estudo.



Fonte: Zária Arquitetura

O quantitativo de materiais utilizados e os respectivos custos unitários de mão de obra e materiais, obtidos para a consolidação e concepção do projeto encontram-se na tabela seguinte (Tabela 02).

Tabela 2: Quantitativo de material total e custo unitários total dos perfis leves utilizados na execução da estrutura.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT. (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESTRUTURA STEEL FRAME-PAREDES SEM CHAPEAMENTO-Empreitada-espacamento entre os perfis de 40 cm	M2	350,00	80,28	28.098,00
01.02	ESTRUTURA STEEL FRAME-LAJE SECA EM OSB-18.3 mm	M2	5,80	177,34	1.031,47
01.03	FRETE MATERIAL	VB	1	4.000,00	4.000,00
2	REFORÇO ESTRUTURAL				
02.01	REFORÇO ESTRUTURAL EM TRELIÇA METÉLICA	M2	197,83	148,87	29.451,57
03	LAJE				
03.01	LAJE EM OSB 18,3mm P&G	M2	197,83	34,12	6.750,44
04	CHAPEAMENTO DAS PAREDES				
04.01	CHAPEAMENTO STEEL FRAME-PLACA CIMENTÍCIA-Pro Fort 8mm com lã de rocha e barreira de água-empreitada- PAREDES EXTERNAS	M2	202,00	90,37	18.254,74
	TOTAL (R\$)				87.586,22

5.4 Critérios de dimensionamento da estrutura em concreto armado

Para o dimensionamento da estrutura de ampliação da residência no sistema construtivo em concreto armado, foi utilizado o software de cálculo estrutural *CYPECAD 2010*. Este software permite, através da entrada da planta baixa da edificação em *DWG* e das escolhas e parâmetros de cálculo especificados pelas normas brasileiras e internacionais, o dimensionamento e detalhamento das armaduras de todos os elementos estruturais (lajes, vigas e pilares) de uma edificação em concreto armado, em aço e estruturas mistas. De acordo com as

descrições do desenvolvedor o software permite a utilização de inúmeros tipos estruturais tais como lajes maciças, cogumelo, pré-fabricadas, nervuradas, alveolares, lajes mistas, steel-deck e vários tipos de vigas tais como viga alta, chata, viga T, viga metálica, bem como pilares de concreto ou perfis metálicos, e uma ampla gama de tipos de fundações.

As normas consideradas para a análise estrutural e dimensionamento das peças são as que seguem:

- NBR 6118: 2003 – Projeto de estruturas de concreto;
- NBR 6120: 1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123: 1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 8800: 2008 – Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios;
- NBR 8681: 2003 – Ações e segurança nas estruturas;
- NBR 7480: 2007 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado;
- NBR 7190: 1997 – Projeto de estruturas em madeira;
- NBR 14762: 2010 – Projeto de estruturas com perfis conformado a frio.

5.4.1 Planta de Formas

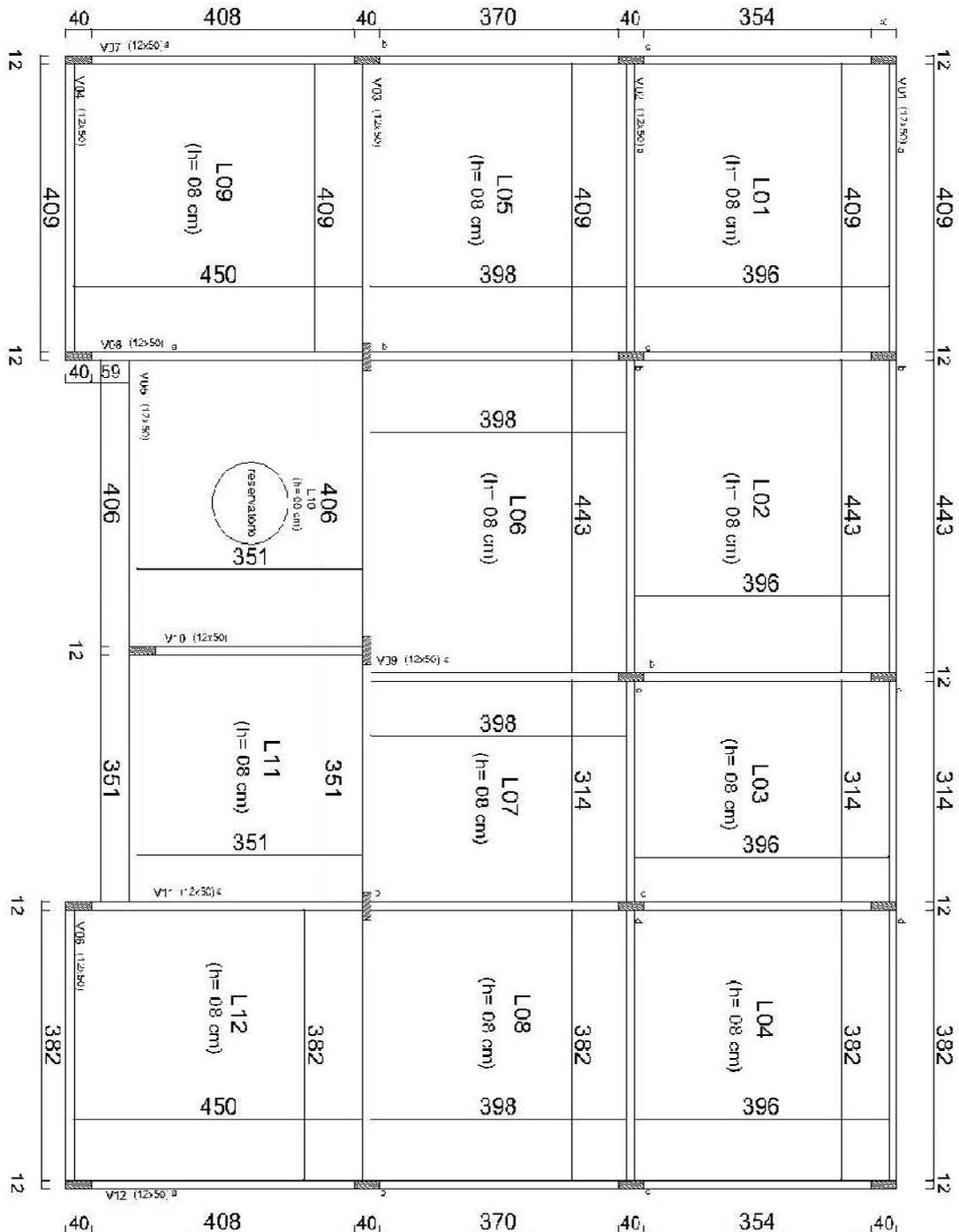
A partir das plantas de arquitetura da ampliação residencial fornecidas pela empresa Zária, foi gerada as plantas de formas mostradas nas figuras abaixo (Figura 31) e estas foram utilizadas para o cálculo da estrutura de concreto através do software de cálculo estrutural *CYPECAD*.

5.4.2 Parâmetros de Dimensionamento

Para o cálculo da estrutura de concreto armado foram utilizados os seguintes parâmetros de cálculo:

- F_{ck} : 35 Mpa
- Aço: CA-50 e CA-60
- Cargas Acidentais: 1KN/m²

Figura 33: Planta de Fôrmas Utilizadas para o cálculo estrutural.



Fonte: Arquivo pessoal

5.4.3 Planilha de Custos:

Com os dados gerados pelas planilhas de quantitativos, foi gerada a tabela 03 abaixo, com os custos da reforma de ampliação da residência estudada. Para a elaboração dessa planilha utilizou-se a planilha de custos da construção civil, SINAPI-Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Essa planilha é elaborada mensalmente pela CAIXA ECONÔMICA FEDERAL em parceria com o IBGE.

Optou-se por essa escolha pelo fato da tabela ser de livre acesso a comunidade e por ser referência na elaboração de contratos de obras civis governamentais. Para a elaboração da planilha de custos do sistema em concreto armado foi utilizada a planilha SINAPI do mês de outubro de 2014.

Tabela 3: Quantitativo de material total e custo unitários total do sistema em concreto armado utilizados na execução da estrutura.

CÓDIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT. (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
74254/001	<i>Armação Aço CA50 Diâm. 16,0mm(5/8) a 25 mm(1) - Fornecimento/Corte (Perda 10%) /Dobra/Colocação</i>	Kg	843,20	6,52	5.497,66
74254/002	<i>Armação CA50 Diam. 6,3mm(1/4) a 12,5mm(1/2) - Fornecimento/Corte (Perda de 10%) /Dobra/Colocação</i>	kg	1.264,80	7,72	9.764,26
84222	<i>Forma para estruturas de concreto (pilar, viga e laje) em chapa de madeira compensada plastificada, de 1,10mx2, 20m, espessura=18 mm, 03 utilizações (fabricação, montagem e desmontagem). Inclusivo Escoramento.</i>	M ²	351,88	69,39	24.416,95
74138/005	<i>Concreto usinado bombeado Fck= 35 Mpa, inclusive lançamento e adensamento.</i>	M ³	24,80	329,29	8.166,39

87519	<i>Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19(espessura 09 cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6,0 m² com vãos e argamassa de assentamento c/ preparo em betoneira.</i>	M ²	208,53	53,55	11.166,76
87904	<i>Chapisco aplicado tanto em pilares e vigas como em alvenaria de fachada com presença de vãos, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400L.</i>	M ²	208,53	5,35	1.115,63
87879	<i>Chapisco aplicado tanto em pilares e vigas como em alvenaria de paredes internas, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400L.</i>	M ²	208,53	4,20	875,83
74001/001	<i>Reboco com argamassa pré-fabricada, espessura 0,5 cm, preparo mecânico da argamassa.</i>	M ²	417,06	20,98	8.749,92
	TOTAL (R\$)				69.753,40

Todas as composições analíticas utilizadas para a elaboração da estimativa de custos da estrutura utilizando o sistema convencional em concreto armado estão no referenciadas no ANEXO I.

6. ANÁLISE DOS DADOS E CONCLUSÕES

Com os dados fornecidos do quantitativo de material foi possível estimar o custo estrutural dos dois sistemas construtivos: perfis leves e concreto armado. Seguem na tabela 04 os resumos dos custos de cada sistema:

Tabela 4: Comparativo de Custos

COMPARATIVO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO		
SISTEMA UTILIZADO	CUSTO TOTAL DE EXECUÇÃO	CUSTO TOTAL POR M ²
LIGHT STEEL FRAME	R\$ 87.586,22	R\$ 416,36
CONCRETO ARMADO	R\$ 69.753,40	R\$ 331,59

O custo por metro quadrado para cada tipo de estrutura foi calculado dividindo-se o custo total pela área total construída (210,36 m²). O custo total de execução da ampliação utilizando o sistema em Light Steel Frame foi aproximadamente 25,56% maior do que em relação ao custo da estrutura utilizando o concreto armado. É importante lembrar também, que os custos apresentados na tabela acima se referem apenas ao custo para a confecção da estrutura de uma edificação residencial, ou seja, para esse estudo foi desconsiderado os custos de materiais e mão de obra referente ao reforço estrutural necessário na estrutura existente e os custos de acabamento e instalações elétricas e hidro sanitárias.

Um fator importante quando se trata da utilização de uma nova tecnologia construtiva é o custo da utilização dessa nova tecnologia, porém, este não é o único fator que terá peso na decisão da utilização ou não de uma nova tecnologia. Numa conjuntura em que a cada dia o apelo socioambiental é mais forte, a utilização de novas tecnologias construtivas que irão usar racionalmente os recursos, garantir um processo mais limpo e sustentável, aumentar a produtividade dos funcionários, menor produção de resíduos e uma maior agilidade na execução do sistema, deve ser mais discutida no processo decisório quanto ao sistema estrutural a ser adotado na execução de novos empreendimentos.

Diante desses fatos, o sistema em Light Steel Frame se apresenta como uma grande possibilidade de implementação na construção civil, uma vez que tem como principais características a facilidade na montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos; construção a seco, o que diminui o uso de recursos naturais e desperdício no canteiro de obras; rapidez na construção, uma vez que o canteiro se transforma em um local de montagem da estrutura e o aço é reciclável, podendo ser reciclado diversas vezes sem perder suas características estruturais.

Dessa forma, apesar do sistema em Light Steel Frame ter ficado mais caro do que o sistema convencional em concreto armado, nesse estudo 25,56% mais caro, a utilização desse sistema pode ser justificada pela rápida execução e por ser um processo mais limpo e industrial.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As estruturas em perfis leves representam uma inovação tecnológica no mercado construtivo brasileiro, proporcionando rápida execução, precisão dimensional e por ser um processo mais limpo ambientalmente.

Além disso, necessitam um completo e detalhado conhecimento sobre todas as etapas do processo construtivo, pois problemas na fase de execução e planejamento da construção podem acarretar aumentos significativos no preço da execução desse sistema, tornando-o dessa maneira inviável economicamente, principalmente quando comparado com os demais sistemas construtivos.

É de grande importância que, portanto, o método construtivo seja mais explorado e melhor divulgado para que sua compreensão seja mais acessível a todos os envolvidos (engenheiros, arquitetos, clientes e demais interessados) na utilização desse sistema.

Para complementar esse estudo, sugere-se os seguintes trabalhos:

- Comparação entre o sistema em Steel Frame e o de paredes de concreto armado;
- Comparação entre o sistema em Steel Frame e aço convencional para comparativo de custos;
- Estudo do impacto dos acabamentos no preço final nos dois sistemas estudados nesse trabalho.
- Cálculo e orçamento da estrutura de reforço necessária na estrutura existente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Saulo José de Castro. NETO, Jorge Munaiar. *Análise numérica de perfis de aço formados a frio comprimidos considerando imperfeições geométricas iniciais*. . *Caderno de Engenharias de estruturas*, São Carlos, v.11, n.20, p.17- 35,2009.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. (1996). *Load and resistance factor design specification for cold-formed steel structural members*. Washington: AISI.

_____. **NBR 6355**. Perfis Estruturais de aço formados a frio. 2012

_____. **NBR 8681**. Ações e segurança nas estruturas. 1984

_____. **NBR 8800**. Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios. 2008

_____. **NBR 14762**. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. 2010

CHODRAUI, Gustavo Monteiro de Barros. *Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo,2006.

COELHO, André Santos Ribeiro. *Light Steel Frame – Recomendações de projeto processo construtivo e detalhes orçamentários*. 2014. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário de Brasília, UniCeub, Brasília,2014.

JAVARONI, Carlos Eduardo. *Perfis de Aço formados a frio submetidos à flexão: análise técnica-experimental*. *Caderno de Engenharias de estruturas*, São Carlos, n.20, p.149 – 178,2002.

MAIOLA, Carlos Henrique. *Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio*. 2004. 130 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MALITE, M.; SÁLES, J. J. (1993). *Estruturas de aço constituídas por perfis de chapa dobrados: dimensionamento de barras*. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – S.P. 97p.

REIS, M. V. M.. *Uma proposta de padronização de telhados coloniais em estruturas metálicas*. 1996. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 1996.

SANTIAGO, A.K. (2012). *Manual de Construção em Aço-Steel Framing*. Série Manual de construção em aço, CBCA-2012.

SILVA, Edson Lubas. SILVA, Valdir Pignatta. *Dimensionamento de perfis formados a frio NBR 14672 e NBR 6355*. Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, Valdir Pignatta. *Dimensionamento de estrutura em aço – Apostila para a disciplina PEF 402 – Estruturas metálicas e de madeira*. 2012. 150 f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VAZQUEZ, Elaine Garrido. *Análise teórica e experimental da instabilidade torsional de perfis formados a frio sob compressão centrada*. 2002. 185 f. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

VAZQUEZ, Elaine Garrido. *Estudo do comportamento pós-crítico de paredes esbeltas de perfis metálicos*. 1998. 210 f. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

9. ANEXO I

COMPOSIÇÕES ANALÍTICAS SINAPI

FUES	74254/1	ARMACAO ACO CA-50 DIAM.16,0 (5/8) À 25,0MM (1) - FORNECIMENTO/ CORTE(PERDA DE 10%) / DOBRA / COLOCAÇÃO.	KG	
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07
INSUMO	29	ACO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,03
FUES	74254/2	ARMACAO ACO CA-50, DIAM. 6,3 (1/4) À 12,5MM(1/2) -FORNECIMENTO/ CORTE(PERDA DE 10%) / DOBRA / COLOCAÇÃO.	KG	
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1
INSUMO	34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,03
FUES	79504/1	TIRANTES P/PROTENSÃO E ANCORAGEM EM ROCHA C/ 6 FIOS ACO DURO 8MM .	M	
FUES	84222	FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO (PILAR, VIGA E LAJE) EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 X 2,20, ESPESSURA = 18 MM, 03 UTILIZACOES. (FABRICACAO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M2	
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,21
INSUMO	1345	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,44 X 1,22* M, E = 18 MM	M2	0,38
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PARA FORMA DE MADEIRA	L	0,006
INSUMO	4491	PEÇA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL 7,5 X 7,5CM (3X3) NAO APARELHADA (P/FORMA)	M	1,57
INSUMO	4506	PEÇA DE MADEIRANATIVA/REGIONAL 2,5 X 10CM (1X4") NAO APARELHADA (SARRAFO P/FORMA)	M	2,29
INSUMO	5068	PREGO POLIDO COM CABECA 17 X 21	KG	0,25
FUES	74138/5	CONCRETO USINADO BOMBEADO FCK=35MPA, INCLUSIVE LANÇAMENTO E ADENSAMENTO	M3	
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,6
INSUMO	10485	VIBRADOR DE IMERSAO C/ MOTOR ELETRICO 2HP MONOFASICO QUALQUER DIAM C/ MANGOTE	H	0,3
INSUMO	11145	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 35 MPA (INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO)	M3	1,05
PARE	87519	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19CM (ESPESSURA 9CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M² COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_06/2014_P	M2	
COMPOSICAO	87292	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M3	0,0098
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,55
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,775
INSUMO	22	ACO CA-25, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	0,37
INSUMO	7266	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), DE *9 X 19 X 19* CM	MIL	0,02831
INSUMO	7324	RESINA BASE EPOXI	KG	0,007

REVE	87904	CHAPISCO APLICADO TANTO EM PILARES E VIGAS DE CONCRETO COMO EM ALVENARIA DE FACHADA COM PRESENÇA DE VÃOS, COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M2	
COMPOSICAO	87377	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA) PARA CHAPISCO CONVENCIONAL, PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M3	0,0042
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,183
COMPOSICAO	88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,091
REVE	87879	CHAPISCO APLICADO TANTO EM PILARES E VIGAS DE CONCRETO COMO EM ALVENARIAS DE PAREDES INTERNAS, COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO EM BETONEIRA 400L. AF_06/2014	M2	
COMPOSICAO	87313	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA) PARA CHAPISCO CONVENCIONAL, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M3	0,0042
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07
COMPOSICAO	88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,007
REVE	74001/1	REBOCO COM ARGAMASSA PRE-FABRICADA, ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MECANICO DA ARGAMASSA	M2	
COMPOSICAO	88291	OPERADOR DE BETONEIRA (CAMINHÃO) COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0036
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,5
COMPOSICAO	88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,5
INSUMO	371	ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS	KG	7
INSUMO	10532	BETONEIRA DE 320 A 600 LITROS COM CARREGADOR E MOTOR ELETRICO TRIFASICO (LOCACAO)	H	0,0036